

Artigo Técnico

Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas

Use of alternative soil covers for the control of soil loss in semiarid regions

Cleene Agostinho de Lima^{1*} , Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹ ,
João L. M. P. de Lima² , Thayná Alice Brito Almeida¹ , Júlio Cesar Neves dos Santos³ 

RESUMO

A região semiárida do nordeste brasileiro é marcada por elevadas incertezas quanto à ocorrência de chuvas intensas, bem como por anos sequenciados de secas. Esses fenômenos naturais, somados à reduzida utilização de práticas conservacionistas, podem gerar degradação dos solos. Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar a importância do uso de cobertura morta e espécies de oleaginosas não convencionais perenes (*Moringa oleifera* Lam. e *Azadirachta indica* A. Juss.) no controle da erosão do solo em parcelas de erosão, em condições de chuvas naturais. O estudo realizou-se durante os anos de 2016 e 2017 na bacia representativa do Mimoso, localizada no município de Pesqueira (PE), Brasil. Na área de estudo, instalaram-se três parcelas de erosão, cada uma com área igual a 40 m² (2 × 20 m), que foram intensamente monitoradas no tocante à intensidade de precipitação, à umidade e à temperatura do solo, ao escoamento superficial e à produção de sedimentos. Para cada parcela experimental, adotaram-se os seguintes tratamentos: oleaginosas; oleaginosas + cobertura morta; solo descoberto. A cobertura do solo com oleaginosas e cobertura morta resultou em maior retenção de umidade do solo e menores valores de escoamento superficial e perdas de solo. O desenvolvimento da estrutura das oleaginosas diminuiu o impacto direto das gotas de chuva no solo, reduzindo as perdas de solo quando comparadas ao descoberto.

Palavras-chave: escoamento superficial; perda de solo; oleaginosas não convencionais perenes; cobertura morta; parcelas de campo.

ABSTRACT

The semiarid region of the Brazilian Northeast is marked by strong uncertainties regarding the occurrence of extreme rainfall, as well as the occurrence of sequenced year droughts. These natural phenomena, together with limited use of soil and water conservation practices, can generate soil degradation. In this context, the present study aimed to evaluate the importance of the use of mulch and non-conventional perennial oleaginous species (*Moringa oleifera* Lam. and *Azadirachta indica* A. Juss.) in soil erosion plots under natural rainfall. The study was conducted during the years of 2016 and 2017 in the representative basin of Mimoso, located in the municipality of Pesqueira, Pernambuco, Brazil. Three erosion plots each with an area of 40 m² (2 m × 20 m), were installed in the study area, which were intensively monitored for rainfall intensity, soil moisture and temperature, runoff and sediment production. For each experimental plot, the following treatments were adopted: Oleaginous; Oleaginous + mulch; Bare soil. Soil cover with oleaginous species and mulch resulted in higher soil moisture and lower amounts of runoff and soil loss. The development of the tree structure of the oleaginous reduced the direct impact of raindrops on the soil surface, reducing the soil losses when compared to the bare soil.

Keywords: surface runoff; soil loss; nonconventional perennial oleaginous; mulching; experimental plots.

INTRODUÇÃO

O semiárido do Nordeste brasileiro é marcado por fortes incertezas quanto à ocorrência de chuvas intensas (SANTOS *et al.*, 2016). Além disso, a rápida expansão populacional em áreas semiáridas e o uso intensivo do solo, somados à ausência de práticas conservacionistas, vêm gerando a degradação acelerada dos solos dessa região. Esse processo de degradação do solo é ainda mais preocupante em ambientes

como o agreste pernambucano (Brasil), dados a irregularidade da precipitação nessa região, com chuvas mal distribuídas temporal e espacialmente, a ocorrência de eventos pluviométricos de curta duração, a elevada intensidade e o alto potencial para desencadear fortes processos erosivos (SANTOS; SILVA; MONTENEGRO, 2010).

Buscando investigar os processos erosivos, principalmente no Nordeste brasileiro, onde as precipitações ocorrem com alta intensidade

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife (PE), Brasil.

²Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade de Coimbra – Coimbra, Portugal.

³Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Uberlândia (MG), Brasil.

*Autor correspondente: cleenelima2@gmail.com

Recebido: 05/04/2018 – Aceito: 22/07/2019 – Reg. ABES: 193900

e curta duração, bacias experimentais foram instaladas objetivando entender esses processos, bem como quantificar as perdas de solo e água. Podem ser citadas a bacia experimental do Mimoso (Pesqueira, PE) (BORGES *et al.*, 2014; SANTOS; MONTENEGRO; PEDROSA, 2009), a bacia experimental de Iguatu (CE) (ANDRADE *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2016; 2017a; 2017b) e a bacia de São João do Cariri (PB) (SILVA; SANTOS; SANTOS, 2018).

A recuperação de áreas degradadas com culturas perenes contribui para minimizar a erosão do solo. O plantio de oleaginosas exóticas não convencionais perenes, como moringa (*Moringa oleifera* Lam.) e nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.), vem se intensificando no semiárido brasileiro, por se adaptarem às condições climáticas da região e às características do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2013). A moringa é uma espécie da família Moringaceae, nativa do sul do Himalaia (Índia e Paquistão), e nim é da família Meliceae, nativa do Paquistão, Bangladesh, Birmânia, Índia, Sri Lanka, Malásia e Cuba (ROZINA *et al.*, 2017). Essas espécies colaboram para a diversificação dos sistemas produtivos na agricultura familiar, representando uma alternativa que promove melhorias ambientais, geração de emprego e incentivo ao crescimento socioeconômico (SCHAFFEL; LA ROVENE, 2010). Além disso, ambas podem atuar para fins medicinais e como insumo na produção de biodiesel (BORUGADDA; GOUD, 2012; ROZINA *et al.*, 2017). As sementes da moringa podem ser utilizadas no tratamento de água, enquanto as folhas têm excelente valor nutricional e são consumidas na alimentação tanto humana quanto animal (BORUGADDA; GOUD, 2012).

Além do uso de espécies arbóreas, o emprego de práticas conservacionistas baseadas na adoção de cobertura morta na superfície do solo aumenta a taxa de infiltração, incrementando a umidade do solo e reduzindo a flutuação da temperatura, contribuindo assim para o desenvolvimento das culturas e a redução do escoamento superficial e da erosão (BORGES *et al.*, 2014; LIMA *et al.*, 2015; MONTENEGRO *et al.*, 2013a; 2013b; SANTOS; MONTENEGRO; PEDROSA, 2009; SANTOS; SILVA; MONTENEGRO, 2010; SANTOS; MONTENEGRO; SILVA, 2011; SHEN *et al.*, 2012).

Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar experimentalmente a importância do uso conjunto de cobertura morta e espécies de oleaginosas não convencionais perenes (*Moringa oleifera* Lam. e *Azadirachta indica* A. Juss.) no controle do escoamento superficial e da erosão do solo em parcelas, na condição de chuvas naturais, no semiárido nordestino.

METODOLOGIA

Características da área de estudo

O experimento foi conduzido em uma encosta com área de 0,7 ha, inserida em uma pequena propriedade rural do assentamento Nossa

Senhora do Rosário, na bacia representativa do Mimoso, localizada no município de Pesqueira (PE), Brasil, entre as coordenadas geográficas 08°34'17" e 08°18'11" de latitude Sul e 37°01'35" e 36°47'20" de longitude Oeste. A bacia do Mimoso é parte da bacia do Alto Ipanema, situada no semiárido do estado de Pernambuco (Figura 1A), e que constitui afluente do Rio São Francisco, em seu trecho submédio.

Características do solo

O solo da área de estudo foi classificado, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2013), como neossolo regolítico, relativamente raso, com ~0,85 m de profundidade, e de textura franco arenosa (Tabela 1). A condutividade hidráulica do solo saturado na camada de 0 a 0,15 m é de ~83 mm h⁻¹. Outras características físicas do solo podem ser observadas na Tabela 1.

Características climáticas e dados meteorológicos

O clima da região é BSh (semiárido quente), segundo a classificação de Köppen. A evapotranspiração potencial de referência anual média é de 2.000 mm e a temperatura média anual de 23°C. A precipitação média da região é de 686 mm (série de dados de 1910 a 2014).

O período de estudo compreendeu os anos de 2016 e 2017, com coletas de dados concentrados de janeiro a julho, abrangendo a estação chuvosa da região. Os dados de precipitação foram registrados em pluviômetro automático de balança TB4L da Campbell Scientific, com resolução de 0,254 mm, programado para registrar dados a cada 5 minutos. Os dados de precipitação em escala sub-horária possibilitaram o cálculo das intensidades médias (I) de cada evento pluvial e as intensidades máximas em 30 minutos (I_{30máx}). A energia cinética (EC) associada à chuva foi calculada de acordo com a Equação 1, proposta por Wischmeier e Smith (1978) e modificada por Foster *et al.* (1981).

$$EC = 0,119 + 0,0873 \text{ Log } I \quad (1)$$

Em que:

EC = a energia cinética das gotas da chuva, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹;

I = a intensidade da chuva, em mm h⁻¹.

Os valores obtidos por meio da Equação 1 foram utilizados para o cálculo do índice de erosividade (EI₃₀), pela Equação 2:

$$EI_{30} = EC \times I_{30máx} \times P \quad (2)$$

Em que:

EI₃₀ = o índice de erosividade, em MJ ha⁻¹ mm⁻¹;

I_{30máx} = a intensidade máxima média da chuva em 30 min, em mm h⁻¹;

P = a altura pluviométrica, em mm.

Parcelas experimentais de erosão

Na área de estudo, instalaram-se três parcelas de erosão, cada uma com área igual a 40 m² (2 × 20 m), com a maior dimensão da parcela na direção da inclinação (Figura 1B). As parcelas foram colocadas numa declividade longitudinal de 10%, e, em cada uma delas, aplicaram-se os seguintes tratamentos (Figura 1):

- T1: oleaginosas não convencionais, moringa (*Moringa oleifera* Lam.) e nim (*Azadirachta indica* A. Juss.), plantadas com espaçamento de 3 × 3 m entre plantas e fileiras;

- T2: oleaginosas não convencionais com presença de cobertura morta de pó de coco (*Cocos nucifera* L.) sobre a superfície do solo de densidade de 8 t ha⁻¹; as espécies foram plantadas de modo similar ao plantio do tratamento T1;
- T3: solo descoberto.

Delimitaram-se as parcelas por chapas metálicas de 0,40 m de altura, cravadas no solo a uma profundidade de 0,15 m. Para coleta e quantificação do volume de água escoado superficialmente e das perdas de

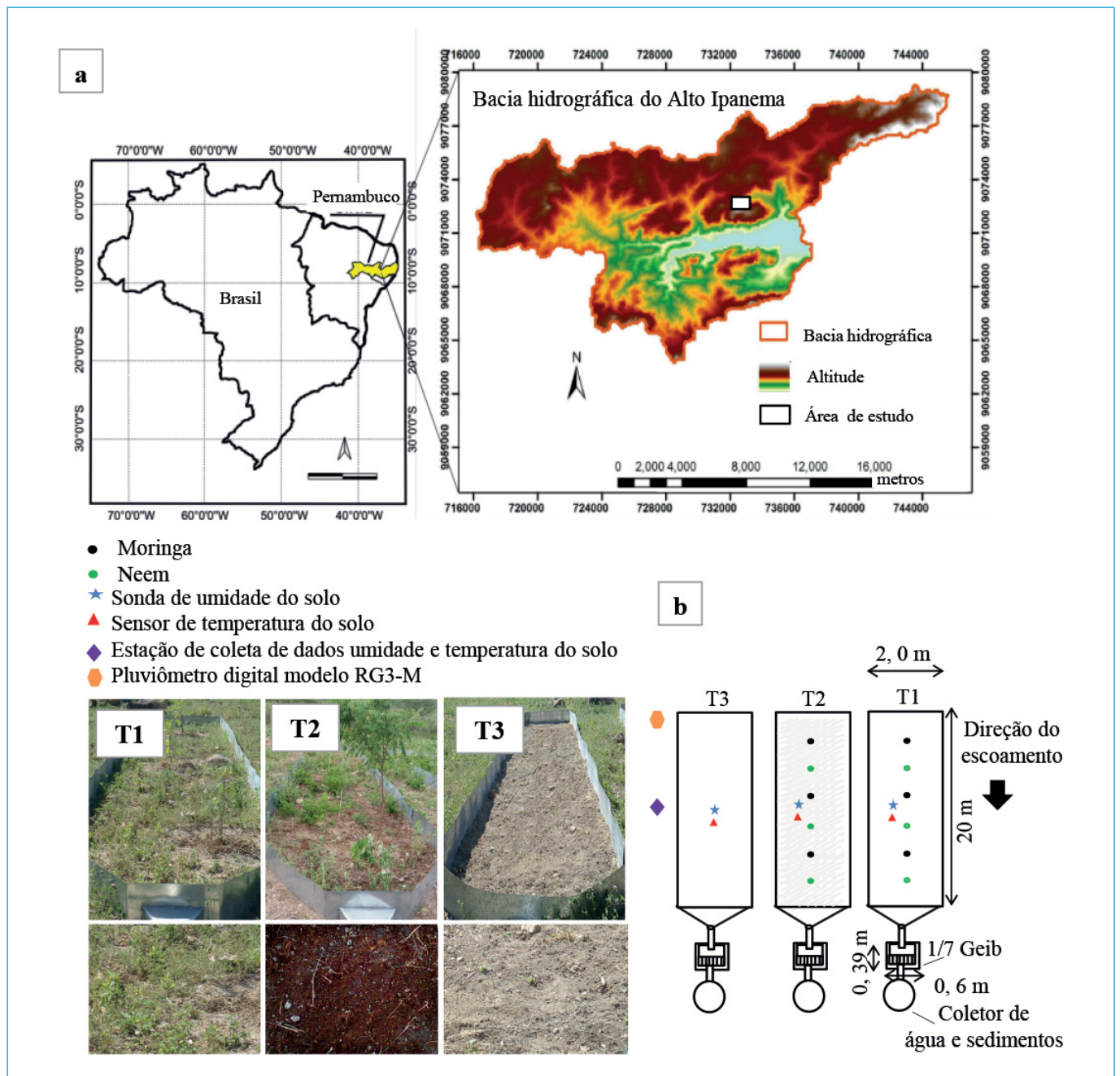


Figura 1 - (A) Localização da área experimental na bacia do Alto Ipanema no estado de Pernambuco, Brasil; (B) esboço de instalação das parcelas de erosão e tratamentos nas parcelas de erosão estudadas: oleaginosas (T1), oleaginosas + cobertura morta (T2) e solo descoberto (T3).

solo, instalaram-se nas partes inferiores das parcelas sistemas coletores de água e sedimentos, constituídos de divisor tipo Geib (com sete saídas, sendo previamente nivelado e calibrado) e tanque de coleta com capacidade de 0,5 m³.

Monitoraram-se o escoamento e a perda de solo durante todos os eventos individuais erosivos (que geraram escoamento) na estação chuvosa (entre janeiro e julho) dos anos de 2016 e 2017. As amostras de água e sedimentos (três por cada evento) foram secas em estufa a 65°C para determinar a perda total de solo do evento, conforme recomendações de Cogo, Levien e Schwarz (2003).

Monitoramento da umidade e da temperatura do solo

Sondas de umidade CS616 da Campbell Scientific realizaram o monitoramento detalhado da umidade do solo. Para mensuração da temperatura do solo, utilizaram-se termopares. Esses sensores foram instalados horizontalmente a uma profundidade de 0,2 m em cada parcela experimental, sendo conectados a uma *datalogger* CR1000 da Campbell Scientific, com aquisição de dados a cada 1 hora.

Implantação de oleaginosas e características morfológicas das espécies

O transplântio das espécies de moringa e nim realizou-se em maio de 2015, sendo três plantas de moringa e três de nim plantadas espaçadas de 3 m entre as linhas de plantio e 3 m entre plantas, nas parcelas experimentais dos tratamentos T1 e T2. Após 210 dias do transplântio, ocorreu o monitoramento mensal das características morfológicas das espécies: a altura de planta (AP em m), obtida por meio de medição entre a base do caule e o seu ápice, com uso de fita métrica, e o diâmetro caulinar (DC em mm), determinado no colo da planta a uma altura de 0,15 m, por um paquímetro de leitura digital.

Análise dos dados

Os dados de escoamento e perda de solo foram analisados por meio de gráficos de *boxplot* e regressões lineares, logarítmicas e potenciais. Submeteram-se os dados de altura de planta e diâmetro caulinar à análise de variância (ANOVA), segundo o delineamento inteiramente casualizado com seis repetições e medidas repetidas no tempo. As médias de altura de planta e diâmetro caulinar em relação aos períodos e entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o Statistica 9 (STATSOFT INC., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características das chuvas

Observa-se na Figura 2 a distribuição dos eventos pluviométricos com as suas respectivas características de erosividade (EI_{30}) e intensidade máxima em 30 minutos ($I_{30máx}$) para os anos hidrológicos de 2016 e 2017. Os totais precipitados anuais foram de 593 e 751 mm e os índices EI_{30} de 4.303 e 3.883 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, respectivamente para 2016 e 2017. O total precipitado em 2016 foi 16% inferior à média histórica de 1910 a 2014 (686 mm); já em 2017, o total precipitado foi 9% superior. Embora no ano de 2017 a precipitação total anual tenha sido maior que no ano de 2016, o EI_{30} foi 10% menor. Já em 2016, apesar da ocorrência de um menor número de eventos, esses foram mais intensos e erosivos em comparação com os de 2017 (Figura 2). Eventos pluviométricos de alta intensidade e erosividade (característicos de regiões semiáridas) são responsáveis por maiores perdas de solo, de acordo com Santos *et al.* (2017b) para o semiárido nordestino brasileiro e Boix-Fayos *et al.* (2005) para as áreas do Mediterrâneo, sendo ainda mais críticos quando o solo apresenta reduzida cobertura (verde ou morta).

Tabela 1 - Características físico-químicas do neossolo regolítico da área experimental, Pesqueira (PE).

Profundidade (cm)	Horizonte	Areia	Silte	Argila	Ds	Dp	Pt	Classe textural			
		(%)			(g cm ⁻³)		(m ³ m ⁻³)				
0-11	A	74,8	8,2	17,0	1,41	2,72	0,48	Franco arenoso			
11-40	C1	68,4	13,3	18,3	1,55	2,53	0,39	Franco arenoso			
40-85+	C/R	65,7	16,1	18,3	1,66	2,59	0,36	Franco arenoso			
Profundidade (cm)	Horizonte	pH	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	P (mg dm ⁻³)	C.O	M.O (g kg ⁻¹)
		H ₂ O	(Cmol _c dm ⁻³)								
0-11	A	6,3	5,70	2,10	0,49	0,22	0,00	3,11	23,70	13,27	22,88
11-40	C1	4,8	1,70	0,60	0,24	0,22	0,40	3,73	1,46	3,93	6,77
40-85+	C/R	5,7	1,70	1,30	0,12	0,40	0,10	2,75	2,06	2,31	3,98

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Pt: porosidade total; pH: potencial hidrogeniônico em água; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; N: sódio; Al: alumínio; H+Al: acidez; P: fósforo; C.O: carbono orgânico; M.O: matéria orgânica.

Os valores de erosividade anual obtidos no presente trabalho (Figura 2) exibem a mesma ordem de grandeza observada por Oliveira, Wendland e Nearing (2013), estudando a erosividade anual no Brasil. Os referidos autores encontraram valores de EI_{30} variando de 1.672 a 22.452 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Santos e Montenegro (2012) identificaram valores mais baixos na Região Nordeste, no agreste central pernambucano, com valor de erosividade da chuva para o período de 1969–2010 de 2.779 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Santos *et al.* (2017b) obtiveram valores de erosividade variando de 5.718 a 12.642 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no período de 2009 a 2011, e os valores mais altos foram encontrados nas regiões Norte e Sudeste (TRINDADE *et al.*, 2016).

Na Figura 2, ainda é possível observar a alta variabilidade dos eventos, para os anos de 2016 e 2017. Em 2016, houve uma concentração de eventos chuvosos nos meses de março (201 mm) e maio (204 mm). Ambos os meses representaram 68% do total precipitado no ano, sendo os maiores índices pluviométricos concentrados em apenas dois eventos em março (82 e 71 mm) e em maio (64 e 66 mm). Já em 2017, os maiores índices pluviométricos foram registrados no mês de maio (266 mm), o qual representou 35% do total anual precipitado. Nesse mês, o maior índice pluviométrico ocorreu apenas em um único evento (60 mm).

Efeito da cobertura na umidade e na temperatura do solo

Ao se analisar a variação temporal de umidade do solo nos três tratamentos de cobertura do solo (Figura 3A), observam-se maiores

umidades do solo no período chuvoso para o tratamento T2 (oleaginosas + cobertura morta). A vegetação associada à cobertura morta atuou na retenção de água, reduzindo a evaporação e elevando, consequentemente, a umidade do solo. A introdução de cobertura morta, bem como a associação de barreiras ao escoamento, como pedras, permite maior retenção de água no solo em relação a solos descobertos e com vegetação pouco desenvolvida (SANTOS; SILVA; MONTENEGRO, 2010; SILVA *et al.*, 2015).

Pela maior retenção de umidade do solo no tratamento T2 em consequência da presença de cobertura morta, constataram-se as maiores amplitudes de umidade nesse manejo do solo (Figura 3A). De todo modo, deve-se salientar que as amplitudes máximas de temperatura do solo verificadas (ocorridas na parcela descoberta) foram inferiores a 16°C, o que não provocou discrepâncias nas leituras das sondas CS616. Tendo em vista a baixa capacidade de armazenamento de água no neossolo em estudo, logo após os eventos de chuva havia naturalmente a elevação da umidade do solo, porém em poucos dias (dois a cinco dias) a umidade retornava a valores inferiores a 0,1 cm³ cm⁻³. Assim, valores de umidade do solo após eventos pluviométricos foram classificados como discrepantes nos *boxplots* (Figura 3A).

No que concerne à temperatura do solo (Figura 3B), houve uma variação natural com as estações do ano, sendo registrados maiores valores no verão e menores no inverno, com maior amplitude térmica temporal para o T2 entre 20 e 37°C, nos dias 22 de julho e 7 de

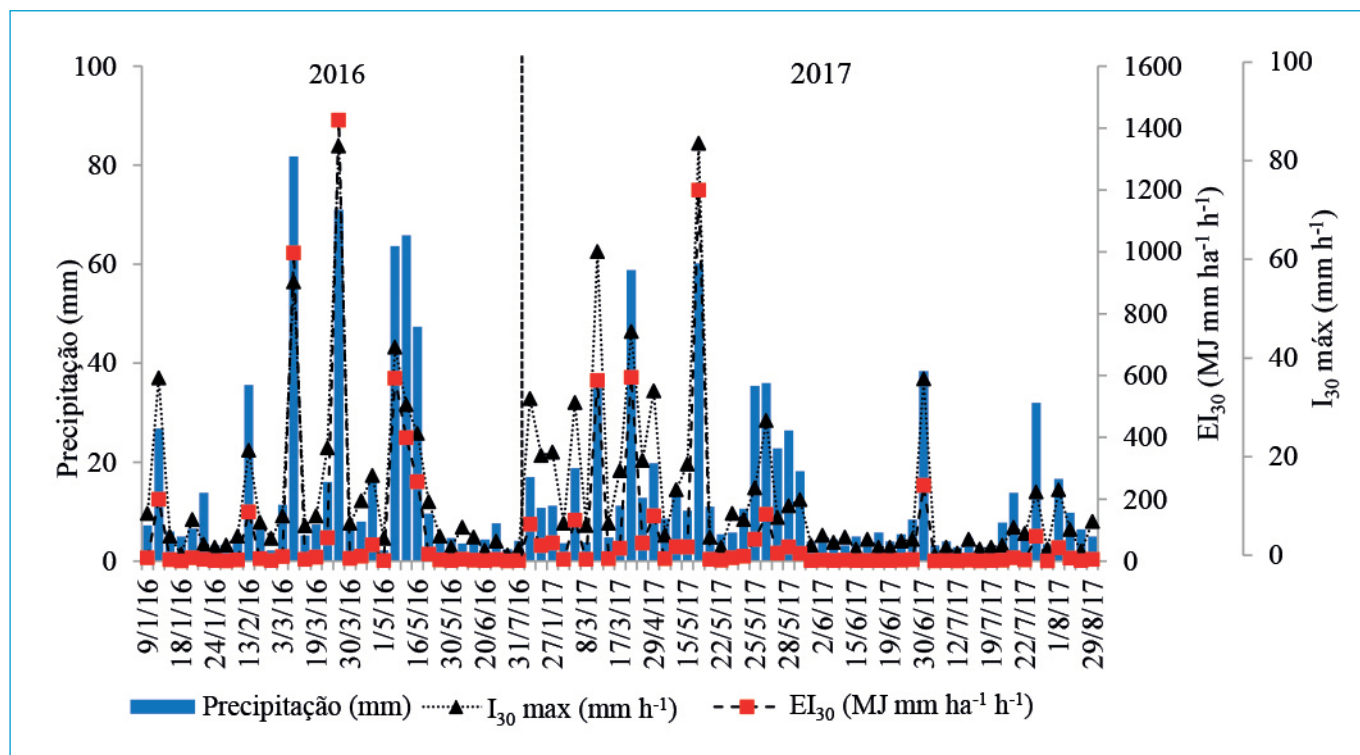


Figura 2 - Precipitação, intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}) e índice de erosividade (EI_{30}) para os anos de 2016 a 2017, Pesqueira (PE), Brasil.

dezembro de 2016, respectivamente. No período chuvoso de 2016, caracterizado por chuvas de elevada magnitude e espaçadas temporalmente, o tratamento T2 apresentou menor temperatura do solo. Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito da cobertura morta, resultando em redução da temperatura do solo (também verificado por Montenegro *et al.*, 2013a), dadas as perdas de energia via calor latente e sensível. Esse efeito da cobertura T2 em reduzir a temperatura do solo fica mais evidente ao se analisar a variabilidade da temperatura média diária (Figura 3B), que teve menor média e valor do quartil de 25%. Assim, constata-se que a cobertura morta reduz a evaporação e

aumenta a disponibilidade de água no solo, bem como regula a temperatura do solo (resultado também constatado por Li *et al.*, 2013).

No período de estiagem (outubro de 2016 a dezembro de 2016), tanto o tratamento T2 como T1 apresentaram menor umidade (Figura 3A) e aumento de temperatura (Figura 3B) do solo. O aumento da temperatura nesses tratamentos foi influenciado pela coloração escura da matéria orgânica, que resulta em menor refletância e maior absorção de radiação solar.

Ao analisar a umidade do solo no tratamento T3 em relação aos T1 e T2 (Figura 4A), torna-se claro o efeito das coberturas no aumento de sua umidade. Observando-se os coeficientes angulares das regressões,

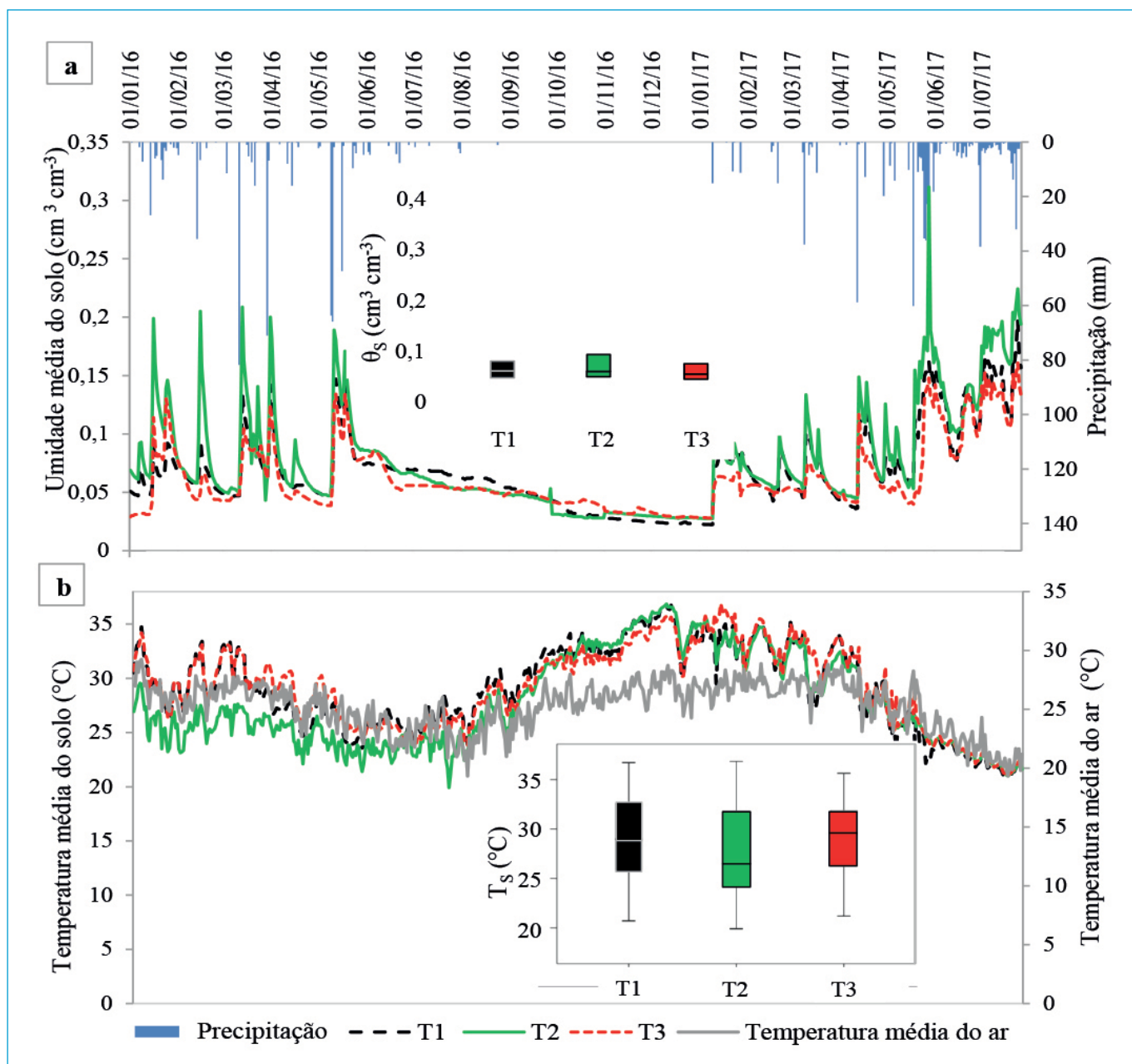


Figura 3 - Variação temporal da precipitação, (A) umidades médias do solo e (B) temperaturas médias do solo e do ar nas parcelas estudadas: oleaginosas (T1), oleaginosas + cobertura morta (T2) e solo descoberto (T3).

tanto o tratamento T1 como o T2 apresentaram valores superiores a 1, indicando a eficiência do manejo na retenção de umidade do solo. O tratamento T2 alcançou maior coeficiente angular do que o T1 (Figura 4A), expressando (Figura 3A) a maior capacidade de retenção de água no solo. Os pontos abaixo da reta 1:1 (Figura 4A) representam os períodos de estiagem (principalmente de outubro a dezembro), em que a umidade em áreas vegetadas torna-se inferior pela maior perda por evapotranspiração em comparação com as áreas sem vegetação.

Relacionando-se as temperaturas do solo dos tratamentos T1 e T2 com as do T3 (Figura 4B), constatam-se maiores dispersões somente para a relação entre as coberturas T2 e T3. Como no T1 não havia adição da cobertura morta ao solo, o comportamento de umidade e temperatura do solo foi mais similar em relação ao solo descoberto (T1), com coeficientes angulares mais próximos de 1 (Figuras 4A e 4B). Na relação de temperaturas de T3 e T2, com a adição de cobertura morta, houve no período chuvoso expressivo aumento de umidade e redução da temperatura do solo. Esse processo gerou dois patamares (Figura 4B) na relação entre temperatura de T2 versus T3, em que, no período chuvoso, os valores de temperatura eram menores no T2 em relação ao T3. Já no período seco, havia uma inversão, com maiores temperaturas no T2 em relação ao T3.

Na comparação entre umidade e temperatura do solo (Figura 4C), para os diferentes tratamentos, contata-se que, quanto maior a umidade, há a tendência de menor temperatura do solo. As menores dispersões dos dados (Figura 4C) ocorreram para valores de umidade maiores que 0,1 cm³ cm⁻³, uma vez que, quanto maior a umidade do solo, menor será a amplitude térmica diária, dado o elevado calor específico da água. Deve-se ressaltar que essa variabilidade nas temperaturas da Figura 4C também pode ser atribuída às estações climáticas do

ano, não sendo tão expressiva para a área de estudo pela proximidade da linha do Equador (08°34'17" Sul).

Efeito da umidade antecedente do solo na geração de escoamento

Observa-se na Figura 5 que, dos 81 eventos de precipitação (> 2 mm), apenas três geraram escoamento para o tratamento T2, seguido de 8 e 11 eventos para os tratamentos T1 e T3, respectivamente. Precipitações inferiores a ~30 mm, no período estudado, não geraram escoamento superficial nos tratamentos T1 e T2, independentemente da umidade antecedente do solo. Como o solo estudado é um neossolo regolítico de textura franco arenosa, a capacidade de retenção de água é pequena, alcançando valores máximos de umidade de 0,24 cm³ cm⁻³ (Figura 5). Além disso, o solo em estudo apresenta elevada condutividade hidráulica saturada, com valores médios de 83 mm h⁻¹. Nesse sentido, a umidade antecedente do solo passa a não demonstrar grande influência na geração de escoamento superficial, tendo maior peso nesse processo as características da chuva e o estado da cobertura do solo. A forte dependência do total precipitado e da cobertura do solo na geração de escoamento foram verificados por Santos *et al.* (2017a). Chuvas superiores a 70 mm geraram escoamento independentemente da umidade antecedente do solo; quando o solo apresentava umidade superior a 20%, a maior parte dos eventos eram geradores de escoamento superficial (SANTOS *et al.*, 2016).

No tratamento T1 (oleaginosas) (Figura 5A), a não geração de escoamento para três eventos com precipitação superior a 30 mm está relacionada à baixa intensidade média da chuva. No T1, nos dois eventos pluviométricos de 38 mm, sem escoamento (Figura 5A), a intensidade máxima da chuva foi de 19 mm h⁻¹. Já para o evento de 64 mm, a

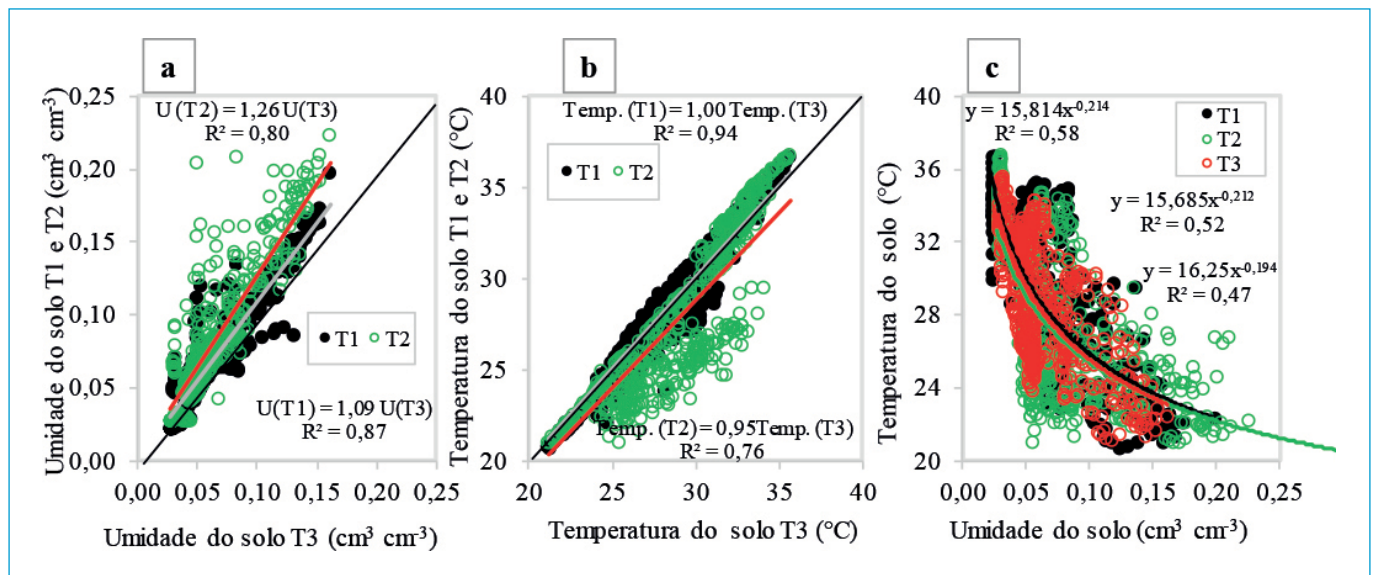


Figura 4 - (A) Relações entre umidades médias do solo dos tratamentos T3 com T1 e T2; (B) temperaturas médias do solo da área T3 com T1 e T2; (C) umidade do solo com temperatura para os tratamentos T1, T2 e T3.

intensidade foi ainda menor, com valor de 13 mm h^{-1} . Como o solo em estudo tem elevada taxa de infiltração, os picos de intensidade desses eventos não foram capazes de gerar escoamento hortoniano. Aliado a isso, as plantas atuaram na dissipação da energia cinética da chuva.

Quando se analisa o tratamento T2 (oleaginosas + cobertura morta) (Figura 5B), observa-se que houve um menor número de eventos geradores de escoamento (três eventos) quando comparado ao T1 (só oleaginosas) (oito eventos). Esse comportamento em escala de eventos (Figura 5B), da mesma forma que foi apresentado em escala bianual, está relacionado ao efeito da cobertura morta e das oleaginosas em dissipar energia cinética da chuva e do escoamento superficial. Esse efeito protetor da cobertura é tão expressivo que a maior lâmina escoada na área T2 ocorreu para o evento com 60 mm de precipitação, gerando uma lâmina escoada de apenas 5,9 mm.

Ao se analisar o tratamento T3, na Figura 5C, verifica-se como a falta de cobertura do solo nesse tratamento é decisiva na geração de escoamento superficial, pois dois eventos com precipitação de 11 e 20 mm, porém de intensidades de 20 e 35 mm h^{-1} , geraram escoamento. Para o T3, o número de eventos erosivos passou para 11. A inexistência de cobertura (tanto morta como arbórea) reduz expressivamente as barreiras naturais ao escoamento e a dissipação da energia da chuva, aumentando as possibilidades de geração de escoamento hortoniano (SANTOS *et al.*, 2016; 2017b).

Efeito da cobertura do solo no escoamento superficial e na perda de solo

Na análise dos eventos individuais, o tratamento T3 apresentou os maiores valores tanto de escoamento como de perda de solo, quando comparado com os tratamentos T1 e T2 (Figura 6). Os dois eventos de grande magnitude em 2016 ocorreram nos dias 11 e 29 de março

(Figuras 6A e 6B), com precipitação de 81,2 e 71,0 mm, e EI_{30} de 996 e $1.424 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 2), respectivamente. Para o tratamento T3, esses eventos foram os responsáveis por gerar os maiores escoamentos superficiais (7,81 e 7,28 mm) e perda de solo ($0,01$ e $0,02 \text{ kg m}^{-2}$) (Figuras 6A e 6B). Contudo esses eventos não demonstraram energia suficiente para ocasionar escoamento e perdas de solo no tratamento T2 (Figura 6A). Durante esses eventos extremos, a vegetação e a cobertura morta funcionaram como dissipadores da energia cinética da chuva e reduziram o escoamento e as perdas de solo.

O evento mais erosivo do ano de 2017 ocorreu no dia 18 de maio, com precipitação de 60,2 mm e EI_{30} de $1.199 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 2). Esse evento foi responsável por gerar o maior escoamento (7,27 mm) e perda de solo ($0,014 \text{ kg m}^{-2}$) no tratamento T3 (Figuras 6A e 6B). Em contrapartida, para os tratamentos T1 e T2, o efeito protetor da cobertura vegetal e morta reduziu as perdas de solo em 95 e 99% em relação ao tratamento T3. Comparando-se os tratamentos aplicados pelos dois anos de estudo, ainda que o ano de 2017 tenha registrado mais eventos de escoamento (Figura 6A), ele não foi responsável pelas maiores perdas de solo, quando comparado ao ano 2016 (Figura 6B). Esse fato pode ser explicado pelo maior desenvolvimento das plantas arbóreas de oleaginosas no ano de 2017, quando comparado ao ano de 2016 (transplântio). Dessa forma, o crescimento das oleaginosas diminuiu o impacto direto das gotas de chuva no solo, gerando menor desagregação de sedimentos. As maiores amplitudes para o escoamento e perdas de solo foram observadas no tratamento T3 (Figuras 6C e 6D).

Esse efeito protetor da cobertura do solo pode ser melhor entendido pela relação entre precipitação, escoamento acumulado (Figura 7A) e perdas de solo (Figura 7B). Os menores coeficientes angulares para o

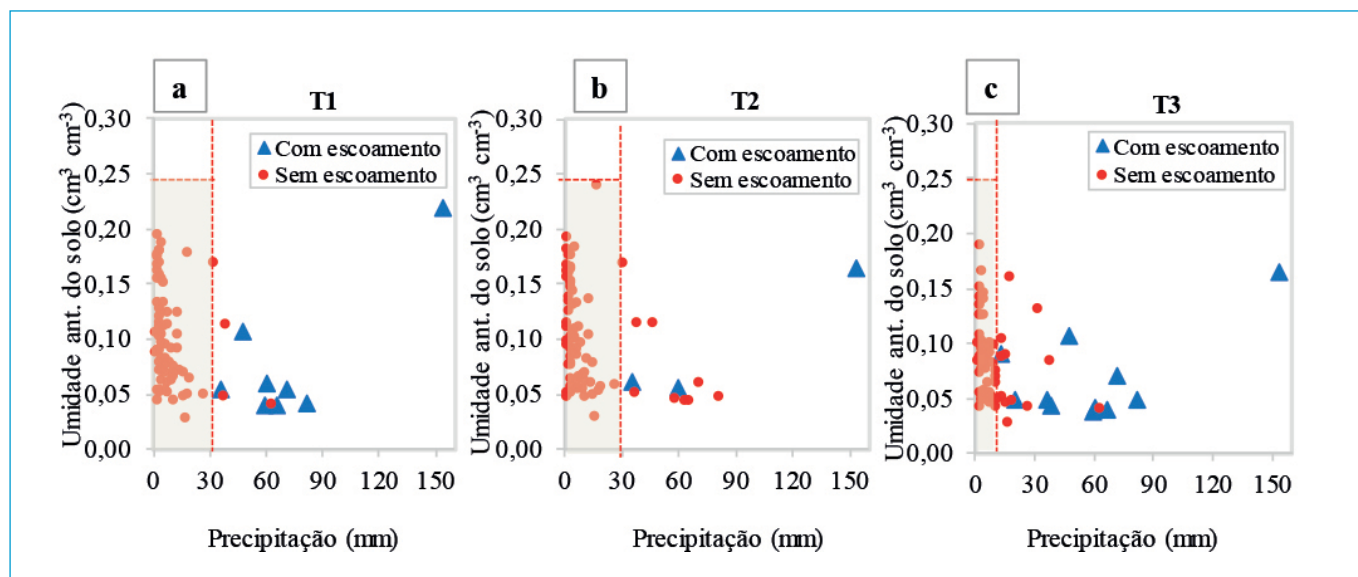


Figura 5 - Geração de escoamento decorrente da precipitação para todos os eventos pluviométricos superiores a 2 mm, nos tratamentos: (A) T1-oleaginosas; (B) T2 - oleaginosas + cobertura morta; (C) T3 - solo descoberto.

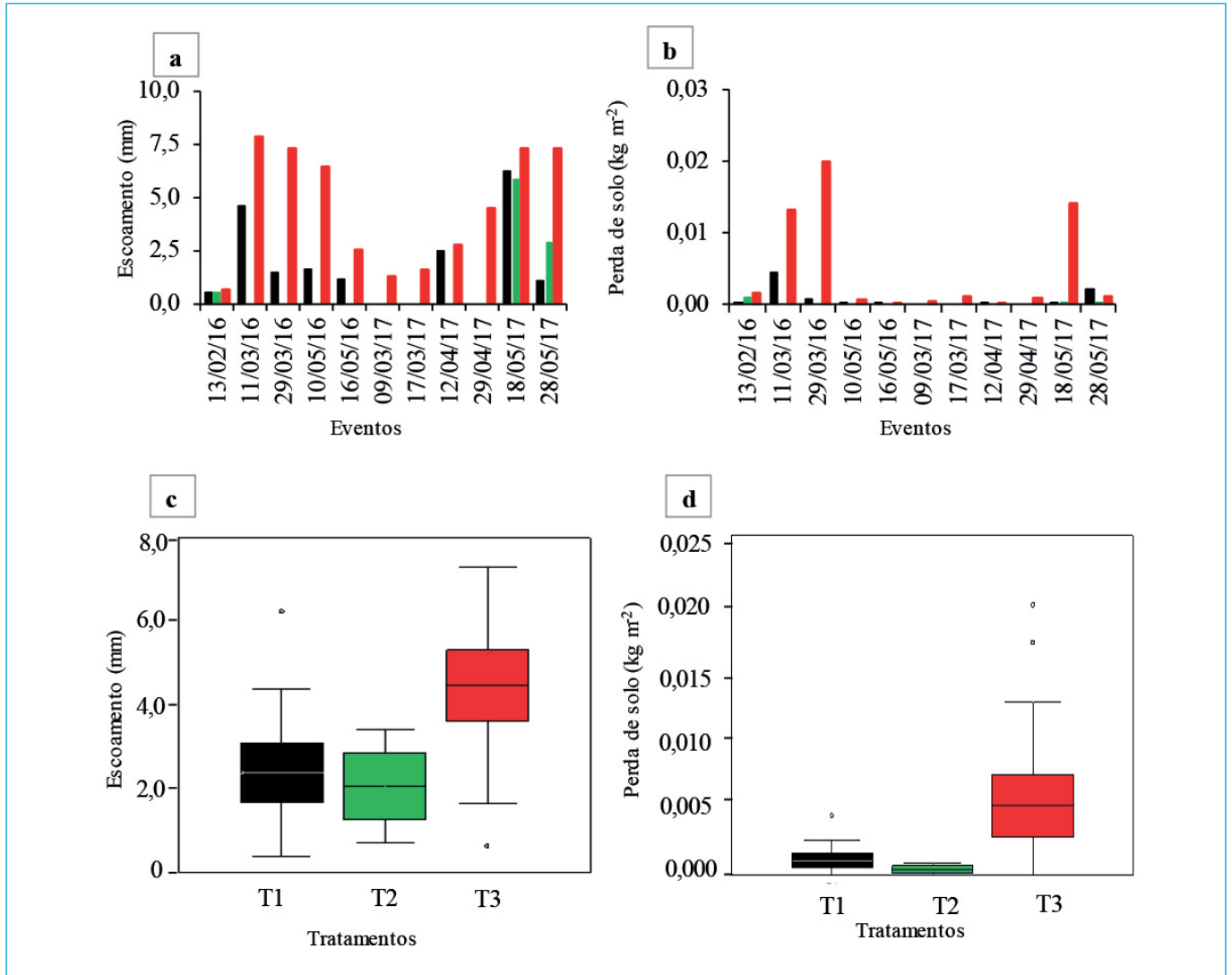


Figura 6 - (A) Escoamento superficial, (B) perda de solo total, (C) variabilidade dos eventos de escoamento superficial e (D) perda de solo para os diferentes tratamentos estudados.

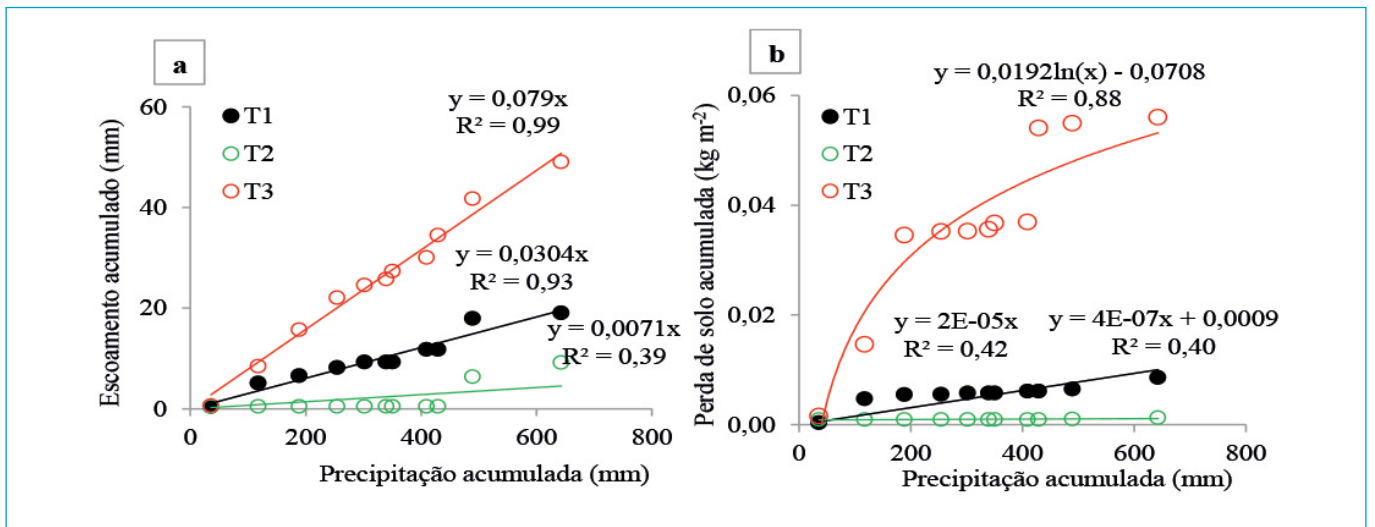


Figura 7 - Relações entre precipitação e (A) escoamento acumulados e (B) perdas de solo acumuladas para os três tratamentos estudados.

T2, seguido pelo T1 e T3, expressam que o sistema radicular da vegetação e a decomposição da cobertura morta (pó de coco) agem na melhoria da estrutura do solo, controlando a geração de escoamento e perdas de solo. Tais processos aumentam a condutividade hidráulica do solo e maximizam a oportunidade de infiltração da água da chuva (RODRIGUES *et al.*, 2013), minimizando o escoamento superficial e as perdas de solo (ANDRADE *et al.*, 2018).

Desenvolvimento temporal das oleaginosas

Como não houve diferença estatística para as alturas e os diâmetros entre as espécies de oleaginosas (moringa e nim), elas foram contabilizadas em conjunto para cada tratamento. Ao se analisar o crescimento médio e o diâmetro médio caulinar das oleaginosas, no período de janeiro de 2016 a dezembro 2017, para tratamentos T1 e T2, constatou-se aumento médio na altura das plantas e no diâmetro caulinar (Tabela 2). Como o crescimento das plantas é controlado pela divisão

celular, quantidade de água insuficiente reduz o coeficiente de divisão celular e a expansão de todas as células, impedindo, desse modo, o crescimento vegetativo das plantas. No caso da região semiárida, onde existe alta variabilidade dos índices pluviométricos, a cobertura morta é uma técnica conservacionista que permite o melhor aproveitamento da água pelos vegetais (BORGES *et al.*, 2014; SANTOS; MONTENEGRO; PEDROSA, 2009). Apesar de a cobertura morta ter melhorado a retenção de água no solo e aumentado os índices de altura e diâmetro das plantas (Tabela 2), esse aumento não é estatisticamente significativo.

Na Tabela 2, verifica-se a diferença estatística para as variáveis altura da planta e diâmetro caulinar entre os anos de 2016 e 2017. O rápido desenvolvimento dessas oleaginosas (em condições de sequeiro) é um indicativo de que essas espécies apresentam potencial para recomposição de áreas degradadas no semiárido brasileiro, mesmo na ausência de cobertura morta.

Observou-se para o ano de 2017 (Figura 8A) maior escoamento superficial em relação ao ano anterior. Mesmo com ocorrência de maiores

Tabela 2 - Médias de altura das plantas (AP) e diâmetro caulinar (DC) das oleaginosas na presença e na ausência de cobertura morta*.

Período	T1 (oleaginosas)				T2 (oleaginosas + cobertura morta)			
	AP	Desvio padrão	DC	Desvio padrão	AP	Desvio padrão	DC	Desvio padrão
2016	1,36 aA	0,65	17,49 aA	8,89	1,43 aA	0,41	20,95 aA	8,82
2017	1,71 aB	0,67	27,00 aB	9,28	1,78 aB	0,48	30,96 aB	9,14

*Os valores médios seguidos pela mesma letra minúscula na linha e letra maiúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

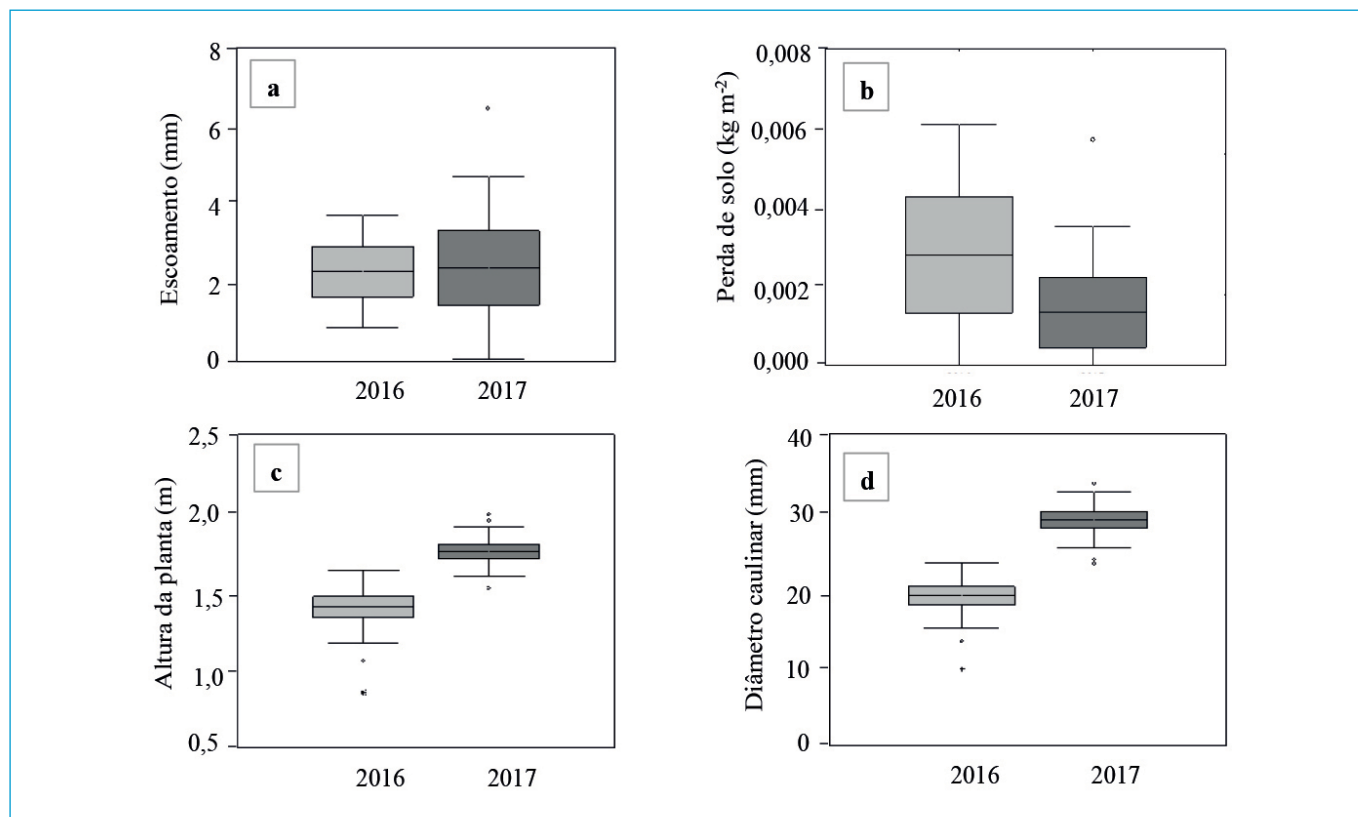


Figura 8 - Boxplot para os anos de 2016 e 2017 para as variáveis (A) escoamento, (B) perda de solo, (C) altura da planta e (D) diâmetro caulinar.

escoamentos, na Figura 8BNa, constata-se redução das perdas de solo com o crescimento das plantas de oleaginosas em 2017, em relação ao ano anterior, mesmo com escoamentos mais elevados (Figura 8A). A vegetação mais desenvolvida (Figuras 8C e 8D) diminuiu o impacto direto das gotas de chuva, protegendo o solo. Observou-se diminuição de 43% das perdas de solo de 2016 para 2017, motivada também pelo não revolvimento do solo em 2017, concorrendo para sua consolidação superficial. Contudo não houve reduções no escoamento superficial, pois as lâminas escoadas, de modo geral, têm sido menos influenciadas pela cobertura vegetal e morta do que as perdas de solo. Os resultados corroboram os autores Cogo, Levien e Schwarz (2003).

CONCLUSÕES

A cobertura do solo com oleaginosas e cobertura morta resultou em menores valores de escoamento e perdas de solo comparativamente ao solo descoberto, uma vez que a cobertura agiu tanto na dissipação da energia cinética da chuva como na retenção de água no solo e na absorção/intercepção da água da chuva.

A umidade antecedente do solo não foi o fator mais expressivo na geração de escoamento superficial para o solo estudado (neossolo regolítico). As condições da cobertura do solo e as características da chuva (altura, intensidade e erosividade) foram os fatores mais determinantes.

Na parcela com oleaginosas, o desenvolvimento da estrutura arbórea vegetal e o não revolvimento do solo diminuiu a desagregação das partículas, reduzindo a perda de solo. Observou-se uma diminuição de 43% das perdas de solo de 2016 para 2017, mas não houve reduções no escoamento superficial.

O rápido desenvolvimento das oleaginosas em condições de sequeiro é um indicativo de que essas espécies podem ser utilizadas na recomposição de áreas degradadas no semiárido brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processos nº 420.488/2018-9 e 308.890/2018-3), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) (processo IBPG-1535-5.03/13), ao projeto Aliança para Gestão de Recursos Hídricos no Semiárido de Pernambuco (consórcio UNIVERSITAS) financiado pela FACEPE (processo nº APQ-0300-5.03/17), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Pró-Reitoria de Extensão e Cultura da UFRPE (PROExC), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) do Brasil e da FCT (por meio do Projeto MEDWATERICE financiado pela Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area — PRIMA) e do Projeto GOLis (PDR2020-101-030913, Partnership nr. 344 / Initiative nr. 21) de Portugal.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E.M.; RODRIGUES, R.N.; PALÁCIO, H.A.Q.; BRASIL, J.B.; RIBEIRO FILHO, J.C. (2018) Hydrological responses of a watershed to vegetation changes in a tropical semiarid region. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 1, p. 161-170. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n119rc>
- BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO, J. (2005) Concise review of interrill erosion studies in SE Spain (Alicante and Murcia): erosion rates and progress of the knowledge from the 1980s. *Land Degradation and Development*, v. 16, n. 6, p. 517-528. <https://doi.org/10.1002/ldr.706>
- BORGES, T.K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, T.E.M.; SILVA, D.D.; SILVA JÚNIOR, V.P. (2014) Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 6, p. 1862-1873. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600021>
- BORUGADDA, V.B.; GOUD, V.V. (2012) Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 7, p. 4763-4784. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.010>
- COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. (2003) Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). (2013) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3. ed. Brasília: Ed. EMBRAPA-CNPS. 412 p.
- FOSTER, G.R.; MCCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. (1981) Conservation of the Universal Soil Loss Equation the SI metric units. *Journal Soil Water Conservation*, v. 36, n. 6, p. 355-359.
- LI, R.; HOU, X.; JIA, Z.; HAN, Q.; REN, X.; YANG, B. (2013) Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China. *Agricultural Water Management*, v. 116, p. 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.001>
- LIMA, C.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, T.E.M.; ANDRADE, E.M.; MONTEIRO, A.L.N. (2015) Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 4, p. 697-706. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150056>

- MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.Pde; SINGH, V.P.; SANTOS, T.E.M. (2013a) Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, v. 109, p. 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.018>
- MONTENEGRO, A.A.A.; LIMA, J.L.M.Pde; ABRANTES, J.R.C.B.; SANTOS, T.E.M. (2013b) Impact of mulching on soil and water conservation in semiarid catchment: simulated rainfall in the Field and in the Laboratory. *Die Bodenkultur*, v. 64, n. 3-4, p. 79-85.
- OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA, M.K.T.; SILVA, R.C.P.; SILVA, O.M.P.; MAIA, P.M.E.; CÂNDIDO, W.S. (2013) Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. *Revista Árvore*, v. 37, n. 1, p. 79-87. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100009>
- OLIVEIRA, P.T.S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. (2013) Rainfall erosivity in Brazil: a review. *Catena*, v. 100, p. 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>
- RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.M.; MENDONÇA, L.A.R.; ARAÚJO, J.C.; PALÁCIO, H.A.Q.; ARAÚJO, E.M. (2013) Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 3, p. 312-318. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300010>
- ROZINA; ASIF, S.; AHMAD, M.; ZAFAR, M.; NSIR, A. (2017) Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-edible seed oils for use as biodiesel in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 687-702.
- SANTOS, J.C.N.; ANDRADE, E.M.; GUERREIRO, M.J.S.; MEDEIROS, P.H.A.; PALÁCIO, H.A.Q.; ARAÚJO NETO, J.R. (2016) Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. *Journal of Hydrology*, v. 541, parte B, p. 1057-1066. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.016>
- SANTOS, J.C.N.; ANDRADE, E.M.; MEDEIROS, P.H.A.; GUERREIRO, M.J.S.; PALÁCIO, H.A.Q. (2017a) Effect of Rainfall Characteristics on Runoff and Water Erosion for Different Land Uses in a Tropical Semiarid Region. *Water Resources Management*, v. 31, p. 173-185.
- SANTOS, J.C.N.; ANDRADE, E.M.; MEDEIROS, P.H.A.; GUERREIRO, M.J.S.; PALÁCIO, H.A.Q. (2017b) Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 2, p. 251-260. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170029>
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A. (2012) Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 8, p. 871-880. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800009>
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; PEDROSA, E.M.R. (2009) Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 217-225. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300001>
- SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, D.D. (2011) Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 7, p. 670-679. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000700004>
- SANTOS, T.E.M.; SILVA, D.D.; MONTENEGRO, A.A.A. (2010) Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of Pernambuco State. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 5, p. 1733-1741. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500025>
- SCHAFFEL, S.B.; LA ROVERE, E.L. (2010) The quest for eco-social efficiency in biofuels production in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 1663-1670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.06.031>
- SHEN, J.Y.; ZHAO, D.D.; HAN, H.F.; ZHOU, X.B.; LI, Q.Q. (2012) Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. *Plant, Soil and Environment*, v. 58, p. 161-166. <https://doi.org/10.17221/404/2011-PSE>
- SILVA, J.R.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTEIRO, A.L.N.; SILVA JUNIOR, V.P. (2015) Modelagem da dinâmica de umidade do solo em diferentes condições de cobertura no semiárido pernambucano. *Agrária (Online)*, v. 10, n. 2, p. 293-303. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i2a4219>
- SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SANTOS, J.Y.G. (2018) Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. *International Journal of Sediment Research*, v. 33, n. 2, p. 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.005>
- STATSOFT INC. (2011). *Statistica™ (data analysis software system), version 9*. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 10 fev. 2018.
- TRINDADE, A.L.F.; OLIVEIRA, P.T.S.; ANACHE, J.A.A.; WENDLAND, E. (2016) Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 12, p. 1918-1928. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200002>
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978) *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, D.C.: USDA. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).