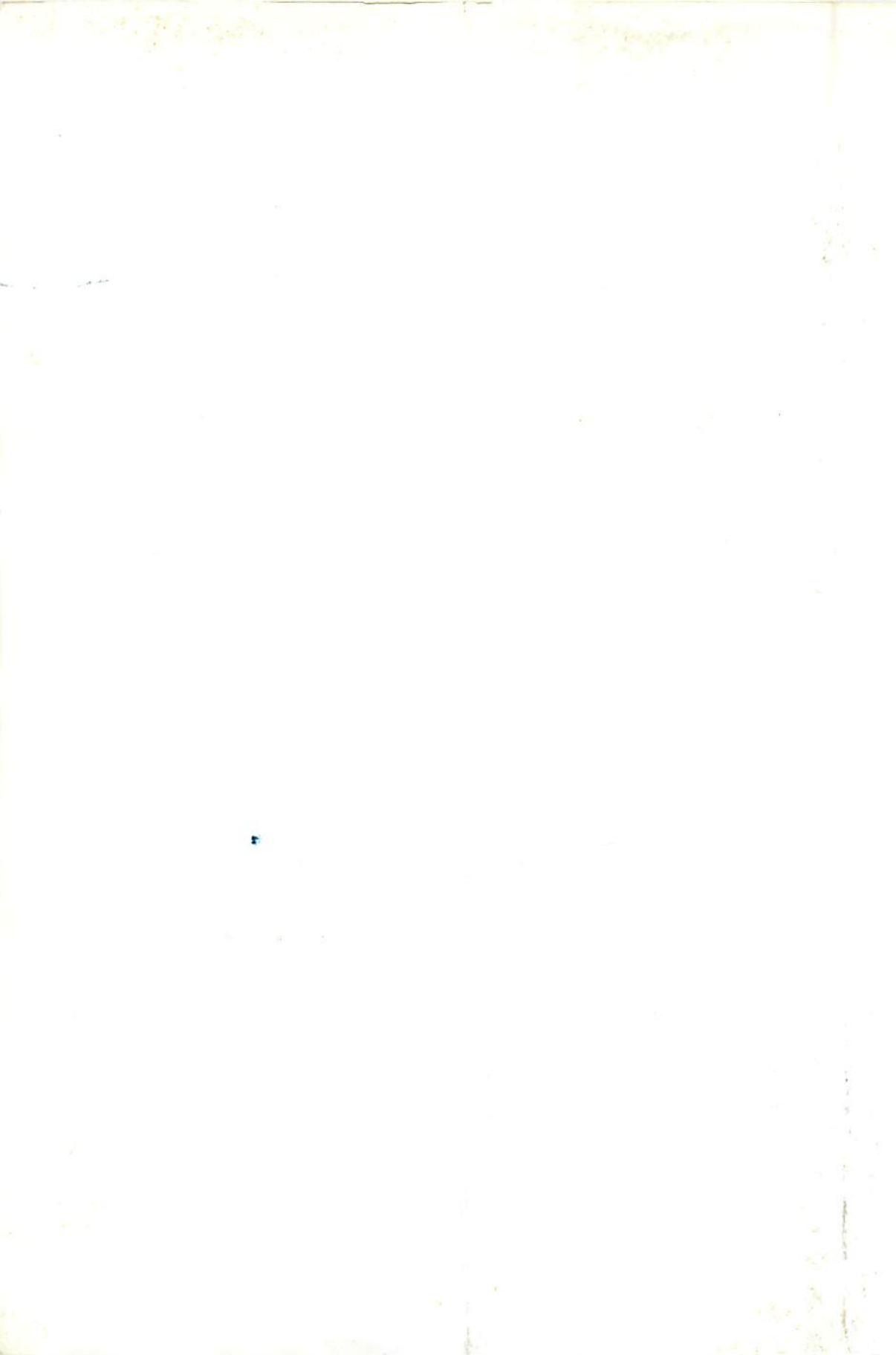


**ESTUDO DE PERDAS DE SOLO E ÁGUA,  
SOB DIFERENTES NÍVEIS DE RESÍDUOS  
CULTURAIS DE MILHO, USANDO UM  
SIMULADOR DE CHUVAS**

**RODOLFO CARLOS DA SILVEIRA**

1998



**RODOLFO CARLOS DA SILVEIRA**

**ESTUDO DE PERDAS DE SOLO E ÁGUA,  
SOB DIFERENTES NÍVEIS DE RESÍDUOS CULTURAIS DE MILHO,  
USANDO UM SIMULADOR DE CHUVAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de "Mestre".

**Orientador**

Prof. Dr. Nilson Salvador

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1998**

Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA

Silveira, Rodolfo Carlos da.

Estudo de perdas de solo e água, sob diferentes níveis de resíduos culturais de milho, usando um simulador de chuvas / Rodolfo Carlos da Silveira. -- Lavras: UFLA, 1998.

52 p. il.

Orientador: Nilson Salvador.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Simulador de chuva. 2. Perda de solo. 3. Perda de água. 4. Resíduo cultural. 5. Irrigação. I. Universidade Federal de Lavras.

1. Título.

CDD-631.587

**RODOLFO CARLOS DA SILVEIRA**

**ESTUDO DE PERDAS DE SOLO E ÁGUA,  
SOB DIFERENTES NÍVEIS DE RESÍDUOS CULTURAIS DE MILHO,  
USANDO UM SIMULADOR DE CHUVAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado, em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de "Mestre".

**APROVADA em 20 de outubro de 1998**

**Prof. Antônio Marciano da Silva**

**UFLA**

**Prof. Elio Lemos da Silva**

**UFLA**



**Prof. Nilson Salvador**

**UFLA**

**(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

**Todos os homens sonham,  
mas não da mesma maneira.  
Existem aqueles que têm seus sonhos à noite,  
nos recônditos de suas mentes e  
ao despertar, pela manhã,  
descobrem que tudo aquilo era bobagem.  
Perigosos são os homens que sonham de dia,  
porque são capazes de viver seus sonhos de olhos abertos,  
dispostos a torná-los realidade.**

**T.E. Lawrence - escritor inglês**

**À minha esposa Jane e a meus pais Geraldo e Zélia (*in memoriam*)**

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que sempre guia meus passos.

À Universidade Federal de Lavras, através do Departamento de Engenharia, pela oportunidade de poder realizar este curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos a mim concedida.

Ao professor Nilson Salvador, pelas orientações, consideração e confiança dispensados.

Aos professores do Departamento de Engenharia, pela dedicação e ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, em especial à Tânia, Lindeberg, Oswaldo e Zé Luiz, por se prestarem a auxiliar-me.

Aos colegas de curso, em especial ao Miguel, Flávio, Eduardo e Eliezer, pelo agradável convívio neste período.

À minha Jane, que trilhou o caminho de colega a esposa sem nunca ter deixado de me incentivar.

Aos meus irmãos Luiz Renato, Paulo Márcio, José Emílio e Hérica pelo incentivo.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Processo erosivo .....	3
2.2 Efeito do manejo do solo .....	5
2.3 Simuladores de chuva .....	9
2.4 Características da chuva natural.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Avaliações de laboratório.....	17
3.1.1 Testes de calibração do simulador de chuvas .....	17
3.1.1.1 Calibração dos bocais .....	19
3.1.1.2 Uniformidade de distribuição da água do simulador .....	20
3.1.1.3 Diâmetro de gotas .....	22
3.2 Avaliações de campo.....	24
3.2.1 Locação das parcelas experimentais .....	24
3.2.2 Preparo da área experimental para o início dos testes .....	26
3.2.3 Perdas de água e solo .....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1 Avaliações de laboratório.....	29
4.1.1 Calibração dos bocais .....	29
4.1.2 Uniformidade de distribuição da água do simulador de chuvas .....	30
4.1.3 Diâmetro de gotas, velocidade de impacto e energia cinética.....	32



<b>4.2 Avaliações de campo.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.1 Cobertura do solo.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.2 Início de escoamento .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.3 Perdas de água e solo .....</b>	<b>37</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>49</b>

## RESUMO

**SILVEIRA, Rodolfo Carlos da. Estudo de perdas de solo e água, sob diferentes níveis de resíduos culturais de milho, usando um simulador de chuvas. Lavras: UFLA, 1998. 52 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola)\***

Estudos foram conduzidos em laboratório e no campo experimental, na Universidade Federal de Lavras, MG, visando adequar o simulador de chuvas, desenvolvido por Costa (1996), aproximando suas características das chuvas naturais e com isso avaliar perdas de solo e água em um Latossolo Roxo distrófico. O simulador de chuvas utilizado apresentava características de gotas e de energia cinética inferiores às de chuvas naturais. Para melhorar tais características substituiu-se os bocais, anteriormente utilizados, por outros de maior diâmetro e se trabalhou com uma altura, dos bocais ao solo superior à utilizada anteriormente. Levado ao campo, o equipamento foi utilizado para se avaliar perdas de solo e água, em quatro parcelas experimentais de 3x1 m, que receberam os tratamentos de cobertura, com resíduos culturais de milho, nas quantidades de 3000 kg/ha, 6000 kg/ha, 9000 kg/ha e solo nu. Os resultados obtidos permitiram verificar que as características da chuva produzida pelo equipamento apresentaram melhoras em relação ao citado estudo, porém ficando ainda aquém das características de uma chuva natural, equivalente à simulada. A intensidade de precipitação média, com que o aparelho trabalhou, ficou em 157,8 mm/h, sendo que as características de gota e energia cinética melhoraram, mas também ficaram abaixo dos valores que se esperava encontrar. Avaliando-se as perdas de solo e água com essas características de chuva, observou-se que a cobertura morta diminuiu, acentuadamente, as perdas com relação ao solo nu. As perdas de solo reduziram de 74,13 kg/ha (solo nu), para 9,08 kg/ha, já no tratamento de 3000 kg de resíduos/ha, com redução de 87,75%. A influência da cobertura nas perdas de água foi menor. Para o solo nu, a lâmina perdida foi de 11,86 mm e para o tratamento de 3000 kg de resíduos/ha foi de 3,57 mm, com uma redução de 69,88%. A cobertura do solo, como manejo no controle da erosão, é um método eficaz e deve ter o seu uso incrementado pelos agricultores.

---

\* Comitê orientador: Nilson Salvador - UFLA (Orientador), Antônio Marciano da Silva - UFLA e Jacinto de Assunção Carvalho - UFLA.

## ABSTRACT

**SILVEIRA, Rodolfo Carlos da. Study of soil and water losses, under different levels of corn cultural residues, using a rainfall simulator. Lavras: UFLA, 1998. 52 p. (Master's dissertation in Agricultural Engineering)\***

Studies were undertaken in laboratory and in experimental field at the Universidade Federal de Lavras, MG, aiming to adjust the rainfall simulator developed by Costa (1996), approaching their characteristics to natural rainfalls and thus to evaluate losses of soil and water in a dystrophic purple latosol. The rainfall simulator utilized presented both characteristics of drops and kinetic energy poorer than those of natural rainfalls. In order to improve such characteristics the nozzles, previously utilized, were replaced by others with greater diameter and one worked at a height, from the nozzles to the soil higher than that employed previously. Taken to the field, the equipment was utilized so that the water and soil losses might be evaluated, in four experimental 3x1 m plots, which were given the mulch treatments with corn cultural residues at the amounts of 3000 kg/ha, 6000 kg/ha, 9000 kg/ha and no canopy soil. The results obtained allowed to verify that the characteristics of the rainfall produced by the equipment presented improvements in relation to the above-quoted study but still staying below of the characteristics of a natural rainfall, equivalent to the simulated one. The intensity of average rainfall under which the apparatus worked, remained at 157,8 mm/h, being that the characteristics of drops and kinetic energy improved but they also stayed below the values which were expected to be found. By evaluating the losses of soil and water with these rainfall characteristics, it was found that mulch markedly decreased the losses with relation to the no canopy soil. Soil losses reduced from 74,13 kg/ha (no canopy soil) to 9,08 kg/ha, however in the treatment of 3000 kg of residues/ha with a 87,75% decrease. The influence of the mulch upon water losses was smaller. To the no canopy soil, the lost level was of 11,86 mm and to the treatment of 3000 kg of residues/ha was of 3,57 mm, with a reduction of 69,88%. Soil mulching as a management in erosion control is an efficient method and must have its use increased by farmers.

---

\* Guidance Committee: Nilson Salvador - UFLA (Major Professor), Antônio Marciano da Silva - UFLA and Jacinto de Assunção Carvalho - UFLA.

# 1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um problema extenso, sério e cada vez mais crescente no Brasil. Segundo a Federação da Associação dos Engenheiros Agrônomos do Brasil, citada por Bahia *et al.* (1992), perde-se a cada ano, no Brasil, 600 milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão. Considerando-se uma camada arável de 20 cm, com uma densidade de solo de  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , tem-se uma quantidade de 2.000 t/ha, sendo a perda anual, equivalente à cerca de 300.000 ha, ou 0,5% da área nacional ocupada por culturas temporárias ou permanentes.

O manejo inadequado e a degradação do solo têm como conseqüências, entre outras, a diminuição do potencial de produção agrícola das terras; a remoção das camadas superiores do solo; a poluição de rios, riachos e outros cursos d'água; alagamentos de terras baixas e acumulação de sedimentos em leitos de rios, em áreas de irrigação e em terras agrícolas, e como conseqüência desse assoreamento dos rios torna-se difícil a captação da água destinada ao abastecimento e a irrigação.

O aproveitamento agropecuário intensivo de uma região é, em geral, dependente de ocorrência de chuvas e/ou do uso de irrigação, de modo que, praticamente, todas as áreas agrícolas necessitam de maior ou menor proteção contra a erosão hídrica. Assim, a proteção das áreas de cultivo, contra a erosão, requerem cuidados contínuos e manutenção de práticas conservacionistas do solo.

O solo desprovido de cobertura vegetal e da ação fixadora das raízes, exposto ao impacto direto das gotas de chuva, sofre desagregação e remoção de suas partículas, efeito que é complementado pelo escoamento superficial das águas, causando elevadas perdas de água e solo.

A utilização de resíduos culturais como cobertura do solo é uma maneira simples, eficaz e econômica de controlar a erosão sobre as terras agrícolas. Os resíduos, quando mantidos sobre a superfície do solo, evitam o impacto direto das gotas de chuva, prevenindo a desagregação e mantendo elevadas as taxas de infiltração de água no solo, além de reduzir, substancialmente, a velocidade de escoamento superficial. A eficácia dos resíduos culturais na redução das perdas de solo, depende de vários fatores, tais como: tipo, quantidade e percentagem de cobertura do solo; forma de manejo e seu estágio de decomposição (Amado, Cogo e Levien, 1989). Assim, resíduos culturais deixados sobre o solo, formando cobertura morta, tornam-se métodos eficientes para diminuir a erosão, tanto no período crítico, com o solo descoberto, quanto naquele em que a cultura já atingiu seu máximo crescimento. No entanto, no Brasil, as perdas de solo e água continuam se agravando, devido a dificuldade de utilização pelos agricultores, das técnicas de conservação de solo e água. Logo, torna-se urgente o aprimoramento de técnicas simples e práticas, que reduzam essas perdas consideravelmente.

Simuladores de chuva têm sido utilizados em pesquisas sobre erosão, para estudar as complexas relações entre as variáveis de chuva com as características do solo, sendo uma de suas principais vantagens a redução de trabalho e de tempo, necessários à obtenção de resultados, quando comparados aos estudos em condições de chuva natural (Brito, 1994).

Costa (1996), desenvolveu e avaliou um simulador linear, no Departamento de Engenharia da UFLA, onde concluiu que o referido equipamento, pode-se tornar um eficiente equipamento para avaliar perdas de solo e água, simulando condições naturais, desde que passe por aperfeiçoamento de projeto, possibilitando dessa forma alterações no diâmetro e energia cinética das gotas por ele produzidas.

Mediante o exposto, objetivou-se com este trabalho, adequar o simulador de chuvas, desenvolvido por Costa (1996), para operar o mais próximo possível das condições de chuvas naturais e, com o mesmo, avaliar no campo, as perdas de solo e água em um Latossolo Roxo distrófico, sob diferentes níveis de cobertura morta.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O solo exerce importante função no ciclo hidrológico, principalmente, no que diz respeito a sua camada superficial, onde ocorrem as complexas inter-relações entre a chuva, a infiltração e o escoamento superficial (Brito, 1994). É também, nesta camada, que o manejo do solo e o da água devem ser feitos, adequadamente, pela utilização de práticas conservacionistas, que associadas à irrigação, são importantes instrumentos que proporcionam a consolidação de uma agricultura sustentável e rentável.

### **2.1 Processo erosivo**

A luta do homem contra a erosão do solo é tão antiga quanto a própria agricultura. O homem aprendeu que, quando a cobertura vegetal era removida para o cultivo da terra, ou destruída pelo excesso de pastoreio, a erosão se tornava mais ativa. Supunha-se que essa influência protetora da cobertura fazia retardar o escoamento da enxurrada e a mantinha esparramada, uniformemente, na superfície, quando escorria morro abaixo. Somente cerca de 35 anos

descobriu-se que o impacto da gota da chuva em um terreno descoberto e o resultante desprendimento das partículas de solo são as principais causas da erosão do solo pela água. O escoamento é apenas um parceiro atuante no problema (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

A erosão é causada por forças ativas, oriundas da chuva, pelo escoamento superficial, pela declividade e pelo comprimento de rampa do terreno.

Lima *et al.* (1992) citam pesquisadores da Universidade de Purdue (EUA), que desenvolveram uma equação, conhecida como Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), que serve para prever a perda média anual de material do solo, bem como, auxiliar na escolha de práticas conservacionistas. Tal equação prevê a perda média de solo, mediante o uso de seis fatores: erosividade da chuva; erodibilidade do solo; comprimento de rampa; declividade; cobertura do solo e o fator práticas conservacionistas. O conhecimento destes fatores é de grande importância e serve como guia para muitos pesquisadores traçarem suas linhas de pesquisa.

As gotas da chuva, que golpeiam o solo, são agentes que contribuem para o processo erosivo, pelo menos de três formas: (a) desprendem partículas de solo; (b) transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas; (c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água superficial. Considerando-se então, que o problema crucial da conservação do solo é o controle da erosão, torna-se necessário conhecerem-se seus parâmetros, bem como os métodos mais eficientes e econômicos para o seu controle (Encontro, 1975).

O selamento superficial ou encrostamento é causado pelo impacto das gotas de chuva. O solo superficial, quando submetido ao selamento, terá alta densidade e baixa porosidade, reduzindo significativamente a infiltração e elevando, conseqüentemente, o escoamento superficial (Moore e Larson, 1980).

Para controlar a erosão devem-se atentar, fundamentalmente, para os seguintes aspectos: minimizar os efeitos dos princípios causadores desta, ou seja, evitar o impacto direto das gotas de chuva e o arrastamento de partículas pela enxurrada. No primeiro caso, isso é possível, através do uso de sistema de cultivo e de manejo do solo adequados e no segundo, através da redução de comprimentos de rampas e do uso de cobertura vegetal, a fim de dissipar a energia hidráulica. Para Amado, Cogo e Levien (1989), a cobertura do solo, isoladamente, é o fator de maior importância relativa no controle da erosão hídrica.

## **2.2 Efeito de resíduos culturais**

A degradação do solo é intensificada, quando, por exemplo, interfere-se na sua cobertura natural, eliminando-a simplesmente, ou substituindo-a por outra cultura mal conduzida. No primeiro caso, o solo fica exposto à erosão acelerada, sendo o efeito dos agentes erosivos mais ou menos intenso, conforme a resistência do solo à erosão. No segundo caso, a degradação do solo pode ser causada pela deterioração de suas propriedades, por uso ou manejos indevidos (Mesquita, Oliveira e Pereira, 1992).

Os resíduos culturais, como cobertura, são importantes para a proteção da superfície do solo contra o impacto da queda das gotas, minimizando, assim, a quebra dos agregados e o selamento superficial.

Estudos envolvendo a cobertura do solo, para o controle da erosão, foram realizados por diferentes pesquisadores. Segundo Lombardi Neto *et al.* (1988), separando-se o efeito da cobertura vegetal e da cobertura morta, para uma mesma percentagem de área coberta, a cobertura morta é mais eficiente no controle da erosão.



Carvalho, Cogo e Levien (1990) utilizando resíduos de trigo incorporados e distribuídos na superfície do solo, observaram que com o aumento da quantidade de resíduo, houve aumento na percentagem de cobertura do solo, exceção feita ao teste com os resíduos incorporados, onde a cobertura do solo foi completamente eliminada, até 2000 kg/ha. Os autores ainda notaram que houve tendência de retardamento no início da enxurrada, à medida que se aumentou a quantidade de resíduo cultural e, conseqüentemente, a percentagem de cobertura do solo, especialmente para o resíduo espalhado na superfície. Isto ocorreu devido à influência direta da cobertura, no aumento do volume de água temporariamente retida na superfície, bem como ao seu efeito em prevenir o selamento superficial do solo, pelo impacto direto das gotas de chuva, mantendo a infiltração de água no solo. Com relação à água, observaram uma pequena tendência de diminuição nas perdas, com o aumento das doses do resíduo cultural e, conseqüentemente, da percentagem de cobertura do solo. Já com relação ao solo, independente do manejo, o aumento na percentagem de cobertura proporcionou acentuada redução na perda de solo.

Avaliando o efeito de quatro níveis de cobertura morta sobre o escoamento superficial, infiltração e erosão sob chuva simulada, Zuzel e Pikul (1993) perceberam que a percentagem de cobertura morta e a perda de solo tiveram alta correlação ( $r^2=0,99$ ), enquanto não houve correlação significativa entre o volume de escoamento superficial, ou volume de infiltração com a perda de solo. Seus dados sugerem que quantidades pequenas de cobertura, menor que 25% são de pequeno valor no controle da erosão, servindo como limite mínimo de cobertura da superfície, para limitar a erosão hídrica.

Utilizando-se de simulação de chuva, Dickey *et al.* (1985) compararam perdas de solo, em vários sistemas de preparo periódico usados em parcelas onde foram cultivados milho e soja, no ano agrícola anterior. A média da perda total de

solo após 63,5 mm de chuva, aplicada durante 60 minutos, foi 40% maior nas parcelas com resíduos de soja, do que nas parcelas com resíduos de milho, para os tratamentos de preparo semelhantes, em área com 5% de declividade. Os autores explicam que, o que contribuiu para a diferença nas perdas de solo, foi o fato de que os resíduos de soja cobriram 40% menos superfície, do que os resíduos de milho em preparos semelhantes.

Távora *et al.* (1985), estudando perdas de água, solo e nutrientes, num Latossolo Vermelho-amarelo distrófico, submetido a três chuvas simuladas de lâminas de 56, 32 e 36 mm, com duração, respectivamente, de 60, 30 e 18 minutos (equivalentes a 56 mm/h, 64 mm/h e 120 mm/h), observaram uma diminuição das perdas de solo da primeira chuva para a segunda, provavelmente, pela menor duração da segunda com relação à primeira. O aumento das perdas da segunda para a terceira chuva e desta em relação à primeira são normais. Observaram ainda que as perdas de água e solo refletem a baixa resistência à erosão deste solo, principalmente, porque o preparo a favor do declive, constituído de aração e gradagens, deixou a superfície desprovida de sua proteção vegetativa.

A interceptação da chuva por diferentes quantidades de resíduos de milho, soja e trigo também foi estudada, sob condições de chuva simulada, por Savabi e Stott (1994). Com a mesma quantidade em peso, os resíduos de trigo interceptaram, significativamente, mais chuva do que os resíduos de milho e soja. Estatisticamente, os resíduos de milho e soja interceptaram a mesma quantidade de chuva. Também foi estudado o efeito do uso de resíduos, recentemente colhidos, versus resíduos que sofreram decomposição por 6 meses no campo. Os pesquisadores verificaram que o tempo em que os resíduos permaneceram sobre as parcelas, não teve influência sobre a quantidade de chuva interceptada pelos mesmos.

Deizman *et al.* (1987) usaram simulador de chuva, para estudar o efeito do preparo do solo, nas características físicas dos sedimentos. Os agregados de sedimentos colhidos nas parcelas foram mais finos do que os agregados encontrados na matriz do solo e estavam enriquecidos com partículas de argila primária. O tamanho dos agregados, no material erodido, aumentou com a continuação da chuva. Este efeito foi mais pronunciado pelo sistema de preparo convencional.

Estudando a eficácia de tipo e quantidade de resíduos culturais de trigo, soja e milho espalhados uniformemente sobre uma superfície, Lopes, Cogo e Levien (1987), concluíram que o aumento na percentagem de cobertura morta no solo diminuiu, acentuadamente, as perdas absolutas de solo por erosão nos três tipos de resíduos culturais. Os resíduos de trigo mostraram-se um pouco mais eficazes na redução das perdas de solo, mas todos se mostraram efetivos, no controle da erosão hídrica, assim como na redução do escoamento superficial da água. Para se ter uma idéia da percentagem de cobertura do solo, para o milho, os pesquisadores obtiveram uma equação, que relaciona a porcentagem de cobertura (CS, em %) às quantidades de resíduos de milho (MR, em kg/ha). Essa equação é  $CS = 100.(1 - e^{-0,000313MR})$ , com um  $r^2 = 0,99$ . Trabalhando com uma larga faixa de valores de resíduos de cobertura do solo (0, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000 e 10000 kg/ha) obtiveram percentagem de cobertura de 15 a 96 %.

Bertol, Cogo e Levien (1989) avaliaram oito sistemas de preparo, na ausência e na presença de cobertura do solo, com resíduos culturais de trigo, utilizando-se da chuva simulada. Concluíram que na ausência de cobertura do solo, o sistema subsolagem e o sistema escarificação + gradagem foram os mais eficazes, na redução da erosão, enquanto o método subsolagem + gradagem foi o menos eficaz. As perdas de água foram mais influenciadas pelos sistemas de

preparo do que pela cobertura morta, sendo, no entanto, bem menos afetadas do que as perdas de solo.

McGregor, Mutchler e Römken (1990) estudaram o efeito de duas arações em parcelas, que continham resíduos culturais de milho, trigo e em solo nu, sob chuva simulada e constataram que as menores perdas de solo, nas parcelas de trigo, comparadas com as de milho e de pousio, ocorreram, provavelmente, pelo fato da aração com discos haver incorporado mais os resíduos de milho, do que os de trigo.

Independente da forma de manejo dos resíduos culturais, o aumento na quantidade de cobertura morta, ocasionou um acréscimo na percentagem de cobertura do solo, refletindo-se em acentuada redução nas perdas de solo (Amado, Cogo e Levien, 1989). No entanto, a semi-incorporação dos resíduos culturais, pela operação de gradagem reduziu, apreciavelmente, a percentagem de cobertura do solo, mostrando-se menos eficaz na redução das perdas de solo, do que à forma de manejo, em que os resíduos culturais permaneceram, uniformemente, distribuídos sobre a superfície.

Conclusões semelhantes as obtidas em estudos com simuladores foram conseguidas em pesquisas com chuva natural. Lombardi Neto *et al.* (1988) estudaram o efeito da quantidade de resíduos culturais de milho, nas perdas de solo e água. Os resultados mostraram que o aumento na quantidade de resíduos diminuiu acentuadamente as perdas, seguindo uma curva exponencial para as perdas de solo e para as perdas de água.

### **2.3 Simuladores de chuva**

Simuladores de chuva são ferramentas de pesquisa projetadas para aplicar água de uma forma similar às chuvas naturais. Eles são úteis em muitos

tipos de experimentos hidrológicos e de erosão de solo. Contudo, as características da chuva devem ser simuladas adequadamente; os dados de escoamento superficial e erosão analisados cuidadosamente e os resultados interpretados sensatamente, para se obter informações de confiança para as condições em que as chuvas simuladas são aplicadas.

De acordo com Meyer (1994), as maiores vantagens das pesquisas com simuladores de chuva, em relação à pesquisa com chuva natural são: maior rapidez, maior eficiência, maior controle e maior facilidade de adaptação. Além do que, a preparação das parcelas para aplicação de chuvas simuladas, usualmente, demanda menos tempo do que a manutenção para estudos, que dependem de chuva natural. A dificuldade de simular as características de chuva natural e de interpretação adequada dos dados obtidos com simuladores de chuva, especialmente se eles não simulam adequadamente certas características necessárias, são algumas das desvantagens dos simuladores.

Estudos apropriados com simuladores de chuva incluem planos para avaliar diferentes coberturas do solo e culturas, resíduos de cultura, uso e manejo do solo, tipos e métodos de preparo, declividade e outros (Meyer, 1994).

O uso de simuladores de chuva em pesquisa de erosão é uma ajuda valiosa, economizando tempo e recursos (Roth, Henklain e Farias, 1985). Entretanto, para a correta interpretação dos resultados, é preciso conhecer bem as características da chuva simulada e natural. Estas características são: a distribuição do tamanho de gotas e sua energia cinética.

Diferentes simuladores de chuva, incorporando diferentes características, surgiram ao longo dos anos, para diferentes tipos de pesquisa. As características mais importantes da chuva natural, que devam ser simuladas para pesquisa de manejo de solo e água são: a distribuição de tamanho e a velocidade de impacto da gota, aliadas às intensidades apropriadas de chuva. Estas três características

são os fatores chave no desprendimento do solo, selamento superficial e resultante escoamento superficial.

As características desejáveis dos simuladores de chuva, que são usadas em estudos hidrológicos e de erosão, então, são: a) distribuição de gotas de tamanho aproximando ao de gotas de chuvas naturais. A chuva natural apresenta um largo espectro de gotas, cujo tamanho varia de 0 a 7 mm de diâmetro. O diâmetro médio da gota fica entre 1 e 3 mm, para chuvas erosivas e tende a aumentar, com a intensidade da chuva (Laws e Parsons, citados por Meyer, 1994); b) velocidades de impacto das gotas próximas àquelas das chuvas naturais, as quais variam desde 0 para “neblina”, até mais de 9 m/s, para os maiores tamanhos. Uma gota comum de 2 mm cai com uma velocidade de 6 a 7 m/s (Gunn e Kinzer, citados por Meyer, 1994); c) chuvas com intensidades nas faixas de interesse. Podem variar desde próximo a zero até vários milímetros por hora. Geralmente, intensidades muito baixas não são de maior interesse para estudos de erosão e hidrológicos e grandes intensidades são tão raras que elas podem ser de interesse limitado. Intensidades entre 0,2 e 2 mm/min (12 a 120 mm/h) são geralmente de grande importância; d) área de pesquisa de tamanho suficiente, para representar os tratamentos e condições a serem avaliadas. Simuladores de chuva devem ser capazes de aplicar chuva em parcelas que sejam grandes o suficiente para um teste real das características do tratamento. Parcelas de 1 metro quadrado e menores, podem ser suficientes para estudos de erosão entre sulcos, mas parcelas maiores são necessárias para avaliar o escoamento superficial; e) características da gota e intensidade de aplicação bastante uniforme sobre a área de estudo; f) aplicação da chuva quase contínua por toda a área de estudo e; g) capacidade de aplicação da mesma chuva simulada repetidamente

Diversos tipos de estudos e de simuladores de chuva têm sido desenvolvidos, desde 1930, notadamente nos Estados Unidos (Meyer, 1994). Nos

últimos 50 anos, os pesquisadores têm sido beneficiados em termos de tecnologia e de equipamentos para a simulação de chuvas. Os bocais, formadores de gotas de chuva, em simuladores, são os componentes mais importantes dos simuladores de chuva. Uma vez que estes sejam definidos, os demais componentes, mecânicos e eletrônicos, devem ser adequadamente escolhidos para operá-los.

Os métodos mais usados para produzir gotas de chuva simulada, para pesquisas de erosão e de hidrologia podem ser agrupados em duas categorias: a) àquelas em que a gota produzida pelo bocal é liberada com velocidade inicial maior que zero e; b) àquelas em que a gota é liberada com velocidade inicial zero (Meyer, 1994).

Os bocais produzem largo espectro de gotas semelhante ao obtido nas chuvas naturais. Os chamados *tips* produzem um espectro de gotas limitado, o qual é necessário em estudos onde um rigor no controle dos diâmetros das gotas é importante.

Inicialmente, os primeiros pesquisadores, que utilizavam simuladores de chuva conheciam pouco das características das chuvas naturais. Em particular, não reconheciam a importância do diâmetro da gota da chuva. Assim, o objetivo primordial era aplicar água, uniformemente, sobre a área experimental (Meyer, 1994). Posteriormente, os estudos do espectro do diâmetro de gotas de chuvas naturais passou a ser importante, em projetos de simuladores, principalmente àquelas relativas à velocidade final da gota. Certos projetistas de equipamentos, então, consideram com cuidado as informações disponíveis de tamanho e de velocidade final de gotas.

Alguns dos simuladores desenvolvidos são apropriados para aplicar chuvas em áreas, cujo tamanho de parcelas, se moldem aos estudos de escoamento superficial. Outros são adequados apenas para parcelas muito pequenas, ou para estudos de laboratório, para parcelas experimentais de até

1,0 m<sup>2</sup>. O simulador desenvolvido por Meyer e McCune (1958) foi o primeiro projetado para aplicar, simultaneamente, sobre várias parcelas, chuva com as características próximas da chuva natural. Já o simulador desenvolvido por Swanson (1965) - rotating-boom simulator - usa os mesmos tipos de bocais do simulador de Meyer e McCune (Veejet 80.100), que são locados ao longo de braços rotativos, a partir de um aparato central. Desta forma, apenas duas intensidades são possíveis, o tamanho da parcela torna-se limitado e a aplicação intermitente. O simulador de chuvas programável e o de Kentucky usam bocais, que oscilam rapidamente, o que reduz a intermitência do spray para períodos curtos. Eles podem produzir uma faixa grande de intensidades de chuvas.

Recentes modificações, em simuladores de chuvas, para melhorar as características das chuvas simuladas incluem a injeção de ar dentro do conduto superior de água, solenóides, para reduzir a intensidade de chuva, e refinamentos adicionais nos componentes dos discos rotativos.

Sobrinho (1997) desenvolveu um infiltrômetro de aspersão, que utiliza os bocais Veejet 80.110 e 80.150 e relata que esses tipos de bocais são os adequados à obtenção de diâmetros de gotas e energia cinética semelhantes às gotas da chuva natural. Ele obteve valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), entre 82% e 87%, bem como uma relação entre energia cinética da chuva produzida pelo infiltrômetro e a energia cinética da chuva natural acima, de 90%, para valores de precipitação entre 40 e 100 mm/h.

#### **2.4 Características da chuva natural**

Como relatado anteriormente, as características desejáveis para que um simulador de chuvas seja adequado a estudos hidrológicos e de erosão do solo são



àquelas das chuvas naturais, mais notadamente: o tamanho, a distribuição, a velocidade terminal de gotas e a intensidade de aplicação.

A distribuição do tamanho de gotas tem sido medida por muitos pesquisadores, ao longo dos anos e existem diversas técnicas para se determinar o tamanho destas. Carvalho (1991) cita alguns métodos: da ardósia, da mancha, da imersão em óleo, do momento, de transdutores de pressão, de sensores piezoelétricos, fotográficos, raio laser e o da farinha, sendo este último um dos mais utilizados. O método da farinha é simples e prático, não necessitando de equipamentos sofisticados. Consiste em expor à precipitação bandejas, contendo farinha de trigo. As gotas em contato com a farinha produzem grânulos, que são secos, inicialmente, ao ar livre e posteriormente em estufa (a 105-110° C), por um período de 24 h. Através da curva de calibração obtida previamente, para diversos diâmetros de gotas conhecidos é possível a determinação do diâmetro de gotas da precipitação, em função da massa dos grânulos formados.

Este procedimento permite determinar o chamado  $D_{50}$  (diâmetro mediano volumétrico das gotas), que de acordo com Hudson, citado por Sobrinho (1997), é o índice que melhor representa a distribuição de gotas de uma precipitação.

Para fins de comparação dos dados obtidos com chuva simulada, Sobrinho (1997) cita Laws e Parsons, que estudando a relação entre o  $D_{50}$  (mm) e a intensidade de precipitação ( $I$  - mm/h) obtiveram:

$$D_{50} = 1,234I^{0,183} \quad (1)$$

Desde que as características da chuva natural foram determinadas, há várias décadas atrás, pesquisadores têm buscado um parâmetro, para indicar quão proximamente a chuva simulada atinge, às características importantes da chuva natural. O parâmetro mais utilizado tem sido a energia cinética da chuva, no impacto (Meyer, 1994). Para a física básica, a energia cinética, ou o parâmetro similar *momentum*, é um parâmetro muito importante. Para Eigel e

Moore (1983) o efeito do impacto das gotas, sobre a superfície do solo, é representado, matematicamente, pela energia cinética. Entretanto, segundo Meyer (1994), a energia cinética, isoladamente, não é um parâmetro adequado à comparação. A distribuição de tamanho de gotas e a velocidade de queda da chuva natural devem ser simuladas, o mais próximo da realidade possível. Um sacrifício apreciável de um para o outro é imprudente.

Várias equações, para se estimar a energia cinética das chuvas foram desenvolvidas, notadamente, nos Estados Unidos. Stillmunkes e James (1982) apresentam a seguinte equação:

$$E_{ca} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot L \cdot v^2 \quad (2)$$

Em que  $E_{ca}$  é a energia cinética por unidade de área ( $J/m^2$ );  $L$  é lâmina de água média aplicada (mm);  $\rho_a$  é massa específica da água ( $kg/m^3$ ) e  $v$  é a velocidade de impacto das gotas no solo (m/s).

Esta relação, por unidade de volume, fica:

$$E_{cv} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot v^2 \quad (3)$$

Em que  $E_{cv}$  é a energia cinética por unidade de volume ( $J/m^2 \cdot mm$ ).

Wischmeier e Smith (1958) estudando chuvas naturais, relacionam a energia cinética com a intensidade de precipitação:

$$E_c = 17,124 + 5,229 \log I \quad (4)$$

Em que  $E_c$  é a energia cinética ( $J/m^2 \cdot mm$ );  $I$  é a intensidade de precipitação (mm/h).

Um outro parâmetro importante para caracterização da chuva é a uniformidade da precipitação. Como um indicativo da variabilidade da lâmina de água aplicada sobre uma superfície, ela é expressa pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC):

$$CUC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}|}{ny} \right) 100 \quad (5)$$

Em que:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - %

$y_i$  = precipitação obtida no coletor de ordem  $i$  - mm

$\bar{y}$  = precipitação média dos coletores - mm

$n$  = número de coletores

Conhecendo-se os valores do tamanho de gota, da energia cinética e da uniformidade de precipitação de determinado simulador de chuvas é possível verificar se estas características aproximam-se das características de uma chuva natural, que se deseja simular.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Campus da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são: 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste (GrW). O clima da região é temperado suave (mesotérmico), tipo Cwb, pela classificação climática de Köppen. Conforme registros pluviométricos, a região apresenta uma precipitação média anual de 1493,2 mm, com maior concentração no período de novembro a fevereiro. A temperatura média anual é de 19,3°C e a umidade relativa média do ar é de 80% (Castro Neto e Silveira, 1981).

O solo da área experimental é classificado, conforme Rocha (1982), como Latossolo Roxo distrófico (LRd) horizonte A profundo, textura argilosa, com relevo suave. Apesar do alto teor de argila, este solo tem elevada capacidade de infiltração de água, devido a estrutura granular do mesmo.

Para a caracterização do solo, onde procederam-se os testes de campo, foram feitas as seguintes análises: (a) análise granulométrica, através de ensaios de peneiramento e sedimentação; (b) ensaios para determinação da densidade de partículas e densidade do solo; (c) curva característica do solo; e (d) porosidade total, realizadas para a camada superficial de 0-15 cm.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Física de Solos, do Departamento de Ciências do Solo, da UFLA e se encontram no Anexo A.

Vale ressaltar que o presente estudo constituiu-se de duas fases, sendo a primeira no laboratório, onde foram feitas avaliações do simulador de chuvas e uma outra fase no campo, para avaliação de perdas de solo e água.

### **3.1 Avaliações de laboratório**

#### **3.1.1 Testes de calibração do simulador de chuvas**

O simulador de chuvas utilizado, desenvolvido por Costa (1996) é do tipo linear, que trabalha fixo. Ele é composto por 2 barras de 38,1 mm de diâmetro, de comprimento 6 m, unidas por um "T", dando um comprimento total de 12 m, equipados com 24 bocais da marca Fabrimar com espaçamentos de 0,5 m. Os bocais são precedidos de uma válvula reguladora de pressão, com a finalidade de proporcionar uma melhor uniformidade de distribuição da pressão, ao longo dos braços do simulador. As barras encontram-se montadas sobre uma estrutura, a qual permite a variação de altura dos braços do simulador. Presa a esta estrutura

se encontram as rodas, as quais permitem o seu deslocamento sobre parcelas experimentais e o seu transporte (Figura 1).

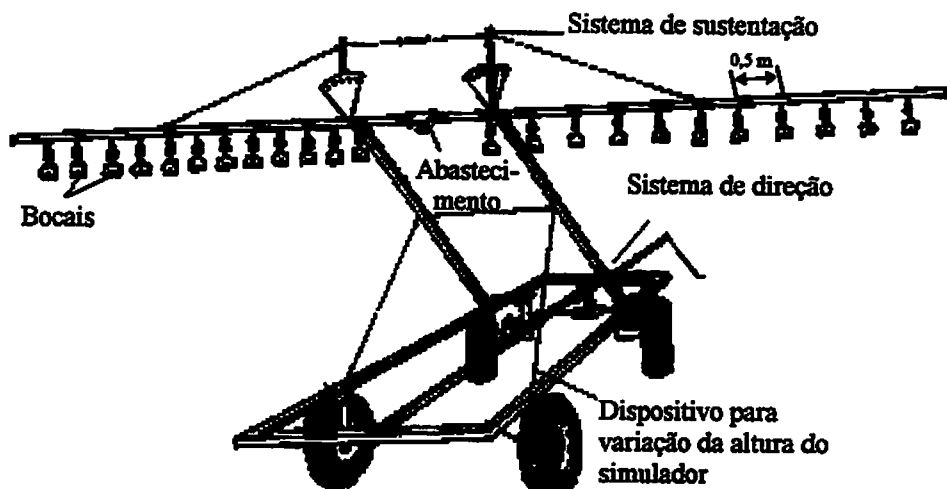


FIGURA 1 - Simulador de chuvas linear (Figura adaptada de Costa (1996))

O simulador foi ensaiado no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Lavras. De encontro às sugestões colocadas por Costa (1996) e visando a melhoria das características da chuva, produzida pelo equipamento, foram substituídos os bocais e trabalhou-se com uma das possíveis alturas destes até o solo.

Para o estudo das características das chuvas produzidas pelo simulador procederam-se os seguintes testes: (a) vazão dos bocais; (b) uniformidade de distribuição da água, pelo simulador de chuvas; (c) distribuição do tamanho de gotas.

Os testes de vazão, de uniformidade de distribuição e de distribuição do tamanho de gotas foram realizados mediante as seguintes condições:

- utilização de bocais de diâmetro 3,2 mm, em substituição aos de 1,8 mm, utilizados anteriormente;
- ensaio com uma das possíveis alturas de trabalho do simulador: 2,3 m do solo (altura anterior: 1,8 m do solo).

A variação destes parâmetros visou buscar melhores condições de chuva: maior energia cinética, melhor uniformidade de distribuição e maiores diâmetros de gotas, do que àquelas encontradas por Costa (1996), apresentados na Tabela 1.

TABELA 1- Valores dos diâmetros medianos de gota ( $D_{50}$ ), velocidade de impacto ( $v$ ) e energia cinética ( $E_{cv}$ ) de gotas a diferentes distâncias do braço do simulador de chuvas, obtidas por Costa (1996).

Distância (m)	$D_{50}$ (mm)	$v$ (m/s)	$E_{cv}$ (kJ/ha.mm)
0,5	0,726	3,399	57,77
1	0,786	3,533	62,41
2	0,897	3,756	70,54
3	1,216	4,252	90,40

### 3.1.1.1 Calibração dos bocais

A calibração dos bocais se fez necessária, para que fosse conseguida uma uniformidade de vazão nos braços do simulador. Os bocais foram numerados de 1 a 24 e foram feitos testes de vazão, em todos eles individualmente. Estes foram colocados em uma linha de alimentação, com o suprimento de água através de uma bomba, instalada em um reservatório. A pressão foi controlada através de um registro e medida com um manômetro de bourbon, mantendo-se constante, em

240 kPa. Os volumes foram coletados em um balde, durante 30 segundos e pesados em balança eletrônica, obtendo-se assim, a vazão de cada um deles. A cada teste, com um bocal, um tubo de pitot, com um manômetro de bourbon adaptado a ele, era introduzido no bocal para se verificar a pressão de saída da água, após sua passagem pela válvula reguladora. Com os dados de vazão obtidos, analisou-se o coeficiente de variação de fabricação (CVF), através da seguinte fórmula (ASAE, 1994):

$$CVF = \frac{s}{q_m}; \quad s = \text{desvio padrão} \quad \text{e} \quad q_m = \text{vazão média} \left( \frac{\sum q_i}{n} \right) \text{ (m}^3\text{/h)}.$$

Sendo:

$$s = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Em que:  $q_i$  = vazão de cada bocal ( $\text{m}^3\text{/h}$ ) e  $n$  = número de bocais testados.

Após os testes de vazão, os bocais foram distribuídos, ao longo dos braços do simulador, de modo que se conseguisse um bom balanceamento das vazões, nos dois braços do aparelho.

### 3.1.1.2 Uniformidade de distribuição da água do simulador

A uniformidade de distribuição da água do simulador foi obtida, ensaiando-se o equipamento sobre uma superfície plana e gramada, próxima ao Laboratório de Hidráulica.

Para tal, montou-se uma linha de abastecimento, que contava com tubos de 50,8 mm de diâmetro, na qual a água era bombeada de um reservatório de 5000 litros. Para o controle da pressão de serviço, utilizou-se um manômetro de bourbon, precedido de um registro e de um filtro de disco, colocados na

tubulação. Um outro manômetro foi colocado na extremidade de um dos braços do simulador, para que fosse verificada a perda de pressão ao longo deste. Para avaliar a distribuição de água no simulador, colocaram-se coletores de 8 cm de diâmetro, à distância de 1 m entre si, na extensão dos braços do simulador.

Os quatro quadrantes do simulador de chuvas, foram chamados de Q1, Q2, Q3 e Q4, conforme mostra a Figura 2.

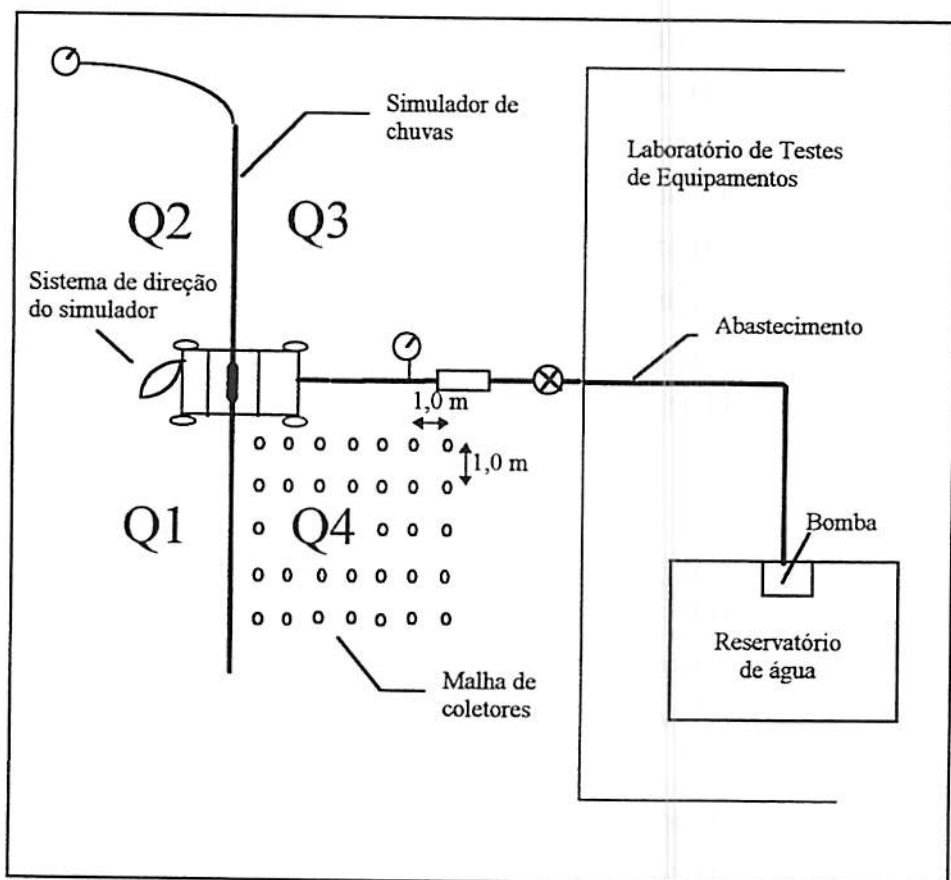


FIGURA 2 - Esquema experimental dos testes de uniformidade de distribuição de água





O teste foi iniciado, quando a pressão apresentou-se estabilizada, no valor necessário (240 kPa). Durante o teste, de 30 minutos, foram realizadas leituras em um anemômetro, para quantificar a velocidade do vento, quantificação esta necessária, para que o perfil de distribuição não fosse descaracterizado. Ao término dos 30 minutos, os volumes precipitados foram lidos e registrados para posterior análise dos dados. A uniformidade de distribuição foi determinada pela fórmula de Christiansen (Equação 5), mediante simulações de espaçamento do braço do simulador, para parcelas de 3x1 m, para se verificar em qual posição de distância do simulador se obteria uma melhor uniformidade.

Com isso, locaram-se nos 4 quadrantes do simulador, as 4 parcelas necessárias para os testes de campo, adotada como 3x1 m, com os melhores Coeficiente de Uniformidade de Christiansen obtidos.

Com esta localização procederam-se a novos testes de uniformidade, semelhante ao anterior, porém com os coletores espaçados de 0,5 m, para verificar a uniformidade de distribuição dentro da parcela experimental.

### 3.1.1.3 Diâmetro de gotas

Para se conhecer os diâmetros de gotas da chuva produzida pelo simulador, com as novas condições de bocal e altura, realizaram-se testes no gramado do Laboratório de Hidráulica, fazendo-se uso, para tal, do método da farinha.

Após a definição da localização das parcelas experimentais pelo teste de uniformidade, foi realizada a avaliação do diâmetro de gotas: três bandejas de 25 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura, contendo farinha de trigo, previamente preparadas, isto é, secas em estufa (a 105-110°C) e peneiradas (em peneira de 35 mesh) foram posicionadas dentro do local das parcelas experimentais, a 1, 2 e

3 m do carrinho do simulador, no sentido do braço deste, conforme Figura 3, e distantes 2,3 m dos bocais do equipamento.

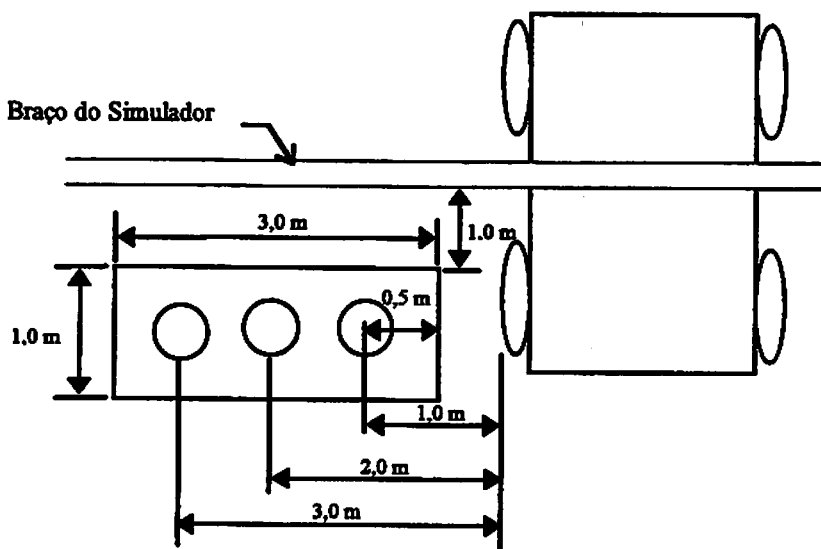


FIGURA 3 - Esquema experimental para determinação do diâmetro de gotas

Com o simulador em funcionamento e com a pressão estabilizada, as bandejas, que se encontravam cobertas, foram expostas à precipitação por um curto período de tempo (aproximadamente 2 segundos). Após esta exposição, as bandejas foram deixadas ao ar livre, por 20 minutos, sendo em seguida, levadas para estufa, a  $105-110^{\circ}$  C, por um período de 24 h. Após, procedeu-se ao peneiramento da farinha, em peneiras de tamanhos: 4, 7, 9, 10, 14, 16, 20, 28 e 35 mesh. Os grânulos foram separados, contados e pesados em uma balança de precisão.

Para cada quadrante do simulador, foi realizado um teste similar ao descrito, para caracterizarem-se as gotas em cada parcela.

De posse dos pesos médios obtidos, em cada parcela, chegaram-se aos diâmetros de gotas produzidos pelo simulador, utilizando-se da equação obtida por Oliveira *et al.* (1992).

$$D = 1,257.M^{0,353} \quad (6)$$

Em que D é o diâmetro da gota, em mm

M é a massa média dos grânulos, em mg.

Com os dados de diâmetros de gota, foi possível calcular os valores de velocidade de impacto destas, no solo, através de um programa feito em linguagem Pascal, por Pereira (1995) e a energia cinética das mesmas pela Equação 3. O chamado diâmetro mediano volumétrico ( $D_{50}$ ), que é o valor em que 50% do volume de gotas possui diâmetro superior e 50% possui diâmetro inferior a tal tamanho, tem a metodologia de cálculo explicada no Anexo A.

### 3.2 Avaliações de campo

Para os estudos de campo, as seguintes etapas se fizeram necessárias:

#### 3.2.1 Locação das parcelas experimentais

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados - DBC, com 4 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos corresponderam à utilização de resíduos culturais de milho, uniformemente distribuídos nas parcelas, como única fonte de variação do experimento, mais a testemunha - solo nu. As parcelas de tamanho 3x1 m ficaram posicionadas, a 0,5 m das rodas do simulador e a 1,0 m do braço, posições estas definidas pelo teste de uniformidade. Os tratamentos utilizados foram: T1 - solo nu; T2 - 3000 kg/ha; T3 - 6000 kg/ha; T4 - 9000 kg/ha de resíduos culturais de milho respectivamente.

As parcelas foram devidamente delimitadas, por divisórias feitas de chapas de aço de 25 cm de altura, dos quais, cerca de 10 cm foram cravados no solo. Para permitir a coleta do escoamento superficial gerado dentro destes limites, foi feito na parte frontal das divisórias, um corte de 10 cm e uma dobra, de modo que ao ser cravada, a superfície do solo coincidiu com esta dobra, permitindo que a enxurrada passasse e fosse coletada por um sistema de calha, conforme Figura 4.

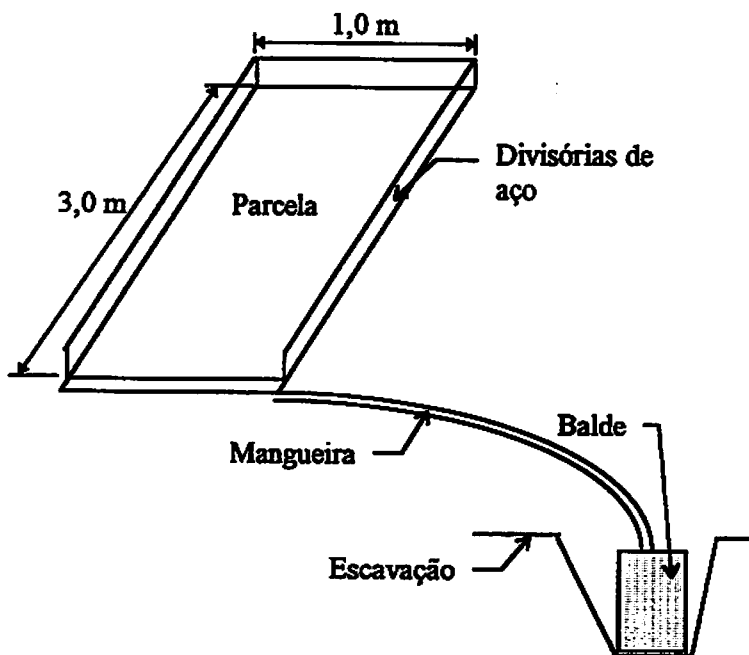


FIGURA 4 - Esquema da parcela e do sistema de coleta do escoamento

### 3.2.2 Preparo da área experimental para o início dos testes

Procurando-se simular as condições de pós-colheita, o solo utilizado no experimento não foi submetido ao preparo periódico, recebendo apenas a cobertura de proteção, com os resíduos culturais. O solo, que apresenta declividade média em torno de 5% teve como última cultura implantada o milho, que foi colhido antes do período dos testes. Os resíduos culturais foram coletados, pesados e armazenados em sacos, para posterior distribuição.

Com as parcelas delimitadas em campo, a superfície do solo foi acertada com uma enxada, para evitar qualquer desuniformidade entre as parcelas e reduzir a rugosidade superficial. Os resíduos culturais foram, então, distribuídos na quantidade correspondente a cada parcela, obedecendo a casualidade estatística, conforme a Figura 5, em que: B são os blocos experimentais; Q são os quadrantes do simulador e T são os tratamentos utilizados.

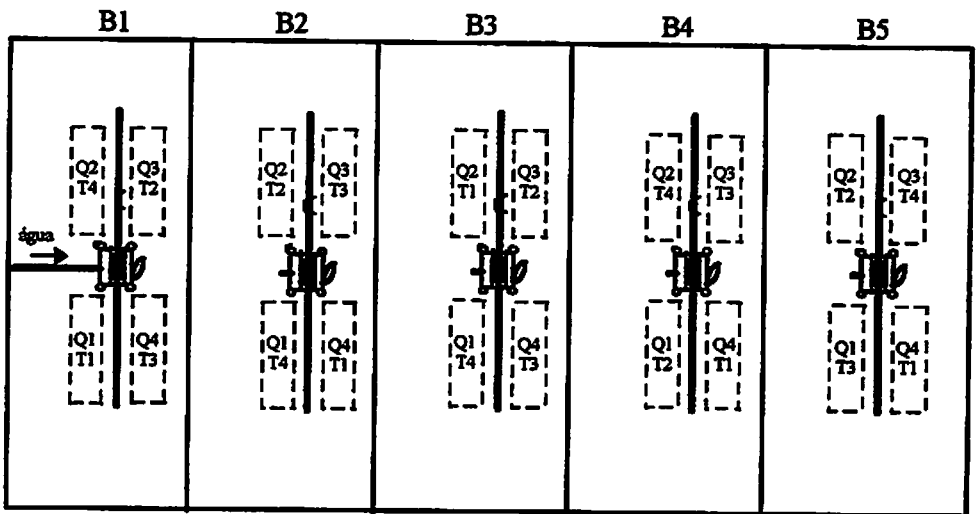


FIGURA 5 - Croqui da área experimental identificando blocos e parcelas

Para que os testes fossem iniciados, estipulou-se que a umidade inicial do solo deveria atingir o valor da capacidade de campo. Pelos dados da curva característica do solo (Tabela 2A - Anexo A), o valor é de 0,361 g/g, estimado para a tensão de 10 kPa, tensão esta estipulada para a capacidade de campo, de acordo com Freire (1975). Para tal controle fez-se uso de tensiômetros. No centro de cada parcela, foi colocado a 15 cm de profundidade, um tensiômetro para se realizar a leitura dos valores necessários, para se atingir o valor da umidade inicial do teste. Para se atingir esta umidade foi feito um acompanhamento anterior, adicionando-se, uniformemente com regador, água ao perfil do solo até que se atingisse a umidade desejada. Para a confirmação da umidade inicial do solo foram coletadas amostras, com um trado, antes de se iniciarem os testes.

Para que o impacto das gotas de alguma chuva, que pudesse vir a ocorrer entre a realização dos testes, não selasse a superfície do solo, foram utilizadas lonas plásticas sobre as parcelas, nesses períodos.

Os tubos da linha de alimentação de água para o simulador, nos testes de campo, tinham um registro, um manômetro de bourdon e um filtro de discos para a filtragem da água.

Para se monitorar a incidência de ventos nas áreas experimentais, foi utilizado um anemômetro manual. Ao redor de cada uma das parcelas experimentais, foram colocados 8 coletores, de 8 cm de diâmetro, para medir o total precipitado. Tal procedimento possibilitou determinar a intensidade de precipitação e as prováveis variações, nas intensidades, no decorrer do teste. Também foram colocados na área experimental, em todos os testes, coletores (evaporímetros), para se determinar a evaporação de água.

### 3.2.3 Perdas de água e solo

O simulador de chuvas foi posicionado sobre as parcelas, mantendo-se sempre a mesma altura em relação à superfície do solo, a fim de se obter a mesma energia incidindo sobre as parcelas. Para tal, foram utilizados dois suportes verticais, nas extremidades dos tubos, para auxiliar o cabo de aço de sustentação. Para evitar a variação da uniformidade de distribuição da chuva, as mesmas distâncias dos testes de uniformidade foram obedecidas, para que os CUC's não viessem a se alterar.

Com o simulador em pleno funcionamento e com pressão de entrada em 240 kPa, foram realizados os testes. A intervalos de tempo de 3 em 3 minutos, para uma chuva de 1 hora, foram coletados os volumes escoados das parcelas. Para isso, calhas foram instaladas à jusante das parcelas e abaixo da superfície do terreno, para que o volume escoado fosse coletado. Para captar a vazão efluente dessa calha, uma mangueira transparente, foi conectada à saída da mesma. Esta mangueira foi levada até um local, de cota inferior, onde foi feito um buraco para permitir a colocação dos baldes de coleta do material escoado. Assim, as medidas do escoamento superficial foram feitas de forma direta de leitura, de volume e tempo (Figura 4).

De cada volume coletado foi feita uma homogeneização da mistura (água + solo), de onde se retirou uma amostra de volume desconhecido, acondicionada em frascos de vidro. Em laboratório, essas amostras foram pesadas. Decorridas 24 horas de repouso, foi drenado o excesso de água e a amostra restante foi levada à estufa (a 105-110°C) por 48 horas, onde foi novamente pesada após esse tempo. De posse do peso inicial e do peso final daquele volume levado ao laboratório e da tara do recipiente conheceu-se o volume coletado. A perda de solo foi calculada para esse volume coletado e extrapolada para o volume total coletado nas parcelas e também para a área de um hectare.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliações de laboratório

#### 4.1.1 Calibração dos bocais

Os resultados da calibração dos bocais estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Vazão e pressão dos bocais de 3,2 mm do simulador

Bocal	Vazão (m <sup>3</sup> /h) <sup>1</sup>	Pressão de saída (kPa) <sup>1</sup>
1	0,454	137,9
2	0,467	144,8
3	0,453	137,9
4	0,462	137,9
5	0,476	137,9
6	0,483	151,7
7	0,475	137,9
8	0,464	137,9
9	0,464	137,9
10	0,477	137,9
11	0,468	137,9
12	0,473	144,8
13	0,476	137,9
14	0,456	131,0
15	0,470	131,0
16	0,472	137,9
17	0,463	137,9
18	0,457	137,9
19	0,473	137,9
20	0,469	137,9
21	0,466	137,9
22	0,470	131,0
23	0,474	137,9
24	0,460	137,9

<sup>1</sup> Média de três repetições

CVF = 1,69 %



Pela Tabela 2, a vazão média dos bocais é de 0,468 m<sup>3</sup>/h. Costa (1996) obteve como vazão total do simulador, 5,04 m<sup>3</sup>/h, utilizando bocais de 1,8 mm. Para os bocais de 3,2 mm, a vazão total do simulador foi de 11,2 m<sup>3</sup>/h, mais do que o dobro, porém abaixo dos valores, por exemplo, do simulador de Swanson (em torno de 20,0 m<sup>3</sup>/h).

De posse dos valores das vazões individuais distribuíram-se os bocais de forma a dividir igualmente a vazão de 11,2 m<sup>3</sup>/h, entre os dois braços do simulador. O Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF) obtido é tido como excelente.

A pressão média dos bocais ficou em 138 kPa, valor abaixo da pressão de entrada dos testes (240 kPa). Este teste foi realizado para comprovar a uniformidade de regulação da pressão, confirmando as informações disponíveis para a válvula reguladora de pressão.

#### **4.1.2 Uniformidade de distribuição da água do simulador de chuvas**

A uniformidade de distribuição da água, nos limites das parcelas experimentais de 3x1 m, locadas a 0,5 m das rodas laterais do simulador e a 1,0 m do braço do mesmo, calculada pela fórmula de Christiansen, (Equação 5) ficou em 82%, nos quatro quadrantes ensaiados. Embora não se tenha realizado comparação estatística, esse valor encontra-se ligeiramente superior ao encontrado por Costa (1996), que foi de 80%, e também de outros tipos de simuladores existentes, como o de discos rotativos (Pall *et al.*, citados por Costa, 1996). O valor do CUC encontra-se abaixo, mas próximo aos simuladores de Kentucky e de Swanson e também ao desenvolvido por Sobrinho (1997).

Os valores encontrados para as intensidades de precipitação, embora sem análise estatística, foram bem próximos para os diferentes quadrantes do

simulador. Estes valores, para os ensaios de laboratório e de campo, estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - Valores médios da Intensidade de Precipitação (IP) para os Quadrantes (Q) do Simulador de Chuvas.

Quadrante	IP (mm/h) - campo*	IP (mm/h) - laboratório**
Q1	161,9	174,0
Q2	151,4	158,7
Q3	159,1	171,3
Q4	158,7	162,1
Média	157,8	166,5

\* média de 5 repetições

\*\* média de 3 repetições

Pela Tabela 3, verificam-se que os valores da intensidade de precipitação (IP), encontrados para o campo, foram inferiores aos obtidos em laboratório, o que pode ser explicado pela metodologia de coleta dos dados. Para os testes de campo apenas 8 coletores foram utilizados, número inferior aos 21 coletores utilizados nos testes de laboratório.

A IP média, utilizada nos testes de campo, foi de 157,8 mm/h, valor este considerado alto para simuladores de chuva, os quais são encontrados com precipitação média em torno de 65 mm/h. Hudson (1981), em estudos na África, mostra que o valor de 25 mm/h já é capaz de causar erosão.

A intensidade encontrada veio compensar o reduzido valor do diâmetro mediano volumétrico de gotas ( $D_{50}$ ), encontrado para o simulador, uma vez que, contrastando com as afirmações de que o diâmetro de gota e a sua conseqüente energia são os fatores primordiais, no processo erosivo, Bertoni e Lombardi Neto

(1990) dizem que a intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão.

Em face desta afirmação, decidiu-se levar a campo o simulador com essa intensidade de chuva, na tentativa de obscurecer o fato de ter-se encontrado gotas de tamanho inferior ao esperado.

#### 4.1.3 Diâmetro de gotas, velocidade de impacto e energia cinética

Os resultados de diâmetro mediano volumétrico de gotas, obtidos através do método da farinha, velocidade de impacto, calculado pelo programa de Pereira (1995) e energia cinética para a chuva, obtida pela Equação (3), produzida pelo simulador de chuvas, para as condições dos testes, encontram-se na Tabela 4.

TABELA 4 - Valores de diâmetro mediano volumétrico de gotas ( $D_{50}$ ), velocidade de impacto ( $v$ ) e energia cinética ( $E_{cv}$ ), para o simulador de chuvas.

Quadrante	$D_{50}$ (mm)	$v$ (m/s)	$E_{cv}$ (kJ/ha.mm)
Q1	1,21	4,43	98,12
Q2	1,41	4,80	115,20
Q3	1,17	4,36	95,05
Q4	1,46	4,90	120,05
Média	1,31	4,62	107,11

Costa (1996) trabalhando com bocal de 1,8 mm e altura do solo de 1,8 m, encontrou um  $D_{50}$  de 0,84 mm, nas parcelas trabalhadas, localizadas a 0,75 m do braço do simulador e 0,75 m das rodas laterais do mesmo. Nota-se pelos valores da Tabela 4, que houve uma sensível melhora nos resultados (na média 1,31 mm),

porém ficando ainda longe das características de uma chuva natural, que de acordo com a Equação (1), para a intensidade encontrada no simulador, o seu  $D_{50}$  deveria ser de 3,11 mm. Esses valores encontrados para o  $D_{50}$ , justificam-se pela alta pulverização do jato, produzida pelos bocais, bem visíveis durante os testes. Tal fato poderia ter sido modificado se outras pressões de serviço e outros diâmetros de bocais tivessem sido utilizados nos testes, situação que não se buscou no presente trabalho.

A energia cinética, outra característica importante para a chuva produzida pelo simulador, também teve seu valor aumentado, com relação ao trabalho de Costa (1996), que foi de 66,43 kJ/ha.mm. No entanto, ainda fica a desejar, com relação à chuva natural e a outros simuladores de chuva. Roth, Henklain e Farias (1985), em estudos no Norte do Paraná, encontraram para chuvas naturais de 60 mm/h, uma energia cinética de 292,3 kJ/ha.mm. Já pela Equação (4) a Energia Cinética ( $E_{cv}$ ), na intensidade média do simulador de 157,8 mm/h, deveria ser 286,18 kJ/ha.mm. Em sua média,  $E_{cv}$ , para o simulador, foi de 107,11 kJ/ha.mm (Tabela 4).

Sabe-se que as gotas têm seus tamanhos relacionados a uma combinação de diâmetro de bocal e pressão. Para um mesmo diâmetro de bocal, o aumento na pressão pode resultar em maior número de gotas pequenas e vice e versa. Comparando os dados dos quadrantes Q2 e Q4 (Tabelas 3 e 4), nota-se uma menor intensidade de precipitação, com relação aos demais quadrantes, com conseqüente aumento no diâmetro de gotas e energia cinética. Apesar do uso de válvula reguladora de pressão, há indícios de uma possível variação desta, com conseqüente alteração nos parâmetros citados.

Para estudos com esse simulador de chuvas, deve-se procurar a variação de pressão, pois os valores utilizados são os indicados para irrigação por aspersão, onde deseja-se um diâmetro de gotas reduzido.

## 4.2 Avaliações de campo

Os dados obtidos para densidade do solo e umidade inicial dos testes encontram-se na Tabela 5.

TABELA 5 - Densidade (Ds) e umidade inicial (Ui) do solo (camada de 0-15 cm) para os tratamentos, nas repetições realizadas

Tratamento	Bloco	Ds (g/cm <sup>3</sup> )	Ui (g/g)
T1	B1	1,30	0,371
	B2	1,28	0,361
	B3	1,30	0,350
	B4	1,38	0,325
	B5	1,30	0,355
T2	B1	1,35	0,340
	B2	1,42	0,335
	B3	1,33	0,334
	B4	1,35	0,335
	B5	1,40	0,358
T3	B1	1,37	0,342
	B2	1,35	0,337
	B3	1,25	0,338
	B4	1,28	0,321
	B5	1,28	0,370
T4	B1	1,36	0,355
	B2	1,29	0,278
	B3	1,22	0,373
	B4	1,45	0,335
	B5	1,33	0,335

### 4.2.1 Cobertura do solo

A eficácia da proteção do solo pela cobertura morta utilizada, nesse tipo de experimento, depende da porcentagem da área coberta. Quanto mais uniforme a distribuição dos resíduos e maior a porcentagem de cobertura, maior será o controle da erosão.

Para se ter uma idéia da percentagem de cobertura do solo, nos diferentes tratamentos deste trabalho, utilizou-se a equação obtida por Lopes, Cogo e Levien (1987), cujos valores encontrados apresentam-se na Tabela 6.

**TABELA 6 - Quantidades de resíduos e correspondentes percentagem de cobertura do solo, obtidas pela equação de Lopes, Cogo e Levien (1987).**

<b>Tratamento</b>	<b>Resíduo (kg/ha)</b>	<b>Cobertura (%)</b>
T1	0	0
T2	3000	60,9
T3	6000	84,7
T4	9000	94,0

Observa-se pela Tabela 6 que pelo número reduzido de tratamentos (apenas quatro), do presente trabalho, ao se buscar valores equidistantes da quantidade de resíduos a serem utilizadas no experimento (0, 3000, 6000 e 9000 kg/ha), baseando-se em estudos realizados por Amado, Cogo e Levien (1989) e Carvalho, Cogo e Levien (1990), entre outros, acabou-se por não contemplar valores de cobertura do solo abaixo de 60%. Uma visualização de uma parcela coberta pelos resíduos, pode ser vista na Figura 6.



FIGURA 6 - Parcela com resíduos culturais (3000 kg/ha)

Deve-se considerar que a porcentagem de cobertura obtida foi para a condição inicial do experimento. Com a aplicação da chuva por 1 hora, provavelmente houve movimentação dos resíduos, pela ação da enxurrada, modificando esses valores.

Como a distribuição dos resíduos culturais de milho foi realizada manualmente e também por eles serem constituídos de materiais diferentes, como pedaços de colmo e palha da espiga de milho, provavelmente aconteceram diferenças na porcentagem de cobertura de uma repetição para a outra.

#### **4.2.2 Início de escoamento**

Com relação ao tempo de início do escoamento, para os diferentes tratamentos, não foi verificada tendência de diminuição deste tempo, entre os tratamentos, em função do aumento da percentagem de cobertura do solo, conforme relatam Carvalho, Cogo e Levien (1990). Não foi encontrada nenhuma tendência explícita, sendo constatados, desde 7 minutos a até 30 minutos para o início de escoamento dentro de um mesmo tratamento.

A explicação para tal ocorrência, pode ser o fato das parcelas não terem sido preparadas antes de receber a cobertura morta, como em outros experimentos aqui relatados, o que deve ter influenciado nos resultados de início de escoamento e, conseqüentemente, nos valores de perda de solo e água, que serão, posteriormente, comentados. Caso haja prosseguimento e interesse nesses estudos essa comparação pode vir a ser realizada, assim como utilização de resíduos de outras culturas, pois, provavelmente, irão dar valores de cobertura do solo e de tempo de início de escoamento diferentes.

#### **4.2.3 Perdas de água e solo**

A coleta do material escoado das parcelas experimentais, permitiu a obtenção das perdas de água e de solo durante as chuvas simuladas.

As Figuras 7 e 8, mostram, respectivamente, a quantidade de água, em mm e de solo, em kg/ha, carregadas nas respectivas repetições.



A análise da Figura 7, mostra que as maiores perdas de água foram obtidas para as parcelas sem cobertura de solo. A perda de água menor, para as maiores percentagens de cobertura, deve-se ao fato do volume de água

FIGURA 8 - Perdas totais de solo para os 4 tratamentos de cobertura

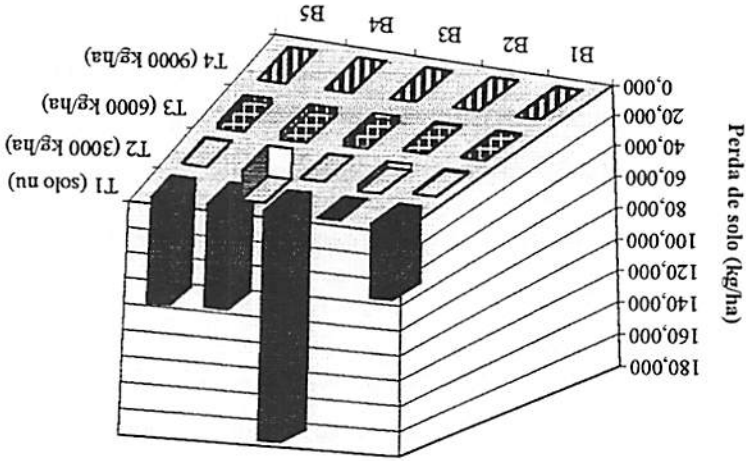
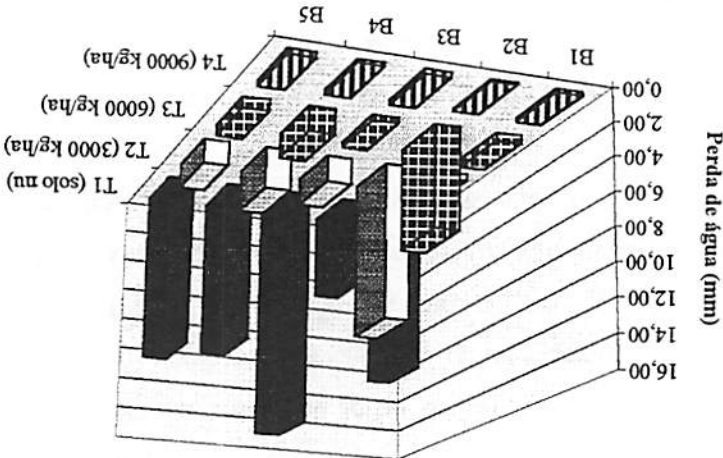


FIGURA 7 - Perdas totais de água para os 4 tratamentos de cobertura



permanecer mais tempo retido nos resíduos, retardando a velocidade de escoamento e facilitando a infiltração, fatos estes concordantes com Carvalho, Cogo e Levien (1990).

Comparando as Figuras 7 e 8, nota-se que de modo geral, não houve com o aumento do volume escoado, aumento da perda de solo, o que também foi observado por Zuzel e Pikul (1993).

Na Figura 8, observa-se que o solo sem cobertura, apresentou grandes variações na perda de solo. Como já foi mencionado anteriormente, a área permaneceu em pousio, por 6 meses e não recebeu nenhum tipo de preparo periódico antes do início do experimento, o que pode ter levado a diferenças nos resultados encontrados. Uma possível influência das densidades do solo e da umidade inicial de uma repetição para a outra, sobre os valores encontrados, não fica explícita, pela análise da Tabela 5, onde verifica-se a pouca variabilidade desses dados, que poderiam ter influenciado nos valores de perda de solo.

Lopes, Cogo e Levien (1987), constataram para uma mesma condição, perdas de solo, em torno de 35000 kg/ha, valor bem superior ao maior valor encontrado para esse trabalho, cerca de 180 kg/ha. Com relação aos trabalhos de Lopes, Cogo e Levien (1987), Carvalho, Cogo e Levien (1990), onde o solo recebeu preparo periódico e de Távora *et al.* (1985), entre outros, onde o preparo do solo foi realizado a favor do declive, o que facilitou as perdas - o presente estudo apresenta-se com valores bastante inferiores. Diante do exposto, pode-se dizer que as demais perdas encontradas (para as parcelas com cobertura) são bastante insignificantes, comportamento decorrente da capacidade, que os restos culturais apresentam em reter os sedimentos transportados pelo fluxo (Bertol, Cogo e Levien, 1989).

As perdas de solo obtidas com a cobertura de resíduo de milho foram muito baixas e bastante homogêneas, denotando a eficiência da cobertura, no controle das perdas de solo por erosão.

Em termos percentuais, a quantidade total de solo perdido, para cada tratamento, pode ser representado pela Figura 9.

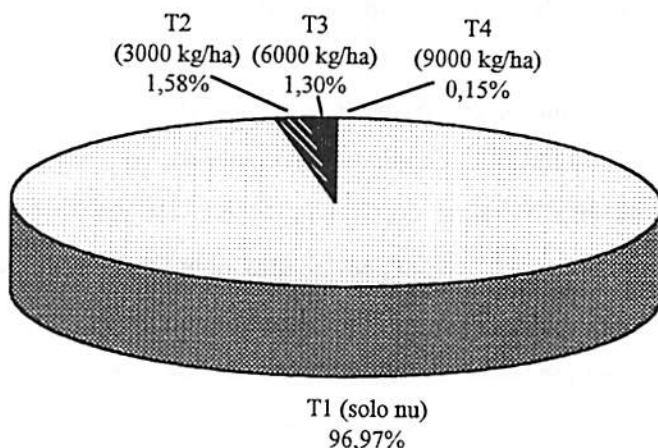


FIGURA 9 - Perdas relativas de solo (%), em função do tratamento utilizado.

O solo sem cobertura (T1) foi responsável por quase 97% das perdas totais de solo, evidenciando-se a eficácia da proteção do solo pelos resíduos culturais de milho, que reduziram as perdas de solo a níveis baixos, sendo que o solo, com percentagem de cobertura de 94% (T4), teve reduzidas as perdas nas condições do experimento a quase zero.

As análises de variância dos dados relativos às perdas de solo e às perdas de água (Tabela 4A - Anexo A) são apresentadas nas Tabelas 7 e 8.

**TABELA 7 - Análise de variância para as perdas de solo, nos testes de chuva simulada, sob diferentes níveis de cobertura de resíduos de milho, para o estudo da regressão**

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	4	4228,85	1057,21	0,9996 (NS)
Cobertura	3	22656,06	7552,02	7,14**
Resíduo	12	12691,82	1057,65	
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>39576,73</b>		

NS - Não significativo

\*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

CV = 47,51%

**TABELA 8 - Análise de variância para as perdas de água, nos testes de chuva simulada, sob diferentes níveis de cobertura de resíduos de milho, para o estudo da regressão**

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	4	15,02	3,76	0,380 (NS)
Cobertura	3	309,75	103,25	10,43**
Resíduo	12	118,79	9,90	
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>443,56</b>		

NS - Não significativo

\*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

CV = 2,49%

Observa-se, pelas Tabelas 7 e 8, que pelo teste de F, a percentagem de cobertura foi altamente significativa (1% de significância), para ambos os parâmetros estudados. Como a percentagem de cobertura, perda de solo e perda de água são variáveis quantitativas, implica-se, estatisticamente, numa análise de

regressão, que representa a relação funcional entre as perdas de solo e água e a quantidade de resíduos. As Figuras 10 e 11 apresentam as equações encontradas para as condições do experimento, em que E, é a quantidade de solo, ou de água perdidos em kg/ha e mm, respectivamente e x, a quantidade de resíduos de milho em kg/ha.

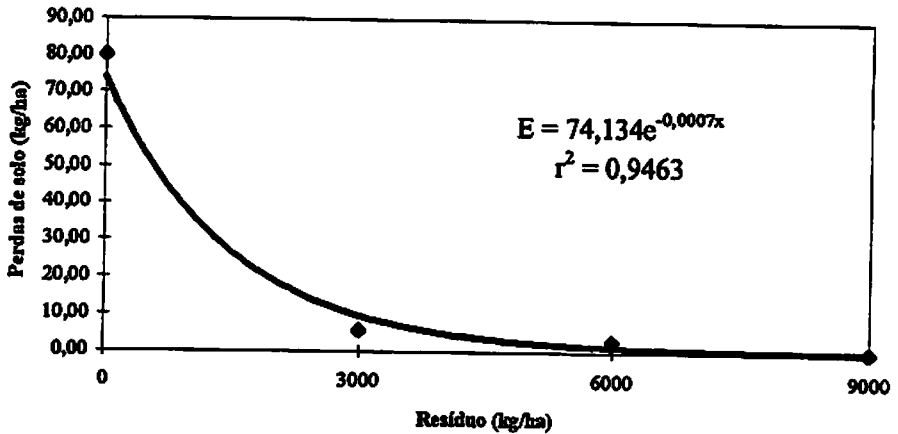


FIGURA 10 - Relação entre as perdas totais de solo (média de 5 repetições) e a quantidade de resíduo sobre o solo

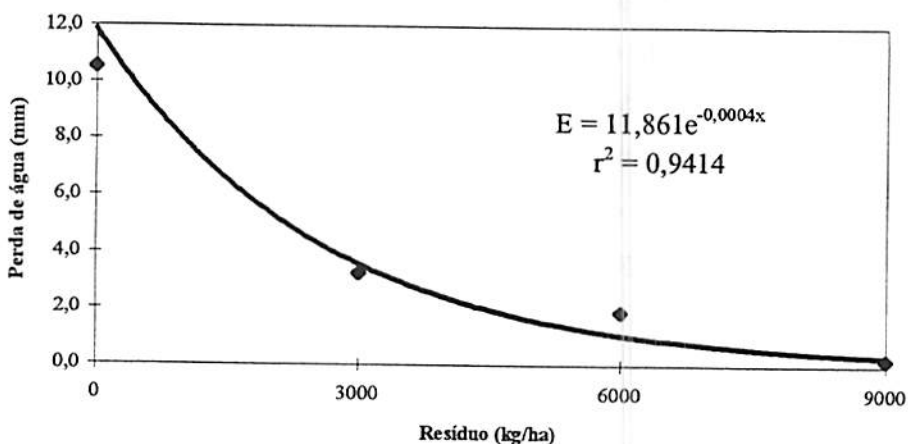



FIGURA 11 - Relação entre as perdas totais de água (média de 5 repetições) e a quantidade de resíduo sobre o solo

A análise de regressão entre a quantidade de resíduos, a de solo e água perdidos por erosão mostrou que as equações, que melhor se ajustam aos dados são do tipo exponencial, como se pode ver pelas Figuras 10 e 11. Este tipo de ajuste foi a mesmo encontrado por outros autores, entre eles Lombardi Neto *et al.* (1988).

A eficácia da cobertura superficial, por resíduos culturais de milho, na redução acentuada, da perda de solo por erosão, já no primeiro tratamento de 3000 kg/ha, deve-se à proteção proporcionada contra o impacto direto das gotas da chuva, a qual diminui a desagregação e à barreira física criada, o que impede o livre escoamento da água, reduzindo a velocidade da enxurrada, que é a responsável pela desagregação e transporte dos sedimentos.

A análise do coeficiente de x, nas equações, que se encontram nas Figuras 10 e 11 representa, segundo Lombardi Neto *et al.* (1988), a taxa de variação da quantidade de solo, ou de água com relação a quantidade de resíduo.



O valor do coeficiente de  $x$ , da equação de perdas de solo (Figura 10), indica uma maior taxa de redução de perdas, por unidade de resíduo acrescentado, do que o valor do coeficiente de  $x$ , na equação de perdas de água (Figura 11). Isto demonstra maior controle nas perdas de solo do que de água. Segundo Singer e Blackard (1978), isto ocorre, porque a cobertura morta tem maior efeito, na diminuição da desagregação do solo, do que no controle do volume da enxurrada.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitem as seguintes conclusões:

- As características da chuva encontradas neste estudo apresentaram uma melhoria, com relação às características obtidas por Costa (1996), no que tange ao diâmetro de gotas e energia cinética;
- Houve diferenças entre as intensidades de precipitação e conseqüente diâmetro de gotas e energia cinética, entre os quadrantes do simulador, indicando que pode ter havido diferenças de pressão;
- A cobertura do solo, com resíduos culturais de milho, reduziu as perdas de solo, sendo de 74,13 kg/ha para o solo nu e de 9,08 kg/ha, já no tratamento de 3000 kg de resíduos/ha, com redução de 87,75%. A influência da cobertura nas perdas de água foi menor. Para o solo nu, a lâmina perdida foi de 11,86 mm e para o tratamento de 3000 kg de resíduos/ha foi de 3,57 mm, com uma redução de 69,88%;
- A cobertura do solo, como manejo no controle da erosão, é um método eficaz e deve ter o seu uso incrementado pelos agricultores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T.J.C.; COGO, N.P; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 251-257, 1989.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEER - ASAE; EP405.1 DEC 93, *Design and Installation of Microirrigation Systems*, St.Joseph, 1994, p.724-727
- BAHIA, V.G.; CURI, N.; CARMO, D.N do; MARQUES, J.J.G.S e M. Fundamentos de erosão do solo - tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.
- BERTOL, I; COGO, N.P; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 13, n. 3, p.373-379, 1989.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BRITO, L.T.L. *Velocidades de infiltração determinadas por simulador de chuvas e por infiltrômetro de anel*. Viçosa: UFV. 1994. 43 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem).
- CARVALHO, F.L.C.; COGO, N.P; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 2, p. 227-234, 1990.
- CARVALHO, J. de A. *Tamanhos de gotas e uniformidade de distribuição de água de dois aspersores de média pressão*. Viçosa: UFV. 1991. 73 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem).



- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, S.V.** Precipitação provável para Lavras, Região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade Gama. I. Períodos Mensais. *Ciência e Prática, Lavras, v.5, n.2, p.144-151, jul/dez. 1981*
- COSTA, E.L.** Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para estudos de infiltração de água no solo. Lavras: UFLA. 1996. 78 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem).
- DEIZMAN, M.M.; MOSTAGHIMI, S.; SHANHOLTZ, V.O.; MITCHELL, J.K.** Size distribution of eroded sediment from two tillage systems. *Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 30, n.6, p. 1642-1647, 1987.*
- DICKEY, E.C.; SHELTON, D.P.; JASA, P.J.; PETERSON, T.R.** Soil erosion from tillage system used in soybean and corn residues. *Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 1124-1129, 1985.*
- EIGEL, J.D.; MOORE, I.D.** A simplified technique for measuring raindrop size and distribution. *Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 26, n. 4, p. 1079-1084, 1983.*
- FREIRE, J.C.** Retenção de umidade em perfil oxissol do município de Lavras, MG. Piracicaba: ESALQ. 1975. 76 p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1, Londrina, 1975. Primeiro... Londrina: EMBRAPA/IAPAR, 1975. 126 p.**
- HUDSON, N.W.** *Soil conservation.* 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 324 p.
- LIMA, P.M. de P.; BAHIA, V.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.** Princípios de erodibilidade do solo. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 38-43, 1992.*
- LOMBARDI NETO, F.; MARIA, I. C. de; CASTRO, O.M. de; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R.** Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 12, n. 1, p.71-75, 1988.*

- LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1987.
- McGREGOR, K.C.; MUTCHLER, C.K.; RÖMKENS, M.J.M. Effects of tillage with diferent crop residues on runoff soil loss. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 33, n. 5, p. 1551-1556, 1990.
- MESQUITA, M. da G. B. de F.; OLIVEIRA, G.C.; PEREIRA, J.C. Cobertura vegetal x erosão. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 57-61, 1992.
- MEYER, L.D. Rainfall simulators for soil erosion research. In: *Soil Erosion Research Methods*. LAL, R. Editor. Delray Beach: St. Lucie Press. 1994, p. 83-103.
- MEYER, L.D.; McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v. 10, n. 39, p. 644-648, 1958.
- MOORE, I.D.; LARSON, C.L. An infiltration - runoff model for cultivate soils. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 23, n. 6, p. 1460-1467, 1980.
- MORGAN, R.P.C. Effect of corn and soybean canopy on soil detachment by rainfall. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 1135-1140, 1985.
- OLIVEIRA, R.A; RAMOS, M.M; SOARES, A.A; DENÍCULI, W. Distribuição de gotas, por tamanho, de um aspersor fixo. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 1, n 12, p. 1-13, out. 1992.
- PEREIRA, G. M. Simulação das perdas de água por evaporação e da uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão. Viçosa: UFV, 1995. 109p. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem).
- ROCHA, G.C. Geologia, geomorfologia e pedologia de uma catena de solos situada no Campus da Escola Superior de Lavras, MG. Lavras: ESAL, 1982. 109p. (Dissertação de Mestrado/Solos e Nutrição de Plantas).

- ROTH, C.H.; HENKLAIN, J.C.; FARIAS, G.S.** Avaliação do tamanho de gotas de chuva natural e simulada para o norte do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 9, n. 2, p. 171-174, 1985.
- SAVABI, M.R.; STOTT, D.E.** Plant residue impact on rainfall interception. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, v. 37, n.4, p. 1093-1098, 1994.
- SINGER, M.J.; BLACKARD, J.** Effect of mulching on sediment in runoff from simulate rainfall. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 42, p. 107-110, 1978.
- SOBRINHO, T. A.** Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. Viçosa: UFV. 1997. 85 p. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem)
- STILLMUNKES, R.T.; JAMES, L.G** Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, v. 25, n. 1, p. 130-133, 1982.
- SWANSON, N.P.** Rotating-boom rainfall simulator. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, v. 1, n. 8, p. 71-72, 1965.
- TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.R.C.; HERNÁNDEZ, F.F.F.; SAUNDERS, L.C.U.; MOREIRA, E.G.S.** Perdas de água, solo e nutrientes em Latossolo Vermelho-amarelo distrófico de Ubajara (CE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 9, n. 1, p. 63-66, 1985.
- ZUZEL, J.F.; PIKUL, Jr, J.L.** Effects of straw mulch on runoff and erosion from small agricultural plots in Northeastern Oregon. *Soil Science, Baltimore*, v. 156, n. 2, p. 111-117, 1993.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.** Rainfall energy and its relationship to soil-loss. *Transactions of American Geophysical Union, Washington*, v.39, n.2, p. 285-291, 1958.

## ANEXOS

ANEXO A	Página
Tabela 1A - Resultados da análise física do Latossolo Roxo distrófico...	50
Tabela 2A - Dados da curva de retenção de umidade do Latossolo Roxo distrófico.....	50
Tabela 3A - Exemplo de cálculo para determinação do $D_{50}$ para a área das parcelas do simulador.....	50
Figura 1A - Determinação gráfica do $D_{50}$ para o quadrante Q1 do simulador.....	51
Tabela 4A - Perdas de solo e água, em função dos tratamentos utilizados.....	52

TABELA 1A - Resultados da análise física do Latossolo Roxo distrófico

Profundidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Dp (g/cm <sup>3</sup> )	VTP (%)
0-15 cm	9	31	60	3,00	56,38

TABELA 2A - Dados da curva de retenção de umidade do Latossolo Roxo distrófico

Tensão (kPa)	1500	500	300	100	33	10*	6
Umidade gravimétrica (g/g)	0,233	0,252	0,260	0,284	0,321	0,361	0,461

\* Valor estimado para a capacidade de campo

TABELA 3A - Exemplo de cálculo para determinação do D<sub>50</sub> para a área das parcelas do simulador.

peneira (mesh)	nº grânulos	peso (g)	peso méd. (mg)	diâmetro (mm)	V gota (mm <sup>3</sup> )	V total (mm <sup>3</sup> )	V percent. (%)	V acumulado (%)
4	0	0	0	-	-	-	-	-
7	2	0.035	17,50	3,45	21,55	43,09	0,40	100,00
9	279	0.670	2,40	1,71	2,63	733,69	6,82	99,60
10	723	1.519	2,10	1,63	2,28	1650,34	15,34	92,78
14	4121	4.739	1,15	1,32	1,21	4969,04	46,19	77,44
16	446	0.312	0,70	1,11	0,71	317,70	2,95	31,25
20	1764	0.882	0,50	0,98	0,50	880,47	8,18	28,30
28	8172	1.362	0,17	0,67	0,16	1274,30	11,84	20,12
35	8864	0.975	0,11	0,58	0,10	890,13	8,27	8,27
Total						10758,75	100,00	

1. O número de grânulos foi obtido por contagem dos grânulos, que ficaram retidos na peneira.
2. Utilizando-se a equação  $D = 1,257.M^{0,353}$ , obtida por Oliveira *et al.* (1992), calculou-se o diâmetro das gotas.
3. Em seguida, calculou-se o volume de cada gota (considerando-se estas como esferas) e o volume total das gotas retidas em cada peneira.
4. Logo após, foi calculado o percentual de cada total de gotas retidas, em cada peneira, dividindo-se o volume das gotas retidas, pelo volume total.
5. O diâmetro cujo volume aplicado tem 50% dos valores abaixo e acima deste valor, o chamado  $D_{50}$ , foi obtido por interpolação.

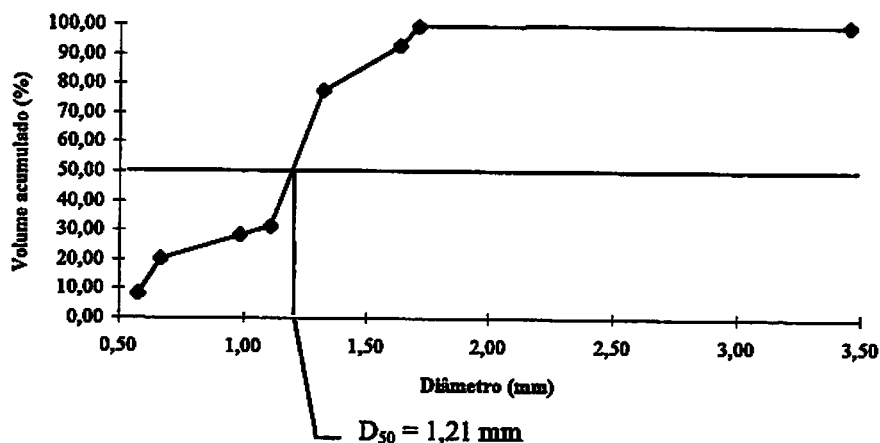


FIGURA 1A - Determinação gráfica do  $D_{50}$  para o quadrante Q1 do simulador

**TABELA 4A - Perdas de solo e água em função dos tratamentos utilizados.**

Tratamento	Blocos	Vol. Coletado (ml)	Perdas de água (mm)	Sólidos (g)	Perdas de solo (kg/ha)
T1 (solo nu)	B1	32956	10,99	18,02	60,067
	B2	16219	5,41	0,025	0,083
	B3	45775	15,26	53,67	178,900
	B4	30500	10,17	24,26	81,200
	B5	32488	10,83	24,62	82,067
T2 (3000 kg/ha)	B1	1321	0,44	0,294	0,980
	B2	29888	9,96	1,225	4,083
	B3	5015	1,67	0,092	0,307
	B4	7749	2,58	6,529	21,763
	B5	4527	1,51	0,1901	0,634
T3 (6000 kg/ha)	B1	1517	0,55	0,242	0,807
	B2	19080	6,36	0,429	1,430
	B3	905	0,30	1,106	3,687
	B4	4575	1,53	1,57	5,233
	B5	2082	0,69	1,045	3,483
T4 (9000 kg/ha)	B1	637	0,21	0,0275	0,092
	B2	353	0,11	0,0103	0,034
	B3	863	0,28	0,057	0,190
	B4	658	0,22	0,0372	0,124
	B5	955	0,32	0,0332	0,111