

SIMULADOR DE CHUVAS PORTÁTIL - *InfiAsper*
Procedimentos de Uso

Desenvolvimento: *Teodorico Alves Sobrinho - UFMS*

SIMULADOR DE CHUVAS PORTÁTIL – *InfiAsper*

Procedimentos – Calibração – Montagem – Componentes

Teodorico Alves Sobrinho
teodorico.alves@ufms.br

O equipamento, (Figura 1), foi desenvolvido por Alves Sobrinho (2002, 2008).

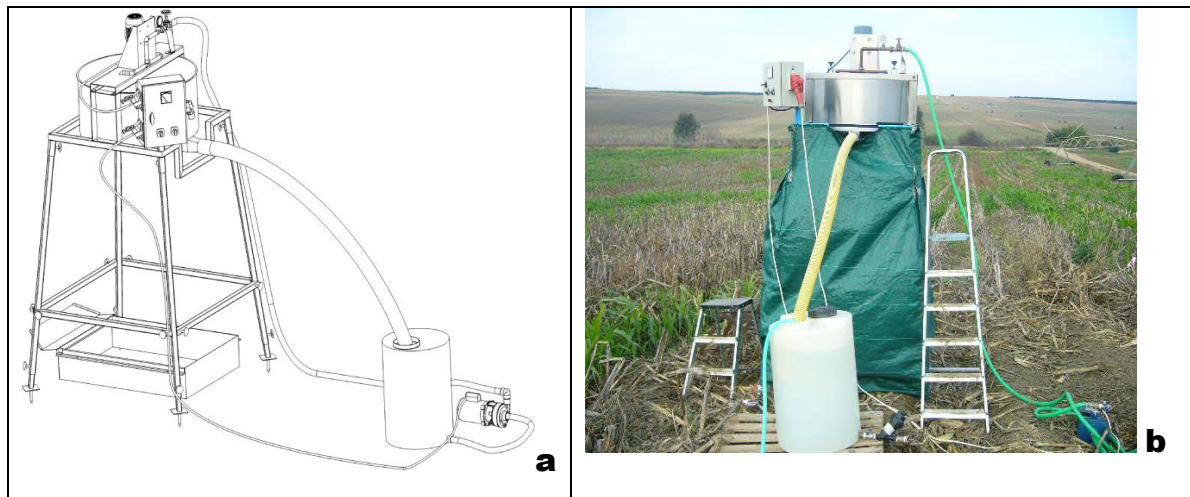


Figura 01: Esquema (a) e foto do Simulador de chuvas (b).

Preparo das Parcelas e Calibração do Simulador

As parcelas devem receber molhamento prévio antes do teste de campo, com o objetivo de oferecer condições de umidades mais uniformes a todas as parcelas. Para isso, pode-se utilizar 28 gotejadores (vazão de 2 a 4 L/min) dispostos em uma mangueira, montada com formato semelhante à parcela teste (80cm de largura por 120 cm de comprimento), conectada ao próprio depósito de água do simulador – Figura 02. O tempo de molhamento deve ser o suficiente para saturar o solo, sem ocorrer escoamento superficial.



Figura 02: Detalhe da montagem do sistema para pré molhamento

Na área experimental deverão ser retiradas amostras de solo para as seguintes análises: densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade total, matéria orgânica e textura do solo. Em cada parcela experimental deverão ser ainda avaliadas as massas de matéria seca dos restos culturais, a umidade inicial do solo e energia cinética da precipitação.

A área da parcela experimental, que recebe a precipitação, é contornada por um dispositivo de formato retangular de 0,70 m de largura por 1,00 m de comprimento, totalizando 0,70 m² de área útil, construído em chapas de aço (fornecido com o equipamento). Este dispositivo, chamado *delimitador de parcela*, deve ser cravado ao solo após o pré-molhamento, centrado em relação aos bicos (Figura 03 e fotos na sequência).

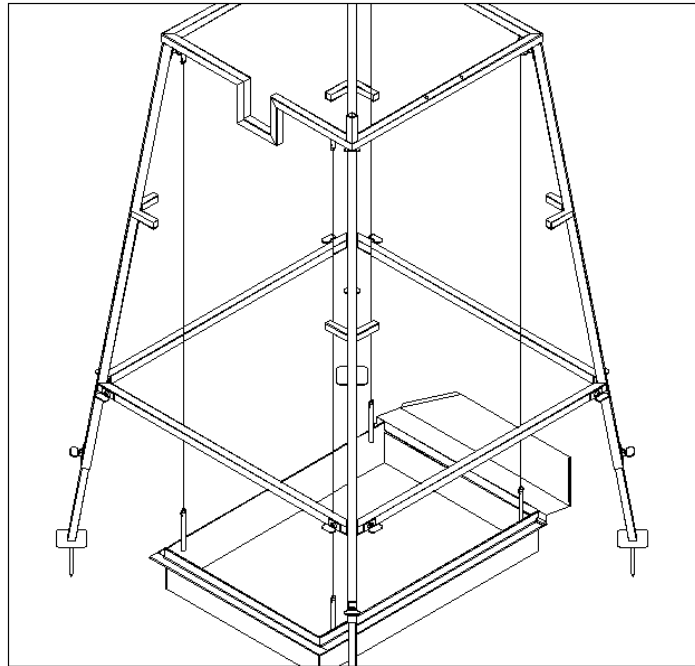


Figura 03: Centralização delimitador de parcela sob os bicos.



O simulador deve ser calibrado para aplicar a intensidade de chuva desejada. É fornecida uma bandeja de calibração com o simulador (Figura 04).

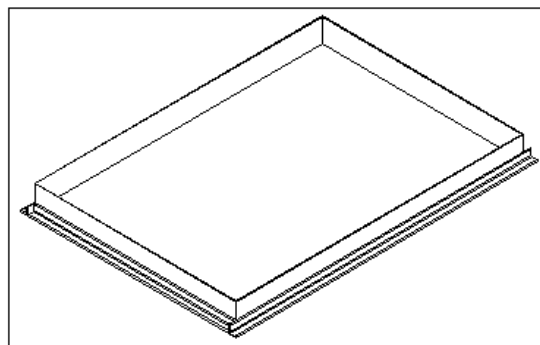


Figura 04: bandeja de calibração

Para fazer a calibração basta afrouxar a porca central dos discos do obturador e girar o disco superior, abrindo ou fechando as aberturas relativas entre os mesmos, conforme a conveniência; em seguida travar a porca, ligar o equipamento e medir (com auxílio da bandeja de calibração – Figura 5) o volume durante, no mínimo, 6 min; após este tempo verificar a intensidade de precipitação I_p pela seguinte relação:

$$I_p \text{ (mm/h)} = (\text{volume coletado (Litros)}) / (\text{área de coleta (0,70 m}^2\text{)} / \text{tempo (h)}).$$

Ou seja, para a intensidade de precipitação de 60 mm/h, deve-se coletar durante 6 min o volume equivalente de 4,2 litros.



Figura 5: Bandeja de calibração em uso

Montagem e Instalação do Simulador

Decorridos pelo menos 12 h após o início do pré-molhamento, cravar o *delimitador de parcelas* e fazer a instalação do simulador sobre a mesma. Inicia-se, então a coleta do volume escoado na parcela utilizando-se frascos de plástico de um litro (normalmente utiliza potes para mel).

Após cravar o *delimitador de parcelas*, observar a sequência de montagem do simulador (Figura 6) que consiste em: **(A)** montar a estrutura inferior do simulador e efetuar o nivelamento da mesma; **(B)** instalar o interceptor de água e afixar os parafusos dos respectivos suportes laterais na parte superior da estrutura; **(C)** inserir no interceptor o conjunto obturador, motor e bicos e afixá-lo com auxílio dos parafusos; **(D)** Centrar o Simulador com o delimitador de parcelas. Após esta sequência, posicionar os bicos a 2,30 m de altura, ajustando (alongando) a altura da parte inferior móvel (tipo telescópico) da estrutura, mantendo-a sempre em nível.

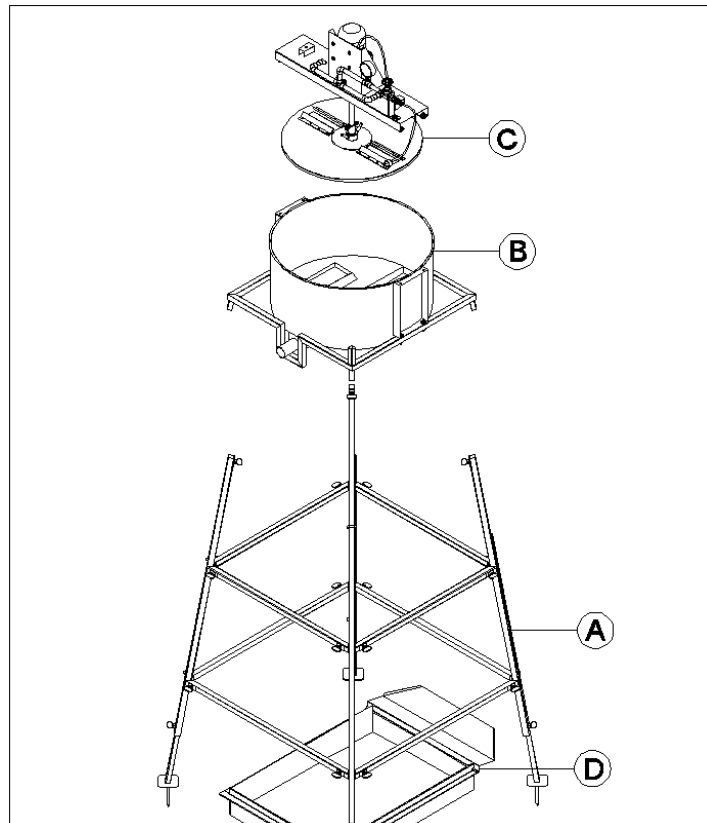


Figura 6: Sequência de montagem do Simulador

Ao ligar o motor do obturador verificar se a rotação do mesmo está entre 100 e 130 RPM (valor indicado no visor de vidro do Quadro de Comando Elétrico), que é a rotação recomendada para trabalho sem afetar o sistema de aplicação de água. Após ligar o motor e verificar a rotação do mesmo, aguardar pelo menos 10 segundos antes de acionar a bomba de água. Pois é necessário equalizar a corrente de partida.

Ao ligar a bomba verificar e ajustar imediatamente a pressão de operação dos bicos (que deve ser igual a 5 PSI). A pressão deve ser verificada constantemente para evitar variações na intensidade de precipitação inicialmente ajustada. Caso necessário fazer pequenos ajustes na pressão utilizando-se do registro de gaveta existente próximo ao manômetro. Recomenda-se reavaliar a *intensidade de precipitação periodicamente* (refazendo a calibração).

A coleta da primeira amostra ocorre quando for verificado o início do escoamento de água na calha coletora. Recomenda-se muita atenção neste

momento, pois o início do escoamento começa de maneira quase imperceptível e vai aumentando gradativamente (ver Filmes demonstrativos disponibilizado no CD). O intervalo de tempo compreendido entre o início da aplicação da chuva e o início do escoamento superficial deve ser identificado para cada parcela experimental ou parcela teste (corresponde ao *tempo de início de escoamento*).

Ao iniciar o escoamento superficial, o volume deverá ser medido (com auxílio de um copo coletor e de uma proveta) em intervalos de 2 minutos. O tempo de coleta para cada amostra deve ser de 1 min e a duração do ensaio, por parcela, é de 60 min após o início de escoamento (ou até estabilizar o volume de escoamento coletado). Destas amostras uma a cada três, ou seja, a cada 6 minutos, separa-se o recipiente com o volume coletado para a determinação da massa de solo e a concentração de sedimento em laboratório.

Após a realização do teste no local, mudar o simulador de posição para outra parcela, retirar o conjunto obturador, motor e bicos (sempre com o apoio de duas pessoas), transportar a estrutura inferior juntamente com o interceptor de água e em seguida recolocar o conjunto obturador, motor e bicos. Observar a sequência de transporte do simulador na figura 7.

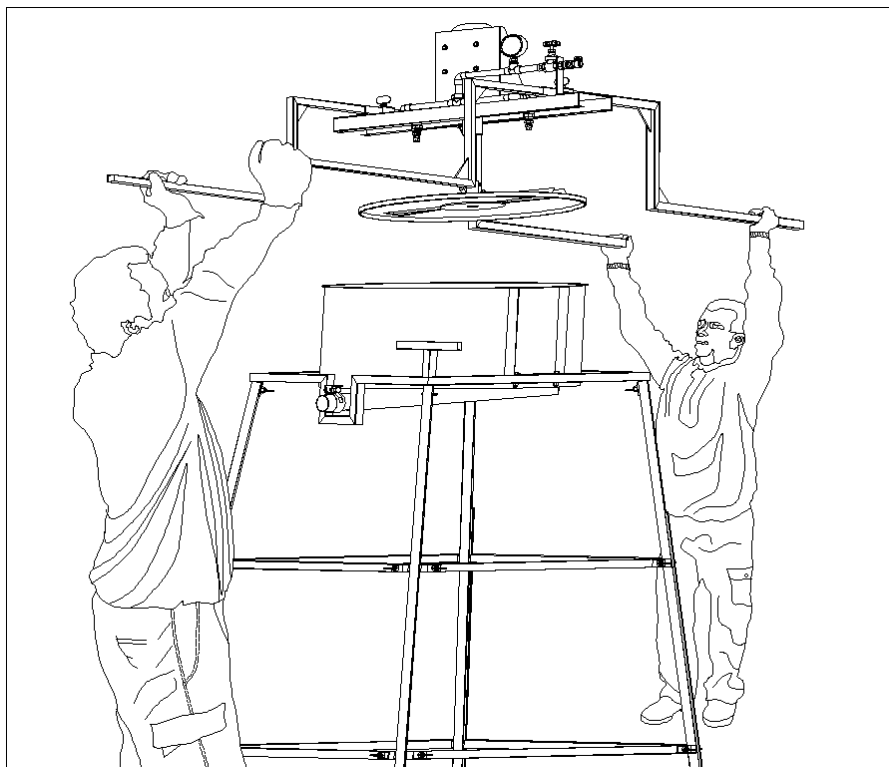


Figura 7: Sequência de transporte do simulador

Cálculo da Lâmina de Escoamento e Taxa de Infiltração de água

A **lâmina de escoamento superficial** (mm) é calculada pela relação entre o volume de água escoado, que foi medido em cada intervalo de tempo (Litros), e a área da parcela teste (0,70 m²) que recebe a precipitação. A **lâmina de água infiltrada** é calculada pela diferença entre a **lâmina de água aplicada** e a **lâmina de escoamento superficial**, em cada intervalo de tempo. A **taxa de infiltração** é obtida pela relação entre a lâmina infiltrada e o tempo de infiltração considerado em cada intervalo.

Os recipientes que foram separados e vedados, a cada 6 minutos, são levados para o laboratório para ser obtida a massa de água e sedimento de cada recipiente e, em seguida, são colocados em estufa para proceder a evaporação da água. Após a completa evaporação da água, deve-se tomar a massa dos sedimentos e calculado a concentração para cada amostra.

Os dados são totalizados em Planilha de Cálculo, previamente formatada, conforme modelo fornecido no CD que acompanha o manual do simulador.

Componentes e Descrição do Simulador de chuvas portátil

O simulador possui os seguintes componentes (detalhado na Figura 8):

1. Quadro de comando elétrico com entrada de energia em 220V, equipado com inversor de frequência de 1,0 CV e disjuntores liga/desliga de controle da motobomba, motor elétrico do obturador rotativo e *Cooler*;
2. Sistema de bombeamento e aplicação de água construído em tubos de cobre de 28 mm, equipado com manômetro antivibrante e motobomba de 760 W (3/4 de CV), tubos de sucção e recalque e registro de gaveta para ajustar e regular a vazão de água para os bicos.
3. Sistema regulador da intensidade de precipitação, composto pelos dispositivos *obturador rotativo* (acionado por motor elétrico monofásico de $\frac{3}{4}$ CV) e *interceptor de água*, construídos em chapas de aço conforme descrição original do equipamento;
4. Delimitador de parcelas e protetor de respingos. O delimitador é construído em chapas metálicas de 0,70m de largura, por 1,00m de comprimento e 0,16m de altura.
5. Estrutura metálica de sustentação superior e inferior. A estrutura inferior possui sistema tipo telescópico para permitir o ajuste de altura de 2,30 m (posicionamento dos bicos em relação ao solo) e nivelamento do Simulador no campo.

O fornecimento de energia para acionamento do Simulador no campo é feito por Motogerador, bivolt, a diesel de 4 tempos, com Potência nominal CA mínima de 6 Kva. Recomenda-se o Grupo Gerador Toyama, Modelo TD 7000 CXE, ou similar. Equipado com motor de 10HP, série FA partida manual e partida elétrica, tanque de 15 litros que proporciona aproximadamente 12 horas de autonomia. (www.toyama.com.br).

Componentes principais do Simulador de chuvas	
Item	Descrição
01	Motor Trifásico de ¾ CV
02	Tabulação de cobre (28 mm)
03	Suporte do Motor
04	Suporte para transporte do <i>Obturador</i>
05	Conjunto do eixo do <i>Obturador</i>
06	Porca de aperto dos discos
07	Disco Superior do <i>Obturador</i>
08	Disco Inferior do <i>Obturador</i>
09	<i>Interceptor d'água</i>
10	Estrutura da base do <i>Interceptor</i>
11	Quadro comando de acionamento
12	Estrutura inferior
13	Mangote do <i>Interceptor</i> (retorno do excesso d'água)
14	Delimitador de parcela
15	Tambor, cap. 200 Litros
16	Mangueira de recalque (¾")
17	Mangueira de Sucção (1")
18	Bomba (1,0 CV; vazão > 6 m³/h)
19	Bandeja para calibração
20	Cabo para conexão do <i>Gerador</i> ao <i>Quadro comando</i> (45 m)

Figura 8: Componentes principais do Simulador de chuvas

Procedimentos de Campo com o Simulador de Chuva

O *delimitador de parcelas*, dispositivo que permite a obtenção do volume de água escoado superficialmente, é instalado no campo com o comprimento maior a favor do declive (Figura 9).

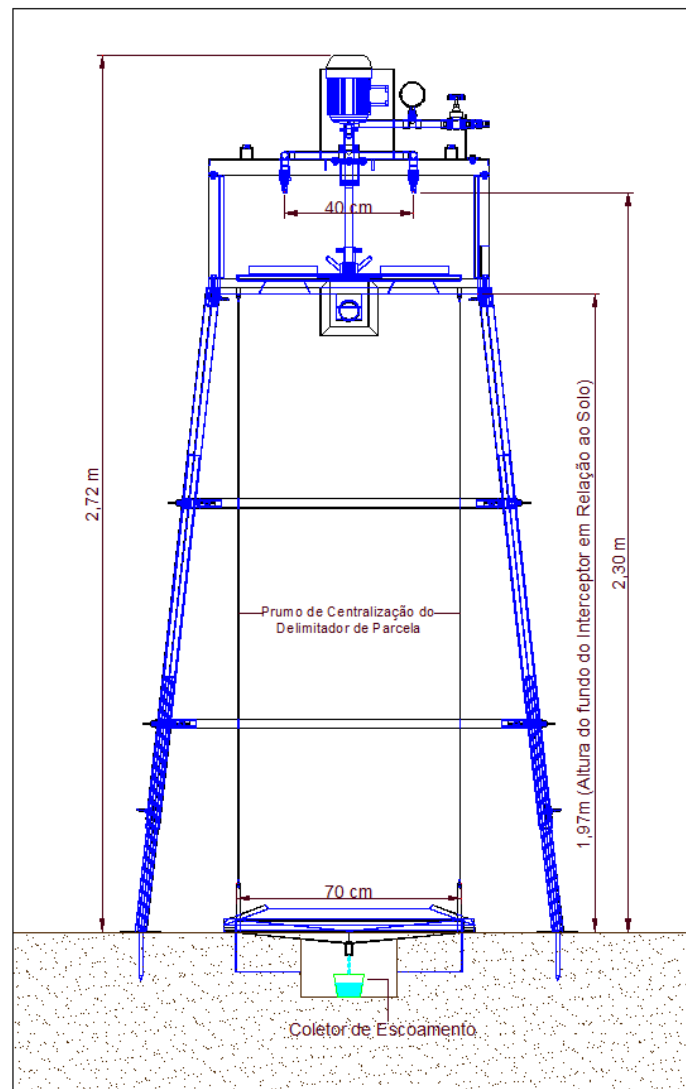


Figura 9. Posicionamento dos bicos e do simulador em relação ao delimitador de parcelas

O simulador pode ser calibrado para aplicar chuva de 30 a 150 mm.h⁻¹ de intensidade. O equipamento é equipado com dois bicos Veejet 80.150 dispostos paralelamente que deverão ser posicionados a 2,30 m de altura em relação ao solo. A pressão de operação nos bicos deve ser de 35,6 kPa (equivalente a 5 PSI), permitindo a aplicação de chuva cujas gotas apresentam

diâmetro médio volumétrico de 2,0 mm. Recomenda-se utilizar como padrão a intensidade de 60 mm/h.

O simulador poderá ser calibrado para aplicar, em cada tratamento ou atividade de uso do solo, chuva simulada de intensidade de 60 mm h⁻¹ com duração de 60 min depois de observado o início do escoamento superficial. O volume de escoamento superficial poderá ser medido em dois níveis de cobertura do solo (cobertura vegetal existente e sem cobertura). Ou seja, depois de aplicada a chuva, retira-se a cobertura vegetal do solo e, 30min depois, aplica-se novamente a mesma chuva na parcela, durante 60 min após iniciar o escoamento. Este procedimento deverá ser repetido por quatro vezes, em quatro parcelas distintas localizadas próximas. Assim, serão totalizadas 8 parcelas experimentais para cada tipo de solo ou atividade de uso do solo da área em estudo (com e sem cobertura do solo).

Procedimentos de amostragem durante os testes de campo

A umidade inicial do solo deve ser avaliada, por meio de equipamentos próprios, momentos antes de acionar o simulador para as determinações de campo (umidade inicial) e após o teste (umidade final de saturação). Após a instalação, e o acionamento do simulador, a coleta de amostras do volume escoado na parcela teste é feita durante um minuto. Ao se observar o início de escoamento superficial, inicia-se a coleta de amostras do volume de escoamento superficial na parcela. A coleta da primeira amostra ocorre quando é verificado, então, o início do escoamento de água na calha coletora do delimitador de parcelas, denominado como tempo zero de início de escoamento. O volume deverá ser coletado utilizando-se frascos com capacidade para um litro e medido com provetas, a cada intervalo de 2 minutos. O tempo de coleta para cada amostra deve ser de 1 min e a duração do ensaio, por parcela, é de 60 min após o início de escoamento.

O intervalo de tempo compreendido entre o início da aplicação da chuva e o início do escoamento superficial deve ser identificado para cada parcela experimental, pois corresponde tempo de início do escoamento superficial. Durante a realização do teste, em cada parcela totaliza-se 31 amostras de escoamento superficial. Destas amostras, uma a cada três, ou seja, a cada 6 minutos separar o recipiente com o volume coletado (sedimentos) para

posterior quantificação da massa de solo e a concentração de sedimento em laboratório (totalizando 11 amostras de sedimento ou perda de solo por teste).

Durante o período de operação do simulador, a pressão de serviço dos bicos deve ser monitorada a fim de evitar variações na intensidade de precipitação inicialmente calibrada e ajustada. E, ao final de cada teste na parcela experimental, efetua-se a verificação da intensidade de precipitação real aplicada pelo simulador, medindo-se o volume precipitado em seis minutos, com auxílio da bandeja de calibração que possui a mesma área da parcela teste. Durante os testes é afixada lona em torno da estrutura inferior do simulador para evitar a interferência do vento.

Perda de solo e água

Após as avaliações de campo, os recipientes com as amostras das enxurradas, totalizando 11 potes por teste e que foram separados a cada 6 minutos, serão imediatamente agrupados e encaminhados ao laboratório para a obtenção das massas de solo e água. A massa de solo é obtida pela pesagem direta de cada recipiente após evaporação da água em estufa. Os valores obtidos são extrapolados para o volume total da enxurrada coletada em cada parcela. Dessa forma, são quantificadas as massas de solo e de água contidos no volume de escoamento superficial, em cada evento de chuva. Os valores da massa de solo e água, correspondente a um minuto de coleta, são utilizados no cálculo das taxas de perda de solo ($\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$) e das taxas de perda de água (mm.h^{-1}). As perdas acumuladas são calculadas para cada intervalo ou patamar em que ocorreu escoamento, multiplicando os valores das taxas de perda de solo e água pelo tempo de duração do intervalo de influência de cada amostragem (em horas).

Energia cinética da chuva

A Energia cinética da chuva simulada pode ser calculada e comparada com a energia cinética de uma chuva natural de intensidade similar. Com os dados de tempo, intensidade precipitação e diâmetro médio de gotas pode-se utilizar o aplicativo **EnerChuvas** fornecido no CD que acompanha o Simulador de chuvas.

Análise de dados

Para avaliar o efeito de tratamentos e obter uma estimativa da variância residual, deverá ser feita análise de variância dos dados obtidos. Posteriormente, os dados poderão ser analisados com aplicação do Teste de *Tukey* a 5% de significância, para a comparação de médias entre as variáveis qualitativas e análise de regressão linear para as variáveis quantitativas.

Poderão ser avaliados modelos derivados para taxa de infiltração em função do tempo, conforme descritos em Panachuki *et al.* (2006). Poderá ser avaliada a qualidade do ajuste dos modelos através de regressões não lineares entre valores estimados e valores médios observados em cada tratamento estudado, juntamente com os respectivos coeficientes de correlação. Conforme descreve Tomasine *et al* (2010), poderão ser utilizados, na avaliação, os seguintes índices estatísticos: coeficiente de massa residual (CMR), coeficiente de ajuste (CA) e eficiência (EF).

Na comparação estatística dos resultados poderá ser feita a análise conjunta dos tratamentos com o objetivo de avaliar o efeito da chuva simulada nas diferentes formas de uso do solo ou níveis de cobertura do solo.

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

ALVES SOBRINHO, T.; CARVALHO, D.F.; AQUINO, R.M.; MONTEBELLER, C.A. *Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetros de aspersão*. Engenharia Rural, Piracicaba, v.12, n.1. p.28-35, 2001.

ALVES SOBRINHO, T. FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, 2002.

ALVES SOBRINHO, T.; GÓMEZ, J. A.; MACPHERSON, H. G. A portable rainfall and overland flow simulator. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 2, p. 163–170, 2008.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T., VITORINO, A. C. T., CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 129-137, 2006b.

ISERLOH, T., et al., European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics, *Catena* (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.013>

OUTRAS REFERÊNCIAS: Vide artigos publicados fornecidos no CD que acompanha o Simulador de chuvas.

As Planilhas de Campo (Figura 10) e de Resultados (Figura 11), fornecidas no CD (em Excell) que acompanha o Simulador, são instrutivas e facilitam a tomada de dados de campo e posterior processamento.

PLANILHA DE CAMPO							
Volume de Escoamento e Perdas de Solo				Parcela n ^o :	Data:		
Inicio do Teste	Inicio do Escoamento	Fim Coleta		Fim Escoamento			
(h:min)	(h:min)	(h:min)		(h:min)			
Momento da coleta (min)	Escoamento Superficial	Perda de Solo na Parcela - PS_Parc (Sedimento)					
Tempo Coleta	Volume (ml)	Coletor N ^o	M1 (g)	M2 (g)	Tara (g)	PS_Parc (g)	
0							0
2							
4							
6							0
8							
10							
12							0
14							
16							
18							0
20							
22							
24							0
26							
28							
30							0
32							
34							
36							0
38							
40							
42							0
44							
46							
48							0
50							
52							
54							0
56							
58							
60							0
Volume de Escoamento após desligar bomba(*) =							
Verificação da Intensidade de Precipitação (**):				Volume01 =	Volume02 =		
M1 = Massa Agua+Sedimento+Tara; M2 = Massa Sedimento+Tara				PS_Parc = Perda de Solo na Parcela (g)			
M1 e M2: dados obtidos em Laboratorio: M1 massa ao chegar do Campo; M2 após secagem em estufa.							
(*) Após desligar a Bomba, ao final do Teste de Campo, medir o Volume de Escoamento							
(**) Ao final de cada teste de campo, verificar a Intensidade de Precipitação (Ip) medindo o volume de Precipitação (durante 6 minutos), utilizando a bandeja de calibração - realizar 2 repetições.							
Obs.: Determinar a umidade inicial e final do solo (antes e após cada teste).							
OBS.: as Células com destaque amarelo devem ser preenchidas pelo responsável dos testes							

Figura 10: Planilha auxiliar de dados de Campo.

PLANILHA DE RESULTADOS											
Escoamento Superficial - Infiltração - Perdas de Solo - Concentração de Sedimento										Parcela:	
Inicio Teste	Inicio Escoamento		Fim Coleta			Fim Escoamento		Ip (mm/h) =			
(h:min)	(h:min)	(h:min)	(h:min)	(h:min)	(h:min)	(h:min)	(h:min)				
Momento da coleta (min)	Volume e Lâmina de Escoamento [1]			Inf e Taxa de Infiltração [2]			Perdas e Concentração de Sedimento[3]				
	Volume (ml)	LES (mm)	LES_Acu (mm)	LAI (mm)	LAI_Acu (mm)	i (mm/h)	PS_Parc (g)	PS (g/m ²)	PS_Acu (g/m ²)	Conc_Sed (g/L)	
0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
2		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
4		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
6		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
10		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
12		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
14		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
16		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
18		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
20		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
22		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
24		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
26		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
28		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
30		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
32		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
34		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
36		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
38		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
40		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
42		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
44		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
46		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
48		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
50		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
52		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
54		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		
56		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
58		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
60		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,00	0,00		

Tempo de coleta: 1 min

[1] - Volume e Lâmina de Escoamento Superficial medido no campo: Dados PLANILHA DE CAMPO

[2] - Infiltração (LAI) e Taxa de Infiltração (i) calculadas a partir da Int. de Precipitação (Ip), Lâmina Esc. Superficial (LES) e Lâmina Água Infiltrada (LAI). Cálculo da LES (mm) = Vol Escoamento (Litro)/Área da Parcela (m²). Área Parcela = 0,70 m²
Cálculo da LAI (mm) = [(Ip/60) - LES] CálculoTaxa de infiltraçã i (mm/h) = LAI (mm)/Tempo coleta (h)

[3] Perda de Solo por Parcela (PS_Parc):obtido da PLANILHA DE CAMPO. Calcula-se Perda de Solo (PS por m²) pela relação:
PS = PS_Parc/Área Parcela Concentração de Sedimento calculada por: Conc_Sedim = PS/Volume Escoamento (*).

(*) O Volume de escoamento aqui definido é a diferença de M1 e M2, (Ver PLANILHA DE CAMPO).

OBS.: Inserindo o valor de Ip (mm/h) na Célula L3 os cálculos se efetuam automaticamente.

Figura 11: Planilha de Resultados.

Dúvidas de funcionamento poderão ser dirigidas ao autor Teodorico Alves Sobrinho , por e-mail.