

Perdas de Água e Solo Utilizando Chuva Simulada em Diferentes Coberturas Superficiais e Condições de Umidade no Semiárido Paraibano

José Yure Gomes dos Santos, Celso Augusto Guimarães Santos

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental
joseyure@hotmail.com, celso@ct.ufpb.br

Richarde Marques da Silva

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Departamento de Geociências
richarde@geociencias.ufpb.br

Recebido: 06/10/11 – revisado: 16/11/11 – aceito: 24/05/12

RESUMO

O simulador de chuva é uma ferramenta valiosa para gerar informação rápida e satisfatória sobre infiltração, escoamento superficial e perdas de solo em diferentes condições, envolvendo baixo custo e tempo. Assim, este artigo tem como objetivo analisar as perdas de água e solo no semiárido paraibano, em diferentes coberturas superficiais e condições de umidade. O experimento foi desenvolvido em parcelas de erosão na Bacia Experimental de São João do Cariri, onde foram realizadas chuvas simuladas com intensidades médias de 53 mm/h, variando as condições de umidade do solo sob diferentes coberturas superficiais. As chuvas simuladas foram aplicadas sobre as seguintes coberturas: nativa, solo exposto, milho e feijão, variando da seguinte maneira: (a) condição seca (CS) com 60 min de duração; (b) condição úmida (CUM), realizada 24 h após o término da simulação na condição CS, com 30 min de duração; (c) condição muito úmida (CMU), iniciada 30 min após o término da simulação na CUM, com 30 min de duração. Os resultados mostraram que o escoamento superficial, em todos os tipos de cobertura do solo, aumentou de acordo com o aumento da umidade do solo e a produção de sedimentos foi maior na condição de CS. Os valores de perdas de água e solo nas condições CUM e CMU foram semelhantes em todos os tipos de cobertura superficiais estudadas. Os resultados mostraram que a cobertura nativa se mostrou mais eficiente na proteção do solo, com relação aos demais tipos de cobertura. As culturas de milho e feijão apresentaram os maiores valores de perdas de água e solo, inclusive superiores aos observados para o solo exposto.

Palavras-chave: Simulador de Chuva. Erosão dos Solos. Semiárido.

INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos e a erosão dos solos são um dos principais entraves naturais para o desenvolvimento da região semiárida do Brasil. Essa região se caracteriza por não possuir um período de chuvas regulares anualmente, além de sofrer com a ocorrência de eventos extremos, e é altamente vulnerável aos processos de desertificação, variabilidade climática e ao estresse social (MONTENEGRO; RAGAB, 2010). A pluviometria desta região, além de apresentar distribuição espacial e temporal irregular, influencia diretamente o escoamento superficial e produção de sedimentos, pois, os solos são pouco profundos e a cobertura vegetal é comumente rarefeita, predominantemente, do tipo caatinga, que favorece a ação dos processos erosivos no solo.

O ambiente natural do semiárido brasileiro é muito frágil, e para a sua preservação, a compreensão dos processos hidrossedimentológicos é muito importante, visto que a erosão agressiva do solo pode causar graves prejuízos à economia regional, e consequentemente, ao desenvolvimento da região.

A irregularidade pluviométrica, somada à fragilidade do solo, à declividade do terreno e à intensificação do uso do solo pela agricultura e pecuária na região, são condicionantes que favorecem a erosão dos solos na região semiárida.

Dentre os principais problemas do semiárido, a erosão dos solos se destaca como um dos mais importantes problemas ambientais. A erosão, além de reduzir a capacidade produtiva dos solos, causa sérios danos ambientais, como assoreamento e poluição das fontes de água.

Para entender o comportamento das perdas de água e solo no semiárido, estudos sobre a influência da cobertura superficial em diferentes condições de umidade são de extrema relevância para os recursos hídricos da região (SANTOS et al., 2000; SANTOS et al., 2003). Por isso, há uma necessidade do aumento dos estudos hidrossedimentológicos nessa região.

Na atualidade, as pesquisas sobre precipitação no Brasil se restringem, na maioria das vezes, a estudos agroclimáticos ou com interesse em projetos e obras de engenharia de água e solo (OLIVEIRA et al., 2010; SILVA; MONTENEGRO; SANTOS, 2012). Poucos são os estudos sobre erosão que consideram as características das chuvas em perfil, padrão de precipitação, intensidade durante a sua ocorrência, e, sobretudo, perdas de água e solo com diferentes coberturas superficiais, realizados para as condições da região semiárida do Brasil (SANTOS; MONTENEGRO; PEDROSA, 2009), principalmente, para análises das perdas de água e solos em milho, feijão, solo exposto e caatinga, em diferentes condições de umidade.

Deve-se ressaltar também que um grande número de pesquisas sobre erosão utiliza chuvas simuladas com intensidades constantes, pois, em um evento de chuva constante, as perdas de solo e água diminuirão progressivamente ao longo da simulação, principalmente, em culturas agrícolas com preparo convencional (ENGEL et al., 2007), como é o caso deste estudo. Assim, a utilização de chuva simulada é de suma importância para a obtenção de informações rápidas e satisfatórias sobre as perdas de água e solo em condições que nem sempre podem ser representadas naturalmente em campo (ADHIKARI; RAO; HUSENAPPA, 2003).

Nesse sentido, este trabalho utiliza chuva simulada para analisar as perdas de água e solo no semiárido em parcelas de erosão com coberturas superficiais distintas (vegetação do tipo caatinga e solo exposto) e com duas culturas de subsistência da região (feijão e milho).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Bacia Experimental de São João do Cariri – BESJC, localizada no semiárido paraibano, entre as coordenadas 7° 20' 12" e 7° 23' 17" de latitude Sul e 36° 31' 2" e 36° 32' 58" de longitude Oeste (Figura 1).

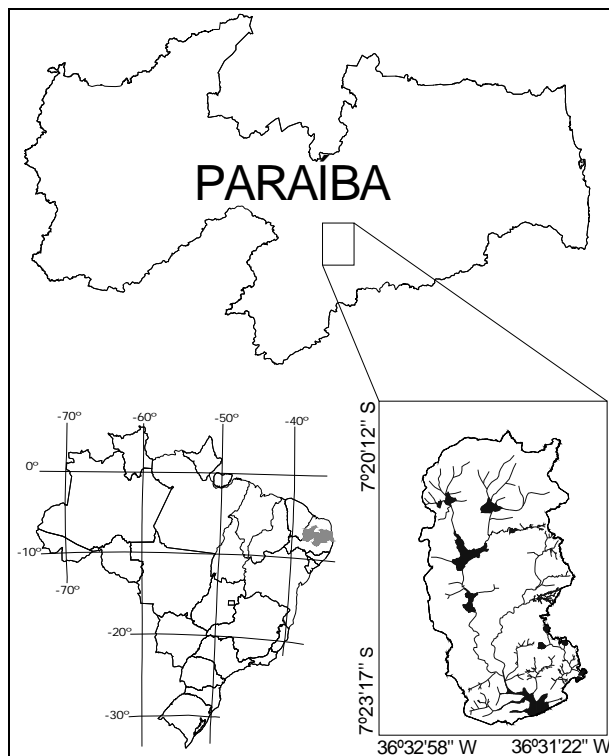


Figura 1 – Localização geográfica da área do experimento

A região da BESJC apresenta clima seco semiárido, do tipo BSh – semiárido quente com chuvas de verão, segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluvial média anual na bacia, no período de 1987 a 2010, foi de 462 mm/ano, com intervalos registrados na bacia de 55 a 965 mm/ano. O período chuvoso ocorre de janeiro a maio e a umidade relativa é de aproximadamente 70%, a evapotranspiração anual é em torno de 1.800 mm/ano e a média mensal é de 151 mm (SANTOS, 2011).

O experimento foi constituído de três parcelas experimentais de erosão e um simulador de chuva. As parcelas possuem área de 3 m², com dimensões de 1 x 3 m, com a maior dimensão no sentido do declive. As parcelas foram construídas com chapas metálicas de 20 cm de altura, dos quais 10 cm ficavam cravados no solo, e na parte inferior foi colocada uma calha para coletar a enxurrada (Figura 2).

A calha é composta por um tubo de PVC com diâmetro de 10 mm e comprimento de 1 m, instalado rente ao solo. Esse tubo era lavado antes das simulações, e durante as coletas das perdas de água e solo, o tubo não trabalhou como conduto

forçado, não apresentando desta forma, problemas de entupimentos.



Figura 2 – Parcela experimental instalada na BESJC

As parcelas possuem solo do tipo Vertissolo Cromado Órtico, declividade média de 7%, solos rasos, subsolo derivado do embasamento cristalino, formação típica do semiárido nordestino. Mais detalhes sobre as parcelas experimentais podem ser obtidos em Santos (2011) e Santos et al. (2011).

A chuva simulada foi gerada através de um simulador de chuvas pendular, constituído por uma armação retangular colocada a 2,88 m de altura, apoiada por quatro pés tubulares removíveis de aço. O simulador é constituído por um motor que realiza movimentos oscilantes temporizados, que permitem a oscilação do bico aspersor (Figura 3).

O bico aspersor utilizado no simulador foi do tipo VeeJet 80-100, da *Spraying Systems Company*. O simulador é abastecido por uma bomba de 1/4 CV colocada em um reservatório de água de 1.000 L. A pressão adotada para a realização das simulações de chuva foi 41 kPa, por proporcionar uma chuva com maior intensidade e uniformidade. A pressão

era aferida através de um manômetro instalado no simulador.



Figura 3 – Simulador de chuvas pendular utilizado

A utilização do simulador de chuvas pendular sob uma parcela de 3 m² foi baseada nos estudos de Bezerra e Cantalice (2006), Falcão (2009), Santos, Montenegro e Pedrosa (2009) e Souza (2004), que através da utilização de chuva simulada, obtiveram resultados satisfatórios para perdas de água e solo sob diferentes tipos de cobertura do solo.

As perdas de água e solo foram obtidas em quatro tipos de coberturas superficiais: (a) vegetação nativa, (b) solo exposto, (c) milho, e (d) feijão. A vegetação nativa da região foi a do tipo caatinga e as parcelas com milho e feijão foram plantadas no sentido do declive, isto é, morro abaixo. As simulações nas parcelas com milho e feijão ocorreram na fase de florescimento, com alturas médias de 85 cm para o milho e 54 cm para o feijão. A figura 4 apresenta as parcelas experimentais com os quatro tipos de coberturas superficiais estudadas.

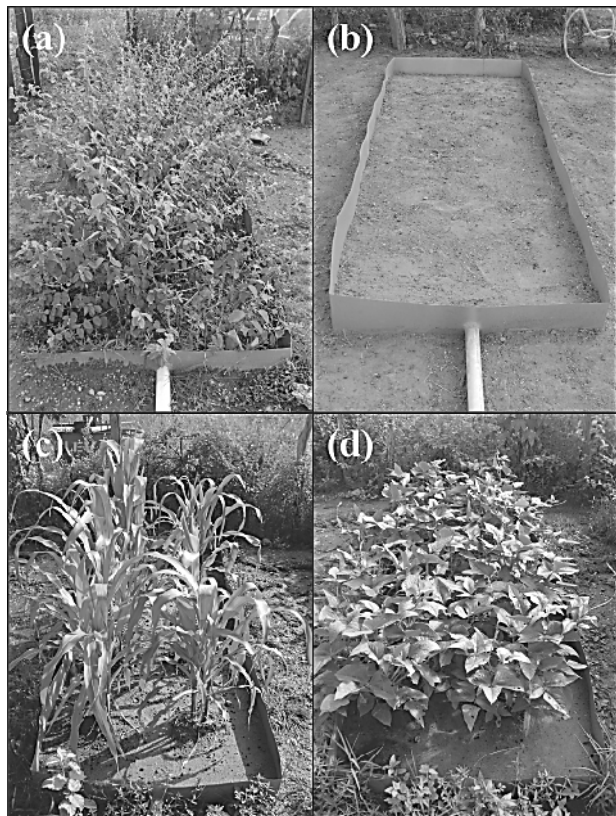


Figura 4 – Parcelas de erosão com: (a) cobertura nativa, (b) solo exposto, (c) milho, e (d) feijão

As chuvas simuladas também foram aplicadas variando as condições de umidade do solo: (a) CS – condição seca com 60 min de duração; (b) CUM – condição úmida obtida 24 h após o término da simulação na condição CS, com 30 min de duração; (c) CMU – condição muito úmida obtida 30 min após o término da simulação na condição CUM, e também com 30 min de duração.

As chuvas simuladas seguiram as rotinas adotadas por Lopes (1987) e Simanton e Renard (1982). O tempo de duração da chuva na condição CS foi de 60 min em virtude do solo se encontrar seco no momento do experimento, necessitando desta forma, de um maior tempo de duração da chuva para que o solo saturasse e produzisse escoamento superficial satisfatório para as coletas e análise das perdas de água e solo. A umidade inicial do solo nas parcelas foi determinada antes do início das simulações pelo método termogravimétrico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

As simulações ocorreram no período de 10/11/2010 a 29/03/2011, totalizando 43 eventos,

sob diferentes tipos de cobertura do solo e condições de umidade (16 na nativa, 9 no solo exposto, 9 no milho e 9 no feijão). Os resultados obtidos são as médias para cada tipo de cobertura e condição de umidade. Durante as simulações, os dias variaram com céu aberto a parcialmente encobertos, sem a ocorrência de chuvas e com temperatura média de 27°C.

Durante os experimentos foram aplicadas chuvas simuladas com intensidades médias de 53 mm/h, que correspondem a intensidades típicas da região com tempo de recorrência de até 10 anos. A determinação da intensidade da chuva para cada simulação foi realizada pelo monitoramento do volume de água coletado em 14 pluviômetros dispostos ao redor das parcelas. Após cada simulação, o volume era medido em uma proveta graduada de 1.000 mL e a intensidade calculada pela seguinte equação:

$$I = \frac{(V_{pl}/A_{pl})}{t_e} \quad (1)$$

sendo I a intensidade da chuva (mm/h); V_{pl} o volume médio dos 14 pluviômetros (mL); A_{pl} a área dos pluviômetros (cm²); t_e o tempo total de duração do evento (h).

No que tange as coletas das perdas de água e solo, estas por sua vez foram realizadas na extremidade inferior da calha coletora a cada 5 min, com uma duração de 10 s, utilizando uma proveta graduada. A taxa de escoamento superficial (mm/h) foi obtida a partir da divisão do volume coletado (em mm) pela duração da coleta em h. A taxa de infiltração (mm/h) foi determinada pela diferença entre a intensidade da precipitação (I) e a taxa de escoamento superficial, conforme Brandão et al. (2006) e Santos, Montenegro e Pedrosa (2009).

A perda de solo para cada evento foi determinada pela pesagem do material coletado durante 10 s, a cada 5 min. O material coletado era armazenado em potes plásticos, em seguida, pesados e deixados em repouso durante 24 horas. Em seguida, o sobrenadante era succionado e os potes levados para secagem em estufa a 65°C, durante 72 horas. Logo depois, os potes eram pesados com o solo seco (BEZERRA; CANTALICE, 2006; SANTOS; MONTENEGRO; PEDROSA, 2009). As taxas de perdas de solo foram obtidas através da seguinte equação:

$$P_s = \frac{\sum (Q \cdot C_s \cdot t)}{A} \quad (2)$$

sendo P_s a taxa de perda de solo (kg/ha); Q a vazão (L/s), obtida a partir da divisão do volume coletado (L) pelo tempo de duração da coleta (10 s); C_s a concentração de sedimento (kg/L), obtida a partir da divisão da massa de solo seco pelo volume da enxurrada (L); t o intervalo entre as coletas (300 s), e A a área da parcela (ha).

A taxa de desagregação do solo foi determinada pela equação:

$$D = \frac{M_{ss}}{A_p \cdot D_c} \quad (3)$$

em que D é a taxa de desagregação do solo (kg/m²/s); M_{ss} a massa do solo seco desagregado (kg), obtida a partir da diferença entre a massa do pote com solo seco e a massa do pote vazio; A_p a área da parcela em m²; e D_c a duração da coleta (10 s).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das perdas de água para diferentes coberturas superficiais e condições de umidade

A tabela 1 apresenta os valores médios das perdas de água, umidade inicial, início do escoamento e taxa de infiltração nas parcelas com diferentes coberturas do solo e condições de umidade. Como esperado, as perdas de água foram maiores de acordo com o aumento da umidade do solo. Embora o escoamento superficial, em todos os tipos de cobertura do solo, tenha sido maior na condição de umidade muito úmida, não houve uma diferença significativa em relação à condição úmida.

Com relação à perda de água, observam-se pequenas diferenças entre as médias das coberturas, as quais apresentaram, em geral, comportamento semelhante para os quatro tipos de coberturas analisadas conforme a condição de umidade. Isso pode ser explicado pelo limite do solo com relação à capacidade de infiltração de água, a partir do qual as taxas de infiltração e de enxurrada tendem a se tornar semelhantes, em diferentes momentos durante a chuva e em distintas coberturas superficiais, conforme constatado também por Bagatini et al. (2011) e Mello et al. (2003).

Os resultados mostram que as perdas de água foram maiores, em todas as condições de umidade, na parcela com cobertura de milho, com 35,6 (CS), 48,2 (CUM) e 48,7 mm/h (CMU). A não redução do escoamento superficial nas parcelas com essa cobertura pode estar relacionada com fatores como a distribuição foliar da vegetação e sulcos no solo gerado pelo escoamento (Tabela 1).

As menores perdas ocorreram na parcela com cobertura nativa, que reduziu mais significativamente as perdas de água em relação à parcela com solo exposto, indicando que essa cobertura funcionou como barreira ao livre escoamento, permitindo que a enxurrada permanecesse mais tempo sob o solo. Esses resultados corroboram com os obtidos por Engel et al. (2007), Oliveira et al. (2010) e Santos, Montenegro e Pedrosa (2009). Como esperado, as coberturas com feijão e milho se mostraram menos eficientes na redução nas perdas de água nas condições CUM e CMU.

Em relação aos valores do desvio padrão para as perdas de água, observam-se comportamentos homogêneos para todas as coberturas e condições de umidade, variando de forma crescente com o aumento de umidade no solo, com exceção para o feijão. Esse fato pode ser explicado, devido a determinadas condições, como aumento da área foliar do feijão, os diferentes estágios de crescimento das culturas e a presença de caminhos deixados por ocasião do preparo do solo.

O tempo para o início do escoamento, que está relacionado com a umidade inicial do solo, foi menor de acordo com o aumento da umidade inicial. Com a maior saturação do solo, como foi o caso das condições úmida e muito úmida, o escoamento superficial ocorreu mais rápido e em maior quantidade, pois a taxa de infiltração foi menor.

Em relação aos diferentes tipos de cobertura do solo, o tempo para o início do escoamento foi menor nas parcelas com cobertura de milho e feijão, em todas as condições de umidade. A parcela com cobertura nativa foi a que mais retardou o início do escoamento superficial, com exceção para a condição CS, em que a parcela com solo exposto apresentou um maior tempo para o início do escoamento (Tabela 1). Esse fato pode ser explicado, devido ao revolvimento da camada superficial do solo quando a parcela com solo exposto foi desmatada. Este revolvimento ocasionou a desagregação do solo e consequentemente um aumento na rugosidade e uma menor velocidade de escoamento (SANTOS, 2011).

Tabela 1 – Médias das perdas de água, umidade inicial, início do escoamento e taxa de infiltração

Cobertura	Condição de umidade	Intensidade (mm/h)	Umidade inicial (%)	Início do Escoamento (m'ss'')	Perdas de Água (mm/h)	Taxa de Infiltração (mm/h)
Nativa	CS	52 (3,30)	2 (1,50)	5'55''	25,41 (5,09)	26,63 (4,30)
	CUM	51 (5,19)	13 (0,98)	3'49''	38,92 (8,95)	12,19 (5,00)
	CMU	52 (6,15)	16 (0,98)	2'54''	44,28 (9,23)	7,89 (3,64)
Solo Exposto	CS	54 (2,31)	3 (2,52)	7'48''	28,06 (1,87)	25,41 (3,26)
	CUM	53 (1,53)	13 (2,08)	2'51''	40,00 (4,11)	12,53 (2,87)
	CMU	52 (5,03)	18 (2,89)	1'36''	44,80 (9,16)	7,24 (4,41)
Milho	CS	53 (2,33)	4 (1,53)	2'10''	35,60 (5,84)	17,01 (3,63)
	CUM	55 (2,71)	10 (3,30)	1'25''	48,25 (2,76)	6,70 (1,05)
	CMU	55 (1,71)	13 (1,71)	0'55''	48,73 (2,56)	6,30 (1,14)
Feijão	CS	52 (2,75)	5 (1,53)	3'17''	22,67 (9,15)	29,48 (7,45)
	CUM	54 (3,32)	13 (1,71)	2'03''	42,58 (9,21)	11,03 (7,22)
	CMU	54 (2,50)	17 (2,22)	1'13''	46,76 (6,42)	7,04 (4,25)

Os números entre parênteses representam os valores do desvio padrão.

As menores taxas de infiltração foram observadas, em todas as condições de umidade, na parcela com cobertura de milho. Para os demais tipos de cobertura do solo, foram observados valores semelhantes de infiltração (Tabela 1).

A diferença entre as perdas de água e a taxa de infiltração nas condições CUM e CMU, para cada tipo cobertura do solo, não foi muito significativa. Isso pode ser atribuído à pequena espessura da camada de solo da parcela, que dificultou a infiltração da água, acarretando taxas de umidade inicial semelhantes para as condições CUM e CMU. Também não foram observadas diferenças significativas entre as umidades iniciais do solo nos diferentes tipos de cobertura do solo, para a mesma condição de umidade, na condição CS a variação foi entre 2 e 5%, na CUM foi entre 10 e 13%, e na CMU foi entre 13 e 18% (Tabela 1). Pouca variação entre cada uma das condições de umidade antecedentes à aplicação de chuvas em diversos sistemas de manejo também foram verificadas por Castro, Cogo e Volk (2006), Mello et al. (2003), Santos, Montenegro e Pedrosa (2009), Silva et al. (2005a) e Volk, Colgo e Streck (2004).

Em relação ao início do escoamento e a taxa de infiltração, os desvios padrões não tiveram comportamento homogêneo. Essa característica do escoamento no semiárido para cultivos de milho e palma, também foi constatado por Falcão (2009) e Santos et al. (2000). Para Falcão (2009), esses comportamentos ratificam a complexidade dos estudos sobre perdas de água e solo em culturas agrícolas para essa região, tendo em vista a grande

variabilidade dos resultados, influenciado pelos diversos fatores envolvidos nesse processo.

A tabela 2 apresenta os resultados da comparação entre as perdas de água na parcela com milho em relação às demais coberturas. Comparando as perdas de água da parcela de milho na condição CS, em relação às demais coberturas, percebe-se uma redução de 28% em relação à vegetação nativa, 20% para solo exposto e 35% para feijão. Nota-se que na condição CUM, a redução foi um pouco menor: 19% (cobertura nativa), 17% (solo exposto) e 12%, (feijão). Na condição CMU, a redução foi de 9%, 8%, e 4%, para vegetação nativa, solo exposto e feijão, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação das perdas de água da parcela com milho em relação às demais coberturas

Condições	Milho (mm/h)	RNM (%)	RDM (%)	RFM (%)
CS	35,60	28	20	35
CUM	48,25	19	17	12
CMU	48,73	9	8	4

RNM = Redução do escoamento da nativa em relação ao milho.

RDM = Redução do escoamento do solo exposto em relação ao milho. RFM = Redução do escoamento do feijão em relação ao milho.

As figuras 5a a 5c apresentam o comportamento médio do escoamento superficial nas coberturas estudadas. Observa-se que o escoamento superficial foi semelhante entre a vegetação nativa, o solo exposto e a cultura de feijão, com pequena redução na parcela com vegetação nativa. O

comportamento na cultura com milho foi superior em todas as condições de umidade, e na condição muito úmida, foi semelhante para todos os tipos de cobertura do solo (Figura 5).

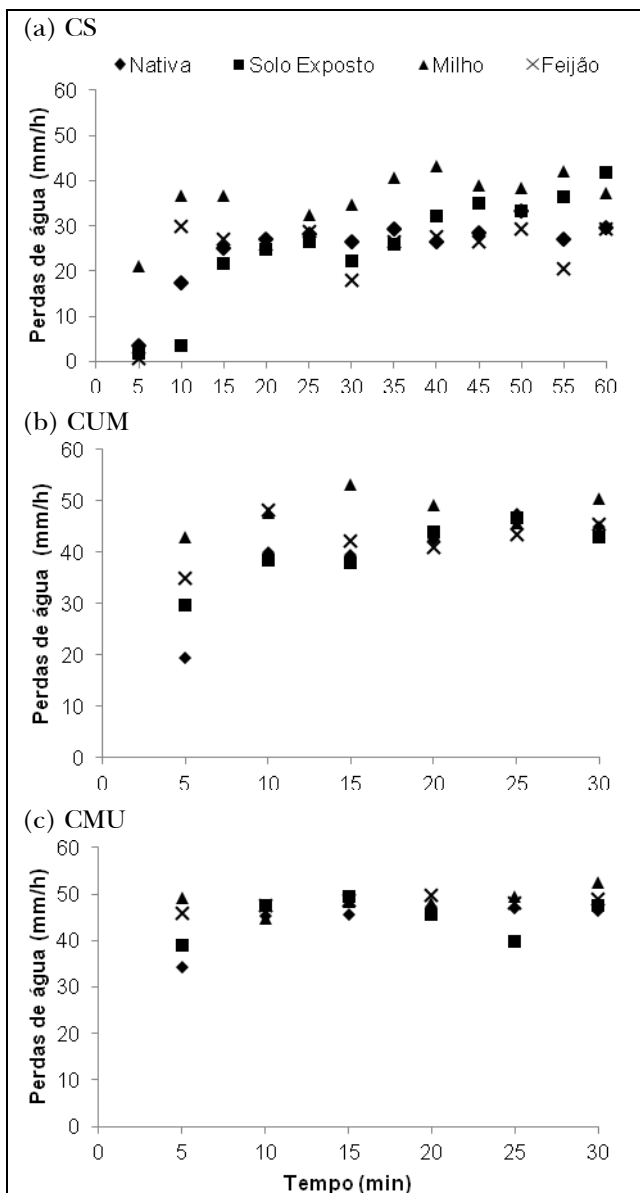


Figura 5 – Perdas de água nas condições de umidade estudadas

Análise das perdas de solo para diferentes coberturas superficiais e condições de umidade

A tabela 3 apresenta as perdas de solo e as taxas de desagregação das parcelas estudadas. Observa-se que as perdas de solo médias foram

maiores na condição CS, em todas as coberturas superficiais. Deve-se ressaltar que os eventos na condição CS possuíram 60 min e os eventos nas condições CUM e CMU, 30 min de duração. As perdas de solo nas condições CUM e CMU não mostraram diferenças significativas entre as coberturas superficiais, com exceção a de milho, onde foram registradas produções de sedimentos de aproximadamente 726 kg/ha (na CUM) e 842 kg/ha (na CMU).

A condição CMU, quando comparada com a CUM, apresentou maior perda de solo em todos os tipos de coberturas, com exceção no solo exposto, em que a erosão na CUM superou a da CMU com uma média de 0,89 kg/ha. Essa pequena diferença entre os valores nas condições CUM e CMU pode ser justificada pela pequena diferença na umidade inicial do solo, que tornou os eventos nas duas condições bastante semelhantes.

Como previsto, os valores reduzidos de perdas de solo para cobertura nativa, diferiram bastante das médias das demais coberturas, conforme também destacado por Santos et al. (2000), que constataram que a vegetação nativa é o melhor tipo de cobertura vegetal contra a erosão na região semiárida. Assim, a manutenção da cobertura nativa é de extrema relevância para a retenção de umidade do solo devido à irregularidade da precipitação e, sobretudo para a proteção dos solos contra os processos erosivos, decorrentes de eventos extremos na região semiárida do Nordeste.

Os maiores valores de taxa de desagregação do solo foram obtidos nas condições CUM e CMU para a cobertura com milho, com $4,04 \times 10^{-5}$ e $4,71 \times 10^{-5}$ kg/m²/s, respectivamente. Como esperado, a cobertura nativa apresentou as menores taxas de desagregação, com os seguintes valores: $2,80 \times 10^{-6}$ na CS, $2,32 \times 10^{-6}$ na CUM e $2,52 \times 10^{-5}$ kg/m²/s na CMU (Tabela 3).

Em relação ao solo exposto, a vegetação nativa apresentou uma redução de 75% nas perdas de solo na condição CS, na CUM esta redução foi de 78% e na CMU foi de 75% (Tabela 4). Assim, a cobertura nativa se mostrou mais eficiente para a proteção do solo e redução das perdas de água e solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al. (2009), Santos et al. (2000), Santos et al. (2009) e Silva et al. (2005b), os quais podem ser explicados pela ação da cobertura superficial em dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada.

Tabela 3 – Taxas de perdas e desagregação do solo nas diferentes coberturas superficiais e condições de umidade

Cobertura	Condição de umidade	Intensidade (mm/h)	P _s (kg/ha)	D (kg/m ² /s)
Nativa	CS	52	83,34	2,80 × 10 ⁻⁶
	CUM	51	41,05	2,32 × 10 ⁻⁶
	CMU	52	44,77	2,52 × 10 ⁻⁶
Solo Exposto	CS	54	329,58	9,62 × 10 ⁻⁶
	CUM	53	183,59	1,03 × 10 ⁻⁵
	CMU	52	182,70	1,03 × 10 ⁻⁵
Milho	CS	53	1.348,03	3,78 × 10 ⁻⁵
	CUM	55	726,84	4,04 × 10 ⁻⁵
	CMU	55	842,74	4,71 × 10 ⁻⁵
Feijão	CS	52	575,59	1,83 × 10 ⁻⁵
	CUM	54	256,29	1,51 × 10 ⁻⁵
	CMU	54	296,74	1,64 × 10 ⁻⁵

Além disso, a cobertura superficial representou um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos.

Como esperado, as coberturas de milho e feijão, que foram plantadas morro abaixo, se mostraram menos eficientes na proteção do solo contra as perdas de água e sedimentos, apresentando uma variação expressiva nos valores de perda de solo, obtidos para os eventos de chuvas simuladas.

Tabela 4 – Comparação entre as perdas de solo da parcela com solo exposto em relação às demais coberturas

Condições de umidade	P _s com solo exposto (kg/ha)	RND (%)	AMD (%)	AFD (%)
CS	329,58	75	76	43
CUM	183,59	78	75	28
CMU	182,70	75	78	38

RND = Redução da perda de solo da nativa em relação ao solo exposto. AMD = Aumento da perda de solo do milho em relação ao solo exposto. AFD = Aumento da perda de solo do feijão em relação ao solo exposto.

A tabela 5 mostra a comparação das perdas de solo da parcela com milho em relação às demais coberturas estudadas. Na condição CS as perdas de solo com milho foram superiores às demais coberturas, apresentando os seguintes valores: 94% (para a cobertura nativa), 76% (para o solo exposto) e 57% (para o feijão). Já a perda de solo com milho na condição CUM, foi superior 94% em

relação à vegetação nativa, 75% ao solo exposto e 65% ao feijão. Na condição CMU, as perdas de solo com milho superou em 95% à cobertura nativa, 78% ao solo exposto e 65% ao feijão (Tabela 5).

Tabela 5 – Comparação entre as perdas de solo da parcela com milho em relação às demais coberturas

Condição de umidade	P _s do Milho (kg/ha)	AMN (%)	AMD (%)	AMF (%)
CS	1.348,03	94	76	57
CUM	726,84	94	75	65
CMU	842,74	95	78	65

AMN = Aumento das perdas de solo do milho em relação à cobertura nativa. AMD = Aumento das perdas de solo do milho em relação ao solo exposto. AMF = Aumento das perdas de solo do milho em relação ao feijão.

As figuras 6a a 6c apresentam o comportamento médio das perdas de solo durante as chuvas simuladas nas três condições de umidade estudadas.

Observa-se que as perdas de solo não tiveram grandes variações, com exceção da cultura de milho, que apresentou variações significativas, com valores aproximados entre 80 e 190 kg/ha em CS, 80 e 140 kg/ha em CUM, e 80 e 160 kg/ha em CMU. Como era previsto, a erosão na cobertura nativa foi sempre inferior às demais coberturas estudadas em todas as condições de umidade avaliadas, variando entre 4 e 10 kg/ha (Figura 6).

Os resultados mostraram que os tratamentos com milho e feijão apresentaram as maiores perdas de solo, quando comparadas com as demais coberturas, conforme também constatado por Carvalho et al. (2009), que observaram um acréscimo de mais de 200% de perdas de solo e 40%

de perda de água, em uma parcela experimental com cultura de milho morro abaixo com relação ao mesmo plantio em nível. Santos, Montenegro e Pedrosa (2009) constataram que, as perdas de água na cobertura de feijão na fase de florescimento morro abaixo foram superiores a do solo exposto.

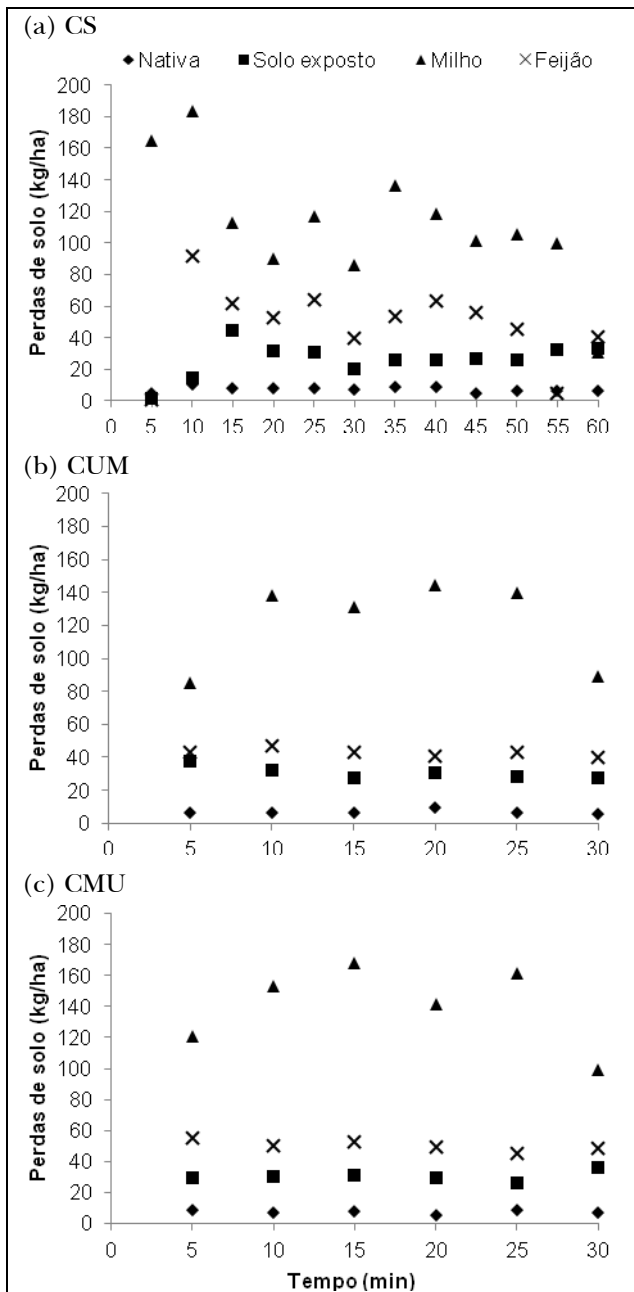


Figura 6 - Perdas de solo nas condições de umidade estudadas

Assim como nas perdas de água, a erosão do solo também não apresenta comportamento homogêneo para todos os tipos de coberturas, quando analisados isoladamente (Figura 6). Considerando-se que as perdas de solo são influenciadas pela infiltração; esta por sua vez, reflete as condições físicas do solo, como estrutura, porosidade e ausência de camadas compactadas, pode-se deduzir que o solo na parcela com feijão sofreu modificações, em função do manejo adotado na mesma.

Deve-se ressaltar ainda que, os tratamentos com maior intensidade de mobilização do solo favorecem a erosão; esta, no entanto, não apresenta comportamento homogêneo em todos os eventos, uma vez que a variabilidade de intensidade da chuva, aliado à estrutura e compactação do solo, intempéries climáticas, intercepção da área foliar, à pequena escala do experimento e ao tratamento dos dados em laboratório, podem influenciar significativamente cada resultado de evento simulado.

CONCLUSÕES

O simulador de chuva se mostrou bastante eficiente e de baixo custo para a obtenção de dados de perdas de água e solo. Os dados obtidos para o semiárido paraibano podem ser utilizados na calibração de modelos hidrossedimentológicos de base física, cujos parâmetros calibrados poderão servir para aplicação em bacias não instrumentadas e hidrologicamente semelhantes na região.

Os resultados mostraram que o escoamento superficial foi maior de acordo com o aumento da umidade do solo, em todos os tipos de cobertura do solo. Já as perdas de solo foram maiores na condição CS, visto que suas simulações foram realizadas com uma duração de 60 min.

Os valores de perdas de água e solo nas condições CUM e CMU foram semelhantes em todos os tipos de cobertura do solo. Esta semelhança ocorreu pela pequena diferença na umidade inicial do solo, que tornou os eventos das condições propostas como úmida e muito úmida bastante semelhantes, ou seja, embora o espaço de tempo entre os eventos tenham sido diferentes (condição úmida, 24 h após o evento da condição seca; condição muito úmida, 30 min após o evento da condição úmida), suas respectivas umidades iniciais foram praticamente as mesmas.

Comparando as perdas de água e solo dos diferentes tipos de cobertura superficial, conclui-se

que a cobertura nativa se mostrou mais eficiente na proteção do solo, apresentando reduções bastante significativas em relação aos outros tipos de cobertura. Entretanto, os tratamentos de milho e feijão contribuíram para o aumento da erosão dos solos, apresentando perdas de água e solo até mesmo superiores aos observados para o solo exposto.

No que tange às limitações desse estudo, pode-se citar a quantidade de eventos registrados para a determinação das perdas de água e solo, além de correções da interferência do vento na intensidade da chuva simulada. Deve-se ressaltar também que são necessários novos estudos sobre a influência do índice de área foliar das culturas nas perdas de água e solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Professores Abelardo Montenegro e Thais Emanuelle dos Santos, do grupo de Recursos Hídricos da UFRPE, pelo simulador de chuva, desenvolvido em parceria com recursos do CNPq. Agradecem também ao CNPq pelas bolsas de mestrado do primeiro autor (Processo Nº 553559/2099-5) e de produtividade em pesquisa do segundo autor, além dos recursos financeiros proporcionados pelo projeto “Conservação do solo e produção de água na Bacia Hidrográfica do Rio Namorados, Semiárido Paraibano” (Processo Nº. 574175/2008-3).

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, R. N.; RAO, M. S. R. M.; HUSENAPPA, V. Rainfall simulator studies for the effect of soil and water conservation measures on runoff and soil loss. *Indian Journal of Agricultural Research*, v. 37, n. 3, p. 157-168, 2003.
- BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLE, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n.3, p. 999-1011, 2011.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob o cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 4, p. 565-573, 2006.
- BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; MENEZES, S. J. M. C. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 1, p. 13-22, 2006.
- CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.
- CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. R. S. Alterações na rugosidade superficial do Solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 3, p. 339-352, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análises de solo*. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- ENGEL, F. L.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; COGO, N. P. Water erosion under simulated rainfall in different soil management systems during soybean growth. *Scientia Agrícola*, v. 64, n. 2, p. 187-193, 2007.
- FALCÃO, S. C. M. *Avaliação da produção de sedimentos em áreas de diferentes escalas na Bacia Experimental do Riacho Gravatá, semi-árido Alagoano*. 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- LOPES, V. L. *A numerical model of watershed erosion and sediment yield*. 1987. 148 f. PhD (Dissertation) - University of Arizona, Tucson, 1987.
- MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um nitossolo háplico submetido à chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 2, p. 901-909, 2003.
- MONTENEGRO, A. A. A.; RAGAB, R. Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: a

modelling study. *Hydrological Processes*, v. 24, n. 19, p. 2705-2723, 2010.

OLIVEIRA, J. R.; PINTO, M. F.; SOUZA, W. J.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 140-147, 2010

SANTOS, C. A. G.; SRINIVASAN, V. S.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. Application of an optimization technique to a physically based erosion model. *Hydrological Processes*, v. 17, n. 5, p. 989-1003, 2003.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. S. Influência do tipo de cobertura vegetal sobre a erosão no semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4 n. 1, p. 92-96, 2000.

SANTOS, J. Y. G. *Avaliação das perdas de água e solo no semiárido paraibano mediante chuva simulada e modelagem hidrossedimentológica*. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

SANTOS, J. Y. G.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SILVA, V. C. L.; SILVA, L. P.; ARRUDA, P. M. Análise das perdas de água e solo no semiárido paraibano utilizando simulador de chuva. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. *Anais...* Maceió: ABRH, 2011. p. 1-16.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 217-225, 2009.

SILVA, C. G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 1, p. 144-153, 2005a.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 2, p.409-419, 2005b.

SILVA, R. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. Integration of GIS and remote sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case study of Tapacurá catchment. *Natural Hazards*, v. 62, n. 3, p. 1-17, 2012.

SIMANTON, J. R.; RENARD, K. G. Seasonal change in infiltration and erosion from USLE plots in Southeastern Arizona. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, v. 12, p. 37-46, 1982.

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

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 763-774, 2004.

Water and Soil Losses Under Simulated Rainfall in Different Surface Cover and Moisture Conditions in the Semiarid Region of Paraíba State

ABSTRACT

The rainfall simulator is a useful tool to generate quick and satisfactory information on infiltration, streamflow and soil loss under different surface conditions, at much less cost and time. Thus, this article aims to analyze the losses of soil and water in the semiarid area of Paraíba state, under different cover and surface moisture conditions. The experiment was performed on erosion plots within São João do Cariri Experimental Basin, where simulated rainfalls were applied with a mean intensity of 53 mm/h, under different soil moisture and surface cover conditions. The simulated rainfalls were applied to the following type of cover: native vegetation, bare soil, corn and beans, under the following moisture condition: (a) dry condition (DC) with 60-min rainfall, (b) wet condition (WC), performed 24 h after the end of the simulation in the DC, with 30-min rainfall, (c) very wet condition (VWC), initiated 30 min after the end of the simulation in WC, with 30-min rainfall. The results showed that the runoff for all types of surface cover increased when the moisture content was higher and the sediment yield was higher for the DC. The values of water and soil losses for the WC and VWC were similar for all types of surface cover studied. The results showed that native vegetation was more effective to

protect the soil, when compared to the other types of cover. Corn and beans presented the highest water and soil loss values, even higher than those observed for the bare soil.

Key-words: *Rainfall simulator; Water and soil losses; Semiarid region.*