

Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical

José Ribeiro de Araújo Neto¹, Eunice Maia de Andrade², Helba Araújo de Queiroz Palácio³,
Júlio César Neves dos Santos⁴ & Francisco Antônio de Oliveira Lobato⁵

Protocol 34.2013 - Received: 21/10/2013 - Accepted: 30/11/2013

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar as relações hidrológicas de duas microbacias hidrográficas com características similares localizadas no semiárido brasileiro, bem como quantificar o efeito do manejo da vegetação na geração do escoamento para condições de pequena escala. O trabalho foi desenvolvido em duas unidades experimentais, uma coberta com vegetação nativa e outra com vegetação raleada, com áreas de respectivamente 2,06 e 1,15 ha, situadas no município de Iguatu, Ceará. A investigação foi realizada durante as estações chuvosas dos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, totalizando 198 eventos com chuva, sendo que um total de 75 e 62 eventos, respectivamente, geraram escoamento nas microbacias nativa e raleada. O estudo demonstrou que o manejo de raleamento da vegetação promoveu redução na lâmina drenada, com um coeficiente de escoamento de 9,0% para a microbacia com a vegetação Caatinga nativa e 5,6% para a com vegetação raleada. A influência do manejo foi observada também no pico de descarga das microbacias, 3,73 L s⁻¹ ha⁻¹ para a raleada contra 4,42 L s⁻¹ ha⁻¹ para a nativa, o que representa uma diferença de 15,6%. O surgimento do estrato herbáceo em decorrência do raleamento da vegetação gerou uma redução do escoamento superficial e menores picos de descargas. Tal resposta hidrológica aponta um manejo adequado para produção de pastagem e retenção de umidade no solo, o que promove a conservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: escoamento superficial, ação antrópica, umidade do solo, semiárido

Comparative analysis of runoff in experimental catchment in semiarid tropical climate

Abstract: This study was carried out to evaluate the hydrological relationship of two catchments with similar characteristics, as well as to quantify the effect of the vegetation management to generate runoff at micro-scale. This study was conducted in two experimental catchments, one covered with native vegetation and other with thinned vegetation, with areas of 2.06 and 1.15 ha, respectively, located at Iguatu municipality, Ceará, Brazil. This study was carried out during the rainfall seasons in the years 2009, 2010, 2011 and 2012, in a total of 198 rainfall events. In native watershed 75 runoff events were registered, while in thinned one 62 runoff events occurred. Results showed that the thinned vegetation promoted the reduction in the runoff, with a effective precipitation of 9.0% for the catchment cover with native vegetation and 5.6% for the catchment with thinned vegetation. The influence of the land cover was also observed at the peak discharge. The thinned vegetation showed a peak discharge equal to 3.73 L s⁻¹ ha⁻¹ while the native vegetation showed a peak discharge equal to 4.42 L s⁻¹ ha⁻¹ with a difference around 15.6%. The rise groundcover due to the thinning of vegetation led to a reduction of runoff and decrease the peak flows. Results point out that thinned vegetation is a adequate management practice for production pasture and water retention capacity of soil wich promotes the conservation of natural resources.

Key words: runoff, anthropic action, soil moisture, semiarid environment

¹ LABAS/IFCE, Campus Iguatu. Iguatu, CE. Fone: (88) 9900-2932. E-mail: junior.bg@bol.com.br

² DENA/CCA/UFC. Fortaleza, CE. E-mail: eandrade@ufc.br

³ IFCE, Campus Iguatu. E-mail: helbaraujo23@yahoo.com.br

⁴ DENA/CCA/UFC. E-mail: juliocesarns@yahoo.com.br

⁵ Mestre em Engenharia Agrícola. E-mail: lobatto18@yahoo.com.br

Introdução

A intensificação da exploração do homem sobre os recursos naturais no semiárido brasileiro tem gerado a degradação do solo, dos recursos hídricos, remoção da vegetação e perda da biodiversidade, que somados aos fatores climáticos podem resultar em modificações significativas dos processos hidrológicos, notadamente no processo chuva-deflúvio. A magnitude do processo chuva-deflúvio depende de fatores como: intensidade da precipitação, geologia, permeabilidade do terreno, condição de umidade antecedente do solo, duração e frequência da precipitação, tipo de cobertura vegetal, área da bacia de drenagem, distribuição espacial e temporal da precipitação, geometria dos rios e riachos e declive dos terrenos (Cantón et al., 2001; Kang et al., 2001; Castillo et al., 2003; Costa, 2007; Figueiredo, 2011; Rodrigues et al., 2013).

Dos fatores mencionados, a cobertura vegetal é uma das variáveis de maior influência na resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica (Garcia-Ruiz et al., 2008; Muñoz-Robles et al., 2011). A eliminação do dossel vegetal torna a superfície do solo mais exposta à ação direta das gotas das chuvas sobre o solo, bem como, ao livre movimento da água na superfície, diminuindo o tempo de oportunidade de infiltração e conseqüentemente produzindo uma maior geração de escoamento superficial (Casermeiro et al., 2004; Bartley et al., 2006).

É comum a prática de desmatamento das florestas do semiárido brasileiro, cujo bioma predominante é a Caatinga, em função das pressões demográficas pela demanda crescente de produtos agrícolas e florestais, como forma de garantir áreas úteis para produção agrícola e pecuária. Essas práticas da agricultura tradicional que incluem o desmatamento total, a queimada da madeira, cultivo de até dois anos e pousio (ausência de cultivo ou outro uso da terra) para recomposição parcial da vegetação nativa, vem causando, aos ecossistemas do Semiárido, vultosas perdas em seus recursos naturais. No entanto, técnicas de manejo da vegetação que busquem uma exploração sustentável, seja para produção de alimento, pastagem ou madeireira, ainda são pouco estudadas e conhecidas e adotadas no semiárido brasileiro (Palácio et al., 2013).

Apesar do desenvolvimento de alguns estudos conduzidos no semiárido sobre alterações de microbacias, novas pesquisas devem ser implementadas no sentido de gerar informações em escala de microbacias rurais sobre o

escoamento efêmero, principalmente investigando a influência do homem na alteração dos processos naturais (escoamento superficial, evaporação, infiltração, temperatura, erosão e transporte de sedimentos, etc.). Os desafios desses estudos têm sido principalmente devido à dificuldade de um monitoramento contínuo, de forma a gerar informações qualitativas e quantitativas consistentes do processo chuva-deflúvio e dos diversos fatores que exercem influência sobre o mesmo.

Nesse contexto, objetivou-se, em microbacias com características similares localizadas no semiárido brasileiro, quantificar o efeito do manejo da vegetação na geração do escoamento, bem como, gerar informações das principais variáveis hidrológicas envolvidas no processo de chuva-deflúvio.

Material e Métodos

A área experimental localiza-se no município de Iguatu, Ceará, Brasil, pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu (Figura 1), sendo composta por duas microbacias adjacentes e similares.

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média sempre superior a 18 °C no mês mais frio. O Índice de Aridez elaborado por Thornthwaite (1948) é de 0,44, classificando-se como semiárido. A evapotranspiração potencial média é de 1.988 mm ano⁻¹, a precipitação média histórica no município de Iguatu é de 867 ± 304 mm, com 85% concentrados no período de janeiro-maio e dos quais cerca de 30% são registrados no mês de março, expressando a concentração das chuvas em cinco meses do ano (Andrade et al., 2010).

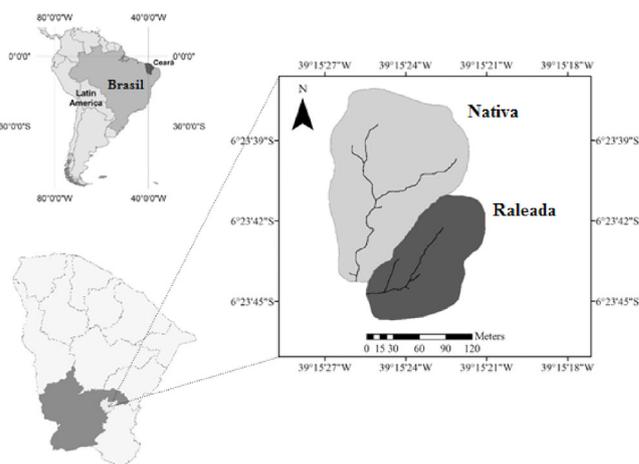


Figura 1. Mapas das microbacias experimentais no município de Iguatu, Ceará, Brasil

A composição da vegetação é tipicamente Caatinga, com caráter variável, desde espécies de porte herbáceo, arbóreo-arbustivo a arbóreo, tipicamente caducifólio de caráter xerófilo com grande variedade de espécies espinhosas.

O solo na área experimental em ambas as microbacias, que são circunvizinhas, possui a mesma classificação morfológica, em um levantamento de campo realizado em 29 de agosto de 2009, sendo classificado como Vertissolo Ebânico Carbonático Típico, segundo a classificação da EMBRAPA (2006). O solo das microbacias apresenta uma condutividade hidráulica saturada inferior a $0,2 \text{ mm h}^{-1}$. A partir de amostras coletadas nas trincheiras para cada horizonte, obteve-se a classe textural que encontra-se na Tabela 1. Devido ao tipo de argila presente nos solos (2:1, grupo montimorilonita) é comum o surgimento de rachaduras na superfície nas épocas secas do ano, e encharcamento no período chuvoso, conforme averiguações de Rodrigues et al. (2013).

Uma das bacias foi mantida durante todo o período de estudo com a cobertura vegetal nativa, floresta caducifólia, Caatinga (Figura 2A), a qual está inserida no domínio Semiárido e abrange cerca de 54% da região Nordeste do Brasil (Andrade et al., 2005). A segunda microbacia teve a sua cobertura vegetal raleada durante todo o período de estudo (Figura 2B), sendo eliminadas as árvores com diâmetro inferior a 10 cm. Este manejo promoveu uma maior penetração de luz com conseqüente desenvolvimento do estrato herbáceo. O raleamento da vegetação é ainda um manejo pouco adotado por pequenos produtores rurais do semiárido brasileiro para produção de pastagem. As características morfométricas da microbacia experimental estudada podem ser verificadas na Tabela 2.

O estudo foi realizado durante as estações chuvosas dos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012. O monitoramento hidrológico das microbacias experimentais foi realizado a partir de estações automáticas nas microbacias, com registro a cada cinco minutos, equipada com pluviógrafos e calha

Tabela 1. Dados de textura do solo representativo das microbacias experimentais estudadas

Característica	Descrição		
	A	B	BCv
Profundidade (cm)	0-5	5-21	21-31
Areia (g kg^{-1})	137	205	182
Silte (g kg^{-1})	447	405	470
Argila (g kg^{-1})	416	390	348
Classe textural	Argilo	Franco	Franco
	siltosa	argilo siltosa	argilo siltosa

A.



B.



Figura 2. Detalhes da vegetação herbácea nas microbacias experimentais no período chuvoso: (A) Caatinga – Vegetação nativa em 7-3-2011 (B) Vegetação raleada em 6-4-2009

Tabela 2. Características morfométricas das microbacias experimentais estudadas

Características	Unid.	Uso da terra	
		Vegetação nativa	Vegetação raleada
Área da bacia	ha	2,06	1,15
Perímetro	m	594,50	478,35
Comprimento do talvegue	m	183,87	120,54
Comprimento do curso principal	m	252,11	147,18
Comprimento da bacia	m	204,20	188,17
Declividade da bacia	%	10,59	8,72
Fator de forma	-	0,49	0,32
Coefficiente de compacidade	-	1,16	1,25
Densidade de drenagem	m ha^{-1}	192,59	153,80
Tempo de concentração	h	0,06	0,05
Extensão média do escoamento	m	20,50	19,50
Sinuosidade do curso principal	-	2,06	1,20

Parshall, responsável pela medição do deflúvio superficial (Figura 3). Para medição do nível da água foram instalados linígrafos automáticos e a partir das cotas registradas no sensor converteu-se a altura da água em vazão mediante equação específica da calha com seus respectivos hidrogramas.

A.



B.



Figura 3. (A) Modelo do pluviógrafo e (B) calha Parshall instalados nas microbacias experimentais monitoradas em 19-3-2008

O monitoramento da umidade antecedente do solo nas microbacias foi realizado diariamente com três repetições para cada microbacia na profundidade de 0-15 cm, empregando-se o método gravimétrico. Ambas as microbacias nativa e raleada são homogêneas em toda sua extensão e possuem as mesmas condições de solo e de cobertura vegetal, cada uma com seu manejo. Foram realizados durante o período de amostragem

105 coletas de umidade do solo. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio e estas isoladas com fita adesiva e encaminhadas ao Laboratório de Água, Solos e Tecidos Vegetais – LABAS do IFCE - Campus Iguatu, onde eram previamente pesadas para obtenção da massa de solo úmido e levadas à estufa com temperatura de 105 °C, por um período de 24 horas.

Resultados e Discussões

Síntese hidrológica

Durante o período de estudo (2009-2012) constatou-se de forma alternada, 2 anos com pluviosidade acima da média histórica da região, os anos 2009 e 2011 com precipitações superiores a média normal de 30 anos e 2010 e 2012 com precipitação anual inferior à média (Tabela 3). Do total de 198 eventos de precipitação pluviométrica, 75 geraram escoamento na microbacia com vegetação nativa e 62 na microbacia com vegetação raleada, representando 38% dos eventos para a microbacia com mata nativa e 31% para a raleada. Considerando a lâmina escoada, os menores valores, também, foram observados na microbacia com vegetação raleada, 254,6 mm, enquanto que na microbacia nativa a lâmina escoada foi de 389 mm. Este decréscimo resulta em um incremento de 134,4 mm de água armazenada no solo da microbacia com vegetação raleada. Tal fato resulta em um coeficiente de escoamento anual médio de 9,0% para a microbacia com vegetação nativa e 5,6% para a vegetação raleada. Considerando a similaridade fisiográfica entre as microbacias hidrográficas estudadas (Tabela 2), essas menores lâminas escoadas na microbacia raleada apontam a influência do manejo da vegetação para maiores retenções de água pelo solo. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Bartley et al. (2006) quando investigaram a influência da cobertura vegetal sobre processos hidrológicos em microbacias de clima semiárido, na Austrália. Montenegro et al. (2013) mostram o claro efeito da retenção da água

Tabela 3. Síntese hidrológica das microbacias experimentais para o período de estudo (2009-2012)

Microbacia	Ano	Nº eventos chuvosos	Nº eventos com escoamento	P	Pe	C evento	C anual
				(mm)	(mm)	(%)	(%)
Vegetação nativa	2009	61	25	1.011,4	104,2	14,0	10,3
	2010	45	7	717,4	15,1	6,1	2,1
	2011	58	26	1.416,8	187,5	15,7	13,2
	2012	34	17	807,5	82,2	10,8	10,2
	Total	198	75	3.953,1	389,0	11,7	9,0
Vegetação raleada	2009	61	24	1.011,4	73,6	10,3	7,3
	2010	45	5	717,4	11,3	3,7	1,6
	2011	58	22	1.416,8	143,3	13,0	10,1
	2012	34	11	807,5	26,4	6,8	3,2
	Total	198	62	3.953,1	254,6	8,5	5,6

P= precipitação anual (mm); Pe=escoamento anual (mm); C evento= coeficiente de escoamento médio dos eventos geradores de escoamento (%); C anual= coeficiente de escoamento anual (Pe/P) (%)

no solo e a redução da lâmina escoada com aumento da cobertura morta sobre o solo.

O raleamento da vegetação com diâmetro inferior a 10 cm favoreceu a maior penetração de luz solar, com conseqüente germinação do banco das sementes herbáceas presentes no solo. O maior desenvolvimento da vegetação herbácea (Figura 2B) promove um aumento na taxa de infiltração da água no solo e uma redução das perdas de água por escoamento superficial (Rodrigues et al., 2013). A cobertura vegetal é considerada fator importante na definição do padrão de movimento da água em uma bacia (Garcia-Ruiz et al., 2008); assim, a remoção parcial ou total altera o comportamento hidrológico, influenciando na disponibilidade hídrica. O surgimento da vegetação herbácea com o raleamento e maior penetração de luz, tal como a conservação dos resíduos vegetais sobre o solo favoreceram a infiltração, contribuindo para manutenção de água no sistema e reduzindo o escoamento superficial (Kang et al., 2001). Dessa forma, o desenvolvimento da cobertura vegetal herbácea atenua o impacto direto das gotas da chuva, promove uma maior resistência ao fluxo superficial da água (Thomaz, 2009) e reduz o escoamento superficial. Esses resultados encontrados nesta pesquisa expressam a importância que a cobertura vegetal rasteira poderá desempenhar no controle das perdas de água, principalmente quando se considera a irregularidade e a baixa precipitação pluvial de uma região semiárida, como em resultados encontrados por Albuquerque et al. (2001) estudando os efeitos do desmatamento da vegetação Caatinga sobre as perdas de água em Sumé, no semiárido da Paraíba, Brasil.

As lâminas escoadas na microbacia com vegetação nativa e raleada estão relacionadas na Figura 4. Traçando a relação mensal entre as lâminas escoadas verifica-se na Figura 4A que a maior fração dos pares de pontos (85%) está acima da reta 1:1, o que evidencia que os maiores escoamentos são para a microbacia nativa em praticamente todos os meses, exceto para os meses janeiro de 2009, março de 2010 e abril de 2011. Mesma tendência foi verificada para a relação entre eventos (Figura 4B), sendo que 78% dos pares de eventos apresentaram menores escoamentos na microbacia raleada do que na nativa. Esses elevados percentuais de maiores eventos e meses com maiores escoamentos na microbacia com vegetação nativa expressa a eficácia na redução do escoamento pelo manejo do raleamento para produção de pastagem. Esse comportamento nas respostas hidrológicas das microbacias mostra

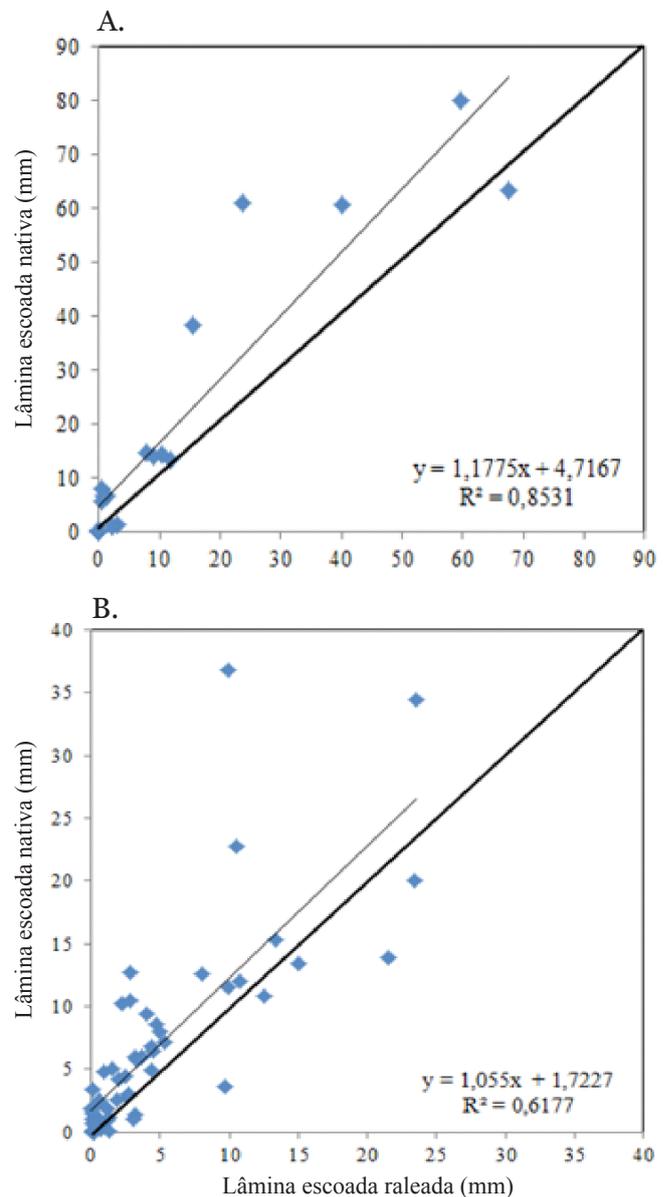


Figura 4. Relação entre os valores de lâmina escoada medida na microbacia nativa versus a lâmina escoada na microbacia raleada: (A) mensal e (B) eventos individuais

claramente o papel da cobertura vegetal na retenção e minimização das perdas de água por escoamento, corroborando com resultados de Bartley et al. (2006) e Garcia-Ruiz et al. (2008); Muñoz-Robles et al. (2011), que verificaram a importância da vegetação sobre o deflúvio em bacias hidrográficas. A influência da cobertura vegetal sobre o escoamento superficial está relacionada não somente com o total da cobertura vegetal, mas também com o resultado de diferenças da estrutura e na fisionomia das plantas (estrato herbáceo ou arbóreo), que provoca diferentes valores de interceptação da chuva (Wainwright et al., 2000; Casermeiro et al., 2004).

Cobertura vegetal e dinâmica hidrológica

A influência do manejo da vegetação no processo de retenção de umidade no solo das microbacias

pode ser visualizada através de hidrogramas. Para um melhor entendimento do processo analisou-se três hidrogramas de acordo com as seguintes classes de precipitação $P < 30$ mm, $30-50$ mm e > 50 mm (Tabela 4). Verifica-se que o coeficiente de escoamento na microbacia com vegetação raleada foi inferior ao da microbacia com vegetação nativa em até 100% do valor, enquanto que a umidade antecedente do solo foi superior para os eventos investigados, mostrando que esse manejo se mostra mais eficiente na conservação de umidade na camada superficial do solo do que o manejo natural. Gomes et al. (2012) verificaram que em 89% dos eventos a umidade na microbacia com vegetação raleada foi superior ao da microbacia com vegetação nativa.

Os primeiros hidrogramas analisados foram para o evento do dia 29 de março de 2010 (Figura 5). Por se tratar de cursos efêmeros e nascentes em regiões semiáridas, considerou-se o escoamento de base desprezível como sugerido por Sandström (1996) e Araújo & Piedra (2009). Verifica-se que os hidrogramas não diferem quanto à forma, e a microbacia raleada apresentou resposta quase que imediata ao pico de intensidade, já a microbacia nativa apresentou um atraso de 10 min após a resposta da raleada. Acredita-se que tal fato seja relacionado com a sinuosidade do curso principal, uma vez que a sinuosidade é um fator controlador da velocidade do fluxo de escoamento. A influência do manejo também foi observada na vazão de pico das microbacias, registrando-se $3,73 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para a raleada e $4,42 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para a nativa, expressando uma diferença de 15,6% entre as descargas. Esta alteração na vazão específica identifica a influência da cobertura vegetal sobre a dinâmica do fluxo de água na interface escoamento/infiltração, podendo alterar o comportamento hidrológico de uma microbacia hidrográfica. Estudos realizados por Montenegro et al. (2013) em experimento com solo nu, com baixa (2 t ha^{-1}) e alta cobertura morta (4 t ha^{-1}), mostraram claramente que a cobertura vegetal afeta fortemente a infiltração, a umidade do solo e o escoamento superficial. Altas taxas de cobertura morta também resultaram em um aumento significativo na umidade antecedente do solo.

No segundo par de hidrograma analisado (Figura 6), identifica-se que as duas microbacias

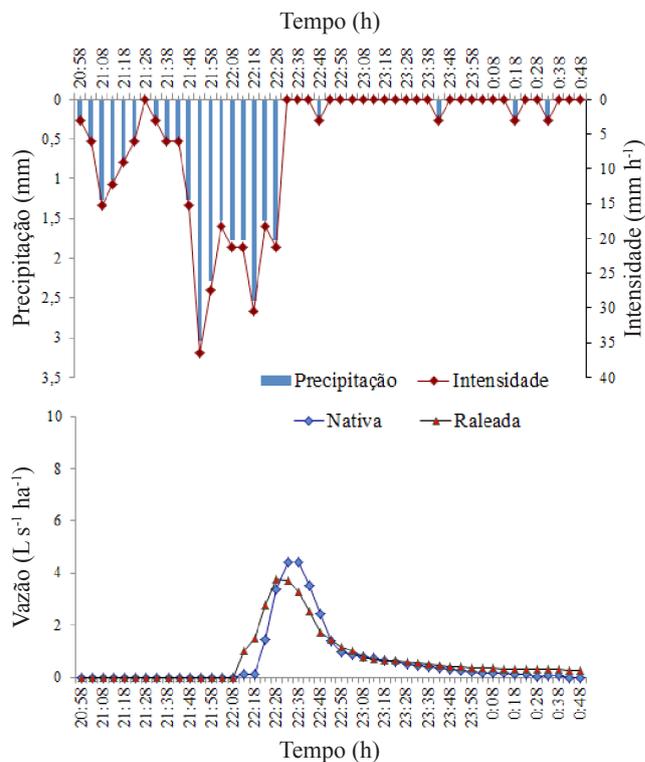


Figura 5. Hidrogramas das microbacias nativa e raleada e características da precipitação para o evento do dia 29 de março de 2010

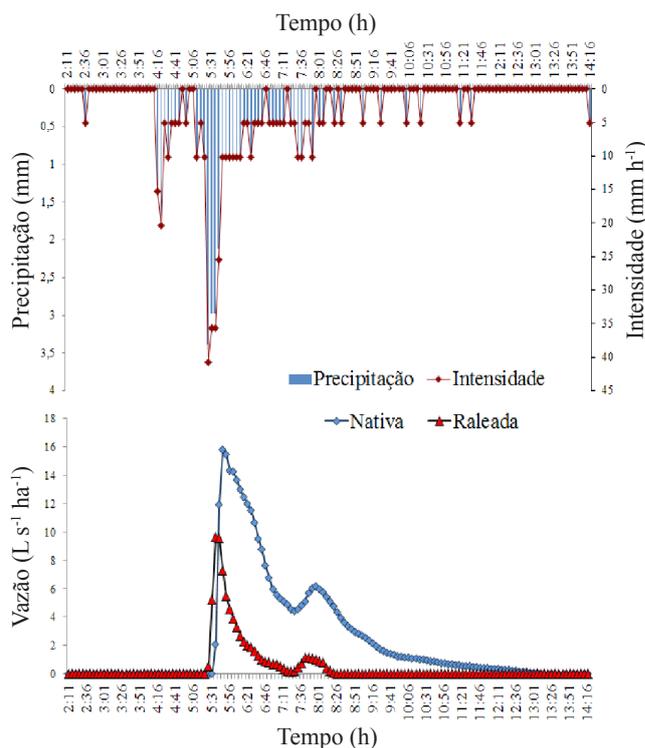


Figura 6. Hidrogramas das microbacias nativa e raleada e características da precipitação para o evento do dia 28 de fevereiro de 2011

Tabela 4. Característica dos eventos para os hidrogramas selecionados

Classes (mm)	Eventos	P (mm)	I_{30} (mm h ⁻¹)	C (%)		Umidade antecedente do solo (%)	
				Nativa	Raleada	Nativa	Raleada
< 30	29-mar-10	28,7	25,9	4,9	3,9	25,4	35,4
30-50	28-fev-11	39,0	92,4	5,7	2,6	29,0	31,2
> 50	1-fev-11	66,1	64,4	34,4	15,9	35,6	36,1

P = Precipitação em mm, I_{30} = Intensidade máxima em 30 minutos (mm h⁻¹), C = Coeficiente de escoamento (%).

responderam instantaneamente ao evento de precipitação, com registro do pico de descarga logo após o momento da máxima intensidade da chuva. Destaca-se que na recessão do hidrograma, com condições de alta umidade do solo, intensidade pluviométrica de aproximadamente 10 mm h^{-1} , foi suficiente para retomar o escoamento e atingir um segundo pico de vazão. Constatando assim que variações na intensidade da precipitação pluviométrica foram acompanhadas por mudanças rápidas na lâmina escoada. Cantón et al. (2001) também observaram esse fenômeno em microbacias no semiárido espanhol e Costa (2007) para o semiárido brasileiro. Infere-se, devido à essa efemeridade, que o mecanismo de geração de deflúvio superficial predominante é o hortoniano. Ainda analisando esse evento, constatou-se um maior valor de descarga máxima na microbacia nativa, embora o seu curso apresente uma sinuosidade bem mais acentuada que a microbacia raleada (Tabela 2). Acredita-se que o efeito da ação antrópica na modificação da cobertura vegetal tenha definido a resposta hidrológica das microbacias ao evento pluviométrico, como observado por Casermeiro et al. (2004).

O hidrograma registrado em 1/2/2011 (Figura 7) foi gerado por um evento pluviométrico de 66,14 mm, o qual gerou vazões de pico iguais $173,7 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ e $36,6 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ para a microbacia com vegetação nativa e vegetação raleada, respectivamente. Uma vez que as duas microbacias apresentam solos e declividade de mesma classe, assume-se que a superioridade do pico de descarga da mata nativa em quatro vezes seja decorrente do menor percentual de cobertura vegetal rasteira (Figura 2). Um maior controle da cobertura rasteira sobre o escoamento superficial também foi registrado no oeste americano (USDA, 1977). Ainda pela Figura 7 identificou-se que precipitações com altura pluviométrica inferiores a 1 mm, posterior à maiores eventos, não promovem escoamento na microbacia com a vegetação raleada, embora seja registrado escoamento na área com vegetação nativa. Acredita-se que tal fato expresse o efeito da cobertura vegetal rasteira no controle do escoamento superficial. Uma redução do escoamento superficial em áreas com a presença de um estrato herbáceo bem desenvolvido foi identificado por Rodrigues et al. (2013).

A grande dispersão dos valores de escoamento versus precipitação pluviométrica nas microbacias nativa e raleada (Figura 8) mostra que a lâmina escoada não apresenta boa relação com o total precipitado e que sofre influência de outros

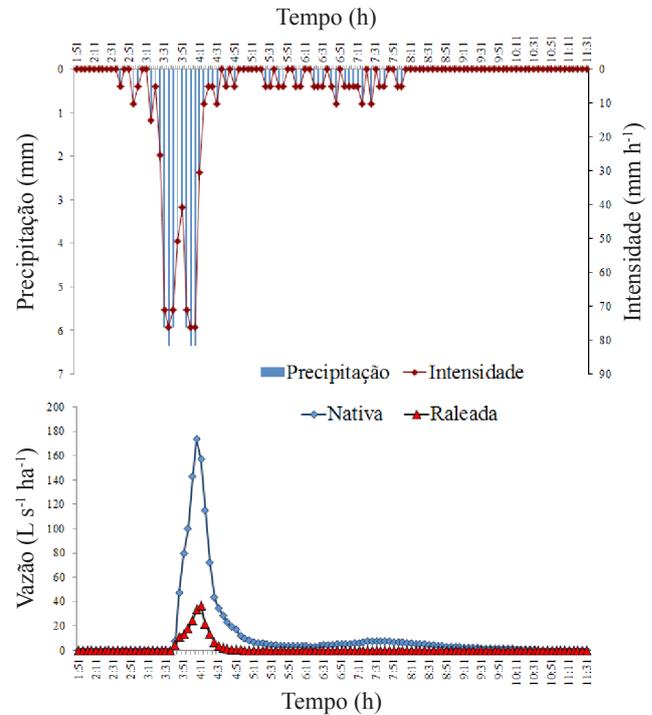


Figura 7. Hidrogramas das microbacias nativa e raleada e características da precipitação para o evento do dia 01 de fevereiro de 2011

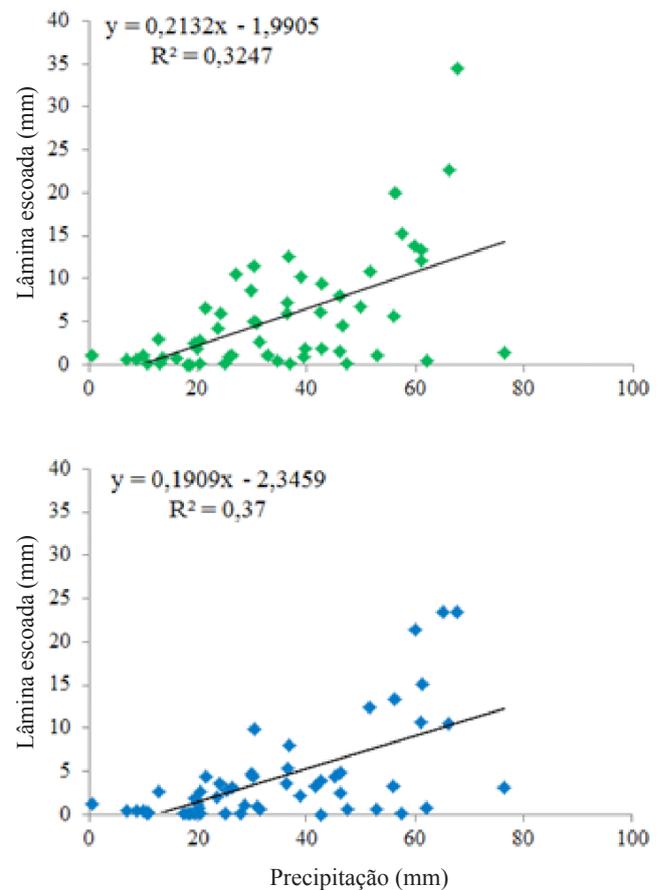


Figura 8. Relação entre lâmina escoada e total precipitado na escala de evento para as microbacias: (A) vegetação nativa e (B) vegetação raleada

fatores, por exemplo, as condições de umidade antecedente e a alta variabilidade da intensidade da chuva (Castillo et al., 2003). Autores como

Alencar et al. (2006) e Onda et al. (2007) também verificaram que, com base apenas na precipitação total, não é possível prever o escoamento superficial.

Precipitação *versus* umidade antecedente *versus* escoamento superficial

A interdependência entre precipitação, umidade antecedente e escoamento superficial nas duas microbacias expressaram relações diferenciadas. Na microbacia com vegetação nativa (Figura 9A), o início do escoamento superficial é determinado por uma lâmina precipitada de 8,5 mm e uma umidade do solo superior a 25%, este arranjo expressa a interdependência de processos na definição do escoamento superficial. Em precipitações superiores a 27 mm, independente da umidade, sempre haverá escoamento, exceção para os casos especiais. Já no intervalo de precipitação entre 8,5 e 27 mm e com umidade antecedente do solo superior a 25% que não se define a geração de escoamento, a ocorrência ou não de escoamento é influenciada por outras variáveis hidrológicas e ou geomorfológicas.

Para a microbacia com vegetação raleada o limiar para a ocorrência de escoamento superficial é uma altura pluviométrica superior a 14 mm (Figura 9B). Nessa microbacia, para precipitações maiores que 43,5 mm, independente da umidade, sempre haverá escoamento, exceção para o caso especial de dois eventos. Sendo, portanto, a faixa entre 14 e 43,5 mm em que a ocorrência ou não

de escoamento é determinada pela umidade antecedente do solo.

Enquanto que na mata nativa o limiar da umidade antecedente do solo na geração de escoamento é de 25%, na mata raleada é de 30%. Uma vez que os solos das duas microbacias apresentam as mesmas características físicas (textura, estrutura, condutividade hidráulica saturada), esta maior retenção de umidade do solo promovida pela cobertura vegetal rasteira expressa a importância que essa cobertura vegetal desempenha na influência da retenção de água no solo e controle das perdas de água por escoamento. Assim, uma suposta precipitação de 10 mm independente da umidade é capaz de gerar escoamento na microbacia com cobertura vegetal natural e não gerar na microbacia com vegetação raleada. Já uma chuva de 30 mm independente da umidade gera escoamento na vegetação nativa, mas não é capaz de gerar na vegetação raleada. Tal fato do deslocamento desse limiar para ocorrência ou não de escoamento ser provavelmente influenciado pelos manejos aplicados, assim o maior desenvolvimento do estrato herbáceo em decorrência da maior penetração de luz (Figura 2B). Estudos semelhantes foram realizados por Figueiredo (2011) na Bacia Experimental de Aiuaba numa área de 7,7 km² no semiárido brasileiro, e constatou que eventos de precipitação superiores a 47,5 mm, independente da umidade antecedente, sempre geraram escoamento, no entanto, para precipitações menores, esse autor não conseguiu estabelecer uma relação unívoca entre a ocorrência do escoamento e umidade antecedente do solo. O surgimento do estrato herbáceo devido ao manejo do raleamento resulta em um impedimento ao fluxo de massa do escoamento superficial com consequente aumento da umidade do solo e requerimento de uma maior lâmina precipitada para gerar escoamento. Desta forma, o crescimento da vegetação herbácea após o tratamento e a manutenção dos restos vegetais sobre o solo após o raleamento, exerceu influência na redução do escoamento na microbacia raleada como já verificados por Rodrigues et al. (2013). Srinivasan et al. (2003), estudando o efeito da cobertura vegetal em microbacias experimentais em Sumé, PB, apontaram a importância da vegetação rasteira remanescente e o crescimento posterior da mesma sobre modificações no padrão das respostas hidrológicas.

Analisando-se os eventos que não geraram escoamento superficial, três para a microbacia nativa e os dois para a microbacia raleada

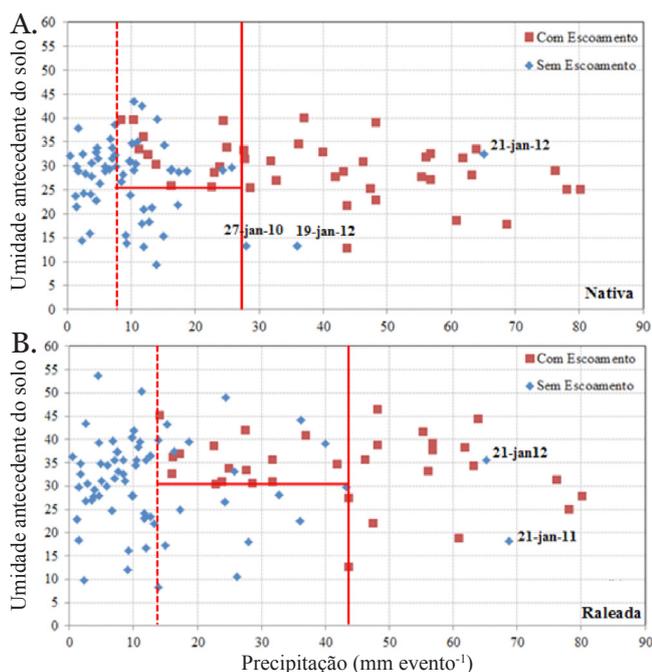


Figura 9. Relação entre precipitação e umidade antecedente do solo para as microbacias: (A) nativa e (B) raleada

(Figura 9), estes correspondem aos eventos dos dias 27 de janeiro de 2010, 19 de janeiro de 2012 e 21 de janeiro de 2012 para a microbacia nativa, bem como, os eventos dos dias 21 de janeiro de 2011 e 21 de janeiro de 2012 para a microbacia raleada. Nota-se que esses eventos não foram capazes de gerar escoamento nas microbacias. Acredita-se que esta resposta é devido ao fato de que os eventos ocorreram no início da estação chuvosa dos seus respectivos anos, em que os solos ainda apresentam um potencial elevado de retenção de água. O total precipitado no início da estação chuvosa para todo o mês de janeiro de 2010 foi de 86,7 mm, sendo que para o ano de 2011 até 21 de janeiro perfaziam um total precipitado anterior de 44,8 mm e 21 de janeiro de 2012 perfaziam um total precipitado anterior de 36,3 mm. Portanto, esses eventos, mesmo com um total precipitado elevado e com umidade antecedente do solo, a característica dos solos (presença de argila 2:1) e fendas no solo, impedem o escoamento superficial devido ao elevado potencial de armazenamento de água na fase inicial da estação chuvosa, decorrente da propriedade de expansão das argilas 2:1. A ausência de escoamento no início da estação chuvosa em regiões semiáridas também foi registrada por Mugabe et al. (2007), estudando as respostas hidrológicas de duas microbacias hidrográficas no semiárido do Zimbabué.

Conclusões

1. No início da estação chuvosa o escoamento superficial é determinado pelas propriedades do solo e eventos entre 60 e 70 mm podem não gerar escoamento;

2. Manejo do raleamento da vegetação gera um menor número de eventos com escoamento, uma redução na lâmina escoada, menores picos de vazões e aumento da umidade do solo que promove a conservação dos recursos naturais.

Literatura Citada

- Albuquerque, A. W.; Lombardini Neto, F.; Srinivasan, V. S. Efeito do desmatamento da Caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvisolo em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.121-128, 2001.
- Alencar, D. B. S.; Silva, C. L.; Oliveira, C. A. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.103-112, 2006.
- Andrade, E. M.; Meireles, A. C. M.; Palácio, H. A. Q. O Semiárido cearense e suas águas. In: Andrade, E. M.; Pereira, O. J.; Dantas, F. E. R. (ed.). *Semiárido e o manejo dos recursos naturais: Uma proposta de uso adequado do capital natural*. Fortaleza: Graphiti Gráfica e Editora Ltda., 2010, cap. 3, p.57-80.
- Andrade, L. A.; Pereira, I. M.; Leite, U. T.; Barbosa, M. R. V. Análise de cobertura de duas fitofisionomias de Caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. *Cerne*, v.11, p.256-262, 2005.
- Araújo, J. C.; Piedra, J. I. G. Comparative hydrology: Analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. *Hydrological Processes*, v.23, p.1169-1179, 2009.
- Bartley, R.; Roth, C. H.; Ludwig, J.; Macjannet, D.; Liedloff, A.; Corfield, J.; Hawdon, A.; Abbott, B. Runoff and erosion from Australian's tropical semi-arid rangelands: Influence of ground cover for differing space and time scale. *Hydrological Processes*, v.20, p.3317-3333, 2006.
- Cantón, Y.; Domingo, F.; Solé-Benet, A.; Puigdefábregas, J. Hydrological and erosion response of a badland system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, v.252, p.65-84, 2001.
- Casermeiro, M. A.; Molina, J. A.; Caravaca, M. T. D. L.; Costa, J. H.; Massanet, M. I. H.; Moreno, P. S. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena*, v.57, p.91-107, 2004.
- Castillo, V. M.; Gómez-Plaza, A.; Martínez-Mena, M. The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: A simulation approach. *Journal of Hydrology*, v.284, p.114-130, 2003.
- Costa, A. C. Hidrologia de uma bacia experimental em área conservada no semi-árido brasileiro. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2007. 166p. Dissertação Mestrado
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006, 306p.
- Figueiredo, J. V. Início da geração do escoamento superficial em uma bacia semiárida em Caatinga preservada. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2011. 84p. Dissertação de Mestrado

- García-Ruiz, J. M.; Regués, D.; Alvera, B.; Lana-Renault, N.; Serrano-Muela, P.; Nadl-Romero, E.; Navas, A.; Latron, J.; Martí-Bono, C. Arnáez, J. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. *Journal of Hydrology*, v.274, p.30-46, 2008.
- Gomes, F. E. F.; Palácio, H. A. Q.; Araújo Neto, J. R.; Brasil, P. P. Comparativo da umidade do solo de duas microbacias na caatinga, em relação ao manejo. In: Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas, 2012. Anais... Palmas: CONNEPI, 2012.
- Kang, S.; Zhang, L.; Song, X.; Zhang, S.; Liu, X.; Liang, Y.; Zheng, S. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau China. *Hydrological Processes*, v.15, p.977-988, 2001.
- Montenegro, A. A. A.; Abrantes, J. R. C. B.; Lima, J. L. M. P.; Singh, V. P.; Santos, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, v.109, p.139-149, 2013.
- Muñoz-Robles, C.; Reid, N.; Tighe, M.; Briggs, S. V.; Wilson, B. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semiarid Australia. *Geoderma*, v.160, p.524-534, 2011.
- Onda, Y.; Kato, H. Tanaka, Y.; Tsujimura, M.; Dava, 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.
- Palácio, H. A. Q.; Andrade, E. A.; Santos, J. C. N.; Araújo Neto, J. R.; Brasil, P. P. Energy evaluation of semi-arid watersheds under different management strategies. *Transactions of the ASABE*, v.56, p.1-7, 2013.
- Rodrigues, J. O.; Andrade, E. A.; Mendonça, L. A. R.; Araújo, J. C.; Palácio, H. A. Q.; Araújo, E. M. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.312-318, 2013.
- Sandström, K. Hydrochemical deciphering of stream flow generation in semi-arid east Africa. *Hydrological Processes*, v.10, p.703-720, 1996.
- Srinivasan, V. S.; Santos, C. A. G.; Galvão, C. O. Erosão hídrica do solo brasileiro: A experiência da Bacia Experimental de Sumé. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, p.57-73, 2003.
- Thorntwaite, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v.38, p.55-94, 1948.
- USDA – Soil Conservation Service. Preliminary guidance for estimating erosion on area disturbed by surface mining activities in the interior western United States. Interim Final Report., EPA-908/4-77-005, 1977. 70p.
- Wainwright, J.; Parsons, A. J.; Abrahams, A. D. Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: Case studies from Arizona and New Mexico. *Hydrological Processes*, v.14, p.2921-2943. 2000.