

ESTUDO DA ERODIBILIDADE DA CHUVA NA BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ

CELSO A. G. SANTOS¹, ISABELLY C. S. DIAS², SHIRLEY M. F. CAMPOS³

¹Eng^o Civil, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, UFPB, João Pessoa - PB, Fone: (0XX83) 3216.7684, celso@ct.ufpb.br

²Eng^a Civil, Aluna da Pós-Graduação e Bolsista CT-Hidro, Engenharia Urbana, PPGEU/CT/UFPB, João Pessoa - PB

³Aluna de Graduação e Bolsista Pibic/CNPq, Depto. de Engenharia Civil, CT/UFPB, João Pessoa - PB

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 04 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: O impacto da chuva e o próprio escoamento superficial contribuem para modificar as condições físicas do solo, o que vem a alterar a rugosidade superficial, a porosidade e a taxa de infiltração. Com o objetivo de estudar o poder erosivo das chuvas na região semi-árida do nordeste brasileiro através do cálculo do índice de erosividade, dados de 226 eventos de chuvas observados entre 1982 e 1991 em uma microbacia instalada na Bacia Experimental de Sumé, localizada no Estado da Paraíba, foram utilizados. Apesar do índice ter apresentado valores iguais para certos eventos, foi observado que o valor da produção de sedimentos diferenciavam, o que levou a um estudo mais detalhado através de um modelo hidrossedimentológico distribuído de base física, onde cada processo erosivo foi considerado separadamente. Os resultados revelaram que o efeito do impacto das gotas da chuva pode ser considerado constante independentemente dos eventos analisados visto que seu efeito tende a ser atenuado pela altura do próprio escoamento. Finalmente, concluiu-se que a produção de sedimentos, na área em estudo, depende principalmente da tensão cisalhante do escoamento, e em particular do escoamento concentrado em canais.

PALAVRAS-CHAVE: erosão, semi-árido, modelagem hidrossedimentológica

STUDY OF THE RAINFALL ERODIBILITY IN SUMÉ EXPERIMENTAL BASIN

ABSTRACT: The rainfall impact and the surface runoff contribute to modify the soil physical condition, which can modify the surface roughness, porosity and infiltration rate. In order to study the rainfall erosivity in the semiarid area of northeastern Brazil by the rainfall erodibility index, data from 226 rainfall events observed from 1982 to 1991 in a micro-basin installed in Sumé Experimental Basin, located in Paraíba State, were used. Although, the index presented the same values for some events, it was observed that the sediment yield was different, which led to a detailed study through a distributed physically-based runoff-erosion model, where each erosion process was separately considered. The results revealed that the rainfall drop impact effect could be considered constant independently of the event since that its effect tends to be attenuated by the runoff depth. Finally, it was concluded that the sediment yield, in the studied area, depends mainly on the runoff shear stress and, in particular, on the shear stress of the runoff concentrated in the channel elements.

KEYWORDS: erosion, semiarid area, runoff-erosion modeling

INTRODUÇÃO: A erodibilidade da chuva é um fator importante que está ligado diretamente com a energia cinética da chuva (WISCHMEIER e SMITH, 1958), e assim tentativas de correlacionar a perda de solo com a energia cinética sempre se mostraram uma alternativa coerente como apresentada por WISCHMEIER e SMITH (1978). ALBUQUERQUE *et al.* (2002) avaliaram os efeitos do manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo por erosão baseando-se nos

cálculos da energia cinética. Entretanto, determinar a perda de solo apenas em relação à energia ainda é um processo empírico e não retrata todas as interações envolvidas no processo erosivo, o qual é complexo podendo ser dividido em erosão devido ao impacto da chuva e devido à força do escoamento, tanto ocorrendo sobre os planos ou nos canais. Assim, o uso de modelos que representem cada processo fisicamente sempre vem sendo incentivado. Existem basicamente três categorias de modelos de erosão: empíricos, conceituais e físicos. Os modelos empíricos são baseados em dados de campo, são de natureza estatística e ajustam os valores calculados aos dados observados através de funções que não têm nenhuma relação com os processos físicos envolvidos. Sua principal limitação é aplicabilidade limitada para fora das condições com as quais foram desenvolvidos. Os modelos conceituais apesar de considerarem os processos nas funções utilizadas, pecam pela descrição fraca dos processos (LØRUP e STYCZEN, 1996). A base física dos modelos físicos pode superar muitas deficiências dos outros modelos, pois tratam cada processo individualmente (SANTOS *et al.*, 1998). Por isso, um modelo físico foi aqui aplicado para avaliar os parâmetros individuais de cada processo, e para servir como base da caracterização do índice de erosividade das chuvas através não apenas da energia cinética mas das características da chuva, do solo e da própria área erodida.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram usados, neste trabalho, 226 dados de chuva, escoamento e erosão coletados entre 1982 e 1991, na Bacia Experimental de Sumé, no Estado da Paraíba, que foi operada pela área de Recursos Hídricos da UFCG até 1996. Esta Bacia localizava-se na propriedade Fazenda Nova, município de Sumé, PB, situada na altura do km 118 da BR-412, entre as cidades de Sumé e Monteiro. Fazendo parte da área superior da bacia do rio Paraíba, numa latitude de 7° 40' Sul e longitude 37° 00' Oeste (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003). Para o estudo detalhado do processo erosivo, foi selecionada uma microbacia desmatada, a qual é uma das quatro microbacias existentes na bacia experimental, tendo declividade média de 7,1%, área de 0,52 ha, perímetro de 302 m e solo bruno não cálcico vértico. A energia cinética E_c (MJ/ha) para cada segmento de intensidade de chuva constante I (mm/h) foi calculada de acordo com a equação proposta por WISCHMEIER e SMITH (1978):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (1)$$

Sendo que para intensidades de chuva iguais ou superiores a 76 mm/h, a energia cinética deve ser igual a 0,2832 MJ/ha. Finalmente, o índice de erosividade EI_{30} (MJ·mm/ha·h) é igual ao produto da energia cinética da chuva para cada segmento de intensidade constante e a intensidade máxima em trinta minutos I_{30} (mm/h). Este índice retrata o poder da chuva em questão de erodir o solo, baseando-se basicamente em sua energia cinética e em uma intensidade máxima, independentemente se o fenômeno ocorra em uma parcela ou em uma bacia composta de planos e canais, ou até mesmo independentemente das condições de umidade antecedente do solo. O processo de erosão provocado pela chuva é um processo complexo, o qual pode ser entendido como uma rede de fluxo composta pela soma da erosão provocada pelo impacto da chuva e da erosão provocada pela tensão cisalhante do escoamento tanto nos planos como nos córregos e descontados da deposição ocorrida naquele intervalo de tempo e espaço. Com o intuito de estudar os resultados obtidos através de cálculos que levassem em conta cada um desses processos (impacto, cisalhamento e deposição), foi utilizado um modelo hidrossedimentológico distribuído de base física denominado WESP (LOPES e LANE, 1988), o qual foi desenvolvido para aplicação em pequenas bacias.

Cinco eventos de características distintas foram escolhidos (eventos de números 144, 155, 179, 186 e 210), entre os anos 1987 e 1989, pois se trata de um período quando a vegetação foi mantida controlada. As lâminas observadas do escoamento foram respectivamente 0,19, 2,31, 7,23, 5,36 3,75 mm e o total erodido foi respectivamente igual a 4,092, 1.214,522, 1.286.652, 887,390, 887,390 e 674,211 kg. A discretização da bacia foi elaborada a partir da divisão de planos irregulares e de canais de acordo com a topografia e os fluxos de drenagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A **Figura 1** mostra os valores médios mensais calculados da erosividade e da altura precipitada, de onde pode-se observar que os meses mais erosivos estão entre o período de fevereiro a abril, sendo o mês de março, em média, o mais erosivo observado entre 1982 e

1991, com precipitação média de 180,18 mm e EI_{30} médio de 588,61 MJ·mm/ha·h. O período de fevereiro a abril concentra 65% da erosividade média total ao longo dos meses. O período mensal que apresentou os mais baixos valores médios de erosividade, foi o período de setembro a dezembro; entretanto, estes meses não apresentaram eventos de cheia. Entre setembro e dezembro a erosividade média variou de 0 a 126,01 MJ·mm/ha·h e a precipitação variou de 0 a 25,40 mm.

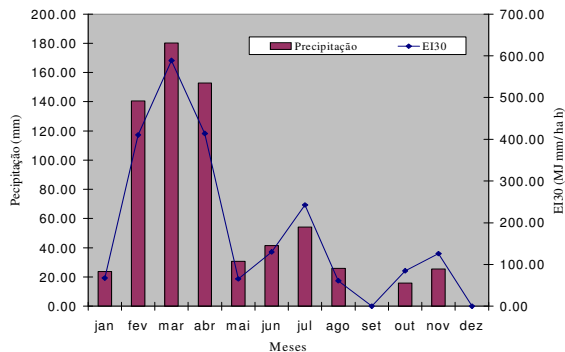


Figura 1. Distribuição dos valores médios mensais da erosividade e da precipitação.

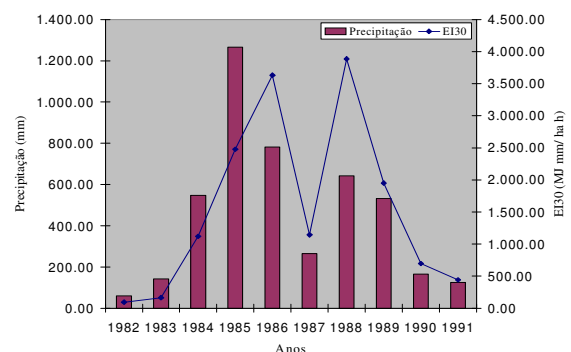


Figura 2. Distribuição dos valores anuais da erosividade e da precipitação.

A **Figura 2** mostra os valores anuais da erosividade calculados e da altura precipitada, onde se pode observar que os anos mais erosivos são os de 1986 e 1988, com EI_{30} de 3.631,05 MJ·mm/ha·h e 3.886,94 MJ·mm/ha·h, e precipitação de 782,20 mm e 641,7 mm, respectivamente. O ano de 1988, apesar de ter apenas 641,7 mm precipitado, foi o ano mais erosivo devido à intensidade dos eventos. O período anual mais erosivo se encontra entre os anos de 1987 e 1989, com o EI_{30} variando de 1.144,38 MJ·mm/ha·h a 3.886,94 MJ·mm/ha·h, e a precipitação variando de 265,70 mm a 641,70 mm. O ano de 1985 também se mostra um ano erosivo, com EI_{30} de 2.476,83 MJ·mm/ha·h e precipitação de 1.266,30 mm e os demais anos, se mostraram com baixos índices de erosividade. De 1982 a 1984 o EI_{30} variou de 95,20 MJ·mm/ha·h a 1.121,42 MJ·mm/ha·h, com precipitação de 59,60 mm e 546,90 mm. No período de 1990 a 1991, o EI_{30} variou de 679,19 MJ·mm/ha·h a 442,34 MJ·mm/ha·h, com precipitação de 166,00 mm e 125,60 mm, respectivamente. O EI_{30} médio anual foi 1.561,06 MJ·mm/ha·h enquanto que a precipitação média anual foi de 452,77 mm. Para um estudo mais detalhado da erosividade, cinco eventos foram escolhido (144, 155, 179, 186 e 210), o evento que apresentou maior índice de erosividade foi o evento de número 179, com valor de 117,67 MJ·mm/ha·h e precipitação de 18,10 mm. Os eventos 144, 155 e 186, apresentaram respectivamente precipitação de 11,10 mm, 20,10 mm e 16,10 mm, e EI_{30} de 29,53 MJ·mm/ha·h, 58,18 MJ·mm/ha·h e 48,77 MJ·mm/ha·h. O evento 210 foi o evento de menor índice de erosividade, obtendo um EI_{30} de 27,93 MJ·mm/ha·h com precipitação de 9,40 mm. Observa-se que embora os eventos 155 e 186 tenham tido EI_{30} próximos, o total da produção de sedimentos diferem.

Para a modelagem hidrossedimentológica, alguns parâmetros tiveram seus valores definidos *a priori* baseados na literatura, os quais foram gravidade g (9,81 m/s²), peso específico da água γ (9.779,0 N/m³), peso específico dos sedimentos γ_s (25.914,35 N/m³), viscosidade cinemática da água ν (0,894 × 10⁻⁶ m²/s), coeficiente para a tensão de cisalhamento λ (0,047), o parâmetro de deposição para os planos ε_p (0,5) e o parâmetro de deposição para os canais ε_c (1,0). O diâmetro dos sedimentos d_{50} foi obtido através de peneiramento de várias amostras (0,5 mm), e a condutividade hidráulica do solo K_S (5,0 mm/h), foi baseada na textura do solo e de acordo com RAWLS *et al.* (1991). O potencial de capilaridade na frente de molhamento N_S (m) foi obtido através do ajustamento da lâmina escoada observada à lâmina calculada. Este parâmetro varia para cada evento, pois retrata também a condição antecedente de umidade do solo. Finalmente, restaram três parâmetros referentes ao cálculo da produção de sedimentos: o parâmetro de destacamento do solo pelo impacto da chuva K_I (kg·s/m⁴), o parâmetro de destacamento do solo pela tensão de cisalhamento do escoamento nos planos K_R (kg·m/N^{1.5}·s), e o de destacamento do solo pela tensão de cisalhamento do escoamento nos canais a (kg·m²/N^{1.5}·s). Seus valores foram estimados pelo ajuste à produção total de sedimentos observada. O

valor para K_R mostrou uma tendência em se manter igual a $2,0 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$, mas para o evento 179, o valor obtido foi igual a $0,64 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$, apesar do seu índice de erosividade tenha sido o mais alto obtido. Finalmente, o parâmetro a variou visivelmente evento a evento. Na **Tabela 1** são apresentados os resultados das calibrações para cada evento.

Tabela 1 – Parâmetros otimizados e resultados da calibração

Evento	K_S (mm/h)	K_I ($\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^4$)	N_S (mm)	K_R ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$)	a ($\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{N}^{1.5}\cdot\text{s}$)	L_c (mm)	E_c (kg)
144	5,0	5×10^8	71,440	2,00	0,00634	0,190	4,094
155	5,0	5×10^8	29,229	2,00	0,02755	2,740	1.214,800
179	5,0	5×10^8	14,150	0,64	0,00084	7,230	1.286,623
186	5,0	5×10^8	33,075	2,00	0,00163	5,361	887,371
210	5,0	5×10^8	0,422	2,00	0,00628	3,750	674,135

CONCLUSÕES: Quando as chuvas são analisadas independentemente, seu índice de erosividade pode conduzir a conclusões errôneas visto que tal índice não leva em conta as condições de umidade antecedente do solo, as características do solo, e composição complexa da bacia. Ao se analisar os processos de erosão devido ao impacto da chuva e à tensão cisalhante do escoamento, bem como o processo de deposição numa microbacia representada por planos e canais, observou-se que o impacto da chuva tem a mesma influência independentemente das características da chuva, o que é justificado pelo fato de que ao iniciar-se, o escoamento, o efeito das gotas da chuva é atenuado pela própria altura do escoamento, ou seja, as gotas não atingem diretamente o solo e sim a superfície da lâmina escoada, não tendo mais efeito erosivo, concluindo-se que o total erodido depende principalmente da tensão cisalhante do escoamento e em particular da tensão cisalhante do escoamento concentrado em canais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUEQUER, A. W.; NETO, F. L.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. **Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé-PB**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.1, p.136-141, 2002 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.
- LOPES, V. L.; LANE, L. J. **Modeling sedimentation processes in small watersheds**. In: Sediment Budgets (ed. by M. P. Bordas & D. E. Walling) (Proc. Porto Alegre Symp., December 1988), 497–508. IAHS Publ. n°. 174.
- LØRUP, J. K. e STYCZEN, M. **Soil erosion modelling**. In: Abbott, M.B. and Refsgaard, J.C. (eds.), *Distributed Hydrological Modelling*, Kluwer Academic Publishers, 93-120, 1996.
- RAWLS, W. J.; AHUJA, L. R.; BRAKENSIEK, D. L.; SHIRMOHAAMMADI, A. Infiltration and soil water movement. In: RAWLS, W. J. (org.) **Handbook on hydrology**. McGraw Hill, 1991.
- SANTOS, C.A.G., WATANABE, M., SUZUKI, K. e SRINIVASAN, V.S. **Sediment yield due to heavy rainfall from a test field in Brazil and its analysis by a runoff-erosion model**. Journal of Hydraulic, Coastal and Environmental Engineering, JSCE, No.586/II-42, 117-126, 1998.
- SRINIVASAN, V.S.; GALVÃO, C.O. **Bacia experimental de Sumé: Descrição e dados coletados**. Campina Grande, PB: Universidade Federal de Campina Grande/CNPq, 129 p. 2003.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58p.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Rainfall energy and its relationships to soil loss**. Transactions of the American Geophysical Union, Washington, V.39, p. 285-291, 1958.