

TATYANA KEYTY DE SOUZA BORGES

***DESEMPENHO DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS NO
CONTROLE DA UMIDADE, EROSÃO HÍDRICA E NA
PRODUTIVIDADE DO MILHO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO***

**Dissertação apresentada a Universidade
Federal Rural de Pernambuco - UFRPE,
como parte dos requisitos do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
para obtenção do título de *Mestre*.**

RECIFE - PE

PERNAMBUCO - BRASIL

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

TATYANA KEYTY DE SOUZA BORGES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

***DESEMPENHO DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS NO
CONTROLE DA UMIDADE, EROSÃO HÍDRICA E NA
PRODUTIVIDADE DO MILHO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO***

Orientador:

Prof Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

Co-orientadora:

Prof^a Thais Emanuelle Monteiro dos Santos

RECIFE - PE

2013

Ficha Catalográfica

B733d Borges, Tatyana Keyty de Souza
Desempenho de técnicas conservacionistas no controle da
umidade, erosão hídrica e na produtividade do milho no
semiárido pernambucano / Tatyana Keyty de Souza Borges.
-- Recife, 2013.
96 f.: il.

Orientador (a): Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Tecnologia Rural, Recife, 2013.
Referências.

1. Solo – Umidade 2. Parcelas experimentais 3. Chuva
natural 4. Chuva simulada 5. Perda de solo 6. Resíduos
vegetais 7. Escoamento superficial I. Montenegro, Abelardo
Antônio de Assunção, Orientador II. Título

CDD 630

***DESEMPENHO DE TÉCNICAS CONSERVACIONISTAS NO CONTROLE DA
UMIDADE, EROSÃO HÍDRICA E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO***

TATYANA KEYTY DE SOUZA BORGES

Engenheira Agrônoma

Dissertação defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2013 pela banca
examinadora:

PROF ABELARDO A. A. MONTENEGRO

(Orientador)

PROF DEMETRIUS DAVID DA SILVA

(Examinador)

PROF ÊNIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA

(Examinador)

PROF^a THAIS EMANUELLE MONTEIRO DOS SANTOS

(Examinador)

*A Deus por tudo,
Aos meus pais, Carlos e Ana, meus alicerces,
a minha irmã, minha sobrinha e meu cunhado,
por todo amor e carinho.*

DEDICO

*Aos Pastores, Paulo Ortêncio Pereira Filho, Jediel
Cunha e José Joelson, pelo apoio, pela motivação e
ensinamentos cristãos durante a realização do
mestrado.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo.

Aos meus pais, Carlos e Ana, pelo amor e carinho a mim dedicados, pelo apoio, incentivo e força em todos os momentos da minha vida.

À minha querida irmã Talyta e meu cunhado Rodrigo, pela amizade e motivação em todos os momentos que me ajudaram a superar as dificuldades encontradas.

À minha sobrinha Thályta, um presente de Deus em nossas vidas, pelo seu amor, carinho, alegria e momentos de descontração.

Aos meus avós, tios, tias, primos, primas que sempre torceram por mim.

Ao CNPq, à CAPES e à Finep pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida.

Ao Coordenador Ênio França, e ao Vice- Coordenador Mario Rolim que sempre se mostraram dispostos a ajudar no que fosse necessário.

Ao Professor Abelardo Montenegro, um grande profissional que admiro muito, pela valiosa orientação deste trabalho.

A professora Thaís Emanuelle, pela co-orientação e contribuição durante a execução deste trabalho.

Aos meus grandes e verdadeiros amigos: Rafael, Júlio, Glécio, Adriana, Jessyka, Raquele, Janice, Taty, Paty, Jucy, Diogo, Renato, Mara, Karla, Cleene, Aline, Tony, Daniel, Mércia por sempre estarmos unidos, compartilhando cada momento.

Aos meus amigos do Laboratório de Água e Solo, Rafaelle, Thalita, Rayssa, Aluízio, Eduardo, Adriano, Rogério, Paulo, Robertson, Thaís, em especial a Junior e Betinho, que me acompanharam e me ajudaram bastante durante o desenvolvimento do experimento.

Aos meus amigos do Laboratório de microbiologia do solo: Rosemberg, Clayton, Luciana, Fátima, Monalisa, Rosa, Gleiciane, Iraci, professora Carol e Ildja, especialmente meus antigos orientadores, Newton Stanford e Mario Lira Júnior, que tanto contribuíram para minha formação profissional.

As minhas amigas Leila e Greecy, que desde a graduação estamos juntas.

Aos meus amigos Yuri, Yasmim, Laércio, Elis, Raíssa, Mariana, Bella, Carlos Murilo, Fábio Justino, Marcos, Fabio Santiago, Adriana Guedes, Marcela e Lili.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e experiências transmitidas.

Aos funcionários dos Departamentos de Engenharia Agrícola e Agronomia, em especial a Lulinha, Manuel, Sônia, Cláudio, Socorro e Eliane.

A todos que de alguma forma colaboraram na execução do trabalho.

*Mas os que esperam no Senhor renovarão
as suas forças, subirão com asas como
águias: correrão e não se cansarão;
caminharão, e não se fatigarão.*

(Isaías 40:31)

“Quando os ideais de Deus são as nossas metas... a vitória é certa!”

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO GERAL | 16 |
| GENERAL ABSTRACT..... | 17 |
| INTRODUÇÃO GERAL..... | 18 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 24 |

CAPÍTULO I: Influência de práticas conservacionistas no conteúdo de água do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.), no semiárido nordestino

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Resumo..... | 29 |
| Abstract..... | 31 |
| Introdução..... | 33 |
| Material e métodos..... | 35 |
| Resultados e discussão..... | 41 |
| Conclusões..... | 50 |
| Literatura citada..... | 50 |

CAPÍTULO II: Avaliação da umidade do solo e produtividade sob diferentes condições de cobertura e chuva natural

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Resumo..... | 55 |
| Abstract..... | 56 |
| Introdução..... | 57 |
| Material e métodos..... | 59 |
| Resultados e discussão..... | 65 |
| Conclusões..... | 72 |
| Literatura citada..... | 72 |

CAPÍTULO III: Influência da cobertura morta no controle da erosão hídrica sob condições de chuva simulada

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Resumo..... | 77 |
| Abstract..... | 78 |
| Introdução..... | 79 |
| Material e métodos..... | 80 |
| Resultados e discussão..... | 86 |
| Conclusões..... | 92 |
| Literatura citada..... | 92 |
| | |
| CONCLUSÕES GERAIS..... | 96 |

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Características físicas do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.....36

Tabela 2. Avaliação do conteúdo de água no Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto em função dos diferentes tipos de cobertura do solo, para as profundidades de 20 cm e 40 cm.....44

Tabela 3. Médias das avaliações agronômicas realizadas aos 68 e 90 DAP, em função de diferentes tipos de tratamento conservacionista.....47

Tabela 4. Médias das avaliações agronômicas realizadas na espiga de milho, em função de diferentes tipos de cobertura do solo, aos 96 DAP.....48

CAPÍTULO II

Tabela 1. Características físicas do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.....59

Tabela 2. Critério para avaliação da efetividade da água no solo.....63

Tabela 3. Médias das produtividades e da eficiência do uso da água (EUA) das espigas de milho coletadas em cada parcela, no Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.....68

CAPÍTULO III

Tabela 1. Características físicas na camada de 0 - 0,20 m de profundidade do solo utilizado no experimento.....82

Tabela 2. Propriedades químicas na camada de 0-0,20 m de profundidade.....83

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros observados na aplicação da chuva simulada nos diferentes tratamentos.....86

Tabela 4. Número de Reynolds – Re (adimensional), número de Froude Fr (adimensional), altura da lâmina de escoamento – h (m), velocidade média do escoamento – v_m (m/s), viscosidade cinemática - ν , rugosidade – n para os diferentes tratamentos.....87

Tabela 5. Perda de solo e concentração de sedimento em um Argissolo Amarelo Distrófico na Zona da Mata Norte de Pernambuco.....88

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1. Localização da Bacia hidrográfica e da área de estudo.....35
- Figura 2- Tratamentos utilizados nas parcelas experimentais. P: cultivo do milho com cordão vegetativo com palma forrageira; SD: solo descoberto; CN: cobertura natural; BCM: cultivo do milho em nível com barramento em pedras associado com cobertura morta e MA: cultivo do milho morro abaixo.....37
- Figura 3- Aplicação da cobertura morta aos 20 DAP.....37
- Figura 4. Cultivo de milho realizado na área. A. Visão geral; B. Abertura de covas; C. Distribuição do adubo químico nas covas; D. Incorporação do adubo químico; E. Milho sendo semeado; F. Parcela com o tratamento de Palma + milho; G. Parcela com tratamento de barramento + curva de nível; H. Parcela com tratamento de milho semeado morro abaixo (MA).....38
- Figura 5. Colheita das espigas de milho e da parte aérea das plantas, realizada em cada parcela.....39
- Figura 6. Área experimental. A. Tubos de acesso. B. Monitoramento da umidade do solo com a sonda de nêutrons. C. Sonda de Nêutrons.....40
- Figura 7. Pluviógrafo automático utilizado para registro da precipitação.....41
- Figura 8. Distribuição temporal da precipitação total, temperatura máxima e mínima e evapotranspiração de referência, no período de abril a julho de 2011.....41
- Figura 9. Dinâmica da umidade do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para o Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto nos tratamentos: A. Cobertura Natural(CN); B. Palma (P); C. Morro abaixo (MA); D. Barramento com cobertura morta (BCM); E. Solo descoberto (SD), na

profundidade de 20 cm; F. Cobertura Natural (CN); G. Palma (P); H. Morro abaixo (MA); I. Barramento com cobertura morta (BCM); e J. Solo descoberto (SD), na profundidade de 40 cm.....42

Figura 10. Média móvel da umidade do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para os tratamentos analisados, e precipitação incidente nos 15 e 7 dias antecedentes, no período de abril a julho de 2011, para as profundidades de 20 cm (A) e 40 cm. (B). Cobertura Natural (CN); Palma (P); Morro abaixo (MA); Barramento com cobertura morta (BCM); Solo descoberto (SD).....46

Figura 11. Variação da altura do colmo (cm) do milho, durante o ciclo da cultura, para os tratamentos analisados, e da precipitação antecedente (15 e 7 dias) ao monitoramento. Cobertura Natural (CN); Palma (P); Morro abaixo (MA); Barramento com cobertura morta (BCM); Solo descoberto (SD).....49

CAPÍTULO II

Figura 1. Instalação das sondas TDR's nas parcelas experimentais.....60

Figura 2. Descarregamento dos dados.....60

Figura 3. Cultivo de milho na área experimental. A. Abertura das covas na parcela com tratamento barramento + curva de nível; B. Milho sendo semeado na parcela com tratamento barramento + curva de nível; C. Incorporação do adubo na parcela com palma; D. Milho sendo semeado na parcela com palma; E. Demarcação e abertura das covas com tratamento MA; F. Descarregamento dos dados.....62

Figura 4. Registros fotográficos da cobertura vegetal nos tratamentos.....64

Figura 5. Quadro Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Bezerra, 2006.....64

| | |
|--|----|
| Figura 6. Distribuição temporal da precipitação total diária e da temperatura de janeiro a julho de 2011..... | 65 |
| Figura 7. Variação do conteúdo de água no solo sob diferentes condições de cobertura, no Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto..... | 66 |
| Figura 8. Histogramas da efetividade da água no solo, do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto. A- Cobertura Natural (CN); B- Palma (P); C- Barramento com cobertura morta (BCM) e D- Solo descoberto (SD)..... | 70 |
| Figura 9. Média móvel dos registros fotográficos da cobertura do solo nos tratamentos analisados. Cobertura Natural (CN); Palma (P); Morro abaixo (MA); Barramento com cobertura morta (BCM); Solo descoberto (SD)..... | 71 |
| CAPÍTULO III | |
| Figura 1. Detalhes da parcela experimental. A - Parte lateral, B- Drenos na parte interior, C- Dreno coletor na parte inferior, D – Calha coletora na parte superior, E – Vista superior, F – Parcela com o simulador..... | 81 |
| Figura 2. Demonstração do início do escoamento superficial..... | 82 |
| Figura 3. Tratamentos utilizados no experimento. A – solo descoberto; B – 6 Mg ha ⁻¹ , C – 12 Mg ha ⁻¹ | 82 |
| Figura 4. Evolução no tempo das concentrações de sedimentos..... | 88 |
| Figura 5. Escoamento superficial médio e chuva acumulada apresentados nos testes com solo descoberto (A), cobertura morta de 6 Mg ha ⁻¹ (B) e 12 Mg ha ⁻¹ (C)..... | 89 |
| Figura 6. Variação da Taxa de desagregação de solo de diferentes densidades de cobertura morta na superfície do solo em função do tempo total do teste de aplicação da chuva simulada em Argissolo Amarelo Distrófico..... | 91 |

RESUMO GERAL

Este trabalho visou investigar o desempenho de técnicas conservacionistas em escala de parcelas experimentais no Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, como suporte ao planejamento e manejo da agricultura de sequeiro e disponibilidade de recursos hídricos, em Pesqueira/PE. Além disso, determinou-se a influência do mulching nas perdas de solo e água por erosão hídrica, no Argissolo Amarelo Distrófico, utilizando chuva simulada em laboratório. Este experimento foi realizado com solo diferente do anterior devido ao custo elevado em transportar o mesmo.

Foi realizada a análise da dinâmica da umidade e da produtividade da cultura do milho, considerando chuvas naturais, em parcelas sob diferentes tipos de cobertura do solo: solo descoberto (SD); cultivo de milho com cordão vegetativo com palma forrageira, *Opuntia ficus-indica* Mill. (P), de modo a formar barreiras para contenção do escoamento superficial, no espaçamento de 0,25 x 0,5 x 3,0 m; solo com cobertura natural (CN); cultivo do milho em nível com barramento em pedras, com aproximadamente 8 cm de altura e 10 cm de largura, com distância de 1 m entre os barramentos, associado com cobertura morta (BCM); e cultivo do milho morro abaixo (MA). O milho (*Zea mays* L.) foi cultivado no período de 14 de abril a 19 de julho do ano de 2011, e a cobertura morta utilizada, disponível na região, foi a palha de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), com densidade de 7 Mg ha⁻¹, sendo aplicada 20 dias após o semeio do milho. Foram realizados monitoramentos quinzenais da umidade do solo, bem como biometria da cultura. Para os testes realizados em laboratório, utilizou-se um simulador de chuvas e parcelas experimentais de dimensões de 1,0 x 0,5 (0,5 m²), com 20 cm de profundidade, com três repetições para cada tratamento, no qual foram feitos 9 testes no total, com ausência e presença de cobertura morta. A densidade de cobertura morta do solo, usadas nas parcelas, foram de 6 e 12 Mg ha⁻¹ de palha de cana-de-açúcar.

Dentre os tratamentos avaliados em campo, como também em laboratório, a cobertura morta permitiu uma maior redução da erosão hídrica e manutenção da umidade, ao contribuir com o processo de infiltração da água no solo em relação ao tratamento com solo descoberto, e favorecer ao desenvolvimento do milho em regime de sequeiro.

GENERAL ABSTRACT

This study aimed to investigate the performance of conservation techniques in experimental plots in the Ultisol abruptico Eutrophic, to support planning and management of rainfed agriculture and availability of water resources in Pesqueira / PE. In additionally, it was determined the influence of mulching on soil and water losses by erosion in dystrophic Ultisol, using simulated rainfall in laboratory. This experiment was conducted with soil different from the previous due to the high cost of transporting the same.

We performed the analysis of the dynamics of moisture and productivity of maize, considering natural rainfall in plots under different land cover types: bare soil (SD); growing corn vegetative drawstring with cactus, *Opuntia ficus-indica* Mill., (P) to form barriers to contain runoff, spaced 0.25 x 0.5 x 3.0 m, soil with natural cover (CN), corn cropped using stones, with approximately 8 cm high and 10 cm wide with 1 m distance between the rails, associated with mulch (BCM) and maize cultivation downhill (MA). Maize (*Zea mays* L.) in the period from April 14 to July 19 of the year 2011, and mulch used, available in the region, was the straw elephant grass (*Pennisetum purpureum*), with a density of 7 Mg ha⁻¹, applied 20 days after sowing of maize. It was conducted biweekly monitoring of soil moisture, as well as biometrics culture. For the tests performed in the laboratory, used a rainfall simulator and experimental plots of dimensions 1.0 x 0.5 (0.5 m²), and 20 cm deep, with three replicates for each treatment, which were made 9 tests in total, with the absence and presence of mulch. The density of soil mulch, used the plots were 6 and 12 Mg ha⁻¹ straw of sugar cane.

Among the treatments evaluated in the field as well as in the laboratory, the mulch allowed greater control water erosion and maintaining humidity, to contribute to the process of water infiltration into the soil in relation to treatment with bare soil, and encourage the development maize under rainfed conditions.

INTRODUÇÃO GERAL

As regiões semiáridas possuem características semelhantes em relação aos fatores climáticos, solo, vegetação e, de acordo com Cesano et al. (2011), usualmente acesso limitado à tecnologia. Na região Nordeste do Brasil ocorre uma distribuição espacial irregular em relação aos recursos hídricos. Isto se deve a fatores físicos (localização geográfica, topografia, latitude, condições climáticas dominantes), que condicionam a oferta e a demanda de água e o desenvolvimento das atividades econômicas (Souza et al., 2012). A utilização de práticas conservacionistas, nesta região, ameniza os efeitos negativos oriundos de chuvas irregulares e mal distribuídas, que têm como consequência o agravamento das perdas de água, solo e nutrientes.

Segundo Carvalho et al. (2012), a erosão do solo influencia negativamente na capacidade de produção das terras agricultáveis, ocasionando escassez de alimentos, elevando os custos de produção, uma vez que aumenta a necessidade do uso de fertilizantes e corretivos. Ressaltam, ainda, que a associação de práticas agrícolas contribui para um manejo adequado do solo, devendo proporcionar máxima retenção da água da chuva, incremento da infiltração no perfil do solo, diminuição da velocidade de escoamento superficial, aumento da capacidade de armazenamento da água no solo, e favorecimento das características físicas e químicas do solo para o desenvolvimento das culturas.

A ação humana contribui para a aceleração da perda de solos férteis, poluição da água, assoreamento dos talwegues e reservatórios e redução da produtividade dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Além disso, acentua a degradação, decomposição, formação de sulcos, transporte e deposição de sedimentos dos solos, e provoca danos ambientais muitas vezes irreversíveis, por meio da erosão hídrica.

Para Miguel et al. (2012), essa interferência na natureza devido às ações antrópicas ou naturais, associada a ausência de práticas conservacionistas, causam a degradação de terras produtivas, contaminação e redução dos recursos naturais do ambiente. Para esses autores, estas práticas visam o uso, ocupação e manejo adequados da terra, além de um melhor aproveitamento das bacias hidrográficas sem causar danos ao ambiente. Para garantir a produção das culturas, no semiárido pernambucano, nas encostas das bacias hidrográficas rurais, o plantio em sequeiro ocorre durante o período chuvoso. Dessa forma, ações que possibilitem mitigar a escassez de água da chuva, no

semiárido, de acordo com Cabral et al. (2012), são um grande desafio, devido à ocorrência de longos períodos de estiagem.

Para expansão da agricultura, geralmente ocorre a eliminação da cobertura vegetal do solo. Este, ao ficar descoberto, fica mais susceptível ao processo de erosão, contribuindo para alteração das condições físicas de sua superfície. A estrutura de um solo interfere no processo de infiltração e no movimento de água, uma vez que, quando bem estruturado, contém maior número de macroporos (Cademartori et al., 2010). Caso não haja nenhuma prática que controle ou amenize o efeito do impacto direto da gota da chuva em um solo exposto, ocorrerá o agravamento das perdas de solo, água e nutrientes. A energia do impacto das gotas da chuva agrava a erosão do solo em áreas sem cobertura vegetal, devido à desagregação das partículas e aumento da capacidade de transporte pelo escoamento superficial. Por outro lado, a presença de cobertura (resíduos vegetais) ameniza os efeitos causados pela erosão hídrica (Silva et al., 2010).

Silva et al. (2012) comentam que a quantidade do mulching, utilizado na superfície do solo, pode interferir nas características agronômicas, como também na eficiência do uso de água por algumas plantas. Santos et al. (2012) observaram o efeito benéfico da cobertura morta na produtividade e na qualidade da cebola, durante o período mais seco, que proporcionou um maior incremento na umidade e uma diminuição da amplitude térmica do solo.

A presença da vegetação (resíduos culturais) também tem como objetivo aumentar a rugosidade superficial do solo, reduzindo o processo de erosão. A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), de acordo com Almeida (2012), é uma planta bem adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido, devido ao seu metabolismo favorável à redução da perda de água por evapotranspiração. Além disso, esta planta pode ser utilizada como uma barreira ou cordão vegetativo, no controle do escoamento superficial, e contribuir com o processo de infiltração, proporcionando um uso mais eficiente da água nessa região.

Segundo Minuzzi & Ribeiro (2012), a cultura do milho (*Zea mays* L.), no Brasil, apresenta grande dispersão geográfica, e pode ser plantada, praticamente, em todo território nacional, tanto em sequeiro quanto irrigado. No semiárido do Nordeste do Brasil, a maioria dos cultivos agrícolas é em regime de sequeiro e conduzido para subsistência.

A produtividade média nacional do milho primeira safra 2011/2012 foi de 4.480 kg ha⁻¹ e a média da região nordeste foi 1.713 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012). O milho pode ter

sua produção comprometida devido a diversos fatores, dentre eles pode-se citar as elevadas necessidades hídricas e as condições climáticas inadequadas. Além disso, de acordo com Farinelli & Lemos (2012), é considerada uma cultura altamente exigente em relação à fertilidade do solo, em virtude da sua grande demanda de nutrientes.

Por causa das variações na disponibilidade hídrica e temperatura, conforme pesquisas desenvolvidas pela EMBRAPA (2008) ocorrem diferenças no rendimento de grãos de um ano para o outro, e também entre as regiões; como toda cultura, existem épocas consideradas mais críticas, quando não deve faltar água, que neste caso, são a de pendoamento (florescimento) e espigamento (formação dos grãos). Com isso, devido à elevada irregularidade no regime pluviométrico, em regiões semiáridas, o plantio deve coincidir com o período chuvoso (Campos et al., 2010), uma vez que representa o período mais indicado para garantir a produção em sequeiro.

Para Wagner et al. (2011), a temperatura é um elemento climático muito importante, desde que não haja déficit hídrico durante as fases fenológicas da cultura (germinação e emergência; crescimento vegetativo; floração; frutificação e maturação fisiológica). A temperatura noturna é importante porque é principalmente a noite que ocorre o crescimento; dias e noites quentes não são favoráveis, pois aceleram o ciclo, enquanto noites e dias frios aumentam demais o ciclo (Valentini & Shimoya, 2008).

A produção do milho para consumo “*in natura*”, ou seja, milho verde, é considerada uma importante fonte de renda para os agricultores (Freire et al., 2010). Em todo o Brasil, a espiga de milho é comercializada no estágio verde, uma vez que a colheita é realizada quando os grãos estão com 70-80% de umidade, que compreende um período entre os estádios leitoso e pastoso (Santos et al., 2005).

Diversos trabalhos avaliam as características agronômicas do milho, tais como: altura de planta, diâmetro do colmo, nº de folhas, nº de espigas, nº de grãos, altura da espiga principal, peso da espiga com e sem palha, comprimento da espiga com e sem palha, diâmetro da espiga com e sem palha, peso da massa fresca e seca dos grãos e da parte aérea da planta, matéria seca total da parte aérea, produção e produtividade (Cavalcante et al., 2013; Oliveira et al., 2012; Carvalho et al., 2012; Brito et al., 2012; Pereira et al., 2012; Borges et al., 2012, Barros et al., 2011). No entanto, poucos estudos têm sido realizados sobre os efeitos da agricultura de sequeiro nessas características. Sendo assim, pesquisas são de suma importância, pois estão relacionadas com o manejo do sistema de produção, em regiões semiáridas.

Segundo Silva et al. (2006), a eficiência do uso da água (EUA) expressa a eficiência com que a vegetação utiliza água, ao mesmo tempo que realiza fotossíntese. Silva et al. (2013) verificaram que a EUA é a relação entre produção da cultura e o seu consumo de água, ou seja, quanto maior o valor desta relação menos água será consumida pela planta, para uma mesma produção.

A sensibilidade das plantas à falta de água ocasiona diversos problemas para agricultura mundial, independente da cultura, ocasionando perdas de safras e prejuízos econômicos. Segundo Silva et al. (2010), quando existe esse déficit durante um período prolongado, ocorre uma redução no crescimento e no desenvolvimento natural das plantas. As águas provenientes da chuva nem sempre são suficientes para suprir as necessidades hídricas da cultura, durante o seu desenvolvimento, podendo ocasionar baixas produtividades (Nascimento et al., 2011). Sendo assim, a implantação de práticas conservacionistas, que proporcionem um melhor aproveitamento da água da chuva e, a realização do monitoramento do conteúdo de água no solo e da precipitação, nessa região, é de extrema importância.

O solo é considerado um reservatório de água para as plantas, uma vez que funciona como um meio físico; além disso, pode ser o fornecedor dos principais nutrientes necessários à produção (Faulin, 2005). As formas das suas partículas, bem como o seu arranjo afetam a interação entre o sistema solo-água-planta-atmosfera, e também, condiciona o estado de energia da água na forma de potencial, e controla o movimento da água, dos nutrientes e produtos químicos. Dentre os fatores citados anteriormente, a quantidade de água armazenada é influenciada, principalmente, pelas características físicas desse solo. De acordo com Salvador et al. (2012), a água pode estar ou não disponível para ser absorvida pelas culturas.

Souza & Matsura (2002) citam alguns métodos diretos e indiretos que possibilitam quantificar a umidade do solo: o gravimétrico (método direto padrão), além dos métodos indiretos, tais como sonda de nêutrons, resistência elétrica e Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e, também, o uso de equipamentos baseados na Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR).

Silva et al. (2008) afirmam que, dentre os métodos indiretos, existem aqueles baseados na constante dielétrica do solo (K). Os mais utilizados são o de reflectometria no domínio do tempo (TDR) e frequência no domínio do tempo (FDR) ou técnica por capacitância.

As parcelas experimentais permitem a quantificação do balanço hídrico e de sedimentos, possibilitando estimativas da perda de solo e da evolução desses processos. O sedimento presente nos cursos d'água é originado da erosão na bacia contribuinte e da erosão no próprio leito e nas margens. A produção de sedimentos de uma pequena bacia hidrográfica depende da topografia da bacia, da natureza do solo superficial e sub-superficial, da cobertura vegetal, e pode ser reduzida mediante a adoção de técnicas conservacionistas.

O conhecimento das principais características físicas do solo, cor, textura, estrutura e porosidade, é de grande importância na orientação dos trabalhos de seu manejo e controle contra a erosão. A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda de qualidade estrutural e pelo aumento da erosão hídrica.

A infiltração é a entrada de água no solo através da superfície. Assim, o processo de infiltração é de importância prática, pois permite determinar o balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial, responsável pela erosão durante precipitações pluviais (Panachuki, 2003). Paixão et al. (2009) afirmam que o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é fundamental para definir técnicas de conservação do solo, planejar e dimensionar sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na retenção da água e aeração do solo. A erosão hídrica provoca perda de solo e refere-se à quantidade de solo superficial que foi removida da área de interesse pela ação da enxurrada, depositando-se fora dela; enquanto que, a perda de água por erosão hídrica refere-se à quantidade de água da chuva que não infiltrou e, também, não ficou retida, nem permanentemente (retenção superficial) nem temporariamente (detenção superficial), nas microdepressões de armazenamento superficial do solo durante a ocorrência de um evento de erosão, saindo da parcela de controle na forma de escoamento superficial ou enxurrada (Portela et al., 2011).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de práticas conservacionistas no cultivo do milho, em sequeiro e na manutenção da umidade do solo, em parcelas experimentais instaladas em campo, bem como na atenuação das perdas de solo e água, utilizando cobertura morta, causadas pela erosão hídrica, em estudos realizados em laboratório.

Para atender aos objetivos, este trabalho foi dividido em três capítulos organizados da seguinte forma: o primeiro trata da influência das práticas conservacionistas na umidade do solo, em parcelas experimentais instaladas em campo,

com monitoramento quinzenal utilizando sonda de nêutrons, como também nas características agronômicas do milho; o segundo, também realizado em campo, aborda a variação dessa umidade, utilizando sondas TDR's, com monitoramento diário, e a produtividade do milho sob diferentes condições de cobertura do solo; e o terceiro descreve a influência da cobertura morta no controle da erosão hídrica sob condições de chuva simulada, em laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido Brasileiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n. 4, p. 08-14, 2012.

BARROS, I.T.; ANDREOLI, C.V.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S. Avaliação agrônômica de bio sólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 6, p. 630–638, 2011.

BORGES, T.K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, T.E.M.; SILVA JUNIOR, V.P.E.; SANTOS, E.F. Influência da água da chuva e de diferentes práticas conservacionistas no cultivo do milho (*Zea mays* L.), no semiárido pernambucano. In: 8º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva - ABCMAC, 2012, Campina Grande.

BRITO, L.T.L.; CAVALCANTI, N.B.; SILVA, A.S.; PEREIRA, L.A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 1, p. 102-109, 2012.

CABRAL, L.N.; ALMEIDA, H.A.; ALVES, T.L.B.; PEREIRA, S.S. Problemas Ambientais, Desenvolvimento Sustentável e Recursos Hídricos na Zona Rural do Semiárido Paraibano, PB – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p.1159-1173, 2012.

CADEMARTORI, R.T.O.; BURIOL, G.A.; RIGHES, A.A. Influência de diferentes coberturas na temperatura do solo. *Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas*, v. 11, n. 1, p. 149-157, 2010.

CAMPOS, J.H.B.C.; SILVA, M.T.; SILVA, V.P.R. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 396–404, 2010.

CARVALHO, J.F.; TSIMPHO, C.J.; SILVA, E.F.F.; MEDEIROS, P.R.F.; SANTOS, M.H.V.; SANTOS, A.N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 368–374, 2012.

CARVALHO, M.A.R.; MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N.; CARVALHO, L.C.C. Escoamento superficial na interação: cobertura vegetal e práticas de controle de erosão. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 6, p. 1116-1125, 2012.

CAVALCANTE, S.E.A.S.; PARENTE, H.N.; RODRIGUES, R.C.; SOUSA, D.R.; SANTOS, L.C.; COSTA, J.S. Características agronômicas e produtivas do milho híbrido e o valor nutritivo da silagem submetido a diferentes fontes de adubação. *Revista Eletrônica Nutritime*, Artigo 187, v. 10, n. 186, p. 2180 – 2194, 2013.

CESANO, D.; LA ROVERE, E.L.; OBERMAIER, M.; CORRAL, T.; SILVA, L.S.; COELHO, N.S.; NEVES, C.G. As experiências da Coalizão Adapta Sertão na Disseminação de Tecnologias e Estratégias de Adaptação à Mudança Climática para o Agricultor Familiar do Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 1336-1350, 2011.

CONAB– Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, segundo levantamento, novembro, 2012. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília : Conab, 2012.

EMBRAPA. Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira. São Paulo: EMBRAPA - Embrapa Agropecuária – CEPAGRI/UNICAMP, 2008. 84p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 1, p. 63-70, 2012.

FAULIN, G.D.C. (2005). Variabilidade espacial do teor de água e sua influência na condutividade elétrica do solo. 63 f. Dissertação de Mestrado - ESALQ/USP, Piracicaba, 2005.

FREIRE, F.M.; VIANA, M.C.M.; MASCARENHAS, M.H.T.; PEDROSA, M.W.; COELHO, A. M.; ANDRADE, C. L. T. Produtividade econômica e componentes da produção de espigas verdes de milho em função da adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 9, n. 3, p. 213-222, 2010.

MIGUEL, A.E.S.; MEDEIROS, R.B.; BRUGNOLLI, C.A.C.; OLIVEIRA, W. Análise do Uso da Terra e Cobertura Vegetal na Bacia do Ribeirão do Meio, Brasilândia/MS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 1088-1098, 2012.

MINUZZI, R.B.; RIBEIRO, A.JR. Requerimento de água para irrigação do milho em Santa Catarina durante eventos La Niña. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 12, p. 1330–1337, 2012.

NASCIMENTO, J.J.V.R.; AZEVEDO, C.A.V.; SOUSA, J.S.C.; MENDES, L.B.; DANTAS NETO, J. Eficiência do uso de água do gergelim em função da água disponível no solo. *Revista Verde*, v. 6, n. 4, p. 230 - 233, 2011.

OLIVEIRA, M.A.; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, L.T.; DOMINGUES, ALLAN R.; FERREIRA, A.S. Desempenho agrônomo do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 10, p. 1040–1046, 2012.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; COSTA, T.L.; GUERRA, H.O.C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava, v. 2, n. 1, p. 108-112, 2009.

PANACHUKI, E. (2003). Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária. 67 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2003.

PEREIRA, M.J.R.; BONAN, E.C.B.; GARCIA, A.; VASCONCELOS, R.L.; GÍACOMO, K.S.; LIMA, M.F. Características morfoagronômicas do milho submetido a diferentes níveis de desfolha manual. *Revista Ceres*, v. 59, n. 2, p. 200-205, 2012.

PORTELA, J.C.; COGO, N.P.; AMARAL, A.J.; GILLES, L.; BAGATINI, T.; CHAGAS, J.P.; PORTZ, G. Hidrogramas e sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 1, p. 225 - 240, 2011.

SALVADOR, M.M.S.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; MOREIRA, N.B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição da armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1434-1447, 2012.

SANTOS, I.C.; MIRANDA, G.V.; MELO, A.V.; MATTOS, R.N.; OLIVEIRA, L.R.; LIMA, J.S.; GALVÃO, J.C.C. Comportamento de cultivares de milho produzidos organicamente e correlações entre características das espigas colhidas no estágio verde. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 4, n. 1, p. 45-53, 2005.

SANTOS, S.S; ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; LEAL, M.A.A.; RIBEIRO, R.L.D. Produção de cebola orgânica em função do uso de cobertura morta e torta de mamona. *Horticultura Brasileira*, v. 30, n. 3, p. 549-552, 2012.

SILVA, D.F.; OLIVEIRA, R.A.; MELO, F.A.O.; PEREIRA, O.G.; COSTA, L.C. Influência de distintas lâminas de irrigação no desenvolvimento e na qualidade visual da grama-batatais. *Maringá*, v. 32, n. 1, p. 43-48, 2010.

SILVA, J.M.; FERREIRA, R.S.; MELO, A.S.; SUASSUNA, J.F.; DUTRA, A.F.; GOMES, J.P. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 40–46, 2013.

SILVA, J.V.; ALECRIM, M.A.B.; SILVA, D.O.; COSTA, C.C.; OLIVEIRA, R.J. Perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta equiânea em um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 4, p. 579-584, 2010.

SILVA, M.R.R.; VANZELA, L.S.; VAZQUEZ, G.H.; SANCHES, A.C. Influência da irrigação e cobertura morta do solo sobre as características agrônômicas e produtividade de milho. *Irriga, Edição Especial*, p. 170 - 180, 2012.

SILVA, R.B.C.; SILVA, R.M.; COSTA, J.M.N.; COSTA, A.C.L. Eficiência de uso da água e da radiação em um ecossistema de manguezal no estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3a, p. 104-116, 2006.

SILVA, C.R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SOUZA, C.F. Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem. In: Claudinei Fonseca Souza. (Org.). *Aplicações de Técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental*. 1 ed. Taubaté: Unitau, v. 1, p. 25-45, 2008.

SOUZA, I.A.; MACIEL NETTO, A.; AZEVEDO, J.R.G. Impacto do Aquecimento Global no Balanço Hídrico Diário e suas Consequências para a Agricultura. *Revista Brasileira de Geografia Física* v. 3, p. 558-571, 2012.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 1, p. 63-68, 2002.

VALENTINI, L.; SHIMOYA, A. Informações básicas para a cultura do milho verde. PESAGRO-Rio, nº11, Niteroi-RJ, 2008. Disponível em: <<http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/infonline/online11.pdf>>. Acesso em 10 set. 2012.

WAGNER, M.V.; JADOSKI, S.O.; LIMA, A.S.; MAGGI, M.F.; POTT, C.A.; SUCHORONCZEK, A. Avaliação do ciclo fenológico da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v. 4, n. 1, p. 135–149, 2011.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

BORGES, T. K. S. INFLUÊNCIA DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS NO CONTEÚDO DE ÁGUA DO SOLO E NO CULTIVO DO MILHO (*Zea mays* L.), NO SEMIÁRIDO NORDESTINO. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Resumo: O semiárido brasileiro possui capacidade produtiva limitada devido às suas características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo. A cobertura do solo, uma prática recomendada para essas regiões, favorece a infiltração, proporcionando um melhor aproveitamento da água da chuva e contribuindo para o desenvolvimento das culturas, ao reduzir a perda de água por escoamento superficial. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes tipos de cobertura na manutenção do conteúdo de água do solo, nas profundidades 20 e 40 cm, sob condições de chuva natural, bem como nas características agronômicas da cultura do milho (*Zea mays* L.), em regime de sequeiro. Para isso, desenvolveu-se o experimento na Bacia Representativa do Alto Ipanema, semiárido pernambucano, adotando-se os seguintes tratamentos: solo descoberto (SD); cultivo do milho com cordão vegetativo de palma forrageira (P); solo com cobertura natural (CN); cultivo do milho em nível com barramento em pedras associado com cobertura morta (BCM) e cultivo do milho morro abaixo (MA). O conteúdo de água do solo foi monitorado quinzenalmente utilizando-se sonda de nêutrons. Dentre as características agronômicas do milho avaliadas, podem ser citadas: altura do colmo (ALT), altura da inserção da primeira espiga (ALTE), diâmetro basal do colmo (DC), diâmetro com (DP) e sem palha (DS) da espiga, número de fileiras de grãos (FIL), número de grãos (GR), comprimento da espiga com (CP) e sem palha (CS), peso da espiga com (PC) e sem palha (PS), e peso da matéria verde (MV) e da matéria seca (MS) do milho ralado. Os resultados demonstraram que os tratamentos conservacionistas adotados influenciaram significativamente na obtenção dos maiores incrementos de umidade durante a maior parte do tempo, ressaltando-se a importância de uma maior disponibilidade de água para suprir a necessidade hídrica do milho, em regime sequeiro. A matéria seca de grãos nos tratamentos que adotaram práticas conservacionistas foi significativamente superior em relação ao tratamento com cultivo morro abaixo. A utilização de cultivo do milho em nível com barramento em pedras

associado com cobertura morta e cultivo do milho com cordão vegetativo de palma forrageira atuaram eficientemente na redução das perdas de água quando comparado ao solo descoberto, contribuindo para um melhor aproveitamento da água da chuva.

Palavras-Chave: umidade do solo, parcelas experimentais, chuva natural.

CHAPTER I

BORGES, T. K. S. INFLUENCE OF CONSERVATION PRACTICES ON SOIL WATER CONTENT AND ONCORN (*Zea mays* L.) CROPPING, IN THE SEMIARID NORTHEAST. 2013. Dissertation (Master's Degree in Agricultural Engineering) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Abstract: The Brazilian semiarid region has limited production capacity, due to its intrinsic characteristics in relation to vegetation, climate and soil. Soil cover is a recommended practice for these regions, increases infiltration, providing a better use of rainwater, and contributes to the development of crops by reducing water loss by runoff. In this context, this study aimed to evaluate the effects of different types of land cover in maintaining the water content at 20 cm and 40 cm, under conditions of natural rainfall, as well as to evaluate the corn (*Zea mays* L.) agronomic characteristics, under rainfed regime. Experiment was developed in the Alto Ipanema Representative Basin, located in the semiarid zone of the Pernambuco state, with the following treatments: bare soil (SD); corn with vegetative contours with cactus pear (P), soil with natural cover (CN), maize cultivation in level with microdams using stones associated to mulch (BCM) and maize cultivation downhill (MA). The soil water content was monitored using a neutron probe device. Among the agronomical characteristics evaluated to corn, it can be mentioned: stem height (ALT), height of the first ear (ALTE), basal stem diameter (DC), diameter (SD) and diameter without straw (DS) ear, number of rows of grains (FIL), number of grains (GR), ear length with (CP) and without straw (CS), weight cob with (PC) and without straw (PS) and weight of green matter (VM) and dry matter (DM) of corn flakes. The results demonstrate that the treatments significantly influenced conservationists adopted in obtaining greater increases humidity for most of the time, emphasizing the importance of a greater availability of water to meet the water requirement of maize under irrigation. The dry grains in treatments that have adopted conservation practices was significantly higher compared to treatment with cultivation downhill. The use of maize cultivation in level-bus stones associated with mulch and corn with cord vegetative forage cactus operate efficiently in reducing water losses when compared to bare soil, contributing to a better utilization of rainwater.

Key words: soil moisture, experimental plots, natural rainfall.

INTRODUÇÃO

O milho, no Brasil, é uma cultura amplamente adotada pelos agricultores, em particular na agricultura familiar. No semiárido pernambucano, as bacias hidrográficas comumente são exploradas com a agricultura de sequeiro, nas encostas, durante o período chuvoso, e com a pequena agricultura irrigada de base familiar nos vales aluviais. O milho é considerado uma cultura de alta demanda hídrica e, também, uma das mais eficientes no uso da água, ou seja, apresenta uma alta relação de produção de matéria seca por unidade de água absorvida (Silva et al., 2012). No entanto, poucos estudos têm sido realizados sobre os efeitos da agricultura de sequeiro nas características agrônômicas do milho e estas pesquisas em regiões semiáridas são de suma importância, pois estão relacionadas com o manejo do sistema de produção.

A área plantada de milho no Brasil, na primeira safra do biênio 2011/12, foi de 7,52 milhões de hectares, representando um decréscimo em relação a 2010 de 1,5%. Já a produção apresentou uma redução de 2,1%. A redução observada nos níveis de produção em todas as regiões do país decorre da ausência das chuvas em importantes estágios de desenvolvimento da lavoura (CONAB, 2012).

Segundo Brito et al. (2012), em regiões semiáridas a água é fator limitante tanto para o consumo humano e dos animais como para produção de alimentos. Além disso, os sistemas de exploração agropecuários utilizados pelos pequenos agricultores sobrevivem em equilíbrio precário com os sistemas agroecológicos e socioeconômicos. O fenômeno que caracteriza esse desequilíbrio está associado, principalmente, à irregularidade pluviométrica, o que torna a agricultura uma atividade de alto risco. Com isso, o semiárido brasileiro possui sua capacidade produtiva limitada, por causa das suas características intrínsecas em relação à vegetação, clima e solo. A maior parte da chuva não é aproveitada em todo o seu potencial, pois mesmo existindo barreiros e açudes no Nordeste, 36 bilhões de m³ se perdem pelo escoamento superficial (Cavalcante & Resende, 2001). A perda de água, devido ao processo de enxurrada, além de causar problemas para as terras cultiváveis, com a perda de nutrientes do solo, limita a agricultura de sequeiro. Essas perdas por erosão continuam sendo elevadas, uma vez que a maioria dos agricultores não utiliza técnicas de manejo e conservação adequadas ao solo (Oliveira et al., 2010).

De acordo com Silva et al. (2011), preparos conservacionistas e sistemas de manejo relacionados aos diferentes tipos de cobertura e preparos do solo proporcionam uma maior eficiência no controle da erosão hídrica, em decorrência das menores perdas de água por escoamento superficial. A cobertura do solo é uma prática muito recomendada para as regiões semiáridas, uma vez que contribui para o desenvolvimento das culturas, reduz a perda de água, diminui a erosão superficial e incrementa o conteúdo de água no solo. Montenegro et al. (2013) verificaram que coberturas mortas de palha de arroz, com densidades de 4 e 8 t ha⁻¹, foram eficientes no controle do escoamento superficial, da perda de solo e da temperatura do solo, além de ter promovido maior conteúdo de água no solo durante diferentes eventos de chuva simulada.

Shen et al. (2012) avaliaram o efeito de diferentes taxas de cobertura morta (0, 6 e 12 t ha⁻¹) no solo, em condições de agricultura de sequeiro, durante os anos de 2009 e 2010, no norte da China, com duas variedades de milho, verificando que a cobertura influenciou significativamente no conteúdo de água do solo a uma profundidade de 20 a 80 cm, durante a fase de espigamento-antese. Ressaltam, ainda, que a produtividade de grãos foi significativamente superior com a presença da cobertura morta de maior densidade (12 t ha⁻¹) em relação aos demais tratamentos. Santos et al. (2010) também observaram um efeito positivo e significativamente superior no rendimento de feijão com a adoção de tratamentos conservacionistas, verificando que o feijão cultivado em contorno com cobertura morta e barreiras de pedras, apresentou produtividade (1.782 kg ha⁻¹) que foi significativamente superior em relação ao feijão em consórcio com palma forrageira e feijão morro abaixo, com valores da ordem de 1.140 kg ha⁻¹ e 692 kg ha⁻¹, respectivamente.

A utilização de plantas para formar um cordão vegetativo é outra técnica conservacionista na qual, conforme Paiva & Araújo (2012), as plantas devem ser cultivadas em fileiras e dispostas em curvas de nível. Em função da adequação ao clima do semiárido do Nordeste, a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) é uma alternativa, em regiões semiáridas, para utilização em cordões vegetativos, com o objetivo de incrementar armazenamento de água no solo. A palma pode ser utilizada para consumo humano, como também fonte de alimento para animais (Wanderley et al., 2012; Silva & Santos, 2006), contribuindo para o controle de erosão e recuperação de áreas degradadas, particularmente em áreas áridas e semiáridas (Le Houérou, 1996; Momoli et al., 2012). Além disso, conforme Kizito et al. (2006), as raízes dos arbustos

podem contribuir para um maior incremento do conteúdo de água do solo, uma vez que aumentam a possibilidade de infiltração da água durante a estação chuvosa.

A quantificação de água necessária para o desenvolvimento das plantas busca maximizar a eficiência do uso da água em regiões que possuem distribuição irregular da precipitação. Para o monitoramento do conteúdo de água no solo, Souza & Matsura (2002) citam alguns métodos que possibilitam quantificar esta variável, dentre os quais destaca-se a termalização de nêutrons. Santos et al. (2010) utilizaram a sonda de nêutrons para analisar a variabilidade temporal do conteúdo de água no semiárido pernambucano e verificaram que a condição de superfície do solo influencia expressivamente a variação do conteúdo de água no solo, tanto no período seco como no chuvoso.

Com base no exposto, este capítulo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes técnicas conservacionistas na manutenção do conteúdo de água do solo, bem como nas características agrônômicas da cultura do milho (*Zea mays L.*), no semiárido pernambucano, sob condições de chuva natural.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O experimento foi conduzido no município de Pesqueira-PE, em uma encosta da Bacia Representativa do Alto Ipanema, entre 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste (Figura 1).

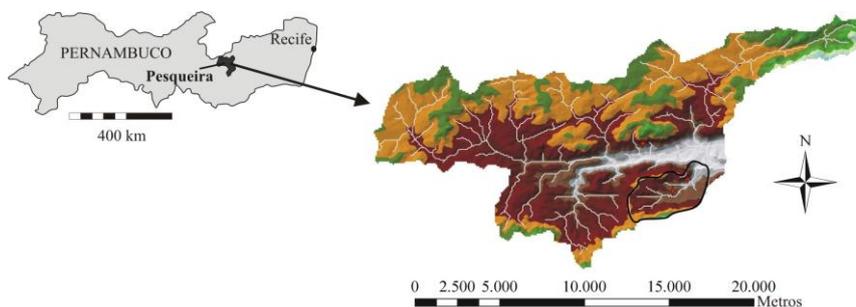


Figura 1. Localização da Bacia hidrográfica e da área de estudo. (Fonte: adaptada de Fontes Junior et al., 2012)

O clima é semiárido muito quente, tipo Estepe, conforme a classificação de Köeppen, apresenta vegetação predominante da caatinga hipoxerófila (Montenegro & Montenegro, 2006).

As parcelas experimentais, delimitadas por alvenaria, apresentaram dimensões efetivas de 4,5 m de largura por 11 m de comprimento, perfazendo uma área de 49,5 m², sendo a maior dimensão no sentido do declive. O solo na parcela é classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico, com declividade de 5%, cujas características físicas foram avaliadas por Santos (2010) e encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico.

| Horizonte | Areia (g Kg ⁻¹) | Argila (g Kg ⁻¹) | Silte (g Kg ⁻¹) | ADA (%) | Dp (Kg dm ⁻³) | Ds (Kg dm ⁻³) |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------|------------------------------|------------------------------|
| Ap | 448,5 | 231,5 | 320,0 | 11,20 | 2,64 | 1,48 |
| A1 | 441,9 | 264,8 | 293,3 | 11,20 | 2,72 | 1,51 |
| A2 | 315,2 | 324,8 | 360,0 | 15,20 | 2,64 | 1,45 |
| AB | 288,5 | 338,1 | 373,3 | 15,20 | 2,67 | 1,68 |
| Bt | 152,0 | 691,5 | 293,3 | 32,87 | 2,66 | 1,88 |

Dp- densidade das partículas; Ds- densidade do solo; ADA- argila dispersa em água.
Fonte: Santos (2010).

Segundo Silva et al. (2012), esse Argissolo apresenta nas camadas superficiais e sub superficiais uma textura Franco Argilosa e, nas camadas abaixo de 55cm, uma textura Argilosa, exibindo camada de impedimento a 75 cm. Estes autores observaram, ainda, elevada variabilidade da condutividade hidráulica nesse solo, com exceção das profundidades com estrutura mais preservada. Ressaltam, também, que a condutividade hidráulica média nas profundidades 30 e 40 cm é de 7,84 cm h⁻¹ e que o conteúdo de água correspondente à saturação se aproxima de 30%. A capacidade de campo e o ponto de murcha, na profundidade 20 cm, são de 0,161 e 0,096 cm³ cm⁻³ e, na profundidade de 40 cm, são de 0,156 cm³ cm⁻³ e 0,097 cm³ cm⁻³ (Santos, 2010).

Descrição do experimento

O experimento foi constituído por cinco tratamentos correspondentes à distintas condições de cobertura do solo (Figura 2): solo descoberto (SD); cultivo do milho com cordão vegetativo de palma forrageira (P), no espaçamento de 0,25 x 0,5 x 3,0 m; solo com cobertura natural (CN); cultivo do milho em nível com barramento em pedras, com

aproximadamente 8 cm de altura e 10 cm de largura, com distância de 1 m entre os barramentos, associado com cobertura morta (BCM), e cultivo do milho morro abaixo (MA). A cobertura morta utilizada foi a palha do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), com densidade de 7 Mg ha⁻¹, sendo aplicada aos 20 DAP (dias após plantio) do milho (Figura 3). As plantas de milho (*Zea mays* L.) Híbrido AG 1051 foram cultivadas no período de abril a julho de 2011 (estação chuvosa). Cada parcela experimental correspondeu a um tratamento, e o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado.

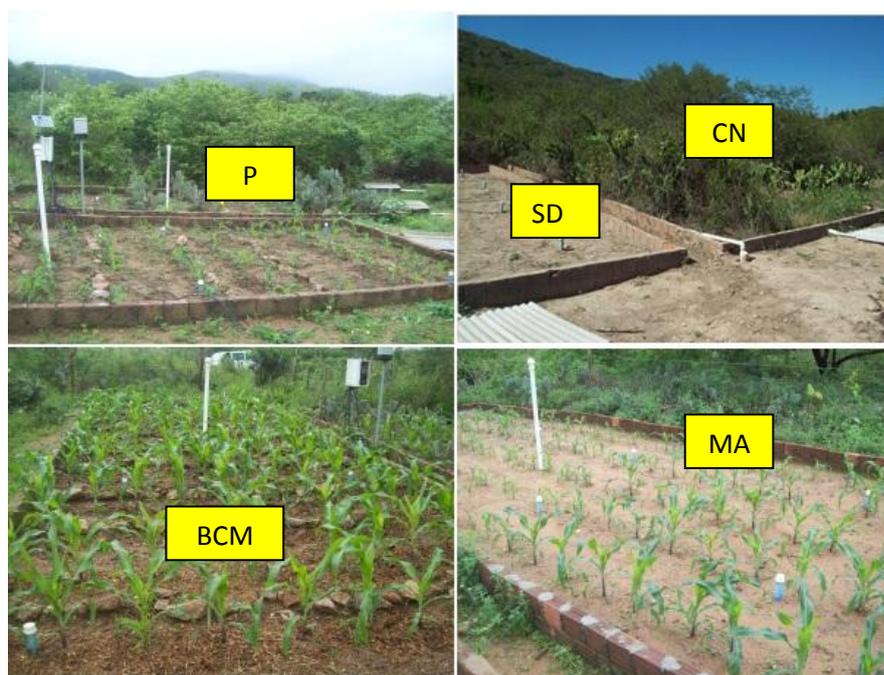


Figura 2- Tratamentos utilizados nas parcelas experimentais. P: cultivo do milho com cordão vegetativo com palma forrageira; SD: solo descoberto; CN: cobertura natural; BCM: cultivo do milho em nível com barramento em pedras associado com cobertura morta e MA: cultivo do milho morro abaixo.



Figura 3- Aplicação da cobertura morta aos 20 DAP.

O plantio do milho foi realizado no mês de abril (Figura 4), sendo plantadas três sementes por cova, a 2,5 cm de profundidade, no espaçamento 0,80 m entre as fileiras do milho e 0,40 m entre as plantas do milho, e realizado o desbaste aos 15 DAP, deixando-se somente uma planta por cova. O manejo de adubação da área foi baseado nos resultados da análise química do solo, e aplicou-se superfosfato simples (300 kg ha^{-1}) integralmente no dia do plantio, devido à baixa mobilização do fósforo, enquanto que, as doses de uréia e cloreto de potássio foram fracionadas em adubação de fundação ($45,45 \text{ kg ha}^{-1}$ e $17,24 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente) e adubação de cobertura, aos 30 DAP, com doses de $90,90 \text{ kg ha}^{-1}$ (uréia) e $17,24 \text{ kg ha}^{-1}$ (cloreto de potássio).



Figura 4. Cultivo de milho realizado na área. A. Visão geral; B. Abertura de covas; C. Distribuição do adubo químico nas covas; D. Incorporação do adubo químico; E. Milho sendo semeado; F. Parcela com o tratamento de Palma + milho; G. Parcela com tratamento de barramento + curva de nível; H. Parcela com tratamento de milho semeado morro abaixo (MA).

Determinou-se a altura do colmo (ALT) utilizando-se trena, sendo realizada a medição de 15 plantas escolhidas aleatoriamente em cada parcela, 30 DAP e a cada 15 dias a partir dessa data, durante o desenvolvimento da cultura. Também foram avaliados altura da inserção da primeira espiga (ALTE), diâmetro basal do colmo (DC), diâmetro com (DP) e sem palha (DS) da espiga, número de fileiras de grãos (FIL), número de grãos (GR), comprimento da espiga com (CP) e sem palha (CS), peso da espiga com (PC) e sem palha (PS) e peso da matéria verde (MV) e da matéria seca (MS) do milho ralado. Na determinação da matéria seca, 15 espigas de cada uma das parcelas foram coletadas, raladas e colocadas em estufa, com circulação constante de ar, a 65° C por 96

horas e, em seguida, determinados os pesos secos. A colheita foi realizada manualmente aos 96 DAP (Figura 5), que compreendeu o período entre os meses de abril a julho de 2011. A vegetação que estava na parcela com P, antes do cultivo do milho, foi apenas a palma forrageira, enquanto que nas parcelas BCM e MA não existia vegetação.



Figura 5. Colheita das espigas de milho e da parte aérea das plantas, realizada em cada parcela.

Em cada parcela foram instalados oito tubos de acesso de PVC, com 50 mm de diâmetro, distanciados de 2 m, com profundidade de 40 cm. O monitoramento da umidade do solo ocorreu a cada 15 dias, no período de janeiro a julho de 2011, utilizando-se sonda de nêutrons 503 DR Hydroprobe Moisture Gauge (Figura 6), de fabricação da CPN International. Conforme indicação de Andrade et al. (2001), após o posicionamento da sonda de nêutrons, as medições foram realizadas com duração de 30 segundos. O monitoramento das parcelas BCM e MA, só foi realizado a partir do mês de abril, devido o cultivo do milho. Os dados foram tabulados e, em seguida, as leituras foram convertidas para a base de volume. Posteriormente, utilizando equações de calibração previamente estabelecidas para área em estudo, obteve-se o conteúdo de água no solo para as duas profundidades analisadas.



Figura 6. Área experimental. A. Tubos de acesso. B. Monitoramento da umidade do solo com a sonda de nêutrons. C. Sonda de Nêutrons.

- Calibração da Sonda de Nêutrons:

Foram realizadas um total de 21 coletas, para determinar a umidade gravimétrica, nas mesmas profundidades de leitura com o equipamento. As coletas foram realizadas a 15 cm de distância do tubo de acesso. Os tubos de acesso permitiram utilizar dois níveis de umidade para calibração, um úmido e outro seco, nas profundidades de 20 e 40 cm, de acordo Santos (2010):

➤ Equação de calibração para profundidade de 20 cm (Eq 1) e 40 cm (Eq 2):

$$y = 0,3346x + 0,0131 \quad (R^2 = 0,80) \quad (\text{Eq 1})$$

$$y = 0,3721x + 0,0233 \quad (R^2 = 0,89) \quad (\text{Eq 2})$$

Para registro diário das chuvas ocorridas na área experimental utilizou-se um pluviógrafo automático, modelo TB4-L Rain Gauge da Campbell Scientific, com precisão de 0,254 mm (Figura 7). Esse equipamento foi acoplado a um datalogger modelo CR1000, programado para registrar os eventos a cada 5 min (Santos et al., 2011). A bacia dispõe, também, de estação meteorológica automática modelo Campbell, permitindo o monitoramento das variáveis climatológicas, por meio de sensores de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação. A evapotranspiração de referência foi estimada por intermédio do Método de Penman-Montheith FAO-56 (Allen et al., 1998).



Figura 7. Pluviógrafo automático utilizado para registro da precipitação.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, e os dados de umidade obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, utilizando-se o programa computacional SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 1998), ao nível de 5% de significância. Além disso, calculou-se também a média móvel para o conteúdo de água no solo durante o cultivo do milho. Além disso, os desvios padrão da umidade do solo também foram determinados para cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 8 são apresentados os resultados do comportamento temporal dos totais precipitados no período em estudo, a cada 15 dias, com lâmina total de 487 mm, que corresponde a 57,03% da precipitação total do ano de 2011, além de valores de temperatura máxima e mínima, bem como da evapotranspiração de referência para períodos quinzenais. Os maiores índices pluviométricos concentraram-se nos meses de maio (161 mm) e julho (130 mm); enquanto que abril e junho apresentaram os menores totais precipitados, 83 mm e 113 mm, respectivamente.

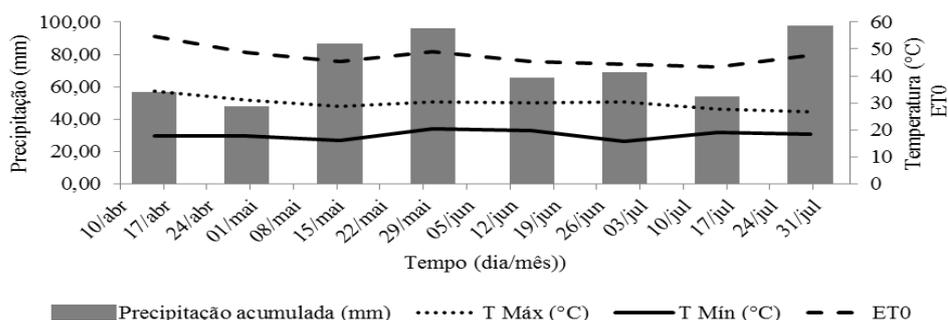
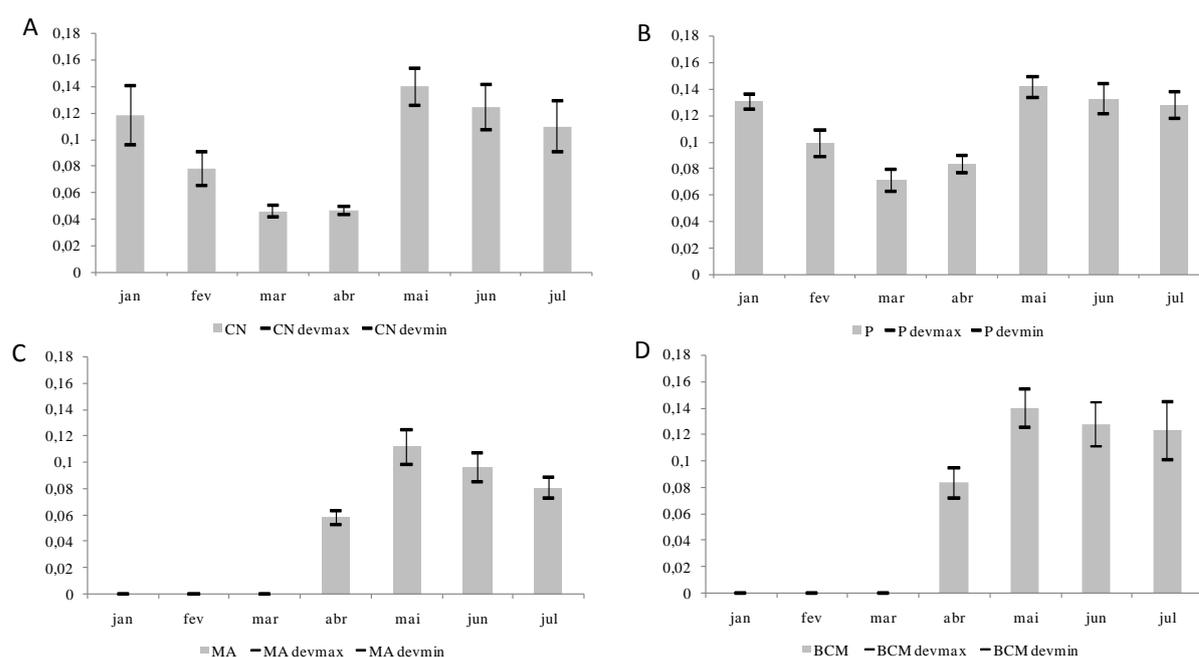


Figura 8. Distribuição temporal da precipitação total, temperatura máxima e mínima e evapotranspiração de referência, no período de abril a julho de 2011.

Verifica-se que durante o desenvolvimento dessa cultura a lâmina precipitada foi inferior a considera ideal por Magalhães & Durães (2006), que afirmaram que a quantidade de água consumida pelo milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm.

Para a área experimental, as temperaturas máximas do ar variaram entre 34,5 e 27,6 °C, enquanto que as mínimas entre 15,9 e 18,6 °C, durante o período analisado. A faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, é de 24 a 30° C, sendo que temperaturas acima de 35°C, por períodos prolongados, podem prejudicar a polinização, formando espigas mal granadas devido ao calor excessivo.

Na Figura 9 apresenta-se a dinâmica da umidade do solo, com seus respectivos desvios-padrão, para as profundidades de 20 e 40 cm, no período de janeiro a julho de 2011, a partir de monitoramento realizado quinzenalmente. Analisando-se o efeito dos tratamentos conservacionistas BCM e P em relação aos demais, observa-se que estes produziram os maiores incrementos de umidade durante a maior parte do tempo (abril a julho, evidenciando-se, assim, uma maior disponibilidade hídrica para atendimento das necessidades da cultura do milho. A diferença da cobertura do solo é um fator que influencia o processo de infiltração, e este determina a quantidade de água disponível para as plantas. Sendo assim, a parcela BCM contribuiu para uma maior infiltração da água no perfil do solo, tanto nas camadas superficiais, quanto nas mais profundas.



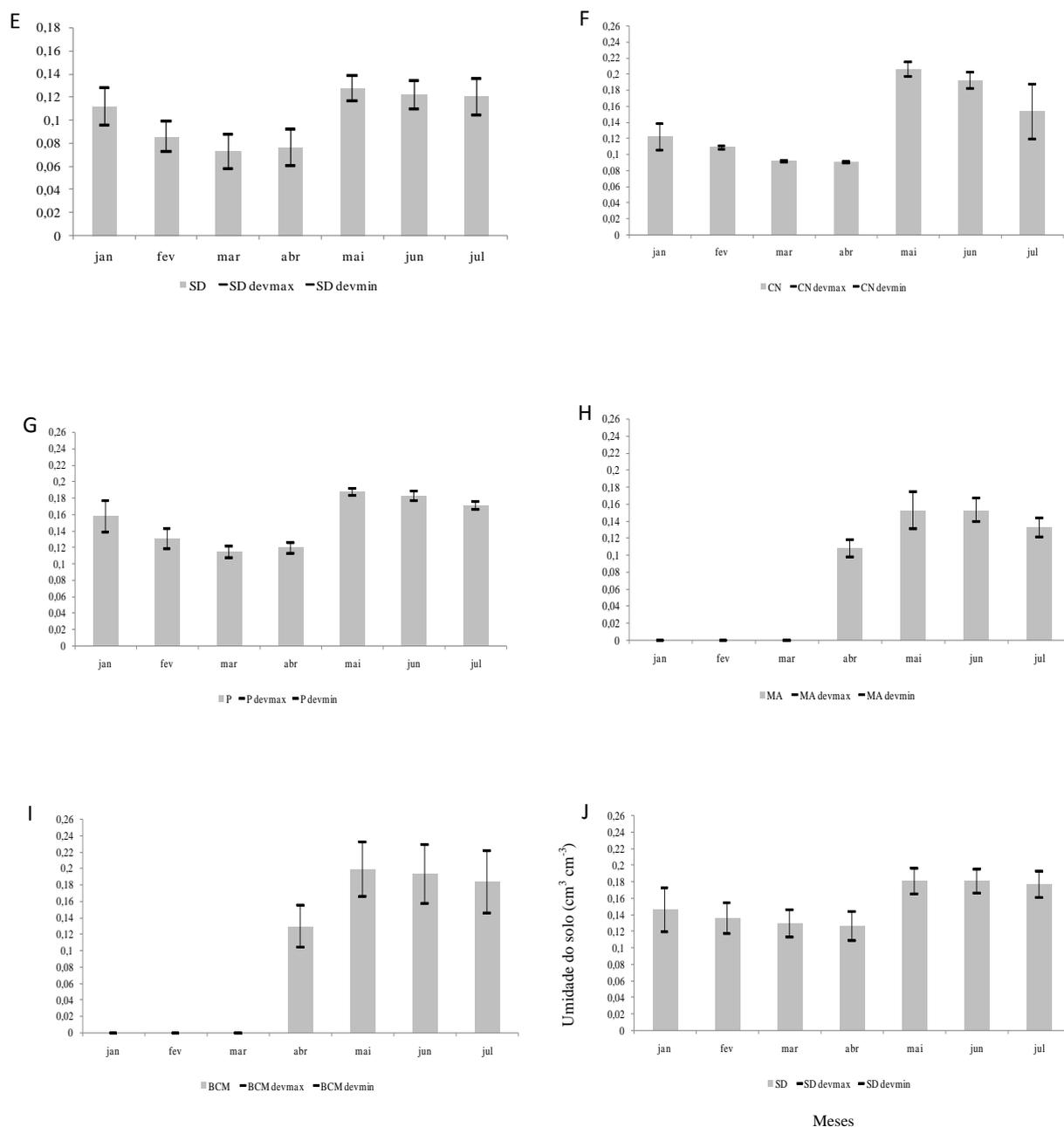


Figura 9. Dinâmica da umidade do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para o Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico nos tratamentos: A. Cobertura Natural (CN); B. Palma (P); C. Morro abaixo (MA); D. Barramento com cobertura morta (BCM); E. Solo descoberto (SD), na profundidade de 20 cm; F. Cobertura Natural (CN); G. Palma (P); H. Morro abaixo (MA); I. Barramento com cobertura morta (BCM); e J. Solo descoberto (SD), na profundidade de 40 cm.

Verifica-se na Tabela 2, referente à avaliação do conteúdo de água no solo em função dos diferentes tipos de cobertura, que ocorreram, na quase totalidade dos casos, diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade no conteúdo de água no solo para os diferentes tratamentos analisados, ao comparar as parcelas em que foi cultivado

o milho (BCM, P e MA). Observa-se que a umidade do solo na parcela com BCM foi significativamente superior em relação ao MA. Para o monitoramento da umidade no dia 28 de abril observa-se que ocorreram os menores incrementos do conteúdo de água no solo em todos os tratamentos, para as duas profundidades, em decorrência da menor lâmina precipitada nos 7 e 15 dias que antecederam à avaliação da umidade. A camada mais profunda do perfil do solo, 40 cm, de um modo geral apresentou elevados valores de umidade, em relação à de 20 cm, corroborando com os resultados encontrados por Santos et al. (2010).

Tabela 2. Avaliação do conteúdo de água no Argissolo Amarelo Eutrófico abruptico em função dos diferentes tipos de cobertura do solo, para as profundidades de 20 cm e 40 cm.

| Data | Umidade no solo (cm ³ cm ⁻³) | | | | | Precipitação antecedente (mm) | |
|--------|---|-----------|----------|-----------|-----------|-------------------------------|---------|
| | CN | P | MA | BCM | SD | 7 dias | 15 dias |
| 20 cm | | | | | | | |
| 28/abr | 0,0464 b | 0,0831 a | 0,0582 b | 0,0837 a | 0,0763 a | 7 | 14 |
| 12/mai | 0,1319 a | 0,1404 a | 0,1085 b | 0,1414 a | 0,1282 a | 51 | 98 |
| 26/mai | 0,1470 a | 0,1423 a | 0,1149 b | 0,1390 a | 0,1273 ab | 37 | 83 |
| 8/jun | 0,1177 ab | 0,1289 a | 0,0978 b | 0,1246 a | 0,1197 a | 14 | 37 |
| 21/jun | 0,1303 a | 0,1355 a | 0,0941 b | 0,1310 a | 0,1246 a | 19 | 70 |
| 29/jul | 0,1095 a | 0,1281 a | 0,0809 b | 0,1229 a | 0,1204 a | 20 | 63 |
| 40 cm | | | | | | | |
| 28/abr | 0,0907 a | 0,1196 a | 0,1080 a | 0,1297 a | 0,1262 a | 7 | 14 |
| 12/mai | 0,1949 a | 0,1886 a | 0,1411 b | 0,1996 a | 0,1794 a | 51 | 98 |
| 26/mai | 0,2175 a | 0,1869 ab | 0,1652 b | 0,1990 ab | 0,1823 ab | 37 | 83 |
| 8/jun | 0,1897 ab | 0,1809 ab | 0,1571 b | 0,1922 a | 0,1800 ab | 14 | 37 |
| 21/jun | 0,1947 ab | 0,1842 ab | 0,1489 b | 0,1955 a | 0,1811 a | 19 | 70 |
| 29/jul | 0,1537 ab | 0,1714 ab | 0,1325 b | 0,1839 a | 0,1767 a | 20 | 63 |

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma linha não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Cobertura Natural (CN); Palma (P); Morro abaixo (MA); Barramento com cobertura morta (BCM); Solo descoberto (SD).

Como o conteúdo de água no perfil do solo está diretamente relacionado à precipitação antecedente e à sua permanência nos diferentes tipos de cobertura na superfície do solo, com o aumento da precipitação no mês de maio observou-se que a umidade, em cada parcela, foi superior em 184% (CN), 69% (P e BCM), 86% (MA) e 68% (SD) em relação ao monitoramento realizado no mês de abril, na profundidade de 0-20 cm. Por outro lado, na profundidade 20-40 cm, comprovou-se que o conteúdo de água foi 115, 58, 31, 54 e 42% maior, nos tratamentos CN, P, MA, BCM e SD, respectivamente. Comprova-se, portanto, que elevados incrementos de umidade coincidiram com os meses que ocorreram as maiores precipitações. Dessa forma, segundo Paiva & Araujo (2012), a utilização das práticas conservacionistas destaca-se por favorecer um maior aproveitamento das águas das chuvas, evitando-se perdas excessivas por escoamento superficial. Além disso, evita que o solo esteja susceptível a constantes ciclos de umedecimento e secagem e a grandes oscilações de temperaturas. Estes resultados também foram verificados por Montenegro et al. (2013), em solos de Coimbra, Portugal, com cobertura de palha.

As parcelas BCM, P e CN, no mês de maio, na profundidade de 20 cm, apresentaram valores de conteúdo de água da ordem de $0,1414 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $0,1402 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,1395 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente. Já na profundidade 40 cm, observa-se que o tratamento CN destaca-se com valores da ordem de $0,2175 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, seguido pelos tratamentos BCM ($0,1990 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e P ($0,1869 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). A presença da cobertura morta e do barramento em pedra contribuiu para o processo de infiltração e para um melhor aproveitamento da água da chuva, além de reduzir a perda por evaporação. Segundo Lyra et al. (2010), o capim pode ser usado como cobertura morta, interceptando e armazenando parte da água precipitada, que pode ser perdida diretamente para a atmosfera, por evaporação, ou saturar a cobertura e infiltrar no solo.

Santos et al. (2012) verificaram o efeito benéfico da cobertura morta na produtividade e na qualidade da cebola devido, provavelmente, à maior manutenção do conteúdo de água no solo e à redução da amplitude térmica do solo. Já Peres et al. (2010) observaram que, na camada de 0 a 0,20 m, houve redução dos valores da umidade volumétrica do solo de 0,103% por dia, na condição com palha, e de 0,223% por dia, na condição sem palha, praticamente o dobro daquela verificada na condição de cobertura do solo.

As parcelas com BCM e P demonstraram-se muito eficientes na manutenção de água no solo, pois além de permitir o crescimento das plantas, proporcionaram a

produção de milho para um cultivo em sequeiro. Já o tratamento com SD, por não apresentar vegetação, no momento do monitoramento, observou-se um teor de umidade elevado, e as parcelas que tinham vegetação, uma parte da água foi consumida pelas plantas, e a outra permaneceu no solo.

Na análise da média móvel da umidade do solo durante o período experimental (Figura 10), pode-se observar a variação temporal da umidade, para as duas profundidades, na qual constatou-se o efeito dos tratamentos na manutenção da água no solo, principalmente para o BCM. Estes valores indicam que em todos os tratamentos houve um acréscimo gradual do conteúdo de água no solo em função do aumento da precipitação.

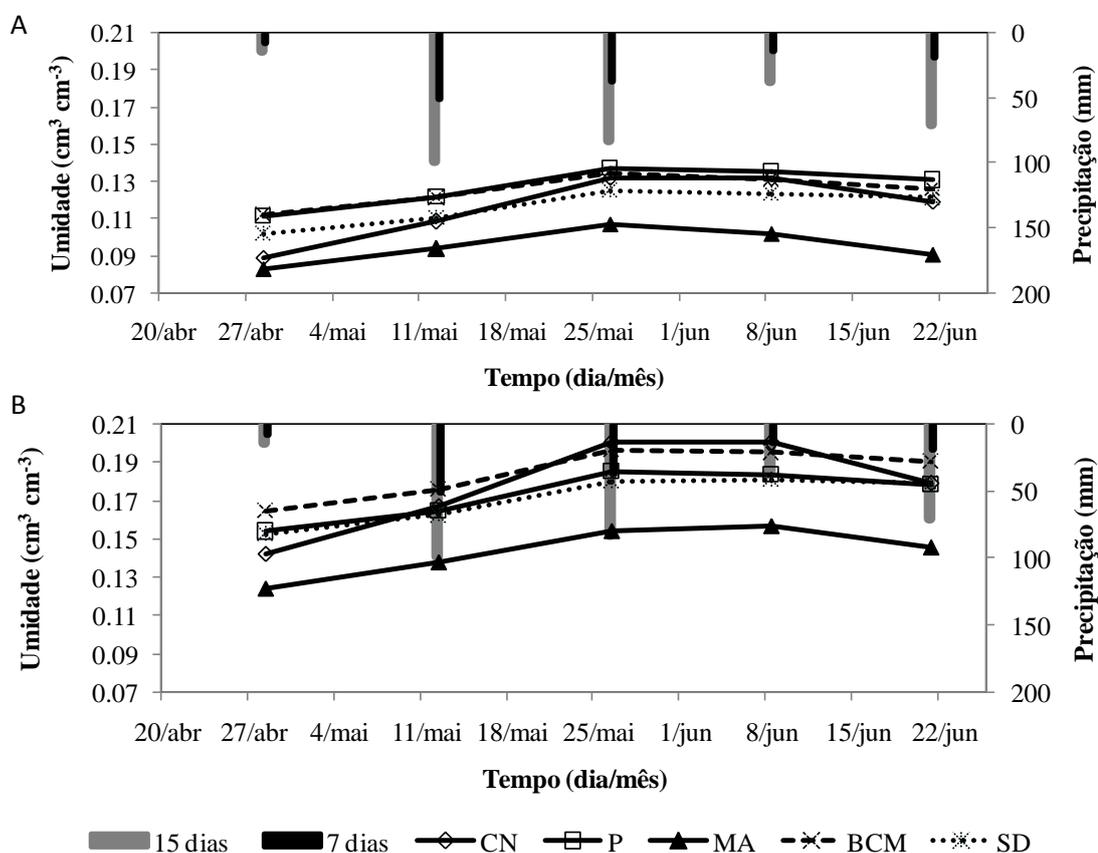


Figura 10. Média móvel da umidade do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, para os tratamentos analisados, e precipitação incidente nos 15 e 7 dias antecedentes, no período de abril a julho de 2011, para as profundidades de 20 cm (A) e 40 cm (B). Cobertura Natural (CN); Palma (P); Morro abaixo (MA); Barramento com cobertura morta (BCM); Solo descoberto (SD).

Esses resultados comprovam que a presença da cobertura vegetal, nos tratamentos BCM e P em relação ao MA, é muito importante para a região semiárida,

pois as raízes das plantas formam caminhos preferenciais para infiltração da água, além da redução da possibilidade de encrostamento superficial, devido à não exposição do solo, favorecendo a infiltração e o conseqüente armazenamento de água no solo.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias das avaliações agronômicas realizadas durante a fase final do ciclo do milho, em função de diferentes tipos de cobertura do solo, podendo-se observar que ocorreu diferença significativa entre os tratamentos para altura do colmo (ALT) das plantas, diâmetro basal do colmo (DC) e altura da primeira espiga (ALTE). O tratamento BCM foi significativamente melhor em relação ao MA, porém não houve diferença estatística em relação a P, exceto nas avaliações do DC. A redução no crescimento das plantas representa um mecanismo de defesa nas condições de estresse hídrico, como pode-se observar no tratamento MA, favorecendo a exposição do solo e aumentando, conseqüentemente, as possibilidades de perda de água por escoamento superficial. Segundo Moura et al. (2006), as respostas fisiológicas das plantas geralmente tendem a ser modificadas sob condições de duração e severidade do estresse hídrico.

Tabela 3. Médias das avaliações agronômicas realizadas aos 68 e 90 DAP, em função de diferentes tipos de tratamento conservacionista.

| Tratamentos | 68 DAP | | | 90 DAP | | |
|-------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| | ALT (cm) | DC (cm) | ALTE (cm) | ALT (cm) | DC (cm) | ALTE (cm) |
| BCM | 148,93 a | 8,38 a | 81,40 a | 183,27 a | 8,49 a | 88,27 a |
| P | 137,53 a | 7,39 b | 81,93 a | 170,83 a | 7,41 b | 84,37 a |
| MA | 69,60 b | 6,92 b | 5,07 b | 139,57 b | 6,97 c | 57,03 b |

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Altura do colmo (ALT), diâmetro basal do colmo (DC) e altura da inserção da primeira espiga (ALTE).

Na Tabela 4 são apresentadas as médias das avaliações agronômicas realizadas na espiga de milho, em função de diferentes tipos de cobertura do solo, aos 96 DAP, correspondente à fase de colheita. Verifica-se que tanto o tratamento BCM, como o de P, foram significativamente melhores em relação ao MA. Com isso, observa-se que utilização das práticas conservacionistas interceptam, direcionam e favorecem o aproveitamento da água da chuva e, melhoram o potencial produtivo do solo. Não

houve diferença significativa entre os tratamentos BCM e P para a avaliação do peso da espiga com (PC) e sem palha (PS), matéria verde (MV) e seca do milho ralado (MS), aos 96 DAP.

Tabela 4. Médias das avaliações agrônômicas realizadas na espiga de milho, em função de diferentes tipos de cobertura do solo, aos 96 DAP.

| Tratamentos | DP (cm) | DS (cm) | FIL | GR | CP (cm) | CS (cm) | PC (g) | PS (g) | MV (g) | MS (g) |
|-------------|------------|------------|---------|---------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| BCM | 18,86 a | 13,39 a | 30,60 a | 452,53a | 29,61a | 18,11a | 382,94a | 200,10a | 112,34a | 26,64a |
| P | 19,81 a | 14,79 a | 31,87 a | 574,47a | 28,31a | 18,05a | 356,12a | 199,89a | 123,42a | 30,04a |
| MA | 16,23 a | 22,41a | 30,07 a | 457,73a | 27,09a | 16,41a | 241,61b | 141,90b | 64,84b | 8,22b |

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. Diâmetro da espiga com palha (DP), diâmetro da espiga sem palha (DS), número de fileiras de grãos (FIL), número de grãos (GR), comprimento da espiga com palha (CP), comprimento da espiga sem palha (CS), peso da espiga com palha (PC), peso da espiga sem palha (PS), peso da matéria verde (MV) e da matéria seca (MS) do milho ralado.

As práticas conservacionistas BCM e P possibilitaram valores significativamente superiores no conteúdo de água no solo, em relação ao MA, nas profundidades de 20 e 40 cm, uma vez que funcionam como uma barreira ao escoamento superficial, contribuindo com o processo de infiltração da água, e possibilitando uma maior extração de água por meio das raízes das plantas, permitindo assim que o ciclo fenológico da cultura pudesse ser plenamente completado, com reflexos significativos para matéria seca de grãos (MS). A redução no crescimento das plantas, observada na parcela MA, representa um mecanismo de defesa das plantas em condições de estresse hídrico.

O milho cultivado nas parcelas BCM e P, mesmo apresentando algumas características que não diferiram estatisticamente em relação ao tratamento MA, exibiu condições elencadas como essenciais para agregar valor ao produto, para que o mesmo tenha uma boa aceitação no mercado *in natura*. Com efeito, Valentini & Shimoya (2008), afirmam que a espiga deve apresentar grãos tipo dentados (moles); espigas uniformes, bem empalhadas, que proporcionam melhor proteção aos grãos contra a perda de umidade e maior tempo para comercialização. Enquanto que, o tratamento MA apresentou valores para MS significativamente inferiores em relação aos tratamentos

BCM e P, nos quais as práticas conservacionistas utilizadas nas parcelas contribuíram para um melhor aproveitamento da água da chuva.

Durante o período experimental (96 DAP) observou-se que a condição de superfície influenciou expressivamente no desenvolvimento da cultura do milho (Figura 11). Verificou-se que a utilização da palma forrageira, do cultivo em nível, do barramento com pedras e da cobertura morta influenciaram significativamente no crescimento da planta, mostrando-se como práticas vantajosas e economicamente viáveis em vários aspectos para a cultura do milho, principalmente em regiões em que a precipitação é baixa e irregular. Paiva & Araujo (2012) afirmam que o uso da cobertura morta evita a perda excessiva de água do solo mediante a evaporação, contribuindo assim com as condições adequadas para o desenvolvimento das plantas.

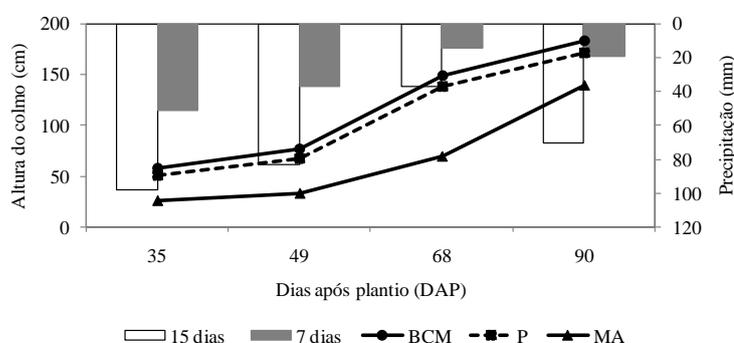


Figura 11. Variação da altura do colmo (cm) do milho, durante o ciclo da cultura, para os tratamentos analisados, e da precipitação antecedente (15 e 7 dias) ao monitoramento. Cobertura Natural (CN); Palma (P); Morro abaixo (MA); Barramento com cobertura morta (BCM); Solo descoberto (SD).

Observando-se os efeitos isolados da altura das plantas dos tratamentos BCM e P em relação ao MA, nota-se que, aos 68 DAP, as plantas da parcela BCM cresceram mais que o dobro e as da P quase duas vezes mais em relação ao MA. Já aos 90 DAP, os tratamentos BCM e P, com práticas conservacionistas, foram aproximadamente 1,5 vezes superiores em relação ao tratamento MA.

A produtividade da matéria verde de grãos (MS), em $t\ ha^{-1}$, foi de 2,95 para o tratamento BCM, de 3,24 para P e 1,70 para o MA. Destaca-se, ainda, que os valores obtidos das características agrônômicas e da umidade foram expressivamente diferenciados em função da presença ou ausência das práticas conservacionistas nos tratamentos analisados.

CONCLUSÕES

1. A utilização de cultivo do milho em nível com barramento em pedras associado com cobertura morta e de cultivo do milho com cordão vegetativo de palma forrageira atuam eficientemente na redução dos riscos dessa cultura em sequeiro, contribuindo para um melhor aproveitamento da água da chuva, quando comparado ao morro abaixo.

2. A matéria seca de grãos dos tratamentos que apresentaram práticas conservacionistas foi significativamente superior em relação ao tratamento com cultivo do milho morro abaixo, no semiárido pernambucano.

3. A umidade do solo, nas profundidades de 20 e 40 cm, foi significativamente influenciada pelos tratamentos analisados.

LITERATURA CITADA

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). Crop and evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56), 297p.

ANDRADE, A.R.S.; JADOSKI, S.O.; GUERRA, H.C.; GUERRINI, I.A. Influência do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n. 3, p. 411-415, 2001.

BRITO, L.T.L.; CAVALCANTI, N.B.; SILVA, A.S.; PEREIRA, L.A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. Engenharia Agrícola, v.32, n. 1, p. 102-109, 2012.

CAVALCANTI, N.B.; RESENDE, G.M. Avaliação de barreiros e finalidade da água armazenada na região semi-árida da Bahia. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n. 3, p. 568-570, 2001.

CONAB– Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto, 2012. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília : Conab, 2012.

FONTES JÚNIOR, R.V.P.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, T.E.M. Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale

aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.16, n.11, p.1188–1197, 2012.

KIZITO, F.; DRAGILA, M.; SE`NE, M.; LUFABA, A.; DIEDHIOU, I.; DICK, R.P.; SELKER, J.S.; DOSSA, E.; KHOUMA, M.; BADIANE, A.; NDIAYE, S. Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs co-existing with Pearl millet in Senegal, West Africa. *Journal of Arid Environments*, v. 67, p. 436–455, 2006.

LE HOUÉROU, H.N. The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal of Arid Environments*, v. 33, n. 2, p. 135–159, 1996.

LYRA, G.B.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; MOURA FILHO, G.; ARAÚJO JÚNIOR, R.F. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na Região de Arapiraca-Al. *R. Irriga*, v. 15, n. 2, p. 173-183, 2010.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES. F.O.M. Fisiologia da Produção de milho. Sete Lagoas. EMBRAPA – Circular Técnica, 76, 10 p. 2006. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_76.pdf>. Acesso em 10 set. 2012.

MOMOLI, R.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; BORGES, T.K.S.; SANTOS, T.E.M.; MONTEIRO, A.L.N. Avaliação da erosão do solo sob diferentes condições de cobertura e chuva natural no semiárido. In: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES. 2012. Anais. Foz do Iguaçu-PR, 2012.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2006.

MONTENEGRO, A.A.A.; LIMA, J.L.M.P.; ABRANTES, J.R.C.B.O.; SANTOS, T.E.M. Impact of Mulching on Soil and Water Conservation in Semiarid Catchment: Simulated Rainfall in the Field and in the Laboratory. *Die Bodenkultur*, 64 (2013) (no prelo).

MOURA, E.G.; TEIXEIRA, A.P.R.; RIBEIRO, V.S.; AGUIAR, A.C.F.; FARIAS, M.F. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays*) submetido a vários intervalos de irrigação, na região da Pré-Amazônia. *Irriga*, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2006.

OLIVEIRA, J.R.; PINTO, M.F.; SOUZA, W.J.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de

chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 140-147, 2010.

PAIVA, A.Q.; ARAÚJO, Q.R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. Valle, 2012. p. 115-134.

PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n.5, p. 875-886, 2010.

SANTOS, T.E.M. (2010). Dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em bacia experimental do semiárido pernambucano. 68 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

SANTOS, S.S.; ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; LEAL, M.A.A.; RIBEIRO, R.L.D. Produção de cebola orgânica em função do uso de cobertura morta e torta de mamona. *Horticultura Brasileira*, v. 30, n. 3, p. 549-552, 2012.

SANTOS, T.E.M. ; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, D.D. 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, 2011.

SANTOS, T.E.M.; SILVA, D.D.; MONTENEGRO, A.A.A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco state. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p.1733-1741, 2010.

SAS Institute. The SAS System for Windows: Release version: 6.8, 3.ed. Cary, 1998.CD-ROM.

SHEN, J.Y.; ZHAO, D.D.; HAN, H.F.; ZHOU, X.B. &LI, Q.Q. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. *Plant Soil Environ.*, v. 4, n. 58, p. 161–166, 2012.

SILVA, C.C.F.; SANTOS, L.C. Palma Forrageira (*Opuntia Ficus- Indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. *Revista Electrónica de Veterinaria – REDVET*, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.

SILVA, M.R.R.; VANZELA, L.S.; VAZQUEZ, G.H.; SANCHES, A.C. Influência da irrigação e cobertura morta do solo sobre as características agrônômicas e produtividade de milho. *Irriga, Edição Especial*, p. 170 - 180, 2012.

SILVA, M.A.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; AVANZI, J.C.; LEITE, F.P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.

SILVA, J.R.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; SANTOS, T.E.M. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 27–36, 2012.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 1, p. 63-68, 2002.

VALENTINI, L.; SHIMOYA, A. Informações básicas para a cultura do milho verde. PESAGRO-Rio, n.11, Niteroi-RJ, 2008. Disponível em: <<http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/infonline/online11.pdf>>. Acesso em 10 set. 2012.

WANDERLEY, W.L.; FERREIRA, M.A.; BATISTA, A.M.V.; VÉRAS, A.S.C.; BISPO, S.V.; SILVA, F.M.; SANTOS, V.L.F. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à palma forrageira. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 13, n. 2, p. 444-456, 2012.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II

BORGES, T. K. S. AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE COBERTURA E CHUVA NATURAL. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Resumo: A utilização de sondas TDR's favorece o monitoramento do conteúdo de água no solo em tempo real e de forma automatizada, principalmente em regiões semiáridas, haja vista que a água é um fator limitante na produtividade da cultura do milho. Assim, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a umidade, bem como a produtividade do milho, sob diferentes densidades de cobertura, em condições de chuva natural, em parcelas experimentais no semiárido pernambucano. O experimento foi realizado em um Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, em cinco parcelas experimentais, com 4,5 x 11 m, instaladas em campo, com duas sondas TDR's em cada uma delas, sob cinco condições de cobertura de solo: solo descoberto; cultivo do milho em nível com barramento em pedras associado com cobertura morta; cultivo do milho com cordão vegetativo de palma forrageira e cobertura natural. A umidade do solo foi analisada a 20 cm de profundidade. A partir dos resultados verificou-se a eficiência das práticas conservacionistas na manutenção da umidade, em relação ao morro abaixo, favorecendo um melhor aproveitamento da água da chuva. Além disso, a produtividade das parcelas com barramento em pedras associado com cobertura morta e cordão vegetativo foram significativamente superiores.

Palavras-Chave: conteúdo de água no solo, eficiência do uso da água, sondas TDR's

CHAPTER II

BORGES, T. K. S. VARIATION OF SOIL MOISTURE AND PRODUCTIVITY UNDER DIFFERENT COVERAGE AND NATURAL RAINFALL. 2013. Dissertation (Master's Degree in Agricultural Engineering) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Abstract: The use of TDR probes's favors monitoring of soil water content in real time and automatically, especially in semiarid regions, given that water is a limiting factor in the productivity of maize. The objective of this study was to evaluate the moisture and corn yield under different coverage densities in natural rainfall, in experimental plots in semi-arid Pernambuco. The experiment was conducted in an Ultisol Eutrophic abruptico in five plots, with 4.5 x 11 m, installed in the field with two probes TDR's in each, under five conditions of ground cover: bare soil; cultivation corn level with bus in stones associated with mulch; corn with cord vegetative forage cactus and natural cover. Soil moisture was analyzed at 20 cm depth. The results verified the effectiveness of conservation practices in maintaining moisture in relation to downhill, favoring a better use of rainwater. Furthermore, the plot yields associated with bus on stones with mulch and vegetation were significantly higher cord.

Keywords: water content in soil, water use efficiency, TDR probes's

INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos hídricos em regiões semiáridas tem induzido à utilização de técnicas de monitoramento da umidade, que contribuem para uma melhor gestão e aproveitamento da água da chuva, para que não haja comprometimento da produtividade na agricultura de sequeiro. A determinação do conteúdo de água no solo é muito importante para estudos relacionados com a disponibilidade de água e seu movimento ao longo do perfil do solo.

O conhecimento de como as plantas utiliza a água no solo e de como respondem aos níveis de armazenagem, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas (Parizi, 2010).

A umidade interfere na infiltração, no escoamento superficial de água no solo, na evaporação do solo e transpiração das plantas (Mello et al., 2011), além de influenciar o movimento da água, compactação do solo, aeração do solo e desenvolvimento radicular (Timm et al., 2006). Segundo Medeiros & Clarke (2007), vários fatores influem na variabilidade do conteúdo de água no solo: topografia, propriedades do solo, tipo e densidade de vegetação, umidade inicial do solo, profundidade do lençol freático, precipitação, radiação solar e outros fatores meteorológicos.

O conteúdo de água no solo pode ser quantificado por meio de diversos métodos, sejam eles diretos ou indiretos. Silva et al. (2008) afirmam que, dentre os métodos indiretos, existem aqueles baseados na constante dielétrica do solo (K), onde o mais utilizado é o da reflectometria no domínio do tempo (TDR). A técnica que utiliza as sondas TDR's permite a mensuração do conteúdo de água no solo em tempo real por meio de leituras automatizadas. Este método envolve a medida da constante dielétrica do solo por meio da medida do tempo decorrido por um pulso eletromagnético, obtido através da introdução de hastes de aço inoxidável no solo. Esse tempo decorrido é proporcional à constante dielétrica do solo, e pode variar com o seu conteúdo de água (Mantovani et al., 2007).

Macedo et al. (2009) afirmam que uma das formas de conter a enxurrada é a utilização de cordão vegetal, que é considerada uma prática simples, recomendada para pequenas e médias propriedades, em áreas que não possibilitam a construção de terraços

devido à declividade. Além disso, funciona como uma barreira física, possibilitando um maior controle da enxurrada, evitando que a água da chuva que não infiltrou ganhe velocidade e provoque erosão. O emprego de cobertura morta e de barramentos no solo promove uma barreira ao escoamento superficial, contribuindo o incremento de água no solo.

Em localidades onde a superfície do solo se encontra desprovida de cobertura vegetal, pode ocorrer grande degradação com conseqüentes perdas de solo, água e nutrientes, fatores essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A perda de solo e os elementos que lhe são associados podem causar danos ambientais, como o assoreamento e a eutrofização de cursos d'água, além de prejuízo econômico ao produtor e à sociedade (Cardoso et al., 2012). Desse modo, a vegetação, embora consuma parte da água presente no solo, reduzindo a sua umidade, favorece ao processo de infiltração, e assim ao umedecimento do solo a partir das chuvas. Segundo Santos et al. (2008), no semiárido pernambucano, devido à irregularidade na distribuição das chuvas, a adoção de práticas de conservação de água e solo é particularmente importante, uma vez que o plantio de sequeiro ocorre logo após as primeiras chuvas do ano, época em que ocorrem com freqüência chuvas de alta intensidade, sendo de fundamental importância a adoção de mecanismos que minimizem essas perdas e favoreçam o aumento da eficiência do uso da água, sem que haja comprometimento da produtividade das culturas.

Por ser considerado um dos principais cereais produzidos no mundo e o mais cultivado no Brasil, o milho (*Zea mays* L.) é uma cultura que possui um enorme contraste de produtividade entre as diferentes regiões do país, em decorrência das diferentes condições climáticas e de cultivo às quais a cultura é submetida (Souza et al., 2011). Para obter elevadas produtividades de grãos de milho, é necessário adequar as práticas de manejo aos recursos disponíveis no ambiente, para proporcionar as melhores condições ao desenvolvimento das plantas (Serpa et al., 2012).

Com isso, estudos relacionados à eficiência do uso da água (EUA) são de suma importância e pesquisas relacionadas ao assunto foram desenvolvidas por Souza et al. (2011); Carvalho et al. (2011); Lovelli et al. (2007) e Ertek et al. (2006). Segundo Lovelli et al. (2007), para avaliações agronômicas a EUA é mais facilmente expressa como a razão entre a biomassa produzida pela planta e água consumida pela mesma.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar a variação da umidade, bem como a produtividade da cultura do milho, em diferentes condições de cobertura, em parcelas experimentais no semiárido pernambucano, submetidas à chuva natural.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, área de assentamento estadual, no município de Pesqueira, Agreste Pernambucano, localizada na Bacia Representativa do Alto Ipanema, nas coordenadas geográficas 8° 34'17" e 8° 18'11" de Latitude Sul e 37° 1'35" e 36° 47'20" de Longitude Oeste. O clima da região é semiárido, do tipo Estepe, conforme a classificação de Köeppen, apresentando temperatura média de 23 °C, a vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, cactáceas e bromeliáceas (Montenegro & Montenegro, 2006). O solo da área foi classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto, cujas características físicas foram realizadas por Santos (2010) e encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.

| Horizonte | Areia (g Kg ⁻¹) | Argila (g Kg ⁻¹) | Silte (g Kg ⁻¹) | ADA (%) | Dp (Kg dm ⁻³) | Ds (Kg dm ⁻³) |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------|------------------------------|------------------------------|
| Ap | 448,5 | 231,5 | 320,0 | 11,20 | 2,64 | 1,48 |
| A1 | 441,9 | 264,8 | 293,3 | 11,20 | 2,72 | 1,51 |
| A2 | 315,2 | 324,8 | 360,0 | 15,20 | 2,64 | 1,45 |
| AB | 288,5 | 338,1 | 373,3 | 15,20 | 2,67 | 1,68 |
| Bt | 152,0 | 691,5 | 293,3 | 32,87 | 2,66 | 1,88 |

Dp- densidade das partículas; Ds- densidade do solo; ADA- argila dispersa em água.
Fonte: Santos (2010).

Descrição do estudo

Foram utilizadas cinco parcelas experimentais, com dimensões de 4,5 m de largura por 11 m de comprimento (49,5 m²), declividade de 5%, delimitadas por alvenaria, sendo a maior dimensão no sentido do declive. A variação da umidade do

solo foi avaliada indiretamente por meio da utilização de duas sondas TDR's instaladas horizontalmente (Figura 1), na profundidade de 20 cm, em cada uma das parcelas, exceto na parcela MA. As sondas foram conectadas a um datalogger CR1000 da Campbell (Figura 2), para monitoramento temporal da umidade, com registros a cada 1h, durante o período de janeiro a julho de 2011. Os valores foram transformados posteriormente em umidade volumétrica através da equação de calibração determinada por Santos (2010), para o solo da área em estudo. Inicialmente na parcela BCM, não tinha a cultura do milho, assim como o tratamento P, que tinha apenas a presença da palma forrageira.



Figura 1. Instalação das sondas TDR's nas parcelas experimentais.



Figura 2. Descarregamento dos dados.

- Calibração da TDR:

Para calibração das sondas TDR's, de acordo com Santos (2010), estabeleceu-se 21 pontos de coleta, em duas condições de umidade (seca e úmida), onde em seguida realizou-se uma correlação das leituras realizadas pelo equipamento e com umidade gravimétrica obtida em laboratório pelo método padrão de estufa e, posteriormente, um ajuste exponencial ($y = 3,189 e^{6,223x}$; $R^2=0,90$), em que "y" representa a umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e "x" é a constante dielétrica.

Para Silva et al. (2008) as sondas TDR's têm como princípio de funcionamento a constante dielétrica (K), que é um índice que expressa a permissividade do meio em relação à permissividade do vácuo (ϵ_0). Ressaltam ainda que, $K = \epsilon/\epsilon_0$; logo, para o vácuo, $K = 1$; para o ar, K é praticamente igual ao do vácuo, ou seja, igual a um; para um solo seco, K normalmente varia de dois a cinco, enquanto para água seu valor é de aproximadamente 81. Estes autores afirmam que, no solo, a constante K medida neste sistema (ar-solo-água) é denominada de constante dielétrica aparente (K_a). Assim, dado a grande diferença no valor de K_a com a presença de água no sistema, conhecendo-se esta variável pode-se determinar a umidade volumétrica do solo indiretamente (Silva et al. 2008).

A variedade de milho (*Zea mays* L.) utilizada foi AG 1051, por ser adaptada a região semiárida, cultivadas, no regime de sequeiro (Figura 3), cultivada no espaçamento 0,80 x 0,40 m, no período de abril a julho de 2011 (estação chuvosa), em parcelas experimentais. Cada parcela correspondeu a um tratamento, sem repetição na mesma área, sob quatro condições de cobertura: solo descoberto (SD); cultivo do milho com cordão vegetativo com palma forrageira - *Opuntia ficus-indica* Mill. (P) de modo a formar barreiras para contenção do escoamento superficial, no espaçamento de 0,25 x 0,5 x 3,0 m; solo com cobertura natural (CN), cultivo do milho em nível com barramento em pedras, com aproximadamente 8 cm de altura e 10 cm de largura, com distância de 1 m entre os barramentos, associado com cobertura morta (BCM) e cultivo do milho morro abaixo (MA) de acordo com os agricultores da região. Aplicou-se cobertura morta de palha do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) seco e triturado, com densidade de 7 Mg ha⁻¹, sendo aplicada 20 DAP (dias após plantio) do milho.



Figura 3. Cultivo de milho na área experimental. A. Abertura das covas na parcela com tratamento barramento + curva de nível; B. Milho sendo semeado na parcela com tratamento barramento + curva de nível; C. Incorporação do adubo na parcela com palma; D. Milho sendo semeado na parcela com palma; E. Demarcação e abertura das covas com tratamento MA; F. Descarregamento dos dados.

O registro diário das chuvas ocorreu em um pluviógrafo, modelo TB4-L Rain Gauge da Campbell Scientific, com precisão de 0,254 mm, acoplado a um datalogger modelo CR1000, programado para registrar os eventos a cada 5 min. A bacia também dispõe de estação meteorológica automática modelo Campbell, permitindo o monitoramento das variáveis climatológicas, por meio de sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação.

Foram avaliadas a produtividade da espiga sem palha ($t\ ha^{-1}$), além da eficiência do uso da água (EUA), em $kg\ m^{-3}$, pela cultura do milho nas parcelas com BCM, P e MA, utilizando-se a metodologia descrita por Lovelli et al. (2007), conforme a Eq. 1.

$$EUA = \left[\frac{P}{L + p} \right] \quad (1)$$

em que,

P – Produtividade da espiga sem palha, em $kg\ ha^{-1}$,

L – Lâmina de água aplicada, em mm e,

p – Precipitação acumulada durante o ciclo, em mm

A efetividade da água no solo (SW_E) foi avaliada, conforme a Eq. 2 proposta por Porporatto et al. (2002), para verificar as condições de estresse hídrico na vegetação.

$$SW_E = \frac{S_i - S_w}{S_s - S_w} \quad (2)$$

em que: S_i é a umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); S_s é a umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e S_w é a umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). A efetividade da umidade do solo pode ser classificada em cinco grupos (Tabela 2).

Tabela 2. Critério para avaliação da efetividade da água no solo.

| SW_E | Efetividade | Nível |
|-----------|---------------------------|-------|
| >1,00 | Extremamente efetivo | 1 |
| 0,75-1,00 | Alta efetividade | 2 |
| 0,50-0,75 | Moderada-alta efetividade | 3 |
| 0,25-0,50 | Baixa efetividade | 4 |
| 0,00-0,25 | Efetividade marginal | 5 |
| <0,00 | Não efetivo | 6 |

Fonte: Chen et al. (2007).

A percentagem de cobertura vegetal sobre a superfície do solo nas parcelas experimentais foi avaliada aos 14, 28, 42 e 55 DAP (dias após plantio), durante o cultivo do milho (96 DAP), de acordo com o método de Mannering, descrito por Bezerra et al. (2002). Para tal, utilizou-se projeção fotográfica de uma moldura (quadro de madeira) com cobertura vegetal (Figura 4) da área em um quadro padrão (Figura 5). Com a soma da contagem das interseções com os pontos de cobertura da superfície projetados, obtém-se a percentagem total de cobertura do solo. Cada ponto de interseção representa 2% da área total.



Figura 4. Registros fotográficos da cobertura vegetal nos tratamentos

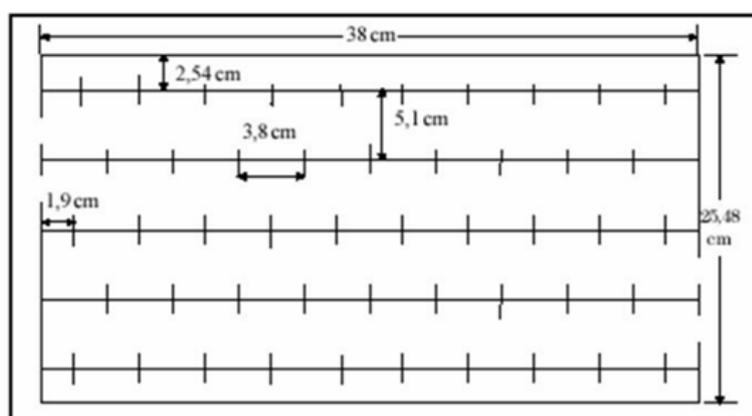


Figura 5. Quadro Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Bezerra, 2006.

Análise estatística

Realizou-se a análise estatística para produtividade do milho e EUA com o programa computacional SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 1998), ao nível de 5% de significância. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey. Os histogramas realizados com os dados de efetividade

da água no solo. Para a análise da cobertura do solo nas parcelas experimentais, durante o cultivo do milho, calculou-se a média móvel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade Temporal da precipitação

Na Figura 6 observa-se a distribuição pluviométrica durante os meses de janeiro a julho de 2011, na área experimental. A precipitação total foi de 715 mm, que corresponde a 83,72% da precipitação total do ano de 2011. Constata-se que nos meses de fevereiro e março ocorreram poucos eventos, ocasionando as menores lâminas acumuladas. Já a lâmina total precipitada durante o cultivo do milho, de 14/abr a 19/jul, foi de 397 mm.

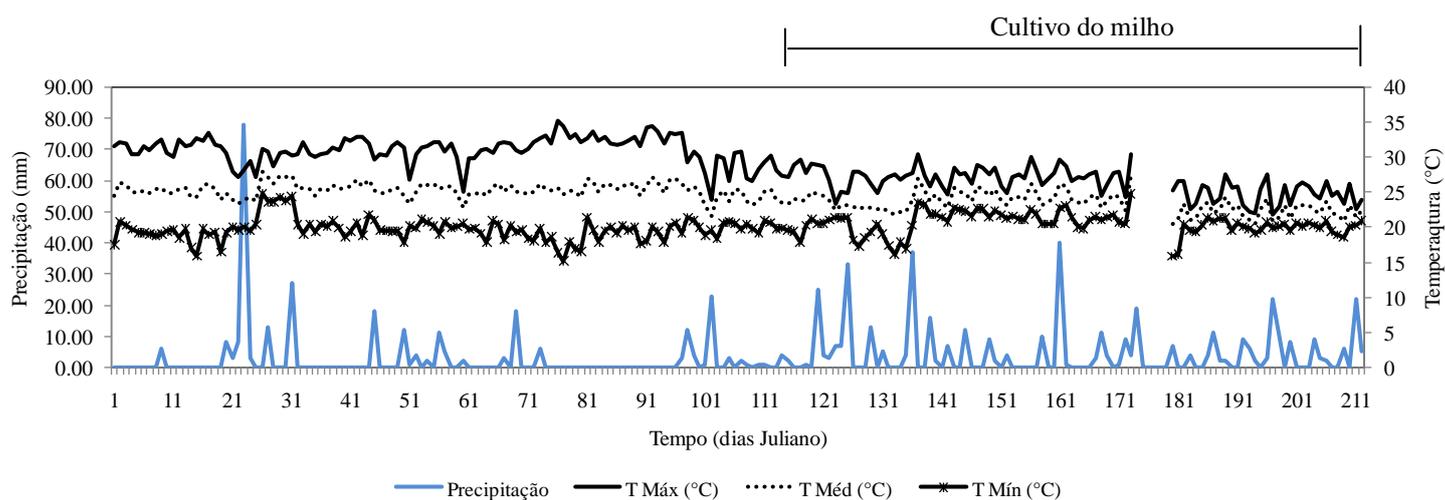


Figura 6. Distribuição temporal da precipitação total diária e da temperatura de janeiro a julho de 2011.

Os maiores valores das temperaturas máximas do ar foram observados nos dias 76 (35,24 °C) e 92 (34,52 °C) do calendário Juliano, o que pode ter levado a uma perda mais rápida da umidade do solo. Períodos de estiagem aliados a elevadas temperaturas do ar acarretam baixos valores de conteúdo de água no solo. Além disso, as terras aráveis são significativamente afetadas pela elevação da temperatura do ar, e esta, interfere drasticamente no período de crescimento, como também na produtividade, para a cultura do milho, no nordeste do Brasil (Silva et al., 2012).

Variabilidade Temporal da umidade

Na Figura 7 é apresentada a variação temporal da umidade do solo, na área, utilizando sondas TDR's, nas quatro parcelas experimentais (BCM, P, CN e SD), assim como a distribuição temporal das precipitações pluviométricas, durante os meses de janeiro a julho de 2011. Verifica-se que as variações de umidade respondem adequadamente aos eventos de chuva.

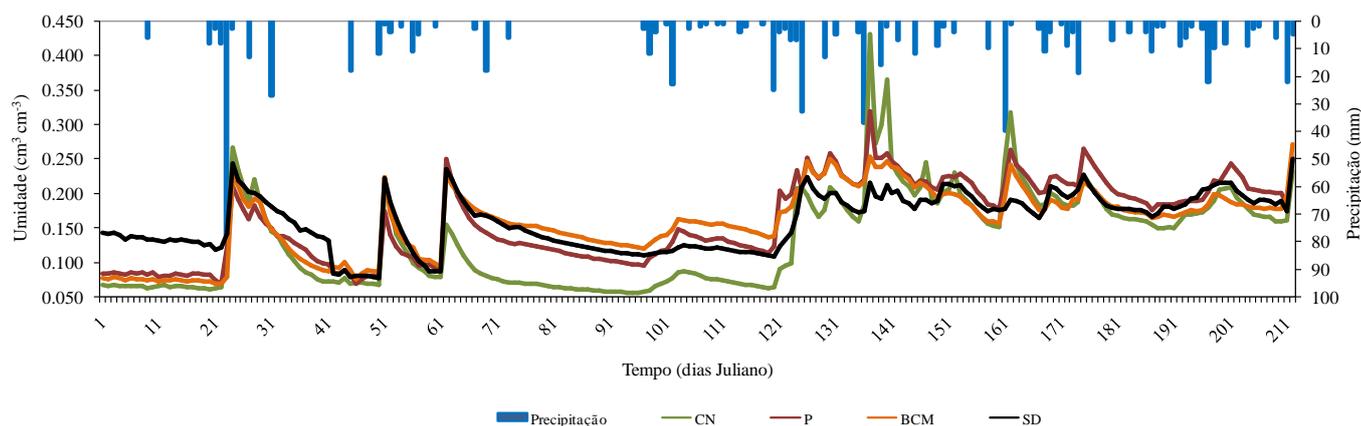


Figura 7. Variação do conteúdo de água no solo sob diferentes condições de cobertura, no Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.

Verifica-se que durante o período de estiagem, a parcela com CN apresenta os menores valores de umidade, enquanto que, durante o período em que há uma maior concentração da precipitação, observam-se valores de conteúdo de água mais elevado. Isto se deve a uma maior densidade vegetal dentro da parcela, contribuindo para o processo de infiltração da água no solo. Cardoso et al. (2012) afirmam que uma espécie com alto índice de cobertura e elevada produtividade de fitomassa propicie maior proteção ao solo, contribuindo com a infiltração da água.

Gonçalves et al. (2011) evidenciaram que a sensibilidade da técnica utilizando TDR à variação da umidade volumétrica do solo é elevada, tornando possível que a mesma seja utilizada com exatidão em ações que envolvam o monitoramento da variação da umidade do solo. No dia 23/01/2011, verifica-se a maior lâmina precipitada, de 78 mm. Este fato justifica uma rápida elevação nos valores de umidade para todas as condições de superfície.

A presença da vegetação aumenta a capacidade de infiltração da água no solo, porém, para eventos de baixa magnitude, a cobertura vegetal intercepta a água da chuva, e esta pode ser perdida para a atmosfera, antes mesmo de chegar ao solo. Após o dia

02/03/2011 observa-se um elevado acréscimo na umidade e, em seguida, um decaimento do conteúdo de água que ocorreu mais lentamente, com a ocorrência de três eventos isolados seguido da ausência de chuva durante 23 dias consecutivos.

No mês de abril, no tratamento com SD observa-se que quase não houve incremento de umidade, mesmo ocorrendo evento de chuva, uma vez que, a ausência da cobertura do solo, contribui para uma menor infiltração e um maior escoamento superficial. Entretanto no tratamento com CN, verifica-se uma resposta similar aos tratamentos BCM e P, porém as baixas precipitações pluviométricas, ocorridas no mês de abril, não foram suficientes para manter o conteúdo de água no solo superior aos demais tratamentos, devido à presença de uma maior densidade de cobertura e o próprio consumo hídrico da vegetação pelas raízes. Esses dois processos de interceptação e absorção de água tornam a infiltração mais lenta, nesta parcela. Com isso, a parcela com CN, apresentou no mês de abril valores de umidade inferiores em relação ao BCM, P e ao SD, porém atendeu à necessidade hídrica das plantas. Enquanto que, no mês de maio, essas parcelas que estavam com cobertura vegetal apresentaram os maiores conteúdos de umidade.

No mês de maio ocorreram os maiores incrementos de umidade, coincidindo com as maiores precipitações. Neste mês, verificou-se que o conteúdo de água no solo foi superior, de forma geral, a capacidade de campo, que de acordo com Santos et al. (2010) e Santos et al. (2011) é de $0,161 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Observa-se que no dia 17/05/2011 ocorreu o maior pico nos incrementos do conteúdo de água no solo. Neste período, verifica-se uma diminuição mais rápida na umidade durante um intervalo de tempo menor, devido à ocorrência de alguns eventos isolados.

A utilização de cobertura morta, cordões de vegetação, barreiras em pedras e cultivo em curvas de nível, favorecem ao incremento do teor de água no solo. Para Zonta et al. (2012), essas práticas garantem um maior aproveitamento das águas da chuva, evitando-se perdas excessiva por escoamento superficial, criando condições para que a água pluvial infiltre no solo.

Nos meses de maio, junho e julho as chuvas foram mais frequentes, contribuindo para os maiores valores da umidade do solo durante os seis meses de experimento. Verifica-se na Figura 7, a eficiência da cobertura do solo e do barramento em pedras e com vegetação, proporcionando incrementos do conteúdo de água no solo. A utilização da vegetação e do barramento, na qual a maior densidade das plantas na cobertura do

solo contribuiu para um menor impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo.

Após cada evento de chuva, observa-se a resposta do conteúdo de água no solo das parcelas que possuem a presença da vegetação em cada tratamento, contribuindo para o processo de infiltração. A presença de diferentes condições de superfície no solo contribuiu para o aproveitamento da água da chuva, favorecendo o processo de infiltração e a manutenção da umidade do solo. O processo de infiltração é importante porque pode determinar o balanço hídrico na zona radicular e o escoamento superficial. Para Zonta et al. (2012), a existência de restos culturas, na superfície do solo, favorece uma maior infiltração, uma vez que, evita o selamento superficial, permite a entrada da água no solo, e proporciona a manutenção da água dentro do perfil do mesmo. Arbustos densos interceptam água e adiam a infiltração de água, o que resulta em uma umidade média do teor de água no solo inferior (Wang et al., 2013).

Avaliação da Produtividade e da Eficiência do uso da água (EUA)

Na Tabela 3 são apresentados os valores das produtividades das espigas de milho sem palha, e da eficiência do uso da água (EUA) obtidos para a cultura do milho, em cultivo de sequeiro, para os tratamentos BCM, P e MA. Verifica-se, de uma forma geral, que a produtividade e a EUA para os tratamentos que adotaram práticas conservacionistas foram significativamente melhores em relação ao tratamento MA.

Tabela 3. Médias das produtividades e da eficiência do uso da água (EUA) das espigas de milho coletadas em cada parcela, no Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto.

| Tratamentos | Produtividade (t ha ⁻¹) | EUA (kg m ⁻³) |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------|
| BCM | 5,255 a | 13,2 a |
| P | 5,250 a | 13,2 a |
| MA | 3,727 b | 9,39 b |

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Verifica-se que a produtividade, das espigas sem palha, dos tratamentos BCM (5,255 t ha⁻¹) e P (5,250 t ha⁻¹) foram estatisticamente superiores em relação ao MA (3,727 t ha⁻¹). Estes resultados comprovam que a utilização das práticas

conservacionistas beneficiam o desenvolvimento da cultura em regiões no qual o regime pluviométrico é irregular. A produtividade obtida neste presente trabalho foi superior a todas as variedades estudadas por Santos et al. (2012), que avaliaram o comportamento produtivo de espigas de milho despalhadas, obtendo valores da ordem de 2,22 t ha⁻¹ (BRS 2020); 1,81 t ha⁻¹ (AL Bandeirantes); 2,26 t ha⁻¹ (GNZ 2728); 2,26 t ha⁻¹ (AG 1051); 1,56 t ha⁻¹ (BR 5011 Sertanejo); 1,74 t ha⁻¹ (BR 5037 Cruzeta) e 2,08 t ha⁻¹ (BRS Caatingueiro). Já Blanco et al. (2011) utilizando a variedade AG 1051, com o mesmo espaçamento 0,80 x 0,40m, porém, em cultivo irrigado e consorciado com feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), obtiveram produtividades do milho sem palha de 7,62 t ha⁻¹.

Para Grigulo et al. (2011), o milho possui alguns atributos, dentre eles a produtividade, que o torna uma das culturas mais importantes no mundo. A disponibilidade hídrica é um fator determinante na obtenção de elevadas produtividades da cultura do milho (Parizi, 2010). A necessidade hídrica da cultura, de acordo com DOORENBOS & KASSAM (1979), é de 500 a 800 mm, em média, para o desenvolvimento da cultura. Analisando-se os valores da EUA, verifica-se que não houve diferença significativa dos valores de EUA para os tratamentos BCM e P (13,2 kg m⁻³), porém ambos foram superiores ao MA. Os tratamentos BCM e P obtiveram EUA 40% superiores ao MA.

Segundo Shen et al. (2012) a cobertura morta pode aumentar a produtividade de grãos, como também a EUA no cultivo do milho em condições de sequeiro, além disso, de acordo com Fang et al. (2011), o uso do mulching proporciona vários benefícios para a produção das culturas, uma vez que pode melhorar a disponibilidade de água e nitrogênio no solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Para Carvalho et al. (2011) fica evidenciada a significativa superioridade do manejo com cobertura morta de gliricídia, ao proporcionar um aumento relativo de 36% na EUA, em relação aos demais tratamentos (cobertura morta de capim-cameroon e ausência de cobertura).

Efetividade da água no perfil do solo

Na Figura 8 pode-se verificar histogramas de frequência dos valores da efetividade da água no solo, para os tratamentos BCM, CN, P e SD, durante os picos de umidade e dois dias consecutivos subsequentes, que ocorreram meses de janeiro a julho de 2011. A análise da efetividade da água é imprescindível em regiões que apresentam

baixos índices pluviométricos como as regiões semiáridas, principalmente porque a falta de água pode prejudicar desenvolvimento das culturas. Segundo Porporatto et al. (2002), a dinâmica do ecossistema em climas áridos e semiáridas são fortemente dependentes da disponibilidade de água no solo, que, por sua vez, é o resultado de uma série de complexos e interagem mutuamente com os processos hidrológicos. Sendo assim, para Carvalho et al. (2012) a disponibilidade da água no solo é fundamental para o desenvolvimento normal das plantas, uma vez que, exige a realização de uma série de processos físicos, químicos e biológico.

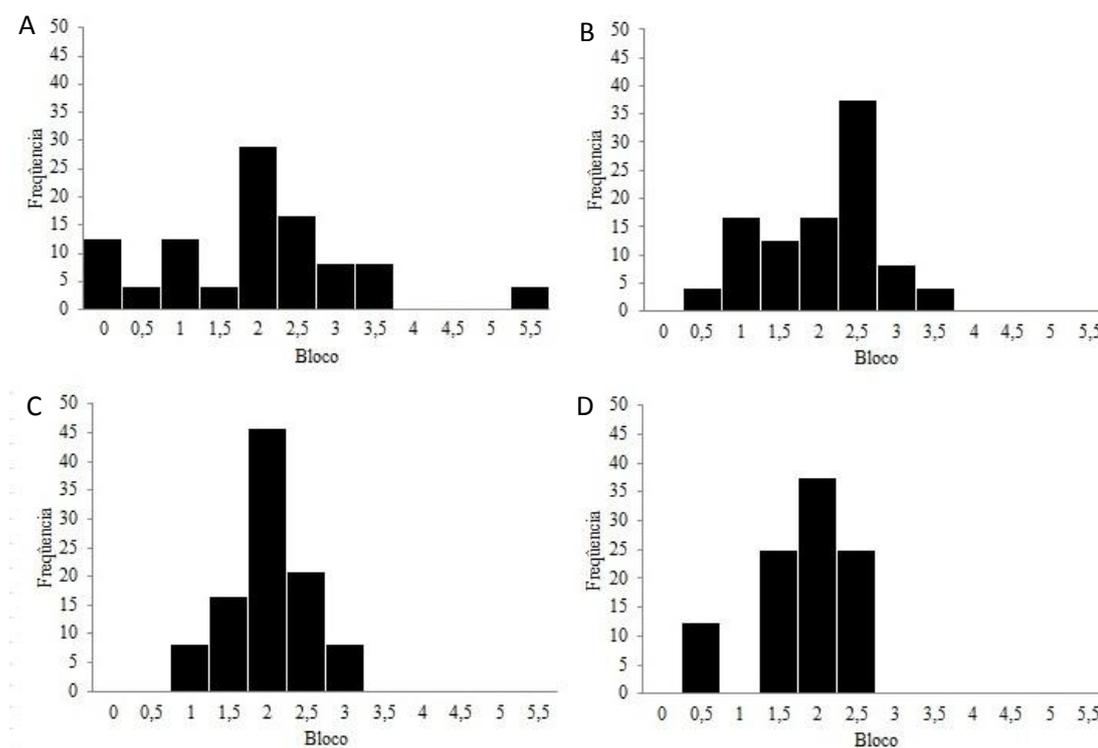


Figura 8. Histogramas da efetividade da água no solo, do Argissolo Amarelo Eutrófico abrupto. A- Cobertura Natural (CN); B- Palma (P); C- Barramento com cobertura morta (BCM) e D- Solo descoberto (SD).

Verifica-se que, de acordo com o critério de efetividade da água, o maior percentual foi o de extremamente efetivo, da parcela BCM, que correspondeu a 83%, enquanto que nos tratamentos com P e SD, o percentual foi da ordem de 75 e 79, respectivamente. Já o tratamento com CN apresentou apenas 63% em relação a esse critério, haja vista que possui uma maior densidade de plantas dentro da parcela experimental.

A parcela com SD foi à única que apresentou 13% de baixa efetividade, uma vez que potencializa a perda de água, por meio do escoamento superficial.

Cobertura do solo

A Figura 9 apresenta o percentual de cobertura do solo para os tratamentos estudados. Verifica-se que o comportamento foi diferente entre os tratamentos, sendo a parcela com CN (100%) a que apresentou o maior índice, seguido pelos tratamentos conservacionistas BCM e P. Nas parcelas MA e SD observa-se o menor percentual. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2010), ao estudarem diferentes densidades de cobertura no cultivo do feijão, no semiárido pernambucano.

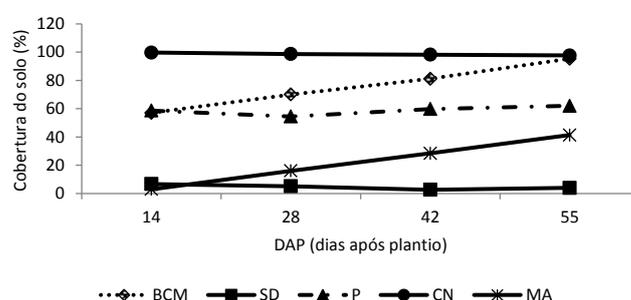


Figura 9. Média móvel dos registros fotográficos da cobertura do solo nos tratamentos analisados. Cobertura Natural (CN); Palma (P); Morro abaixo (MA); Barramento com cobertura morta (BCM); Solo descoberto (SD).

A umidade do solo está relacionada ao percentual de cobertura vegetal dentro das parcelas. Portanto, observa-se que quanto maior a quantidade de cobertura vegetal dentro das parcelas, maior o conteúdo de água no solo.

CONCLUSÕES

1. A utilização de cobertura morta constitui uma prática vantajosa na manutenção do conteúdo de água no solo, em relação ao solo descoberto, principalmente em regiões em que ocorre distribuição irregular da precipitação.
2. A produtividade do milho foi significativamente influenciada pela utilização de práticas conservacionistas, no semiárido pernambucano.
3. O tratamento BCM foi o que obteve o maior percentual para o critério de extremamente efetivo, de acordo com a classificação de efetividade da água no solo.

LITERATURA CITADA

BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B.; TARQUI, J.L.Z. Características do escoamento superficial e taxas de erosão em uma área sob cultivo agrícola. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 5.São Paulo, 2002. Anais. São Paulo, ABRH, p.403-411, 2002.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.

BLANCO, F.F.; CARDOSO, M.J.; FREIRE FILHO, F.R.; VELOSO, M.E.C.; NOGUEIRA, C.C.P.; DIAS, N.S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 5, p. 524-530, 2011.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CARVALHO, G.J.; FREITAS, D.A.F.; AVANZI, J.C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 6, p. 632–638, 2012.

CARVALHO, D.F.; OLIVEIRA NETO, D.H.; RIBEIRO, R.L.D.; GUERRA, J.G. M.; ROUWS, J.R.C. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 2, p. 269-277, 2011.

CARVALHO, J.F.; TSIMPHO, C.J.; SILVA, E.F.F.; MEDEIROS, P.R.F.; SANTOS, M.H.V.; SANTOS, A.N. Produção e biometria do milho verde irrigado com

água salina sob frações de lixiviação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 368–374, 2012.

CHEN, L.; HUANG, Z.; GONG, J.; FU, B.; HUANG, Y. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. *Catena*, v. 70, p. 200-208, 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H., 1979. Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage paper n. 33.

ERTEK, A.; SENSOY, S.; GEDIK, I.; KUCUKYUMUK, C. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. *Agricultural Water Management*, v. 81, p. 159–172, 2006.

FANG, S.; XIE, B.; LIU, D.; LIU, J. Effects of mulching materials on nitrogen mineralization, nitrogen availability and poplar growth on degraded agricultural soil. *New Forests*, v. 41, p. 147–162, 2011.

GONÇALVES, A.C.A.; TRINTINALHA, M.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V. Influência da densidade do solo na estimativa da umidade em um Nitossolo Vermelho Distroférico, por meio da técnica de TDR. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 5, p. 1551-1559, 2011.

GRIGULO, A.S.M.; AZEVEDO, V.H.; KRAUSE, W.; AZEVEDO, P.H. Avaliação do desempenho de genótipos de milho para consumo in natura em tangará da serra, MT, Brasil. *Biosci. J.*, v. 27, n. 4, p. 603-608, 2011.

LOVELLI, S.; PERNIOLA, M.; FERRARA, A.; DI TOMMASO, T. Yield response factor to water (K_y) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management*, v. 92, p. 73 – 80, 2007.

MACEDO, J.R.; CAPECHE, C.L.; MELO, A.S. (2009). Recomendação de manejo e conservação de solo e água. Niterói: Programa Rio Rural, 45 p. (Programa Rio Rural. Manual Técnico, 20).

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. (2007). Irrigação princípios e métodos. ed. Viçosa, MG-UFV. 358 p.

MEDEIROS, J.D.; CLARKE, J.A.G. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: Análise geoestatística. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 1, p. 43-52, 2007.

MELLO, C.R.; ÁVILA, L.F.; NORTON, L.D.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; BESKOW, S. Spatial distribution of top soil water content in an experimental catchment of Southeast Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v. 68, p. 285-294, 2011.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2006.

PARIZI, A.R.C. (2010). Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulado. 205 f. ; il. Tese de doutorado - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PORPORATO, A.; D'ODORICO, P.; LAIO, F.; RIDOLFI, L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology of water-controlled ecosystems. *Adv. Water Resources*, v. 25, p. 1335–1348, 2002.

SANTOS, J.F.; GRANGEIRO, J.I.T.; BRITO, L.M.P.; OLIVEIRA, M.E.C. Avaliação de cultivares e híbridos de milho para a microrregião de Campina Grande, PB. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v. 6, n. 2, p. 29-33, 2012.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA JUNIOR, V.P.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura do solo no semiárido, em condições de chuva simulada. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 2, p. 29-34, 2008.

SANTOS, T.E.M.; SILVA, D.D.; MONTENEGRO, A.A.A. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco state. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 5, p. 1733-1741, 2010.

SANTOS, T.E.M. (2010). Dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em bacia experimental do semiárido pernambucano. 68 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, D.D. 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, 2011.

SAS Institute. The SAS System for Windows: Release version: 6.8, 3.ed. Cary, 1998.CD-ROM.

SERPA, M.S.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; VIEIRA, V.M.; MARCHESI, D.R. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 4, p. 541-549, 2012.

SHEN, J.Y.; ZHAO, D.D.; HAN, H.F.; ZHOU, X.B.; LI, Q.Q. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. *Plant Soil Environ.*, v. 4, n. 58, p. 161–166, 2012.

SILVA, C.R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SOUZA, C.F. (2008). Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem. In: Claudinei Fonseca Souza. (Org.). Aplicações de Técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental. 1 ed. Taubaté: Unitau, v. 1, p. 25-45.

SILVA, V.P.R.; CAMPOS, J.H.B.C.; SILVA, M.T. Climate risk in maize crop in the northeastern of Brazil based on climate change scenarios. Engenharia Agrícola, v. 32, n. 6, p. 1176-1183, 2012.

SOUZA, L.S.B.; MOURA, M.S.B.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G.F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. Bragantia, v. 70, n. 3, p. 715-721, 2011.

SOUZA, A.P.; PEREIRA, J.B.A.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. Acta Scientiarum, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

TIMM, L.C.; PIRES, L.F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R.C.J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; BACCHI, O.O.S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. Scientia Agrícola., v. 63, n.1, p. 55-64, 2006.

ZONTA, J.H.; SOFIATTI, V.; COSTA, A.G.F et al. Circular técnico. Práticas de Conservação de Solo e Água, 2012.

ZONTA, J.H.; MARTINEZ, M.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, M.R. Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 2, p. 377-388, 2012.

WANG, S.; FU, B.; GAO, G.; LIU, Y.; JI ZHOU. Responses of soil moisture in different land cover types to rainfall events in a re-vegetation catchment area of the Loess Plateau, China. Catena, v. 101, p. 122–128, 2013.

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III

BORGES, T. K. S. INFLUÊNCIA DA COBERTURA MORTA NO CONTROLE DA EROSÃO HÍDRICA SOB CONDIÇÕES DE CHUVA SIMULADA. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Resumo: O solo é um recurso natural intensamente utilizado na produção de alimentos, podendo ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, em decorrência de seu uso e manejo inadequados. Neste sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água por erosão hídrica em função da presença de cobertura morta de diferentes densidades, em Argissolo Amarelo Distrófico. Foram realizados testes em laboratório com parcelas experimentais de dimensões de 1,0 x 0,5 (0,5 m²), com 20 cm de profundidade, na ausência e presença de cobertura morta, nas densidades de 6 e 12 Mg ha⁻¹. Utilizou-se um simulador de chuva, com lâmina precipitada de 125 mm. Para a precipitação adotada, a cobertura morta reduziu significativamente a erosão, aumentando a infiltração da água no solo em relação ao tratamento com solo descoberto. Também se verificou não existir diferença significativa entre as perdas de água, perdas de solo e umidade, para as duas densidades consideradas.

Palavras-Chave: perda de solo, resíduos vegetais, escoamento superficial

CHAPTER III

BORGES, T. K. S. MULCHING INFLUENCE ON WATER EROSION CONTROL UNDER SIMULATED RAINFALL . 2013. Dissertation (Master's Degree in Agricultural Engineering) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Abstract: Soil is a natural resource highly used for food production and may have reduced its production capacity by erosion due to an inappropriate use and management. This study aimed to analyse the influence of conservation practices on soil losses by water erosion and water due to the presence of mulch of different densities in a Dystrophic Ultisol. Tests were conducted in the laboratory with experimental plots of 1.0 x 0.5 (0.5 m²), 20 cm deep, in the absence and presence of mulch at densities of 6 Mg ha⁻¹ and 12 Mg ha⁻¹, using a rainfall simulator, with average rainfall of 93.61 mm h⁻¹ and duration of 80 min. For the adopted rainfall, the mulch allowed a further reduction of erosion, increasing water infiltration into the soil in relation to treatment with bare soil. Also there was no significant difference between the soil and water losses and soil moisture for two densities considered.

Key words: soil loss, soil cover, runoff

INTRODUÇÃO

Em todo território brasileiro são perdidos, a cada ano, milhões de toneladas de solo agrícola por causa da erosão, principalmente na zona rural, em virtude da não utilização de técnicas de manejo e conservação do solo adequadas (Oliveira et al., 2010). A erosão do solo constitui a principal causa do empobrecimento precoce das terras produtivas. As enxurradas transportam partículas de solo em suspensão e nutrientes necessários às plantas (Santos, 2009).

O processo de erosão hídrica do solo ocorre pela ação das gotas da chuva e do escoamento superficial da água sobre o solo. O impacto das gotas de chuva é o fator responsável pela desagregação do solo, podendo desprender grandes quantidades de partículas em função da sua energia cinética, que exerce forças de pressão e cisalhamento no ponto de impacto (Cassol & Lima, 2003).

A determinação das perdas de água por escoamento superficial é essencial para a quantificação de processos hidrológicos (Spohr et al., 2007). Quantificar as perdas de sedimentos oriundas das enxurradas é de grande importância ambiental e econômica. A desintegração dos agregados em partículas menores ocorre devido à continuidade da ação das gotas da chuva no solo, principalmente quando este encontra-se descoberto, ocasionando o encrustamento da superfície e a diminuição da capacidade de infiltração da água.

A cobertura do solo é um dos fatores que minimizam os efeitos de degradação que advêm da exploração dos solos agrícolas, devido especialmente, à ação protetora dos resíduos deixados pelas culturas, os quais atuam interceptando as gotas de chuva e dissipando sua energia cinética, promovendo assim manutenção do conteúdo de água, aporte no teor de matéria orgânica e diminuição da amplitude térmica do solo ao longo do ciclo da cultura (Saturnino & Landers, 1997). As áreas sem cobertura vegetal sofrem maior intensidade de erosão hídrica por ação da enxurrada, decorrente da energia do impacto das gotas de chuva que desagregam e transportam as partículas do solo com maior facilidade, enquanto que as áreas que possuem coberturas com resíduos vegetais sofrem menor erosão hídrica (Silva et al., 2010). Segundo Jordán et al. (2010), a aplicação de cobertura morta em regiões semi-áridas pode melhorar, de forma geral, as características físicas e químicas do solo, e também reduzir o escoamento superficial, controlando o processo erosivo. Esses autores avaliaram os efeitos de diferentes taxas

de cobertura morta (0, 1, 5, 10, e 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), durante 3 anos, utilizando chuva simulada, e verificaram que a cobertura contribuiu para uma redução na geração de escoamento e perdas de solo em relação ao solo descoberto utilizando apenas 5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da utilização de densidades de cobertura morta nas perdas de solo e água por erosão hídrica em parcelas experimentais de Argissolo Amarelo, em condições de chuva simulada.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado neste trabalho foi coletado na Estação Experimental de Cana-de-açúcar pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, no município de Carpina, Zona Mata Norte do Estado de Pernambuco. Localiza-se a 7° 47' de latitude sul e 35° 15' de longitude oeste e com 178 m de altitude. O solo foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico (Alves, 1994). De acordo com Oliveira et al. (2010), a precipitação pluvial anual é de 1.181 mm, distribuída irregularmente.

Foi utilizado um simulador de chuva formado por uma armação retangular, apoiada sob quatro pés tubulares de aço removíveis, com 3 m de altura em relação ao nível do solo. Possui um motor com sistema eletrônico que realiza movimentos oscilantes temporizados e funciona com um bico aspersor tipo Veejet 80-100, localizado no centro da armação (Santos, 2006). O simulador é alimentado por uma bomba centrífuga e uma caixa de capacidade de 1000 L. As chuvas artificiais foram aplicadas utilizando-se uma pressão de saída da água dos bicos de 30 kPa.

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Máquinas e Implementos Agrícolas da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. O solo utilizado foi seco ao ar, com o objetivo de uniformizar, tanto quanto possível, o conteúdo de água do mesmo, e não necessitando assim de um pré-molhamento, uma vez que o experimento foi realizado em laboratório.

As parcelas apresentaram dimensões de 1,00 m de comprimento e 0,50 m de largura ($0,50 \text{ m}^2$), ficando a maior dimensão no sentido do declive (10%), com 20 cm de profundidade, contendo na parte inferior três drenos espaçados 17 cm, que conduziam a água percolada através de um único dreno coletor. Na parte inferior instalou-se uma calha que permitiu a coleta, por meio de uma proveta, da água do escoamento superficial (Figura 1). Adotou-se intervalos de cinco minutos, e cada coleta tinha duração de dez segundos.



Figura 1. Detalhes da parcela experimental. A - Parte lateral, B- Drenos na parte interior, C- Dreno coletor na parte inferior, D – Calha coletora na parte superior, E – Vista superior, F – Parcela com o simulador.

A chuva total teve duração de 80 min e sua intensidade foram determinadas através de 10 pluviômetros distribuídos em torno, e também dentro da parcela experimental. A intensidade média foi de $93,61 \text{ mm h}^{-1}$, com desvio padrão de 7,74. Amostras de solo foram coletadas para determinação da umidade gravimétrica (método padrão) antes e depois da aplicação das chuvas simuladas, em cada ensaio.

O escoamento superficial teve início quando um filete contínuo de água começou a escoar na calha coletora e a superfície do solo apresentou encharcamento (Figura 2). A densidade de cobertura morta do solo adotada nas parcelas, foi de 6 e 12 Mg ha^{-1} de palha de cana-de-açúcar, previamente recortada (Figura 3). As

características físicas e químicas do solo utilizado no experimento estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente (Alves, 1994).



Figura 2. Demonstração do início do escoamento superficial.

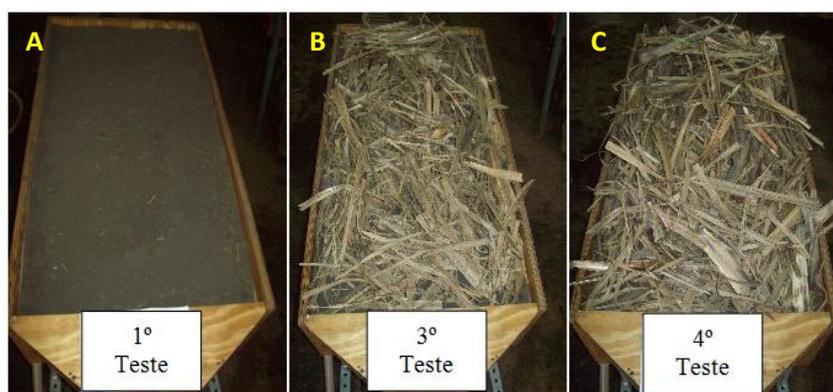


Figura 3. Tratamentos utilizados no experimento. A – solo descoberto; B – 6 Mg ha⁻¹, C – 12 Mg ha⁻¹.

Tabela 1. Características físicas na camada de 0 - 0,20 m de profundidade do solo utilizado no experimento.

| Cascalho (%) | Terra fina (%) | Areia grossa (%) | Areia fina (%) | Silte (%) | Argila (%) | Silte/Argila (%) | Classe textural | Argila natural (%) | Grau de flocculação | Dg (g/cm ³) | Dp (g/cm ³) | Porosidade total (%) | Umidade à -1,5MPa | Umidade à -0,03 MPa |
|--------------|----------------|------------------|----------------|-----------|------------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 99 | 52 | 24 | 10 | 14 | 0,71 | fr.ar. | 6 | 57 | 1,45 | 2,66 | 46 | 5,3 | 8,8 |

Fonte: Alves (1994).

Tabela 2. Propriedades químicas na camada de 0–0,20 m de profundidade.

| pH | Complexo sortivo (cmol _c /kg de solo) | | | | | | | | | V (100S/T) | 100*Al ³⁺ S+Al ³⁺ | 100*Na ⁺ T | C (g/kg) | N (g/kg) | C/N | |
|-----|--|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|------|----------------|------------------|---------------|--|--------------------------|-------------|-------------|-----|---|
| | H ₂ O | KCl | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | S | H ⁺ | Al ³⁺ | | | | | | | T |
| | 1N | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5,7 | 5,0 | 1,65 | 1,28 | 0,08 | 0,07 | 3,08 | 2,28 | 0,10 | 5,46 | 56 | 3 | 1 | 8,2 | 0,6 | 14 | |

Fonte: Alves (1994).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 3 repetições. Os tratamentos foram constituídos de três densidades de cobertura morta: 0; 6 e 12 Mg ha⁻¹, resultando em um total de 9 testes.

A análise estatística foi realizada por comparação entre as médias dos tratamentos, aplicando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

As taxas de perda de solo e a concentração de sedimentos foram determinadas pela pesagem do material coletado, na calha coletora. As amostras da enxurrada coletadas em cada ensaio foram acondicionadas em potes plásticos e, após pesagem, foram deixados em repouso por um período de 24 h. A parte sobrenadante foi succionada e levada para estufa a 65° C, durante 72 h, sendo em seguida pesado o solo seco (Cogo, 1978). A concentração de sedimentos (kg L⁻¹) pode ser expressa através da relação entre a massa de solo seco e a massa da água-sedimento, conforme a Eq. 1:

$$C_s = \frac{M_{ss}}{M_{vol}} \quad (1)$$

em que C_s é a concentração de sedimentos (kg kg⁻¹); M_{ss} é a massa de solo seco (kg).

As taxas de desagregação do solo (D) (kg m⁻² s⁻¹) foram calculadas conforme a Eq. 2:

$$D = \frac{M_{ss}}{A \times D_c} \quad (2)$$

onde: D = taxa de desagregação do solo (kg m⁻² s⁻¹); M_{ss} = massa do solo seco desagregado (kg); A = área da parcela (m²) e D_c = duração da coleta (s).

As perdas de solo foram avaliadas por (Eq. 3):

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i \cdot C_{s_i} \cdot \Delta t)}{A} \quad (3)$$

em que: P_s = perda de solo (kg m^{-2}); Q_i = vazão (L s^{-1}); C_{s_i} = concentração de sedimento; Δt = intervalo entre as coletas (300s) e A = área da parcela (m^2).

A vazão foi determinada, em cada coleta, para estimar a perda de solo, de acordo com a Eq. 4:

$$Q_i = \frac{V_c}{D_c} \quad (4)$$

em que: Q_i = vazão (L s^{-1}); V_c = volume coletado (L) e D_c = duração da coleta (s)

A velocidade do escoamento superficial, em m s^{-1} , foi estimada medindo-se o tempo percorrido pelo corante azul de metileno, aplicado a partir do início da parcela, até a saída do mesmo na calha. Este procedimento foi realizado durante intervalos regulares de 5 min, simultaneamente à realização da coleta do material escoado na calha, a partir da formação e do escoamento da lâmina.

Os valores da velocidade superficial foram multiplicados por um fator de correção ($\alpha = 2/3$), conforme Farenhorst & Bryan (1995) e Katz et al. (1995).

A altura da lâmina do escoamento (h) foi determinada como (Eq. 5):

$$h = \frac{q}{V} \quad (5)$$

em que: h = altura da lâmina de escoamento (m); q = descarga líquida total por unidade de largura em ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) e V = velocidade média do escoamento (m s^{-1}).

A descarga líquida (q) foi determinada pela relação entre a vazão (Q_i), em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e a largura da parcela (m). A viscosidade cinemática da água foi obtida pela utilização da Eq. 6, segundo Julien (1995), sendo a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) aferida por meio de um termômetro colocado em um dos pluviômetros, em cada teste.

$$v = (1,14 - 0,031(T - 15) + 0,00068(T - 15)^2) \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

em que: v = viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); T = temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$).

A classificação do regime do escoamento gerado, a partir da chuva simulada, foi obtida a partir do número de Reynolds (Re) e do número de Froude (Fr), segundo Simons & Senturk (1992). O número de Reynolds foi obtido pela expressão (Eq. 7):

$$Re = \frac{V * h}{\nu} \quad (7)$$

onde: Re = número de Reynolds, adimensional; ν = viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

Para o número de Froude (Fr), Eq. 8:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (8)$$

em que: Fr = número de Froude, adimensional; g = aceleração da gravidade (m s^{-2}).

A relevância do número de Reynolds é de permitir a avaliação do tipo de escoamento (a estabilidade do fluxo) e pode indicar se a água flui de forma laminar (entressulcos) ou turbulenta (sulcos). O número de Froude tem sido relacionado com a formação de sulcos. Segundo Braida & Cassol (1999), a rugosidade pode ser determinada pelo coeficiente de Manning (n), de acordo com a Eq. 9:

$$n = \frac{h^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{q} \quad (9)$$

onde: n = coeficiente de rugosidade de Manning ($\text{s m}^{-1/3}$); S = declive da parcela (m m^{-1}).

A taxa de infiltração foi obtida pela diferença entre a intensidade de precipitação e a taxa de escoamento superficial resultante (Brandão et al., 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tempo de início do escoamento superficial foi distinto para os tratamentos com a presença de cobertura, em relação ao descoberto, sendo mais baixo no teste com solo descoberto, que teve início a 8,90 min (Tabela 3). Para os tratamentos com cobertura morta não houve diferença significativa de acordo com o teste de Tukey. Bertol et al. (2008) estudaram durante os cultivos de milho e feijão, seis tratamentos: preparo convencional (PC); semeadura direta em resíduo queimado (SQ); semeadura direta em resíduo dessecado (SD); e semeadura direta tradicional em resíduo dessecado (ST), cultivados, além de um preparo convencional sem cultivo do solo (SC – testemunha) e de um campo nativo (CN), em um Nitossolo Háplico no Planalto Sul Catarinense. Os autores verificaram que os tempos de início da enxurrada, são influenciados pelo manejo e cultivo do solo.

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros observados na aplicação da chuva simulada nos diferentes tratamentos.

| Tratamentos | Início do escoamento (min) | Escoamento Acumulado (mm) | Umidade final (cm ³ .cm ⁻³) |
|-------------|----------------------------|---------------------------|--|
| SD | 8,907 b | 107,45 a | 0,18257 b |
| CM 1 | 47,603 a | 29,90 b | 0,26332 a |
| CM 2 | 51,150 a | 17,95 b | 0,26306 a |

SD (solo descoberto); CM 1 (cobertura morta de 6 Mg ha⁻¹); CM 2 (cobertura morta de 12 Mg ha⁻¹). Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey

O solo descoberto foi o que apresentou uma menor infiltração e conseqüentemente um maior escoamento superficial em relação aos demais tratamentos, como pode ser observado na Tabela 3. Martins Filho et al. (2009) verificaram que as taxas de infiltração de água no solo são maiores nas áreas com 50% e 100% de cobertura, com palha de cana de açúcar e, nessa ordem, a erosão é reduzida em até 68% e 89% em relação ao solo descoberto, em um Argissolo Vermelho Amarelo, com declividade de 0,052 m m⁻¹.

A umidade final do solo apresentou diferença significativa entre o tratamento com solo descoberto em relação aos com cobertura morta, que apresentaram valores superiores, por causa da presença do resíduo na superfície do solo que ocasiona um

aumento da infiltração da água no solo e um menor escoamento superficial, com uma maior permanência da água no perfil do solo.

Na Tabela 4 encontram-se as características hidráulicas médias dos escoamentos superficiais. O maior valor de velocidade de escoamento superficial ocorreu na condição sem cobertura e verifica-se que foi significativamente influenciada pela ausência da cobertura morta utilizada, a qual demonstrou-se eficiente para controlar a erosão, ao proporcionar um maior efeito de proteção do solo.

Tabela 4. Número de Reynolds – Re (adimensional), número de Froude Fr (adimensional), altura da lâmina de escoamento – h (m), velocidade média do escoamento – v_m ($m\ s^{-1}$), viscosidade cinemática - ν , rugosidade – n para os diferentes tratamentos.

| Tratamentos | Re | Fr | h (m) | V_m (m/s) | ν | n |
|-------------|----------|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| SD | 29,587 a | 0,604 a | $5,913 \cdot 10^{-04}$ a | $4,512 \cdot 10^{-02}$ a | $8,869 \cdot 10^{-07}$ a | $5,193 \cdot 10^{-02}$ b |
| CM 1 | 17,718 a | 0,186 b | $9,000 \cdot 10^{-04}$ a | $1,692 \cdot 10^{-02}$ b | $8,896 \cdot 10^{-07}$ a | $1,776 \cdot 10^{-01}$ ab |
| CM 2 | 14,061 a | 0,202 b | $8,132 \cdot 10^{-04}$ a | $1,539 \cdot 10^{-02}$ b | $8,898 \cdot 10^{-07}$ a | $1,927 \cdot 10^{-01}$ a |

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey

Por consequência da interação da altura da lâmina de escoamento juntamente com os efeitos da viscosidade cinemática da água, a média dos valores de Reynolds para todas as condições de cobertura na superfície não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Em relação ao número de Froude, os valores apresentaram diferença significativa entre a ausência ou presença da cobertura, com 0,60; 0,18 e 0,20, para solo descoberto, solo com 6 Mg ha⁻¹ e 12 Mg ha⁻¹ respectivamente. A relação existente entre os valores de Reynolds (< 500) e de Froude (< 1), obtidos nas condições de escoamento gerados em todos os tratamentos, indicam ter ocorrido uma erosão entressulcos e que caracterizam regime de escoamento como laminar lento, corroborando com os resultados encontrados por Oliveira et al. (2012) e Cantalice et al. (2009). Resultado semelhante foi encontrado, também, por Santos (2006) estudando diferentes técnicas de conservação de água e solo no semiárido pernambucano.

Na Tabela 5, observa-se que houve diferença significativa para as variáveis, perda de solo e concentração de sedimento, na qual as maiores perdas foram registradas para o tratamento com ausência de cobertura morta, com 2,52 kg m⁻², em relação aos demais tratamentos de 6 Mg ha⁻¹ e 12 Mg ha⁻¹, que apresentaram valores de 0,04 kg m⁻² e 0,03 kg m⁻², respectivamente. Essa redução na perda de solo causada pela presença da

cobertura morta no controle da erosão hídrica está relacionado à sua capacidade de amenizar o impacto da energia cinética das gotas de chuva sobre a superfície do solo, e está de acordo com os dados obtidos por Panachuki et al. (2011), Gobbi et al. (2011) e Souza et al. (2008). Além disso, diminuem a área exposta e, evitam o desprendimento das partículas, mostrando assim a eficiência da presença da cobertura.

Tabela 5. Perda de solo e concentração de sedimentos em um Argissolo Amarelo Distrófico na Zona da Mata Norte de Pernambuco.

| Tratamentos | Ps (kg.m ⁻²) | Cs (kg.L ⁻¹) |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| SD | 2,52 a | 2,22. 10 ⁻⁰² a |
| CM 1 | 0,04 b | 7,64 10 ⁻⁰⁴ b |
| CM 2 | 0,03 b | 4,63 10 ⁻⁰⁴ b |

Ps (Perda de solo) e Cs (Concentração de sedimento). Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey

Conforme a Figura 4, os valores de concentração de sedimentos são inicialmente elevados, decrescendo em seguida e oscilando até o final do experimento. Observa-se que existe um atraso na produção de sedimentos e, também, que as concentrações dos tratamentos com cobertura morta são significativamente inferiores em relação ao SD, mostrando a eficiência da cobertura. No tratamento CM 2, quando comparado com o CM 1, nota-se um atraso na produção de sedimentos na ordem de 3,5 min. Para o tratamento com SD as concentrações aumentam gradualmente ao longo do tempo, enquanto que nos demais tratamentos verifica-se uma instabilidade.

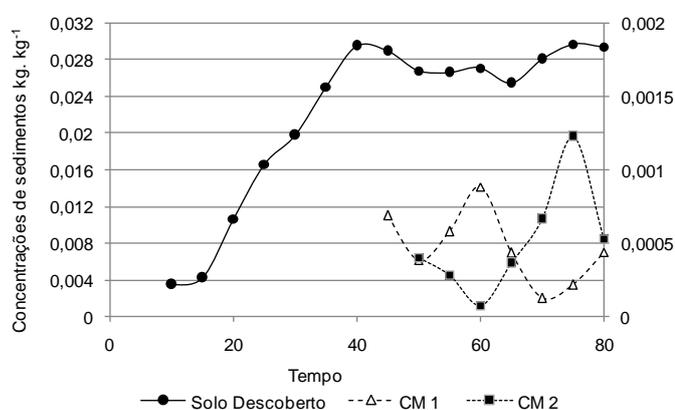


Figura 4. Evolução no tempo das concentrações de sedimentos

Na Figura 5 é apresentado o comportamento da chuva e escoamento acumulado nos diferentes tratamentos estudados. No solo descoberto a lâmina de água só infiltrou nos primeiros 10 cm do perfil do solo, com uma média das repetições da água infiltrada de 6,27 mm. Já nos tratamentos com 6 Mg ha⁻¹ e 12 Mg ha⁻¹ de cobertura morta obteve-se uma média de 58,17 mm e 58,98 mm do valor da água infiltrada no solo. Observa-se que houve uma maior infiltração nos tratamentos que apresentavam a cobertura morta, enquanto que o tratamento com solo descoberto houve um maior volume de enxurrada em relação aos demais e, conseqüentemente, uma maior perda de solo e água.

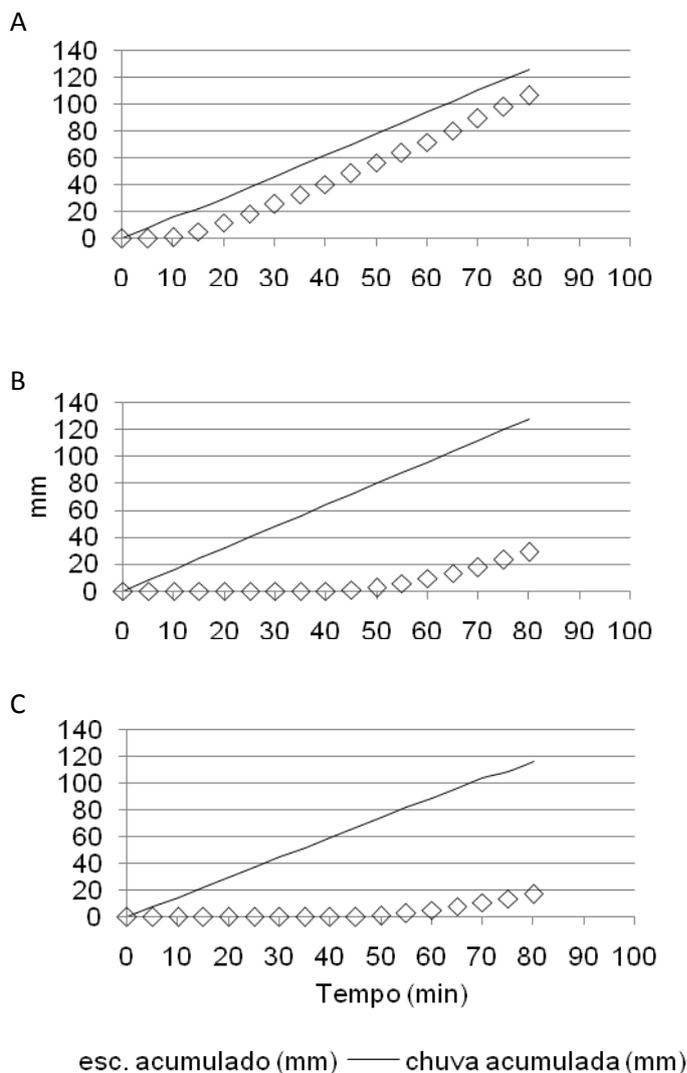


Figura 5. Escoamento superficial médio e chuva acumulada apresentados nos testes com solo descoberto (A), cobertura morta de 6 Mg ha⁻¹(B) e 12 Mg ha⁻¹ (C).

A rugosidade superficial, diminui a enxurrada e contribui para a retenção e infiltração de água no solo. Verifica-se que devido a uma menor rugosidade da superfície e a ocorrência do encrostamento da superfície do solo promovidos pelo impacto direto das gotas de chuva favoreceram um aumento do escoamento superficial no tratamento com solo descoberto, resultado semelhante foi encontrado por Panachuki (2011).

Spoehr et al. (2007) concluíram que as perdas de água por escoamento superficial diminuem à medida que se aumenta o tempo para o início desse escoamento; além disso, que os solos desprotegidos possuem uma reduzida infiltração de água devido a formação do encrostamento superficial. Conforme Oliveira et al. (2012), os valores crescentes do escoamento representam a fase em que o solo ainda não se encontra completamente saturado ou, então, quando ainda não houve a formação da crosta superficial.

Verifica-se na Figura 6 o comportamento da média móvel e do desvio padrão das taxas de desagregação do solo, para três diferentes densidades de cobertura morta, representadas em função do tempo total do teste (80 min), que variou de $4,94.10^{-04} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$, $2,58.10^{-06} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ e a $1,72.10^{-06} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ para parcela com solo descoberto, solo com 6 Mg ha^{-1} e 12 Mg ha^{-1} , respectivamente. A desagregação do solo ocorreu inicialmente no tratamento SD, pois, de acordo com Bertol et al. (2010), os resíduos culturais na superfície do solo, além de atuarem na redução da energia cinética das gotas de chuva, reduzem a desagregação do solo. Observa-se que, com o incremento das doses de cobertura na superfície do solo, ocorre um decréscimo nas taxas de desagregação do solo, mostrando que a presença do resíduo vegetal na superfície do solo é de suma importância na redução das perdas de solo, diferindo do tratamento com solo descoberto, no qual ocorreu uma maior desagregação, corroborando com Santos et al. (2007).

A cobertura intercepta as gotas de chuva e dissipa a sua energia. Do mesmo modo, Bezerra & Cantalice (2009) destacam que diferentes formas de cobertura de solo proporcionadas pela cana-de-açúcar também possibilitam o controle das perdas de água e das taxas de desagregação do solo. Para Cantalice & Cassol (2002), à medida que essa taxa de desagregação do solo fica menor, a obstrução dos poros na superfície do solo, causados pelo selamento superficial diminui, e modifica o comportamento hidráulico do escoamento presente na erosão entressulcos, pela redução da velocidade, pelo aumento da altura e da resistência ao escoamento.

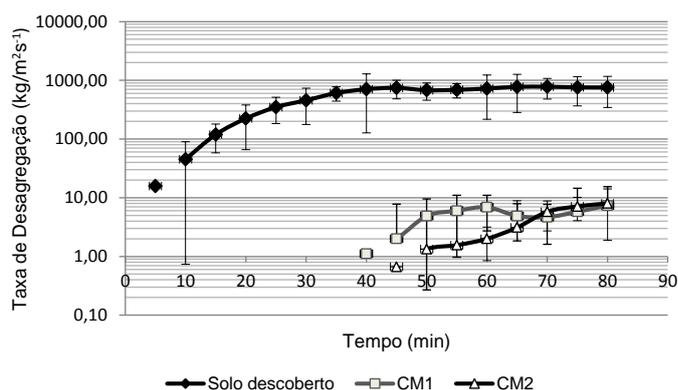


Figura 6. Variação da Taxa de desagregação de solo de diferentes densidades de cobertura morta na superfície do solo em função do tempo total do teste de aplicação da chuva simulada em Argissolo Amarelo Distrófico.

Santos et al. (2009) constataram redução de 45,28; 55,47; 65,28; 96,22 e de 97,35 % nas taxas de desagregação em Neossolo Flúvico em parcelas com cultivo de feijão morro abaixo, cultivo em nível com barramento de pedra no espaçamento 1,0 m entre cada fileira, cultivo em nível com barramento de pedra entre cada fileira, cultivo em nível com cobertura morta e cobertura natural, respectivamente. Já Ramos et al. (2011) verificaram que a natureza da cobertura vegetal sobre o solo influencia diretamente nas flutuações dessas partículas desagregadas e salpicadas, ao estudar diferentes sistemas de manejo sob condição pantaneira, em função da precipitação, em um Neossolo Quartzarênico. Observaram que, em relação ao solo descoberto, uma porcentagem de salpicamento de 17,26% para a pastagem, 26,34% na cana-de-açúcar e 20,04% na mata nativa. Estes autores concluíram que a natureza da cobertura vegetal (espécie e dossel) sobre o solo é capaz de diminuir diretamente as quantidades de partículas desagregadas e salpicadas (interceptação-amortização).

Schafer et al. (2001) constataram que a maior perda de solo está relacionada com uma maior desagregação das partículas e dispersão do solo e ao conseqüente selamento superficial pelo impacto direto das gotas da chuva sobre o solo sem cobertura morta e, ao estudarem a erosão em entressulcos nas parcelas experimentais com diferentes métodos de preparo do solo com chuva simulada, com intensidade constante de 65 mm h⁻¹, determinaram valores de taxa de desagregação do solo de 2,1.10⁻⁴ kg m² s⁻¹ para o tratamento convencional recente, de 1,8.10⁻⁴ kg m² s⁻¹ para o tratamento convencional consolidado de 5,1.10⁻⁵ kg m² s⁻¹ para plantio direto sem palha, 7,0.10⁻⁰⁶ kg m² s⁻¹ para plantio direto com palha.

Segundo Oliveira et al. (2010), a capacidade de infiltração tende a ser menor, em solos mais úmidos, e a taxa de desagregação do solo, provocado pelo impacto das gotas da chuva, também é favorecida, causando o selamento superficial e o escoamento superficial.

CONCLUSÕES

1. As perdas de solo e água foram reduzidas devido ao uso da cobertura morta, a qual proporcionou maior eficiência no controle da erosão hídrica.
2. A ausência da cobertura sob o solo influencia fortemente no tempo de início do escoamento superficial.
3. A concentração de sedimentos na enxurrada foi significativamente maior no tratamento com solo descoberto, contribuindo para uma elevada perda de solo em relação aos tratamentos que tiveram a presença da cobertura morta.
4. A utilização de densidades de cobertura de 12 Mg ha⁻¹ não reduziu significativamente as perdas de solo e as lâminas de escoamento em relação à densidade de 6 Mg ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

ALVES, A.J.O. (1994). Caracterização e potencialidade dos solos da Estação Experimental de cana-de-açúcar de Carpina. 154p. Dissertação Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife 1994.

BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E.V.; PÁZ GONZÁLEZ, A.; COGO, N.P.; LUCIANO, R.V.; FABIAN, E.L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 1, p. 245-252, 2010.

BERTOL, I.; GOBBI, E.; BARBOSA, F.T.; PAZ-FERREIRO, J.; GEBLER, L.; RAMOS, J.C.; WERNER, R.S. Erosão hídrica em campo nativo sob diversos manejos: perdas de água e solo e de fósforo, potássio e amônio na água de enxurrada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 4, p. 1421-1430, 2011.

BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; FABIAN, E.L.; PEGORARO, R.; ZAVASCHI, E.; GONZÁLEZ, A.P.; VÁZQUEZ, E.V. Escoamento superficial em diferentes sistemas de

manejoem um NitossoloHáplico típico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 243–250, 2008.

BEZERRA, S.A.; CANTALICE, J.R.B. Influência da cobertura do solo nas perdas de água e desagregação do solo em entressulcos. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 18-28, 2009.

BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 3, p. 711-721, 1999.

BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D.; RUIZ, H.A.; PRUSKI, F.F.; SCHAEFER, C.E.G. R.; MARTINEZ, M.A.; MENEZES, S.J.M.C. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 13-22. 2006.

CANTALICE, J.R.B.; CASSOL, E.A. Hidráulica do escoamento e desagregação do solo na erosão em entressulcos na presença de resíduos vegetais. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, 14, 2002, Cuiabá. Anais... Cuiabá: Ed. Universitária da UFMT, 2002. p.9.

CANTALICE, J.R.B.; BEZERRA, S.A.; OLIVEIRA, O.F.L.; MELO, R.O. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 2, p. 68-74, 2009.

CASSOL, E. A.; LIMA, V.S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água de enxurrada. 1ª aproximação. In: *Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo*, 1978, Passo fundo. Anais... Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p. 75-98.

FARENHORST, A.; BRYAN, R.B. Particle size distribution of sediment transported by shallow flow. *Catena*, v. 25, p. 47-62, 1995.

GOBBI, E.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; WERNER, R.S.; RAMOS, R.R.; PAZ-FERREIRO, J.; GEBLER, L. Erosão hídrica associada a algumas variáveis hidrológicas em pomar de maçã submetido a diferentes manejos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1013-1024, 2011.

JULIEN, P.Y. *Erosion and Sedimentation*. Melbourne, Cambridge University Press. 1995. 280p.

JORDÁN, A.; ZAVALA, L.M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, v. 81, p. 77–85, 2010.

KATZ, D.M.; WATTS, F.J.; BURROUGHS, E.R. Effects of surface roughness and rainfall impact on overland flow. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, v. 121, n. 1, p. 546-553, 1995.

MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

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

OLIVEIRA, F.P.; BUARQUE, D.C.; VIERO, A.C.; MERTEN, G.H.; CASSOL, E.A.; MINELLA, J.P.G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 337-346, 2012.

OLIVEIRA, E.C.A.; JOSÉ FREIRE, F.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.S.; SIMÕES NETO, D.E.; SILVA, S.A.M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 5, p. 1777-1785, 2011.

RAMOS, F.T.; RAMOS, D.T.; CREMON, C.; ROQUE, M.W. Erosão por salpicamento sob diferentes sistemas de manejo em um Neossolo Quartzarênico em Cáceres (MT). *Global ScienceTechnology.*, v. 4, n. 1, p. 38–50, 2011.

SANTOS, L.L. Quantificação do escoamento superficial e erosão do solo em regiões semi-áridas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 2, p. 14-25, 2009.

SANTOS, T.E.M. (2006). Avaliação de técnicas de conservação de água e solo em bacia experimental do semiárido pernambucano. *Dissertação Mestrado*. 60p Universidade Federal Rural de Pernambuco - Recife, 2006.

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

SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; SRINIVASAN, V.S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no Semi-árido da Paraíba. *Revista Okara - Geografia em debate*, v. 1, n. 1, p. 16-32, 2007.

SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. O meio ambiente e o plantio direto. Editora Goiânia: APDC, 1997. 18 p.

SCHÄFER, M.J.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 431-441, 2001.

SILVA, J.V.; ALECRIM, M.A.B.; SILVA, D.O.; COSTA, C.C.; OLIVEIRA, R.J. Perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta equiânea em um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 4, p. 579-584, 2010.

SIMONS, D.B.; SENTURK, F. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. In: *Water resources publications*. 2. ed. Colorado, 1992. 897p.

SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Variabilidade espacial da umidade do solo em Neossolo Flúvico. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 2, p. 177-187, 2008.

SPOHR, R.B.; CARLESSO, R.; ELTZ, F.L.F.; BROETTO, T.; FLORES, C.H.; KNIES, A.E. Escoamento superficial e infiltração de água no solo sob chuva simulada no Rio Grande do Sul. In: *XXXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo*, 2007, Gramado. *Anais...* Rio Grande do Sul, 2007.

CONCLUSÕES GERAIS

1. A produtividade do milho foi influenciada significativamente pela presença da cobertura morta, associada ao emprego de barramentos em pedra, pois proporcionou uma maior manutenção nos teores de umidade.
2. A condição de superfície determinou expressivamente a variação da umidade do solo, tanto no período seco como no chuvoso.
3. A utilização das práticas conservacionistas proporciona um maior controle do processo erosivo (menor perda de solo e água).
4. Práticas simples como a utilização de cobertura morta promovem a redução de erosão e um melhor aproveitamento das águas da chuva, podendo ser um recurso eficiente a ser utilizado por agricultores.
5. O tratamento com cobertura morta contribuiu significativamente para a elevação da umidade do solo, tanto no experimento realizado em campo, como em laboratório.
6. A presença do barramento em pedras com cobertura morta, bem como a palma como barreira vegetal, aumenta a rugosidade superficial do solo, e controlam os efeitos negativos oriundos da erosão hídrica.
7. A agricultura em sequeiro pode ser favorecida com a utilização das práticas conservacionistas, uma vez que controlam o processo erosivo e proporcionam maior desenvolvimento das plantas.
8. A cobertura morta ameniza significativamente o processo erosivo, retarda o tempo para início do escoamento superficial, e também influencia expressivamente a infiltração da água no solo.

9. O manejo da cultura do milho, utilizando as práticas conservacionistas (BCM e P), promoveu as melhores respostas das características agronômicas avaliadas.

10. Concluiu-se que a utilização da cobertura morta associada ao barramento em pedras, é uma prática recomendada para região semiárida, uma vez que, proporcionou uma maior efetividade da água, como também, um melhor desempenho do milho.