

Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido

Cicero Lima de Almeida¹, José Gerardo Beserra de Oliveira² & José Carlos de Araújo¹

Protocol 06.2012 - Received: August 24, 2012 - Accepted: October 30, 2012

Resumo: Foram estudados os efeitos da prática de pousio e do sobrepastejo sobre as respostas hidrossedimentológicas provocadas por chuvas naturais, em um Planossolo Nátrico Órtico típico, A fraco, em Irauçuba, Ceará. Os dados correspondem a 16 meses de monitoramento em duas encostas: uma em pousio há 10 anos ($E_p - 370 \text{ m}^2$) e outra degradada pelo sobrepastejo há mais de 20 anos ($E_d - 468 \text{ m}^2$). As chuvas demonstraram alta irregularidade espaço-temporal. Concluiu-se que os dez anos de pousio reduziram em 2/3 o escoamento superficial em relação à E_d . A menor precipitação capaz de gerar escoamento superficial foi 7,2 mm na E_d e de 8,6 mm na E_p , demonstrando o incremento da abstração inicial na encosta preservada, por meio da interceptação vegetal, da serrapilheira e da camada superficial do solo. A maior precipitação incapaz de gerar escoamento superficial foi idêntica (17 mm) nas duas encostas, pois o parâmetro dominante neste processo é a estrutura do solo, e os dez anos de pousio não alteraram significativamente sua estrutura. A taxa de recessão da vazão foi fortemente afetada pela prática de pousio, de $0,107 \text{ min}^{-1}$ na E_d para $0,045 \text{ min}^{-1}$ na E_p . A menor taxa de recessão da vazão favorece maior tempo de permanência da água no corpo hídrico. Os dez anos de pousio reduziram em 83% a perda de solo, induzindo à melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo. Portanto, os dez anos de pousio melhoraram mensuravelmente as condições hidrológicas e sedimentológicas na encosta semiárida degradada.

Palavras-chaves: pousio, encosta, escoamento superficial, perda de solo

Hydrological and sedimentological impact of the restoration of a degraded area in a semiarid environment

Abstract: The objective of this paper is to assess the effects of both fallow and overgrazing on hydrological and sedimentological responses to natural precipitation. The research has been lead in the desertification area of Iraucuba, Brazil, whose soil is a typical Natric Ortio Planosol, A weak. Sixteen months of experiments have been executed in two hillslopes: a preserved ($E_p - 370 \text{ m}^2$) and a degraded ($E_d - 468 \text{ m}^2$). Both hillslopes are very close, having the same climate, soil and topography, differing only on soil use. The precipitation events showed highly irregular space-temporal pattern. The ten-year fallow practice was able to reduce by 2/3 the runoff. The smallest precipitation able to generate runoff was 7.2 mm in E_d and 8.6 mm in E_p . This shows the increase of initial abstraction in the preserved area due to higher interception losses of both vegetation and litter; as well as higher moisture retention in the top layer of the soil. Contrastingly, the highest precipitation unable to generate runoff was identical in both cases (17.0 mm), once the main parameter responsible for this parameter - soil structure - is still similar despite the ten years of fallow. The recession-curve coefficient has strongly been affected by the fallow technique, reducing from 0.107 min^{-1} to 0.045 min^{-1} , indicating the recovery of the base-flow potentiality, which enhances the runoff permanence time. The fallow hillslope yielded 83% less sediment than E_d , leading to better physical, chemical and biological properties of the soil. Therefore, the ten years of fallow were able to measurably enhance both hydrological and sedimentological responses of a degraded semiarid hillslope.

Key words: fallow, hillslope hydrology, runoff, soil loss

¹ Centro de Ciências Agrárias/UFC. Campus do Pici, Bloco 804, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: climaal@hotmail.com; jcaraujo@ufc.br

² Depto. de Biologia, Centro de Ciências/UFC. Campus do Pici, Bloco 906, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: jgboliv@gmail.com

Introdução

As regiões de clima semiárido são sensíveis às alterações antropogênicas no seu ambiente natural. A intensificação da exploração humana sobre os recursos naturais dessas regiões tem causado a degradação do solo, dos recursos hídricos, da vegetação e da biodiversidade que, somados aos fatores socioeconômicos e à possível mudança climática, local ou regional, vem dando início ao processo chamado desertificação. Entre as atividades humanas que mais contribuem para a degradação ambiental se destacam o sobrepastejo de animais e o desmatamento para fins agrícolas (Oldeman, 1994).

Entre os processos de degradação a erosão hídrica é apontada como o principal (Le Houérou, 1996). Com a interferência humana sobre o meio, a erosão hídrica provoca aceleração da perda de solo, causando redução da fertilidade e, conseqüentemente, a capacidade do solo manter o crescimento das plantas. A cobertura do solo atua na redução do impacto direto das gotas de chuva e da sua energia cinética. Portanto, este é o principal fator de redução do escoamento superficial e da perda de solo (Moreno-de Las Heras et al., 2009; Garcia-Estringana et al., 2010; Boer & Puigdefábregas, 2005).

O pousio é a forma comumente usada para recuperação de áreas degradadas; seu principal fator para a recuperação da fertilidade do solo e da cobertura vegetal é o próprio poder de resiliência do solo. Porém, o tempo de pousio praticado na Região Semiárida do Brasil tem diminuído em função da crescente demanda por produtos agrícolas. Esta redução no tempo de pousio intensifica o uso da terra e reduz a capacidade de recuperação do solo, ou seja, sua resiliência (CEARÁ, 2010).

O estudo teve por objetivo avaliar o regime hidrológico e sedimentológico de duas encostas numa região semiárida; a primeira encosta submetida à prática de pousio há mais de dez anos em comparação a uma outra encosta submetida ao sobrepastejo há mais de 20 anos.

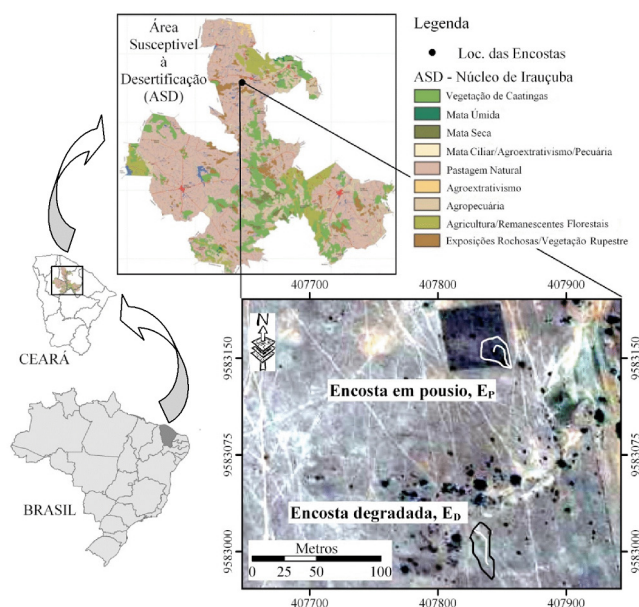
Material e Métodos

Local de estudo

O estudo foi realizado na Área Susceptível à Desertificação (ASD) – Sertões de Irauçuba e Centro-Norte, no município de Irauçuba, CE, que também é um dos núcleos de desertificação do Semiárido Brasileiro (BRASIL, 2004; CEARÁ, 2010). O clima da região é do tipo quente e semiárido com chuvas de verão (média anual de 530 mm) e evapotranspi-

ração potencial de 2010 mm. No solo do tipo Planossolo Nátrico Órtico típico, A fraco, a vegetação nativa é a Caatinga arbustiva aberta, sendo que a principal atividade econômica na área de estudo é a pecuária extensiva (bovino e ovino) em sobrepastejo, sem uso de práticas conservacionistas (CEARÁ, 2010; Sousa, 2009).

São caracterizadas, a seguir, as duas encostas analisadas: a encosta em pousio e a encosta degradada. A encosta em pousio (E_p – 370 m²) foi definida numa área de exclusão de animais há mais de dez anos e a encosta degradada (E_D – 468 m²) se localiza numa área de sobrepastejo animal (bovino/ovino) com as mesmas características de solo, relevo e clima da área em pousio; a diferença entre as encostas se limita apenas ao uso e à cobertura do solo (Figura 1).



Fonte: Adaptado de CEARÁ (2010) e Imagem extraída do Google Earth referente a janeiro de 2004

Figura 1. Mapa da cobertura vegetal da área susceptível à desertificação (ASD) – Sertões de Irauçuba e Centro-Norte e localização da encosta em pousio (E_p) e da encosta degradada (E_D)

Na Tabela 1 estão apresentados os atributos físicos do solo das encostas em estudo; os atributos foram determinados por meio da análise físico-química de uma amostra composta a partir de três subamostras; as amostras se referem às profundidades 0-20 cm e de 20 - 40 cm, tendo sido coletadas no período chuvoso (28 de abril de 2011).

Precipitação

As encostas foram monitoradas durante 16 meses (01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011). A pluviometria foi obtida por meio da instalação de três pluviômetros, dois Ville de Paris e um pluviômetro de balsa automática

Tabela 1. Atributos físicos e granulometria do solo das áreas de exclusão de animais (E_p) e de sobrepastejo (E_D) no sítio Cacimba Salgada, no município de Irauçuba, CE, abril de 2011

Camada (m)	Composição Granulométrica					Densidade		Umidade			pH Água	CE dS m ⁻¹
	AG	AF	Silte	Argila	AN	Global	Partícula	CC	PMP	AD		
	g kg ⁻¹					g cm ⁻³		g 100g ⁻¹				
Encosta em pousio (E_p)												
0 - 0,2	371	343	193	93	80	1,46	2,58	11,65	7,14	4,51	5,7	0,32
0,2 - 0,4	348	140	214	298	291	1,39	2,58	26,36	19,36	7,00	6,3	1,63
Encosta degradada (E_D)												
0 - 0,2	407	255	203	135	121	1,47	2,55	13,16	10,59	2,57	6,2	0,22
0,2 - 0,4	375	179	224	222	191	1,47	2,63	19,99	16,01	3,98	6,8	0,85

AG – Areia Grossa; AF – Areia Fina; AN – Argila Natural; CC – Capacidade Campo (0,033 MPa); PMP – Ponto de Murcha Permanente (1,5 MPa); AD – água disponível; pH – Potencial de Hidrogênio; e CE – Condutividade Elétrica do extrato de saturação

A.



B.



Nas fotos, os números têm os seguintes significados: 1 – Calha Parshall; 2 – Contentor de água e sedimento; 3 – Caixas d'água coletoras do escoamento superficial e 4 – Pluviômetro Ville de Paris

Figura 2. Monitoramento das encostas de estudo: (A) encosta em pousio – E_p ; (B) encosta degradada - E_D

(Figura 2); os pluviômetros Ville de Paris foram usados para obtenção da lâmina precipitada diariamente em cada encosta. O pluviômetro de balança automática registrou a intensidade a cada 5 min para determinação da erosividade e do padrão hidrológico das chuvas. A erodibilidade da chuva foi obtida segundo a metodologia de Wischmeier (1959), apresentada por Haan et al. (1993). O padrão hidrológico da chuva foi analisado segundo classificação de Horner & Jens (1942) em uma das três categorias: avançado, intermediário ou atrasado, em que o padrão avançado ocorre quando a maior intensidade é registrada no terço inicial; o intermediário, quando no terço médio e o padrão atrasado quando no terço final da chuva.

Escoamento superficial

O escoamento superficial foi obtido por meio da instalação de duas calhas Parshall e dois sistemas coletores de água e sedimento, um em cada encosta (Figura 2). As calhas Parshall foram instaladas com a finalidade de se registrar a vazão de pico em cada encosta. O sistema coletor do escoamento superficial é composto por um contentor de água e sedimento, feito em concreto e por caixas d'água

instaladas em série. As caixas são responsáveis pelo armazenamento da água e do sedimento.

Na encosta em pousio (E_p) o sistema coletor é composto por uma caixa de 1.000 L com oito saídas, uma delas ligada à outra caixa de 1.000 L. Este sistema permite captar um volume representativo de 8.900 L (Eq. 1). Na encosta degradada (E_D) o sistema é composto por uma caixa de 1.000 L com dez saídas, uma delas ligada a segunda caixa de 250 L com oito saídas, uma delas ligada à terceira caixa de 1.000 L em que, ao final o sistema poderá captar um volume representativo de 27.200 L (Eq. 2). O escoamento superficial em cada encosta em mm (H_i) foi obtido pela razão entre o volume total escoado em cada encosta, em L (V_i) e a área de cada encosta, em m² (A_i), conforme a Eq. 3.

$$V_{E_p} = V_{caixa1} + (8 \times V_{caixa2}) \quad (1)$$

$$V_{E_D} = V_{caixa1} + (10 \times V_{caixa2}) + (18 \times V_{caixa3}) \quad (2)$$

$$H_i = \frac{V_i}{A_i} \quad (3)$$

Perda de solo

A concentração de sedimentos (Cs) foi determinada pelo método da secagem, obtendo-se a concentração dos sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), todos em mg L⁻¹ (Silva & Oliveira, 2001); maiores detalhes do método podem ser encontrados em Almeida (2011). Os sólidos totais (ST) correspondem à concentração total de sedimentos (Cs) enquanto SF e SV correspondem, respectivamente, à concentração das partes mineral e orgânica, que formam a massa total do sedimento. A massa total erodida (ME, em g) é calculada através das Eqs. 4 e 5 para E_p e E_d, respectivamente. Nas referidas equações Cs diz respeito às concentrações de sedimentos (ST, SF ou SV, conforme o caso).

$$ME_{E_p} = Cs_1 \times V_1 + Cs_2 \times V_2 \quad (4)$$

$$ME_{E_d} = Cs_1 \times V_1 + Cs_2 \times V_2 + Cs_3 \times V_3 \quad (5)$$

A perda de solo por unidade de área (PS), em kg ha⁻¹ para cada encosta, foi determinada pela razão entre a massa erodida (ME) e a área (A) correspondente a cada encosta em estudo, como se apresenta na Eq. 6.

$$PS_i = \frac{ME_i}{A_i} \quad (6)$$

O potencial de arraste de sedimento (PAS) foi calculado pela razão entre a perda de solo (Mg ha⁻¹) e o escoamento superficial (mm); ele representa a susceptibilidade do solo à erosão hídrica, expressando a maior erodibilidade de um solo tal como o nível de proteção que o solo apresenta contra as perdas.

Número da curva do método SCS

O parâmetro número da curva (CN) do método Soil Conservation Service (SCS) foi obtido por meio da calibração e validação utilizando-se, como método de avaliação do modelo, o coeficiente de Nash & Sutcliffe (1970) – NES. Para a calibração e validação do método SCS, foram usados 14 dos 21 eventos registrados. Os eventos foram ordenados de forma crescente e ranqueados de 1 a n. Os eventos ímpares foram usados na calibração e os pares na validação (Tabela 4). Os limites de umidade antecedente, a cobertura do solo, a abstração inicial e a equação de conversão do CN médio (CN II) para o CN seco (CN I) e CN úmido (CN III) foram definidos de acordo com Chow et al. (1988) e Hann et al. (1994); já o grupo de solo

foi determinado segundo a classe textural (Tabela 1) e a velocidade básica de infiltração (VIB) determinada com testes de infiltração nas encostas.

Resultados e Discussão

Precipitação

No período de estudo foram observados 55 eventos de precipitação (Tabela 2) de cujo total 25 ocorreram no ano de 2010 e os demais em 2011. Foram quatro os períodos de estiagem acima de 15 dias durante o período de chuvas na região; desses quatro períodos de estiagem três ocorreram no ano de 2010, entre eles o mais longo, com 48 dias de duração (15 de fevereiro a 4 de abril de 2010).

Tabela 2. Análise comparativa da precipitação da encosta em pousio (E_p) e da encosta degradada (E_d) e o nível de significância entre as chuvas registradas nas duas encostas, no sítio Cacimba Salgada município de Irauçuba, CE, em 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Precipitação (mm)	Pousio (E _p)	Degradada (E _d)
Total em 2010	264,1	263,4
Total em 2011*	450,5	440,7
Máxima	46,2	45,1
Mínima	0,3	0,2
Média por evento	12,8	12,6
Desvio padrão por evento	11,3	11,2
Teste F (α) para séries de todos os eventos em EI e EII		0,9485

* Período entre 01 de janeiro a 15 de abril de 2011

As chuvas registradas nos dois pluviômetros Ville de Paris, equidistantes 200 m, apresentaram diferença significativa (α 5%) quanto à igualdade de suas precipitações. A alta irregularidade espaço-temporal das precipitações observadas neste estudo é confirmada por Le Houérou (1996) em regiões semiáridas e constatadas por Cooper et al. (2008) e Batisani & Yarnal (2010) na África sub-Sahariana, Cánton et al. (2001) no semiárido espanhol e Silva (2004) no semiárido brasileiro.

A partir dos 55 eventos registrados observou-se que o limite mínimo de precipitação capaz de gerar escoamento superficial foi de 8,6 e 7,2 mm com escoamento superficial de 0,14 e 0,17 mm em E_p e E_d, respectivamente. Figueiredo (2011) observou, estudando a bacia experimental de Aiuaba, CE, que nenhuma precipitação inferior a 11,5 mm foi capaz de gerar escoamento. Cánton et al. (2001) constataram, estudando microbacias em sistemas de badlands no sudeste semiárido da Espanha, que este limite foi de 3,5 mm. Srinivasan et al. (2003) observaram, ao estudar duas microbacias desmatadas no semiárido paraibano (0,52 e 0,48 ha), que este limite foi de 5,0 mm, dependendo da umidade antecedente nas mi-

crobasias. Os valores apresentados pelos citados autores se apresentaram próximo aos observados neste estudo. A ocorrência de escoamento ou não para chuvas acima deste limite dependerá dos condicionantes geológicos (Araújo & Piedra, 2009); das condições de campo, como umidade do solo e cobertura vegetal (Srinivasan et al., 2003; Cánton et al., 2001), além das características intrínsecas do evento, por exemplo, intensidade para duração igual ao tempo de concentração da bacia (Figueiredo, 2011).

O limite superior de precipitação capaz de gerar escoamento na E_p (8,6 mm) demonstra que a referida encosta possui maior abstração inicial, ou seja, maior capacidade de retenção de água. O incremento da abstração inicial na E_p em relação à E_D foi promovido pela interceptação vegetal da serrapilheira e pela camada superficial do solo, que se encontra em pousio há dez anos. Esta conjectura também é compartilhada por outros autores (Cánton et al., 2001; Srinivasan et al., 2003; Moreno-de Las Heras et al., 2009), uma vez que a cobertura vegetal favorece o aumento da taxa de infiltração e a redução da velocidade de escoamento, contribuindo para que o escoamento só ocorra sob limite de precipitação superior ao da encosta degradada.

A precipitação máxima incapaz de iniciar o escoamento foi de 17 mm (nos dias 19 e 26 de janeiro de 2010) em ambas as encostas. A provável explicação para a igualdade desse limite entre as encostas é que o parâmetro de maior influência neste processo é a estrutura do solo. Apesar das diferenças na superfície do solo entre as duas áreas, o tempo ainda não foi capaz de alterar significativamente as propriedades físicas do solo, conforme Sousa (2009). Esta igualdade no limite de precipitação incapaz de gerar escoamento superficial nas duas encostas está de acordo com as observações de Srinivasan et al. (2003). Os autores citados observaram que a influência da vegetação rasteira como cobertura morta é mínima no escoamento superficial, sendo sentida somente nas menores chuvas enquanto nas maiores chuvas as lâminas escoadas foram praticamente as mesmas da parcela desmatada. Cánton et al. (2001) observaram

que a precipitação máxima incapaz de iniciar o escoamento superficial foi de 14,2 mm no semiárido espanhol; já Srinivasan et al. (2003) observaram que este limite foi de 30 mm em duas microbasias com Caatinga nativa. Figueiredo (2011) observou que a maior precipitação incapaz de gerar escoamento na bacia experimental de Aiuaba foi de 43 mm, valor superior aos demais, justificado principalmente pela geologia local.

Devido a problemas no pluviômetro de balsa automática, apenas 18% dos eventos pluviométricos tiveram suas intensidades adequadamente registradas, o que impede se obter maiores conclusões sobre a erosividade e o padrão hidrológico das chuvas. A erosividade das chuvas foi calculada, portanto, somente para seis eventos, que se enquadraram na definição de Wischmeier (1959) para chuvas erosivas (Tabela 3).

Apesar do pequeno número de dados disponíveis verifica-se, na Tabela 3, a heterogeneidade do regime pluviométrico de regiões semiáridas, principal agente regulador do processo hidrológico. Por exemplo, os eventos dos dias 2 e 5 de maio de 2010 (com mesma precipitação) registraram erosividade bem distintas, com razão próxima a três; caso mais notório se observa nos eventos do dia 2 de fevereiro e 19 de janeiro de 2011 em que, apesar de registrarem praticamente a mesma lâmina precipitada, a razão entre suas erosividades é de quase seis.

Quanto ao padrão hidrológico da chuva observou-se que 70% dos eventos estão entre atrasado e intermediário (com 40% de padrão atrasado), resultado que corrobora com o padrão obtido por Araújo & Piedra (2009) ao compararem duas bacias tropicais (uma semiárida no Ceará e a outra úmida, em Cuba) usando-se o padrão de Huff. Os autores concluíram que a bacia cearense tinha padrão hidrológico atrasado, enquanto a bacia cubana tinha padrão avançado. Os dois trabalhos apontam que nas chuvas no semiárido cearense seus picos de maior intensidade ocorrem na parte final do evento. O padrão atrasado faz com que as chuvas na região tenham maior potencial erosivo com relação a uma precipitação com mesmo volu-

Tabela 3. Erosividade, intensidades média e máximas nos intervalos de tempo de 5 e 30 minutos dos eventos registrados pelo pluviômetro de balsa automática, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, CE, no período de abril de 2010 a abril de 2011

Data	Duração (h)	P (mm)	Intensidade (mm h ⁻¹)			R*
			I _{média}	I ₅	I ₃₀	
01/05/10	2,9	17,14	4,1	38,4	20,8	64,1
02/05/10	1,0	37,43	26,2	76,8	47,6	450,3
05/05/10	2,0	37,14	13,0	45,6	19,2	160,5
10/01/11	0,3	7,43	22,3	58,3	14,9	27,2
19/01/11	4,5	21,14	4,7	41,1	15,4	60,3
02/02/11	0,3	24,28	72,9	96,0	48,6	345,8

*R = Erosividade da chuva, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹

me e intensidade em outra região, na qual seu padrão hidrológico seja avançado ou intermediário.

Carvalho et al. (2005) estudaram a região de Seropédica, RJ, e concluíram, para condições de chuvas naturais, que as chuvas de padrão atrasado representaram 14% da precipitação total, mas foram responsáveis por 25% do escoamento gerado e por mais de 58% da perda total de solo; já Eltz et al. (2001) avaliaram, em Santa Maria, RS, que a erosividade média necessária para promover um milímetro de escoamento é de 13; 17 e 3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mm⁻¹ de acordo com os padrões de chuva avançado, intermediário e atrasado, respectivamente. Ou seja, uma chuva com erosividade muito inferior é capaz de gerar escoamento (e, portanto, transportar sedimentos: Medeiros et al., 2010) no padrão atrasado em relação aos demais padrões hidrológicos.

Escoamento superficial

Dos 21 registrados no período de estudo apenas 15 eventos tiveram seus escoamentos medidos simultaneamente, nas duas encostas; nos demais casos houve perda na coleta de dados em, pelo menos, uma encosta, principalmente pela ruptura do sistema de coleta de água sem que tenha havido tempo hábil para restabelecimento do sistema antes do próximo evento. As análises apontaram que todas as variáveis da Tabela 4 são estatisticamente diferentes (< 0,05) entre as duas encostas, apresentando alto coeficiente de variação.

O escoamento superficial médio na E_D foi cerca de três vezes superior ao da E_P, ou seja, o pouso promoveu redução de 60% no escoamento superficial, em relação à encosta degradada (E_D). Gómez et al. (2004) observaram, em um solo vértico no sul da Espanha com precipitação média de 665 mm anuais, redução considerável no coeficiente de escoamento no sistema de produção de olivas mantido com cobertura contínua de gramíneas em relação ao sistema de plantio direto com ca-

pina química (89%) e em relação ao sistema convencional com quatro capinas (65%). Martins et al. (2003) compararam o escoamento superficial entre três tipos de solo sob cobertura de mata nativa, eucalipto e solo descoberto e observaram que a mata nativa reduziu, em média, 67%, o coeficiente de escoamento superficial. Carvalho et al. (2009) avaliaram que o cultivo de crotalaria com 86% de cobertura do solo reduziu o escoamento em 67% em relação ao plantio de milho morro abaixo. Albuquerque et al. (2002) observaram que uma parcela com Caatinga nativa reduziu em 99% o coeficiente de escoamento superficial em relação a uma parcela com solo descoberto. Os valores encontrados na literatura acima referida corroboram com os resultados desta pesquisa.

O comportamento do escoamento superficial variou durante o período de estudo (Figura 3). Nota-se uma mudança na razão entre o coeficiente de escoamento superficial na E_D e na E_P, a partir do dia 20 de fevereiro de 2011. A análise de cada período está apresentada na Figura 4. O primeiro período, seco, caracteriza-se pela baixa umidade do solo associada à ausência de cobertura vegetal, mesmo na E_P (aí havia cobertura morta/serrapilheira, mas não cobertura vegetal); já o segundo

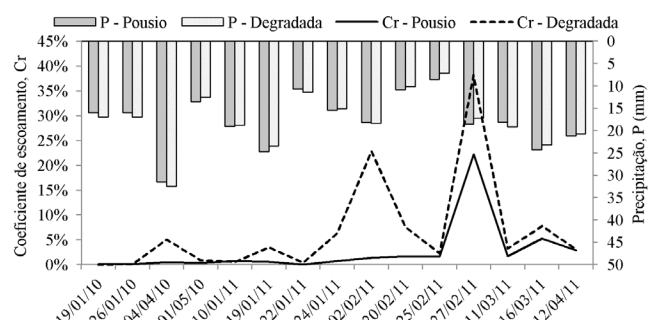


Figura 3. Coeficiente de escoamento superficial de 15 dos 21 eventos registrados na encosta em pouso (E_P) e na encosta degradada (E_D) e sua precipitação, no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba – CE, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Tabela 4. Parâmetros estatísticos do escoamento superficial (H), do coeficiente de escoamento (Cr), da perda de solo (PS) e do potencial de arraste de sedimento (PAS) na encosta em pouso (E_P) e na encosta degradada (E_D) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, CE, 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Parâmetros estatísticos	H (mm)		Cr (%)		P.S (kg ha ⁻¹)		PAS (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
	E _P	E _D	E _P	E _D	E _P	E _D	E _P	E _D
Máximo	4,14	6,57	22,26	38,18	19,50	107,59	7,66	25,24
Mínimo	0,01	0,01	0,08	0,04	0,07	0,04	1,00	4,27
Média	0,54	1,32	2,70	6,80	3,07	17,85	2,74	10,14
¹ D.P	1,09	1,87	6,00	10,00	5,38	30,66	2,75	5,07
² C.V	201%	142%	209%	153%	175%	172%	100%	50%
Teste F (α) para séries de todos os eventos medidos em E _P e E _D	0,9731		0,99999		0,9565			

¹ D.P – desvio padrão da média

² C.V – coeficiente de variação

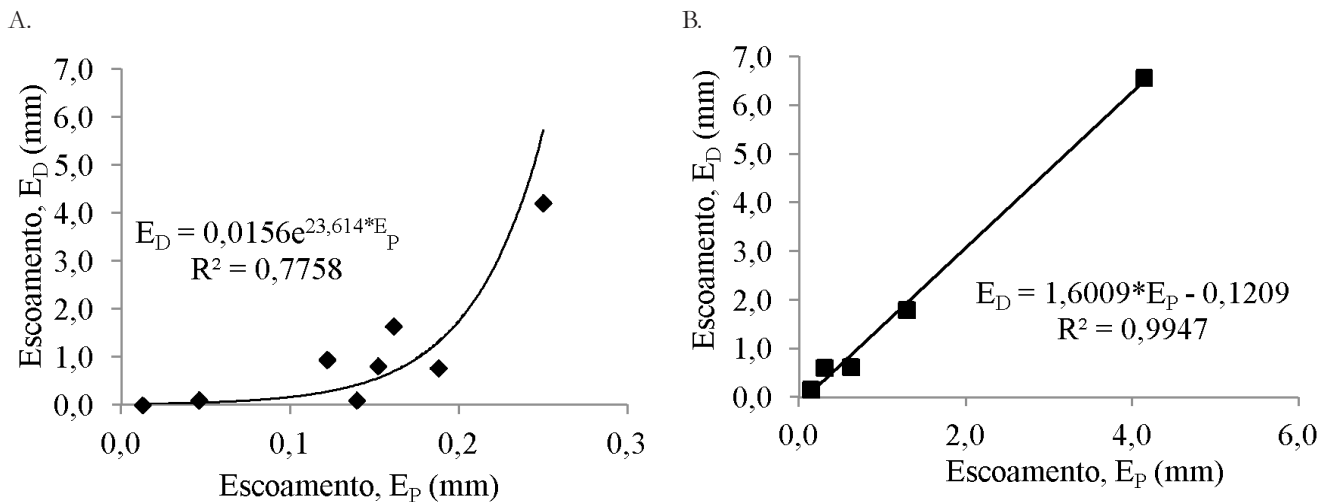


Figura 4. Relação entre o escoamento superficial na encosta em pouso (E_p) versus encosta degradada (E_D): (A) primeiro período entre 01 de janeiro de 2010 e o dia 20 de fevereiro de 2011 e (B) segundo período de 25 de fevereiro de 2011 a 15 de abril de 2011

período, úmido, caracteriza-se pela alta taxa de umidade no solo, em virtude do regime regular de chuva no início do ano (170 mm), associada à presença da cobertura vegetal nas duas encostas.

No período seco (Figura 4A) a relação do escoamento superficial (Cr) nas duas encostas comportou-se de forma exponencial, comportamento também observado por Moreno-de Las Heras et al. (2009) e Freitas et al. (2008). Os autores citados concluíram que o escoamento superficial diminuiu exponencialmente com o aumento da cobertura vegetal. A redução considerável do escoamento na E_p no período seco se deve principalmente à existência de serrapilheira em relação à E_D (Sales, 2003; Sales & Oliveira, 2006; Sousa, 2009). A cobertura contínua do solo contribui para a redução da densidade do solo; para o aumento da porosidade total (Castellano & Valone, 2007; Huang et al., 2007); para maior retenção inicial da umidade; para o aumento na profundidade da frente de umedecimento (Inácio et al., 2005; Moreno-de Las Heras et al., 2009); para a proteção do solo ao impacto direto das gotas de chuva, que podem causar seu selamento superficial e seu encrostamento (Inácio et al., 2005; Onda et al., 2007); para a redução da temperatura do solo e para o aumento da umidade (Bhatt & Khera, 2006). Todos esses fatores devem ter contribuído, sem dúvida, para a redução do escoamento superficial na E_p .

No período úmido a relação do coeficiente de Cr entre duas encostas comportou-se de forma linear (Figura 4B). O valor de 1,6 (apresentado na equação da Figura 4B) indica que na E_D o Cr é aumentado em 60% em referência ao escoamento da E_p . Ao se encontrar com alto teor de água nas duas encostas, o solo reduz significativamente sua influência sobre a relação do escoamento superficial entre

as encostas. O alto teor de água elimina o efeito da maior capacidade de armazenamento e do aumento da velocidade de infiltração inicial na E_p quanto à E_D . No estado de saturação a velocidade básica de infiltração (VIB) possui valor próximo nas duas encostas (VIB = 2,0 mm h⁻¹ e 1,5 mm h⁻¹ em E_p e E_D , respectivamente). Com o desenvolvimento da cobertura vegetal na E_D elimina-se a ação do impacto direto das gotas de chuva e se reduzem os efeitos de fatores como a velocidade de escoamento sobre o escoamento superficial na relação entre E_p e E_D . Após o desenvolvimento da vegetação, a mudança no regime de escoamento superficial foi mais acentuada na E_D , por não manter o solo protegido durante todo o ano. No caso da E_p , essa proteção é feita pela serrapilheira e pela cobertura vegetal. O maior estrato da cobertura do solo na E_p com até três níveis (1º arbustivas; 2º herbáceas e cactáceas e 3º cobertura morta ou serrapilheira) aumenta a retenção inicial de água, contribuindo para a redução do escoamento quando há apenas o estrato herbáceo. Neste contexto, os fatores com maior grau de diferenciação entre as encostas são a presença da cobertura morta e a presença do estrato da cobertura do solo na E_p . Zheng et al. (2008) afirmam que a estrutura da vegetação e as formas de vida vegetal são os principais fatores responsáveis pela redução do escoamento superficial e do transporte de sedimentos.

Com base na relação apresentada na Figura 4B e no que foi exposto, pode-se dizer que, somada ao extrato de vegetação, a serrapilheira apresenta, após dez anos de pouso, uma redução de 60% no escoamento de E_p em referência ao registrado na E_D ; este resultado, embora baseado em medidas de campo, ainda não é conclusivo, posto que a umidade não foi monitorada durante o período de estudo.

Perda de solo

A concentração média de sedimentos do escoamento superficial (C_s) registrada foi de 734 mg L^{-1} na encosta em pousio e de 1.058 mg L^{-1} na encosta desertificada, ou seja, a C_s na E_p foi cerca de 1/3 menor que a C_s da E_d . A Figura 5 apresenta o comportamento da C_s nos 14 eventos analisados com valor máximo de 1.613 e 2.554 mg L^{-1} e mínimo de 471 e 432 mg L^{-1} , nas E_p e E_d , respectivamente. Observa-se ainda, na Figura 5, que nos dias 19 de janeiro de 2010 e 22 de janeiro de 2011 não houve escoamento na E_d nem na E_p , respectivamente.

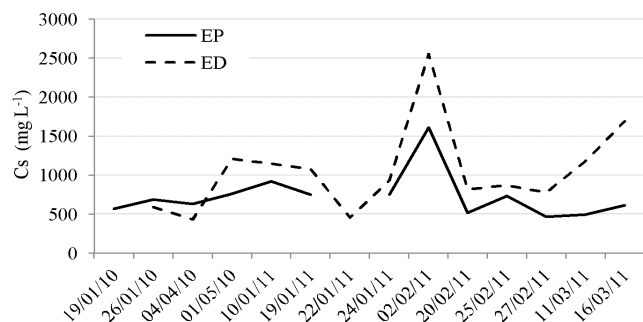


Figura 5. Concentração de sedimentos (C_s) nos 14 eventos medidos dos 21 eventos registrados no sítio Cacimba Salgada, município de Irauçuba, CE, no período de 01 de janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

A cobertura do solo, promovida por resíduos vegetais, serrapilheira ou cobertura vegetal, proporciona menor concentração de sedimentos (C_s) em relação à superfície desprotegida (Schick et al., 2000; Inácio et al., 2005; Freitas et al., 2008). Carvalho et al. (2002) acrescentam que a pequena movimentação mecânica do solo minimiza o impacto das gotas, diminuindo a desagregação do solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada. Inácio et al. (2007) analisaram o efeito topográfico sobre a concentração de sedimentos mantidos com e sem cobertura vegetal formada por pastagem. Os autores citados observaram menor C_s nos menores declives, independente da cobertura do solo, sendo a C_s maior para o solo descoberto.

A partir do valor de concentração (C_s) é possível determinar a perda de solo. A perda de solo (PS) total obtida nos 14 eventos foi de 40 e 232 kg ha^{-1} na E_p e na E_d , respectivamente. O período de dez anos de pousio proporcionou redução de 83% da PS quanto à área degradada pelo sobrepastejo animal.

Zheng et al. (2008) estudaram a perda de solo entre diferentes tipos de vegetação e coberturas do solo e avaliaram que as áreas vegetadas reduziram a perda de solo entre 76 e 97% em relação à parcela padrão, com 15% de cobertura. Os autores citados concluíram que os fatores ecológicos determinaram a magnitude da perda de solo, por meio do

dossel da cobertura vegetal, da serrapilheira, das raízes e formas de vida da planta, das propriedades do solo e da estrutura da vegetação. Boer & Puigdefábregas (2005) concluíram que os fatores que mais afetaram o escoamento e as perdas de solo foram a cobertura do solo e a declividade.

Srinivasan et al. (2003) e Albuquerque et al. (2002) observaram que as parcelas com cobertura de Caatinga nativa e em pousio há seis anos e com cobertura morta reduziram entre 99 e 74% a perda de solo em relação à parcela desmatada. Esses resultados corroboram com os valores obtidos neste estudo. Bhatt & Khera (2006) concluíram, estudando dois tipos de preparo do solo (cultivo mínimo e convencional) com aplicação de mulch em diferentes proporções e formas, submetidas a chuvas simuladas, que a aplicação de mulch reduziu em 87 e 91% a perda de solo em relação à parcela com preparo mínimo e convencional, respectivamente, ambas com solo descoberto.

Esses resultados demonstram a importância da cobertura vegetal e a presença da serrapilheira na encosta em pousio, o que contribuiu significativamente para a redução da perda de solo. Além desses trabalhos vários outros se destacam em outras partes do mundo, como os de Onda et al. (2007) na Mongólia, Gómez et al. (2004) na Espanha, Freitas et al. (2008), Inácio et al. (2005, 2007) no Brasil.

Quanto à composição dos sedimentos em material orgânico (SV) e material mineral (SF), observou-se que a E_p apresentou maior porcentagem de matéria orgânica (média de 40%) nos sedimentos, em relação à E_d (média de 32%). A maior proporção do material orgânico na E_p se deve à maior cobertura do solo nessa área, resultado de dez anos de pousio.

O tempo de pousio proporcionou redução de 3/4 do potencial de arraste de sedimento (PAS) na E_p em relação à E_d . Martins et al. (2003); Silva et al. (2005) e Silva (2006) observaram que, mantendo-se as mesmas condições de clima, relevo e cobertura, mas com diferentes tipos de solo, o valor do PAS foi diferente. Assim como um solo sob as mesmas condições de clima, relevo e topografia, mas com diferente cobertura do solo, também pode apresentar valor de PAS divergente (Martins et al., 2003; Silva, 2006; Carvalho et al., 2007). Solos com boa cobertura vegetal apresentam valores de PAS variando entre 3 a $11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ enquanto solos com pouca cobertura vegetal apresentam valores bem superiores, podendo chegar a mais de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ em um Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, com solo nu (Martins et al., 2003).

O baixo valor médio de PAS observado no presente estudo, em especial na E_D , deve-se, possivelmente, a dois fatores: a suavidade do relevo nas duas encostas e a falta dos registros de escoamento e perda de solo nos maiores eventos de precipitação. Srinivasan et al. (2003) observaram que a cobertura morta exerce pouca influência sobre o escoamento superficial nos grandes eventos, mas, quanto à erosão, notou-se grande diferença. Portanto, as perdas de dado em grandes eventos (2 de maio de 2010; 5 de maio de 2010; 25 de janeiro de 2011) em que a E_D se encontrava sem cobertura vegetal, certamente contribuíram para que o valor de PAS fosse menor neste trabalho.

Curva da vazão de recessão do escoamento superficial

Por meio do monitoramento do escoamento superficial na E_D no dia 27 de fevereiro de 2011, com precipitação de 18,6 mm e duração de 1:15 h (uma hora e quinze minutos) foi possível gerar o hidrograma da Figura 6. Este monitoramento foi realizado por meio da observação da vazão na Calha Parshall e por medições diretas do escoamento (balde de 15 L graduado e cronômetro). O tempo total de escoamento na E_D foi de 1:35 h (uma hora e trinta e cinco minutos), bem próximo à duração da chuva. No entanto se observou, com o fim do escoamento na E_D , que a E_p ainda permanecia escoando com vazão de $0,78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. O volume total obtido na E_p após o registro desta vazão foi de 350 L. Com essas informações foi possível estimar o tempo total de escoamento na E_p , que foi de 2:45 h (duas horas e quarenta e cinco minutos). Devido à falha no pluviômetro de balsa não se registrou a intensidade deste evento, o que poderia ter contribuído para melhor interpretação do comportamento hidrosedimentológico das duas encostas.

Com base nas informações obtidas em campo foi possível obter a curva da vazão de recessão da

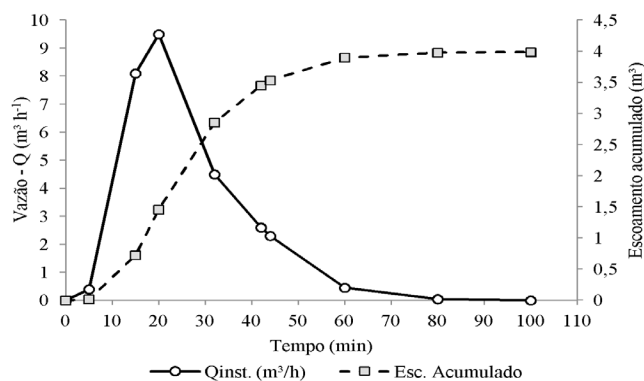


Figura 6. Hidrograma de vazão e volume acumulado na encosta degradada (E_D) em evento registrado com precipitação de 18,6 mm no dia 27 de fevereiro de 2011

e modelar a curva da vazão de recessão na E_p (Figura 7). As respostas apresentadas pela curva da vazão de recessão nas duas encostas demonstram que o tempo de pousio promoveu um aumento de 340% no tempo de recessão, ou seja, o tempo de recessão de 20 min na E_D aumentou para 1:28 h (uma hora e vinte oito minutos) na E_p .

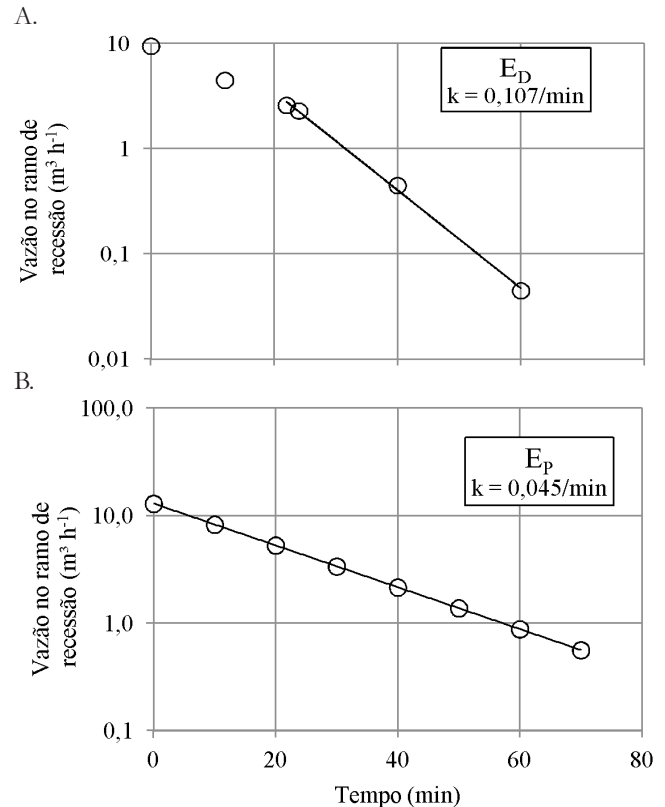


Figura 7. Curva da vazão de recessão do escoamento superficial no evento do dia 27 de fevereiro de 2011, com precipitação de 18,6 mm: (A) encosta degradada (E_D) e (B) encosta em pousio (E_p)

Este resultado reforça a importância da manutenção contínua da cobertura vegetal, promovida pelos dez anos de pousio sobre o regime hidrológico. A menor taxa da curva da vazão de recessão na encosta em pousio influencia: no maior tempo de permanência da água na bacia hidrográfica; na redução da vazão de pico e na amortização das cheias ou enchentes (Inácio et al., 2005; Moreno-de las Heras et al., 2009; Yang Chuanguo et al., 2009). Promove-se, assim, maior segurança hídrica dos ambientes sujeitos à perda de produção ou morte das plantas nos períodos de estiagem, comuns durante a época das chuvas nas regiões áridas e semiáridas (Bhatt & Khera, 2006; Zheng et al., 2008).

Determinação do número da curva (CN) do método SCS

A classe textural do solo (Tabela 1) foi Franco argilo-arenosa com VIB de $1,0$ e $1,5 \text{ mm h}^{-1}$ na E_p e na E_D , respectivamente, que na classificação do

Tabela 5. Valores de CN para as três condições de umidade antecedente do método Soil Conservation Service (SCS), calibrados e validados pelo coeficiente de Nash & Sutcliffe (1970) – NES, para encosta em pousio (E_p) e encosta degradada (E_D) no sítio Cacimba Salgada, Irauçuba, CE, janeiro de 2010 a 15 de abril de 2011

Parâmetros	Ia	CN I	CN II	CN III	NES	
					Calibração	Validação
Pousio, E_p	0,20	60,38	78,40	89,30	0,92	0,65
Degradada, E_D	0,20	71,16	85,45	93,11	0,52	0,44

Ia: razão entre a abstração inicial e a capacidade de armazenamento (adimensional); CN I: condição de umidade seca; CN II: condição de umidade média; CN III: condição de umidade úmida

Tabela 6. Número da curva (CN) para bacias agrícolas nas condições de umidade antecedente normal (AMC II)

Cobertura do solo	Condições de superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Pastagens para pastoreio ¹	Pobre	68	79	(86)	89
	Normal	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
Campos permanentes ²	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	(77)	83
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77

¹ Fonte: Pruski et al. (2004)

² Fonte: Tucci (1993).

Entre parênteses o valor de CN tabelado para as duas encostas.

método Soil Conservation Service (SCS) representa um solo do Grupo C, conforme Hann et al. (1994). Os demais parâmetros do método SCS foram determinados de acordo com Chow et al. (1988) e Hann et al. (1994). Com base nas informações acima, associado a calibração e a validação, o parâmetro número da curva (CN) foi de 78,4 e 85,5 para E_p e E_D , respectivamente (Tabela 5).

Os valores obtidos através da modelagem do escoamento superficial nas duas encostas estão de acordo com valores encontrados na literatura (Tabela 6). O valor de CN para E_p pode ser classificado em campos permanentes em virtude da vegetação típica para essas áreas de Planossolos serem desfavoráveis ao crescimento de plantas perenes, conforme apresentado por Silva et al. (2003). Nessas áreas, a Caatinga é bastante raleada, com alta diversidade em seu estrato herbáceo, formado devido à exclusão de animais (Sales & Oliveira, 2005). Já a E_D por ser uma área de pastagem há muito tempo, sem adoção de prática conservacionista, encontra-se em más condições, situação amenizada somente devido à presença do capim-panasco (*Aristida setifolia*). Esta gramínea proporciona, por não ser apreciada pelos animais, a formação de uma relva contínua sobre o solo, não permitindo que a degradação seja maior (Sales & Oliveira, 2005). O capim-panasco também é considerado uma planta indicadora de solos degradados (Accioly et al., 2005; Guedes et al., 2008; Cunha et al., 2009).

De acordo com o valor determinado de CN para cada encosta, por meio da modelagem e pelos valores tabelados, é possível observar que os dez anos de pousio influenciaram significativamente o parâmetro CN (redução de 8%) na encosta em pousio em relação à encosta degradada.

Conclusões

1. As chuvas da região demonstraram grande irregularidade espaço-temporal, além de erosividade altamente variável, para o mesmo volume precipitado.
2. O padrão hidrológico das chuvas na região foi o atrasado, o que representa um potencial erosivo maior das chuvas na região.
3. Os dez anos de prática de pousio promoveram redução de 68% do escoamento superficial em relação à área degradada.
4. A menor precipitação capaz de gerar escoamento superficial na encosta degradada foi de 7,2 mm; já na encosta em pousio este valor foi quase 20% superior (8,6 mm), pois houve incremento de abstração inicial na encosta preservada. Isso deriva de alterações na interceptação vegetal, na formação de serrapilheira e na camada superficial do solo.
5. A maior precipitação incapaz de gerar escoamento superficial foi a mesma nas duas encostas (17 mm).
6. O tempo de pousio promoveu aumento de 340% no tempo de recessão da vazão, o que leva a um maior tempo de permanência da água no solo.
7. Os dez anos de pousio reduziram a perda de solo em cerca de 80% quando comparada com a encosta degradada, o que induz à melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Literatura Citada

Accioly, L. J. O.; Garçon, E. A. M.; Barros, M. R. O.; Botelho, F. Avaliação de alvos em áreas sob desertificação no semi-árido paraibano com base nos sensores Hyperion e LANDSAT 7 ETM+. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p.347-353.

- Albuquerque, A. W.; Lombardi Neto, F.; 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, p.136-141, 2002.
- Almeida, C. L. Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. Fortaleza: UFC. 2011. 133p. Dissertação Mestrado
- Araújo, J. C.; Piedra, G. J. I. Comparative hydrology: Semiarid and humid tropical watershed. *Hydrological Processes*, v.23, p.1169-1178, 2009.
- Batisani, N.; Yarnal, B. Rainfall variability and trends in semi-arid Botswana: Implications for climate change adaptation policy. *Applied Geography*, v.30, p.483-489, 2010.
- Bhatt, R.; Khera, K. L. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the sub-montaneous tract of Punjab, India. *Soil & Tillage Research*, v.88, p.107-115, 2006.
- Boer, M.; Puigdefábregas, J. Effects of spatially structured vegetation patterns on hill-slope erosion in a semiarid Mediterranean environment: A simulation study. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.30, p.149-167, 2005.
- BRASIL - Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca PAN-BRASIL. 2004. 220p.
- Cantón, Y.; Domingo, F.; Solé-Benet, A.; Puigdefábregas, J. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, v.252, p.65-84, 2001.
- 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, p.3-9, 2009.
- Carvalho, D. F.; Montebeller, C. A.; Cruz, E. S.; Ceddia, M. B.; Lana, Â. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.385-389, 2002.
- Carvalho, D. F.; Montebeller, C. A.; Franco, E. M.; Valcarcel, R.; Bertol, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.7-14, 2005.
- Carvalho, R.; Silva, M. L. N.; Avanzi, J. C.; Curi, N.; Souza, F. S. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. *Ciência Agrotecnologia*, v.31, p.1679-1687, 2007.
- Castellano, M. J.; Valone, T. J. Effects of livestock removal and perennial grass recovery on the lizards of a desertified arid grassland. *Journal of Arid Environments*, v.66, p.87-95, 2006.
- CEARÁ - Secretaria dos Recursos Hídricos. Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE-CE. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 372p.
- Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. *Applied hydrology*. Singapore: McGraw-Hill, 1988. 486p.
- Cooper, P. J. M.; Dimes, J.; Rao, K. P. C.; Shapiro, B.; Shiferaw, B.; Twomlow, S. Coping better with current climatic variability in the rainfed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.126, p.24-35, 2008.
- Cunha, T. J. F.; Sá, I. B.; Petrere, V. G.; Oliveira Neto, M. B.; Taura, T. A.; Araujo Filho, J. C.; Silva, M. S. L.; Oliveira, W. S.; Lucena, A. M. A. Uso atual e quantificação de áreas degradadas na margem do rio São Francisco no município Petrolina-PE. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32., 2009, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBSCS, 2009. CD-Rom
- Eltz, F. L. F.; Mehl, H. U.; Reichert, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.485-493, 2001.
- Figueiredo, J. V. Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em Caatinga preservada. Fortaleza: UFC, 2011. 82p. Dissertação Mestrado
- Freitas, F. J.; Cantalice, J. R. B.; Bezerra, S. A.; Oliveira, M. D. R. S.; Santos, P. M.; Correa, R. M.; Lima, P. A.; Figueira, S. B. Erosão em entressulcos sob Caatinga e culturas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.32, p.1743-1751, 2008.
- Garcia-Estringana, P.; Alonso-Blázquez, N.; Marques, M. J.; Bienes, R.; Alegre, J. Direct and indirect effects of Mediterranean vegetation on runoff and soil loss. *European Journal of Soil Science*, v.61, p.174-185, 2010.
- Gómez, J. A.; Romero, P.; Giráldez, J. V.; Fereres, E. Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a Vertic soil in southern Spain as affected by soil management. *Soil Use and Management*, v.20, p.426-431, 2004.
- Guedes, D. S.; Andrade, M. V. M.; Silva, D. S.; Andrade, A. P. Ocorrência e qualidade do capim panasco (*Aristida adscensionis* L.) em áreas de Caatinga no cariri paraibano. In: Congresso Zootec, 6., 2008, João Pessoa. Anais... João Pessoa: UFPB/ABZ, 2008. CD-Rom
- Hann, C. T.; Barfield, B. J.; Hayes, J. C. *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Oxford: Academic Press, 1994. 588p.
- Horner, W. W.; Jens, S. W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Transactions of the ASCE*, v.107, p.1039-1117, 1942.
- Huang, D.; Wang, K.; Wu, W. L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. *Journal of Arid Environments*, v.70, p.120-136, 2007.

- Inácio, E. S. B.; Cantalice, J. R. B.; Araújo, Q. R.; Nacif, P. G. S.; Bezerra, S. A.; Barreto, A. C. Erosão hídrica em agroflorestal na região Sul da Bahia. *Pesquisa Agrícola Bahia Agricultura*, v.7, p.75-78, 2005.
- Inácio, E. S. B.; Cantalice, J. R. B.; Nacif, P. G. S.; Araújo, Q. R.; Barreto, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na encosta do Ribeirão Salomea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.355-360, 2007.
- Le Houérou, H. N. Climate change. drought and desertification. *Review. Journal of Arid Environments*, v.34, p.133-185, 1996.
- Martins, S. G.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Ferreira, M. M.; Fonseca, S.; Marques, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na Região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, p.395-403, 2003.
- Medeiros, P. H. A.; Güntner, A.; Franke, T.; Mamede, G. L.; Araújo, J. C. de. Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model. *Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrauliques*, v.55, p.636-648, 2010.
- Moreno-de Las Heras, M.; Merino-Martín, L.; Nicolau, J. M. Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. *Catena*, v.77, p.39-47, 2009.
- Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. River flow forecasting through conceptual models – Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v.10, p.282-290, 1970.
- Oldeman, L. R. The global extent of land degradation. In: Greenland, D. J.; Szabolcs, I. (ed.) *Land resilience and sustainable land use*. Wallingford: CABI, 1994. p.99-118.
- Onda, Y.; Kato, H.; Tanaka, Y.; Tsujimura, M.; Davaa, G.; Oyunbaatar, D. Analysis of runoff generation and soil erosion processes by using environmental radionuclides in semiarid areas of Mongolia. *Journal of Hydrology*, v.333, p.124-132, 2007.
- Pruski, F. F.; Brandão, V. S.; Silva, D. D. *Escoamento superficial*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2004. 87p.
- Sales, M. C. L. *Estudos climáticos, morfo-pedológicos e fito-ecológicos no núcleo de desertificação de Irauçuba-Ceará*. São Paulo: USP, 2003. 133p. Tese Doutorado
- Sales, M. C. L.; Oliveira, J. G. B. Monitoramento da recuperação da vegetação e solos no núcleo de desertificação de Irauçuba, CE. In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 11, 2005, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2005. p.5874-5884.
- Sales, M. C. L.; Oliveira, J. G. B. Análise da degradação ambiental no núcleo de desertificação de Irauçuba. In: Silva, J. B.; Dantas, E. W. C.; Zanella, M. E.; Meireles, A. J. A. *Litoral e sertão*. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006. p.223-232.
- Schick, J.; Bertol, I.; Balbinot Júnior, A. A.; Batistela, O. Erosão hídrica em Cambissolo húmico aluminoso submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.24, p.437-447, 2000.
- Silva, A. M. Rainfall erosivity map of Brazil. *Catena*, v.57, p.251-259, 2004.
- Silva, A. A. S.; Pinto, C. A. M.; Fotius, G. A.; Richo, G. R.; Silva, H. P.; Correia, R. C.; Souza, R.A. Fatores abióticos. In: Silva, J. M. C.; Tabarelli, M.; Fonseca, M. T.; Lins, L. V. *Biodiversidade da Caatinga: Áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003. Parte 1, p.15-37.
- Silva, S. A.; Oliveira, R. *Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias*. Campina Grande: DEC/UFPG, 2001. 270p.
- Silva, A. M.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Lima, J. M.; Avanzi, J. C.; Ferreira, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.1223-1230, 2005.
- Silva, P. M. O. *Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG*. Lavras: UFLA, 2006. 155p. Tese Doutorado
- Sousa, F. P. *Degradação de solos por atividades agropastoris em áreas sob processo de desertificação: O caso de Irauçuba*. Fortaleza: UFC, 2009. 89p. Dissertação Mestrado
- Srinivasan, V. S.; Santos, C. A. G.; Galvão, C. O. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: A experiência na Bacia Experimental de Sumé. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.57-73, 2003.
- Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH, EDUSP, 1993. 944p.
- Wischmeier, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.23, p.246-249, 1959.
- Yang, C.; Yu, Z.; Hao, Z.; Lin, Z.; Liu, S. Evaluation of hydrological responses to land use change at large scale. In: *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. 2009, Wuhan. Proceedings... Wuhan: ESIAT, 2009. p.336-339.
- Zheng, H.; Chen, F.; Ouyang, Z.; Tu, N.; Xu, W.; Wang, X.; Miao, H.; Li, X.; Tian, Y. Impacts of reforestation approaches on runoff control in the hilly red soil region of Southern China. *Journal of Hydrology*, v.356, p.174-184, 2008.