

**Perdas de Água e Solo em Sistemas de
Captação de Água de Chuva in Situ**



ISSN 1808-9968

Julho, 2012

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Semiárido
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 95

Perdas de Água e Solo em Sistemas de Captação de Água de Chuva in Situ

*Luiza Teixeira de Lima Brito
Nilton de Brito Cavalcanti
José Barbosa dos Anjos
Lúcio Alberto Pereira*

Embrapa Semiárido
Petrolina, PE
2012

Esta publicação está disponibilizada no endereço: www.cpatosa.embrapa.br

Embrapa Semiárido

BR 428, km 152, Zona Rural
Caixa Postal 23 CEP 56302-970 Petrolina, PE
Fone: (87) 3866-3600 Fax: (87) 3866-3815
sac@cpatsa.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Maria Auxiliadora Coêlho de Lima
Secretário-Executivo: Anderson Ramos de Oliveira

Membros: Ana Valéria Vieira de Souza

Andréa Amaral Alves
Gislene Feitosa Brito Gama
José Maria Pinto
Juliana Martins Ribeiro
Magna Soelma Bezerra de Moura
Mizael Félix da Silva Neto
Patrícia Coelho de Souza Leão
Sidinei Anunciação Silva
Vanderlise Giongo
Welson Lima Simões

Supervisão editorial: Sidinei Anunciação Silva
Revisão de texto: Sidinei Anunciação Silva
Normalização bibliográfica: Helena Moreira de Queiroga
Tratamento de ilustrações: Nivaldo Torres dos Santos
Editoração eletrônica: Nivaldo Torres dos Santos
Foto(s) da capa: Marcelino Lourenço Ribeiro Neto

1ª edição (2012): formato digital

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

É permitida a reprodução parcial do conteúdo desta publicação desde que citada a fonte.

**CIP. Brasil. Catalogação na Publicação
Embrapa Semiárido**

Perdas de água e solo em sistemas de captação de água de chuva in situ / Luiza Teixeira de Lima Brito... [et al.] – Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012.

35 p. (Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 95).

1. Água de chuva. 2. Captação. 3. Manejo do solo. 4. Guimarães Duque. I. Título. II. Série.

CDD 333.911

© Embrapa 2012

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	13
Resultados e Discussão	16
Conclusões	32
Referências	33

Perdas de Água e Solo em Sistemas de Captação de Água de Chuva in Situ

Luiza Teixeira de Lima Brito¹; Nilton de Brito Cavalcanti²; José Barbosa dos Anjos³; Lúcio Alberto Pereira⁴

Resumo

A agricultura de subsistência praticada no Semiárido brasileiro apresenta riscos de perda de produção das culturas anuais por causa da irregularidade das chuvas. Associado aos riscos, o manejo não adequado destas áreas pode promover perdas de solo e água. Com isso, é imperativo que seja associado à agricultura de subsistência, práticas que propiciem maior infiltração e, conseqüentemente, menor erosão, o que pode ser obtido por meio de técnicas de captação de água de chuva. Este estudo objetivou avaliar as perdas de água e de solo em áreas cultivadas com milho (*Zea mays* L.) e com feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), submetidas aos diferentes sistemas de preparo do solo, correspondendo aos métodos de captação de água de chuva in situ. Os tratamentos utilizados foram Guimarões Duque (T1); aração profunda (T2); aração parcial (T3) e sulcos barrados (T4), comparados com o sistema tradicional de plantio no plano (T5). Após

¹Engenheira-agrícola, D.Sc. em Recursos Hídricos, pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, luizatlb@cpatsa.embrapa.br.

²Administrador de Empresas, M.Sc. em Extensão Rural, assistente da Embrapa Semiárido, nbrito@cpatsa.embrapa.br.

³Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Manejo e Conservação do Solo, pesquisador da Embrapa Semiárido, jbanjos@cpatsa.embrapa.br.

⁴Ecólogo, D.Sc. em Manejo de Ecossistemas, pesquisador da Embrapa Semiárido, lucio.ap@cpatsa.embrapa.br.

cada evento de chuva, a água e o solo escoados foram coletados e medidos. A umidade do solo foi monitorada durante os ciclos de produção das culturas em diferentes profundidades e avaliadas as produções de grãos por meio da análise de variância. No contexto das práticas conservacionistas de solo, pode-se afirmar que, entre os sistemas de captação in situ avaliados, o sulco barrado foi o que proporcionou menores volumes de água e de solos escoados superficialmente, na área explorada com as culturas de milho e feijão-caupi. Em alguns anos, a produção de grãos foi superior a dos demais sistemas de preparo do solo; em outros, a aração profunda apresentou maiores valores de produções de grãos. Estes resultados estão diretamente relacionados tanto à quantidade da precipitação ocorrida, quanto à sua distribuição no tempo.

Palavras-chave: erosão, chuva, Semiárido, *Zea mays* L., *Vigna unguiculata* L. Walp.

Water and Soil Losses in Situ Catchment Rainwater Systems

Luiza Teixeira de Lima Brito; Nilton de Brito Cavalcanti; José Barbosa dos Anjos; Lúcio Alberto Pereira

Abstract

The subsistence farming is practiced Brazilian semi-arid show risks of loss due to irregularity of rainfall, requiring the use of practices which produce higher water infiltration and, as a consequence, lower soil erosion, which can be obtained through rainwater harvest techniques. This study had the objective of evaluating water and soil losses in a corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) area subjected to different soil preparation systems: Guimarães Duque (T1), deep plowing (T2), partial plowing (T3), and furrows with barriers (T4), compared to the traditional system (T5), i.e., plain planting. After each rainfall, the drained water and soil were collected and measured. The soil moisture at different depths was monitored during the crop cycle and grain yield was evaluated through analysis of variance. In the context of soil conservation practices, it can be stated that among the in situ harvesting systems evaluated, furrows with barriers promoted the smaller volumes of water and drained soil surface, the area of land with crops of maize and cowpea. Besides that in some years, grain production was higher than the other tillage systems, in others the deep plowing had higher grain yields. These results are directly related to both the amount of rainfall that occurred on their time distribution.

Keywords: erosion, rain, Semiarid, *Zea mays* L., *Vigna unguiculata* L. Walp.

Introdução

Os sistemas de exploração agrícola praticados no Semiárido brasileiro são fortemente influenciados por fatores de ordem natural, estrutural e socioeconômica. A interação simultânea desses fatores torna a agricultura dependente de chuva uma atividade de risco, com consequências graves para a subsistência das famílias residentes neste espaço rural.

As características edafoclimáticas e hidrológicas dessa região são semelhantes às de outros semiáridos do mundo, apresentando de forma constante, longos períodos de secas, intercalados com veranicos ou cheias nos rios temporários. A precipitação média nessa área brasileira é limitada pela isoietas de 800 mm anuais (BRASIL, 2005), distribuídos durante 3 a 5 meses, com elevadas taxas evapotranspirométricas, em média $2.000 \text{ mm.ano}^{-1}$, proporcionando déficit de umidade no solo durante a maioria dos meses. Porto et al. (1983), enfatizam que no Semiárido brasileiro a cada 10 anos, apenas 3 são considerados normais quanto à distribuição das chuvas, o que possibilita a obtenção de melhores produtividades das lavouras tradicionais.

Os solos, geralmente são de origem cristalina, silicosos, pedregosos normalmente rasos e planos, com baixas fertilidade, teor de matéria orgânica e capacidade de retenção de água. Estas características, associadas à alta intensidade das precipitações pluviométricas, têm causado perdas de água por escoamento e grande erosão hídrica (ANJOS et al., 2000). Neste contexto, estudos realizados por Rebouças e Marinho (1972) indicaram que a precipitação pluviométrica anual é, em média, de 700 bilhões de m^3 , dos quais, 642,6 bilhões de m^3 (92%) são consumidos pela evapotranspiração e 36 bilhões (5,1%), se perdem por escoamento superficial para os rios, e destes para o mar. O restante é o volume de água efetivamente disponível para os diferentes usos, ou seja, para consumo humano, animal, vegetal, manutenção ambiental, desenvolvimento econômico, entre outros.

A erosão constitui-se em um dos principais fatores de degradação dos solos, causada principalmente pela exploração intensiva, associada às inadequadas práticas de manejo e de conservação utilizadas na atividade agrícola. A desagregação e o transporte das partículas de solo estão diretamente relacionados à intensidade e à duração da chuva, à resistência do material de origem e à declividade da superfície do solo. O grau com que o solo resiste às forças de impacto da chuva e ao

escoamento das águas é fator determinante na estimativa das perdas de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

Neste sentido, a Embrapa Semiárido, desde sua criação, em meados da década de 1970, vem empreendendo esforços na valorização da água de chuva, desenvolvendo e/ou adaptando tecnologias para aumentar a disponibilidade de água no ambiente rural visando reduzir os riscos da exploração agropecuária. Entre estas tecnologias podem-se citar as técnicas de preparo do solo, a exemplo da captação in situ, como uma das mais recomendáveis, uma vez que, pode favorecer no aumento do processo de infiltração de água e, conseqüentemente, na disponibilidade de água para as plantas, conservando o solo e os fertilizantes no próprio local de plantio. A captação de água de chuva pode ser incrementada a partir de métodos de preparo do solo para a semeadura de culturas como milho (*Zea mays* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e mandioca (*Mainhot esculenta* Crantz). Entre os métodos mais utilizados, podem-se citar sulcamento pré e pós-plantio, sulcos barrados, camalhões inclinados ou sistema W, aração parcial, aração total e Guimarães Duque (ANJOS et al., 2000; SILVA; PORTO, 1982).

Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que, por ser um fenômeno de superfície, a infiltração é diretamente influenciada pelo preparo do solo, o qual exerce um efeito temporário ao deixar o solo solto, aumentando a infiltração. Entretanto, se a superfície não estiver protegida com vegetação ou cobertura morta, a atuação da chuva e do vento na superfície do solo reduz a taxa de infiltração. A aração profunda é também um fator favorável ao aumento da infiltração, enquanto práticas que exercem compressão no solo podem diminuí-la. As chuvas de elevada intensidade, ocorridas em situações em que o solo não está protegido pela cobertura vegetal ou pela cobertura morta, promovem compressão pelo impacto das gotas de chuva, e a infiltração torna-se reduzida, evidenciando dessa maneira a importante função desempenhada pela cobertura vegetal no favorecimento à elevação da taxa de infiltração de água no solo. A quantidade de solo desagregado e transportado pelo escoamento superficial e o tamanho dos sedimentos que podem ser removidos, aumentam à medida que o declive se torna mais íngreme e prolongado.

Segundo Anjos et al. (2000), no Semiárido brasileiro prevalece o método tradicional de cultivo mínimo, que utiliza a enxada manual com a semeadura em covas, que dá origem a uma pequena depressão, capaz de armazenar água da chuva na própria cova. Esse sistema

é aparentemente pouco agressivo ao ambiente, mas se o solo não for preparado (arado) anteriormente, a sua superfície se apresenta ligeiramente compactada, dificultando a infiltração da água e facilitando o escoamento superficial, que contribui para o processo erosivo.

Silva et al. (1989), em estudo realizado no Campo Experimental da Embrapa Semiárido, avaliaram a produtividade do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* Walp L.) sob três métodos de captação de água de chuva in situ (Guimarães Duque, CP-México, e Sulcos e Camalhões), comparando-os com o sistema tradicional de preparo do solo. Nesse estudo, observaram interação do clima na produtividade obtida a 5% de probabilidade. Observaram, também, que nos anos de precipitações pluviométricas irregulares, a captação in situ proporcionou incrementos na produtividade do feijão-caupi em até 50%, em média. Mas em anos de regularidade das precipitações, o incremento na produtividade foi de 16,9%.

Nestas mesmas condições edafoclimáticas, Porto et al. (1989) avaliaram o efeito de quatro populações de plantas de feijão-caupi, que corresponderam a 10.000 ha⁻¹, 25.000 ha⁻¹, 40.000 ha⁻¹ e 55.000 ha⁻¹, sob o método Guimarães Duque, por 3 anos consecutivos (1983, 1984 e 1985). Em todos os anos, foi observado que a maior produtividade para o caupi foi obtida com a maior densidade, com um incremento de 111% na produtividade em relação à menor densidade de plantas.

Paralelamente a estes estudos, Monteiro et al. (1989) avaliaram cinco populações de plantas com a cultura do milho, variando de 15 mil a 75 mil plantas ha⁻¹, que diferentemente do feijão-caupi, as maiores produtividades foram obtidas com as menores densidades de plantio, verificando-se o efeito na interação ano x densidade. Nos 3 anos do estudo, a variação na distribuição das chuvas nas diferentes fases fenológicas das culturas influenciou de modo significativo nos rendimentos obtidos, principalmente, quando se tratou da cultura do milho, observando-se efeito altamente significativo da variável "ano" na interação ano versus densidade de plantas. A necessidade de água para a cultura do milho durante seu ciclo de produção, sem considerar outros fatores, é, em média, de 800 mm, bem distribuídos, principalmente durante as fases de floração e de formação de grãos; enquanto a do feijão-caupi fica em torno de 400 mm (DOORENBOS; KASSAN (1979).

Para se estabelecer um sistema de captação in situ, deve-se dispor de informações sobre diferentes fatores relacionados com tamanho da área a ser cultivada, tipo do solo, topografia, quantidade e distribuição das chuvas, tipo de culturas (anuais e perenes), disponibilidade de equipamentos e mão-de-obra. As precipitações pluviométricas apresentam-se com alta intensidade que, por um lado, podem causar perdas de água por escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão hídrica; por outro, a irregularidade das chuvas causa déficit hídrico para as culturas e pode levar à perda total ou parcial da produtividade.

Um dos fatores que mais contribui para a ocorrência da erosão hídrica é a intensidade da precipitação pluviométrica (IP), maior que a capacidade de infiltração de água no solo (CIS). Já a capacidade de infiltração de água no solo está relacionada com as características do solo, vegetação, topografia, umidade antecedente, entre outros. Segundo Lopes e Brito (1993), o período crítico em relação à erosividade das chuvas é de fevereiro a abril, quando ocorrem, em média, 64,76% do total anual do índice de erosividade (EI30).

Época de semeadura – No Semiárido brasileiro, o sucesso da agricultura dependente de chuva depende, também, de vários fatores, principalmente da quantidade e distribuição das chuvas. Assim, a época de realização da semeadura tem fundamental importância. Segundo Porto et al. (1983), a partir de estudos realizados utilizando-se uma base de dados de anos de chuvas para o Município de Petrolina, PE, o período ideal para a semeadura da cultura do feijão-caupi é entre 2 e 6 de março, o qual pode garantir até 70% de chances de colheita e, para o milho, é de 17 de janeiro a 9 de fevereiro, coincidindo com a época de maior concentração e distribuição das chuvas. Os agricultores normalmente efetuam o plantio após a ocorrência de precipitação pluviométrica igual ou superior a 30 mm.

A associação destes fatores com o uso da captação de água de chuva in situ pode reduzir significativamente esses riscos. A utilização desses sistemas de preparo do solo é limitada para áreas com presença de tocos, solos pedregosos e declividade da área superior a 5%. Entre os métodos de captação in situ podem-se citar:

a) Aração e plantio no plano — A aração do solo e plantio no plano constitui uma das técnicas extensivamente praticadas no Semiárido brasileiro. A formação de pequenas depressões resultantes do processo

da aração reduz o escoamento da água de chuva, aumentando, assim, seu armazenamento no perfil do solo. Para implantar este sistema, utiliza-se tração mecânica ou animal. Na utilização da tração animal (equídeo ou bovino), o equipamento mais simples e utilizado é o arado de aiveca, que proporciona uma largura de corte de 8 polegadas (0,20 m) (ANJOS et al., 2007).

b) Sulcamento pré-plantio ou aração profunda — Este método consiste de uma aração e abertura dos sulcos distanciados de 0,75 m. Para abertura dos sulcos, utiliza-se o equipamento porta-implementos e após a confecção dos três primeiros sulcos, retorna-se a utilizar o equipamento (tração mecânica e/ou animal) de maneira que o último sulco sirva de linha-guia. A partir dessa linha-guia, dois outros sulcos serão abertos a cada passagem do equipamento (ANJOS et al., 2007). O sulco barrado permite maior aproveitamento da água de chuva e otimiza os tratos culturais.

c) Sulcamento pós-plantio ou aração parcial — Este sistema consiste na aração do solo e plantio no plano, seguidos do sulcamento entre as linhas de plantio, o qual deve ser realizado por ocasião da segunda ou terceira capina, dependendo do cultivo e de seu desenvolvimento. Pode ser efetuado utilizando-se sulcadores a tração mecânica ou animal. O período mais recomendado para efetuar o sulcamento do solo é entre 30 a 40 dias após o plantio do feijão-caupi e de 20 a 30 dias após o plantio da cultura do milho (ANJOS et al., 2007).

d) Sulco barrado — Este sistema foi desenvolvido pela Embrapa Semiárido e consiste de uma aração seguida de sulcamento no espaçamento exigido pela cultura. Na etapa seguinte, utiliza-se um implemento denominado “barrador de sulcos” para fazer as pequenas barreiras, que devem ficar de 2 m a 3 m uma da outra nas entrelinhas de plantio, sendo o controle da distância das barreiras feito pelo operador, de maneira que fiquem com altura inferior a altura dos camalhões. As barreiras dentro do sulco têm a finalidade de impedir o escoamento da água de chuva e promover maior infiltração, podendo ser feitas antes ou depois de o cultivo ser implantado (ANJOS et al., 2007).

A simplicidade do barrador de sulco e seu baixo custo viabilizam a adoção dessa técnica pelos pequenos agricultores. Para efetuar o preparo do solo, é necessário que o terreno esteja isento de tocos e de pedras e a declividade seja inferior a 5%. Os sulcos barrados podem ser efetuados em pré ou pós-plantio.

e) Guimarães Duque — Este sistema também é conhecido por “aração em faixas” e consiste da aração do solo em faixas, a fim de que haja a formação dos sulcos, seguidos por camalhões altos e largos, confeccionados em curvas de nível. Para isso, utiliza-se o arado reversível de três discos, permitindo a captação da água de chuva na parte do solo que não foi mobilizada pelo arado.

O sistema “Guimarães Duque” recebeu este nome em homenagem ao seu idealizador e grande estudioso dos problemas do Nordeste, que já usava esta técnica na década de 1950. Foi desenvolvido pelo Instituto Nordestino para o Fomento de Algodão e Oleaginosas (INFAOL) e adaptado pela Embrapa Semiárido para a exploração de cultivos anuais, principalmente milho e feijão (SILVA; PORTO, 1982).

Este sistema de preparo do solo é semipermanente, com duração de 2 a 3 anos, também podendo ser manejado a cada cultivo, utilizando-se arados de aiveca a tração animal. Com este procedimento, mobiliza-se apenas a zona de plantio, cortando-se uma leiva de aração, jogando a terra para dentro do sulco, depois arando em sentido oposto, isto é, direcionando a leiva para o lado do camalhão e, assim, está efetuado o preparo para o cultivo subsequente. Outra maneira é refazer o sistema anualmente. Neste caso, há a vantagem de se fazer uma rotação gradual da zona de plantio a cada ano, além da incorporação de restos de culturas e ervas daninhas, promovendo a reciclagem da matéria orgânica, conseqüentemente, mantém-se o nível de fertilidade do solo para a exploração pelas culturas.

A captação de água de chuva in situ é uma técnica simples e apresenta baixos custos de implantação. No entanto, esses custos são muito variáveis e dependem, principalmente, do equipamento, seja a tração mecânica ou animal, como, também, do método utilizado.

Mediante as vantagens que apresentam os sistemas de captação de água de chuva in situ, este estudo teve por objetivo avaliar as perdas de solos e de água de chuva ocorridas em parcelas experimentais em culturas de milho e feijão-caupi com ciclos produtivos precoces e resistentes à irregularidade climática, sob diferentes métodos de preparo do solo.

Material e Métodos

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental da Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, Município de Petrolina, PE, no período de 2006 a 2010. O clima da região é classificado como semiárido quente (BSw'h), conforme classificação de Köppen, sendo as coordenadas geográficas 09°09' de latitude S e 40°22' de longitude W, e a altitude de 365 m. A precipitação média anual é de 566,7 mm, obtida a partir da série de dados do período de 1964-2003 (MOURA et al., 2005). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo eutrófico abrupto plúntico (SANTOS et al., 2006) e apresenta características físicas especificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição granulométrica, densidade da partícula e do solo e água retida em dois pontos da área experimental.

Pontos	Prof. (m)	Composição granulométrica (%)			Densidade (kg m ⁻³)		Água retida (atm)	
		Areia	Silte	Argila	Partícula	Solo	0,33	15
1	0-0,20	81,03	9,54	9,44	2,58	1,49	8,06	4,35
	0,20-0,40	73,69	8,75	17,56	2,56	1,42	12,37	7,57
2	0-0,20	78,85	13,33	7,82	2,54	1,43	11,91	6,84
	0,20-0,40	66,94	7,83	25,23	2,55	1,34	12,46	8,61

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, constituindo-se por: T1 - Guimarães Duque; T2 - aração profunda; T3 - aração parcial; T4 - sulcos barrados, e T5 - sistema tradicional, que corresponde ao plantio sem preparo do solo e quatro repetições. As parcelas experimentais foram limitadas a 50 m² com dimensão de 10,0 m x 5,0 m. Por causa do potencial do volume de água escoado, os sulcos foram abertos em nível, independente do método de preparo do solo. Esta área experimental apresenta declividade em torno de 0,5% no sentido longitudinal.

Para cada evento de precipitação ocorrido no período de estudo, a água e o solo escoados foram coletados em caixas com capacidade de 40 m³, dispostas à jusante de cada tratamento, como apresentado de forma esquemática na Figura 1a e da área experimental na Figura 1b, respectivamente. Ao término das chuvas, a água e o solo escoados por

gravidade foram transportados para baldes plásticos e deixados em repouso por 24 horas para facilitar o processo de sedimentação do solo, de acordo com os tratamentos. Após esse tempo, a água excedente foi retirada e medida em litros (L) e o solo úmido levado para secar em estufa (105 °C) por mais 24 horas ou até atingir peso constante, para determinação da massa seca (kg), de acordo com metodologia recomendada por Claessen (1997).

Para a quantificação da precipitação ocorrida na área experimental, foi instalado um pluviômetro, cujas leituras foram transformadas em volume de água (L), para facilitar na determinação do volume de água infiltrado (VINF) em cada tratamento, o qual foi estimado considerando-se a diferença entre os volumes precipitado (VPREC) e o escoado (VESC) resultantes na parcela experimental, seguindo metodologia clássica para pequenas áreas, de Horner e Lloyd, citados por Pinto et al. (1976).

O monitoramento da umidade do solo na área de plantio ocorreu efetuando-se amostragens do solo, em número de três repetições para cada tratamento, em todos os anos de estudo, utilizando-se o método gravimétrico (padrão de estufa), nas profundidades 0-0,2 m; 0,2-0,4 m; 0,4-0,6 m; 0,6-0,8 m e 0,8-1,0 m, nas diferentes fases de desenvolvimento das culturas, que corresponderam às épocas de semeadura, germinação, floração e formação de espigas ou grãos, dependendo da cultura. Tratos culturais como capinas e controle de pragas e doenças foram efetuados sempre que necessários. Os dados de produtividade das culturas foram avaliados aplicando-se análise de variância, utilizando-se o programa computacional (SAS INSTITUTE, 1999), e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de significância.

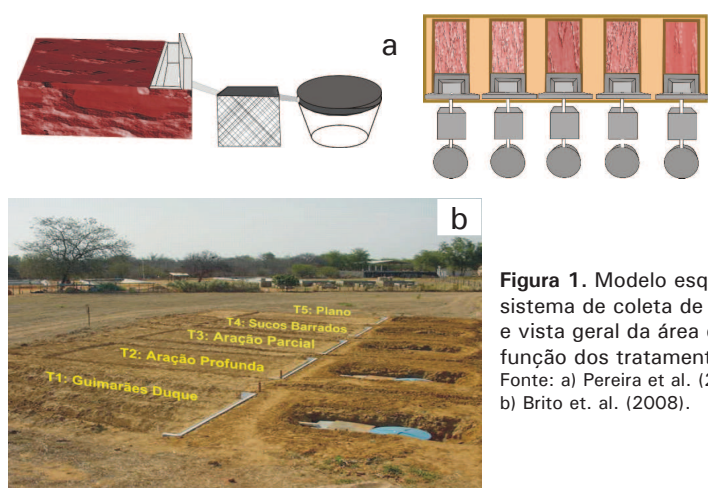


Figura 1. Modelo esquemático do sistema de coleta de solo e água (a) e vista geral da área de plantio (b) em função dos tratamentos avaliados. Fonte: a) Pereira et al. (2009) e b) Brito et. al. (2008).

Ressalta-se que neste estudo, o ano agrícola foi considerado a partir do início das chuvas que ocorrem na região, que corresponde ao período de outubro a setembro do ano seguinte. As culturas exploradas foram feijão-caupi e milho, intercaladas entre os períodos do estudo. Apenas em 2010 foram consorciadas, mas o milho não resistiu à irregularidade das precipitações durante as fases de desenvolvimento.

No contexto das culturas exploradas nos diferentes tipos de preparo do solo com captação de água de chuva in situ, no primeiro e terceiro anos do estudo, que corresponderam aos anos agrícolas de 2006 e 2008, a cultura avaliada foi milho cultivar BR Catingueiro, cujo ciclo produtivo é precoce e atinge a maturidade dos grãos, em média, aos 90 dias após a semeadura. Nos dois períodos, empregou-se o espaçamento definido para os tratamentos, ou seja, 1,5 m entrelinhas e 0,4 m entre plantas. As datas de plantio e colheita do milho corresponderam a 14 de fevereiro e 17 de maio de 2006 e 31 de janeiro e 19 de maio de 2008, respectivamente. Após a germinação das sementes, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por cova.

Em relação à cultura do milho, as variáveis avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do caule no nível do solo, número de espigas por planta, fitomassa, matéria seca e produtividade de grãos. A massa da matéria seca foi obtida a partir de amostragem ao acaso de 25 plantas por tratamento. As plantas foram secas em estufa à temperatura de 60-70 °C, até atingir peso constante. Para a avaliação da produtividade de grãos, foram colhidas as espigas de cada tratamento, retirados os grãos e pesados, sendo os dados transformados em kg ha⁻¹ (13% base úmida).

No segundo e quarto anos do estudo, que corresponderam aos anos agrícolas de 2007 e 2009, avaliou-se o efeito dos tratamentos sobre o feijão-caupi, cultivar IPA 206, cujo ciclo produtivo é precoce e atinge a maturidade dos grãos aos 60 dias, aproximadamente. Essa cultivar é uma alternativa para os produtores do Semiárido brasileiro, pois, apresenta menores riscos de perda de safra em regime de irregularidade de chuvas. Neste período, o plantio e a colheita ocorreram em 05 de fevereiro e 24 de abril de 2007, respectivamente. No estudo realizado no ano agrícola de 2009, testou-se a cultivar Pujante, cujo plantio foi realizado em 4 de dezembro de 2008, após a ocorrência de 70,6 mm de precipitação, dos quais 56,1 mm ocorreram no dia 3 de dezembro. A colheita foi efetuada em 9 de abril de 2009. Para o ano agrícola 2009-2010, foram semeados em 27 de fevereiro de 2010 o feijão-caupi, cultivar Maratauã e o milho Sertanejo. A colheita do feijão-caupi foi efetuada em 4 de abril de 2010.

O espaçamento utilizado para o feijão foi de 0,2 m entre plantas, com cinco sementes por cova, sendo semeadas quatro linhas de 10 m em cada tratamento. Após a germinação foi realizado um desbaste, deixando-se apenas duas plantas por cova.

Em relação ao feijão-caupi foram avaliadas variáveis como altura da planta, diâmetro do caule ao nível do solo, número de vagens por planta, massa verde, matéria seca e produtividade de grãos. Para a obtenção do peso da massa verde foram pesadas todas as plantas de cada tratamento após a colheita. O peso da matéria seca das plantas de feijão foi obtido por meio de amostragem ao acaso de 25 plantas por tratamento. As plantas foram secas em estufa de ventilação forçada, à temperatura média de 60-70 °C, até atingir peso constante. Para a avaliação da produção de grãos, realizou-se a colheita das vagens de cada tratamento seguida de debulha, pesagem de grãos e estimativa de produção obtida na área correspondente a cada tratamento (13% base úmida).

Resultados e Discussão

Na Figura 2 apresenta-se a distribuição temporal das precipitações pluviométricas ocorridas no período de janeiro a 30 de setembro de 2006 e de 1º de outubro de 2007 a 30 de setembro de 2008, quando foi explorada a cultura do milho. Em 2006, observou-se que o período chuvoso teve início em 13 de fevereiro, quando ocorreram 27 mm de precipitação, com duração de 35 minutos, em média, mas, não proporcionou escoamento superficial, o que possibilitou realizar o preparo do solo de acordo com os tratamentos, e o plantio do milho no dia seguinte. Em 2008, o plantio de milho foi realizado em 31 de janeiro, após a ocorrência de 30 mm de precipitação, embora tenha ocorrido um total de 39 mm nos dias 16 e 17 de dezembro de 2007.

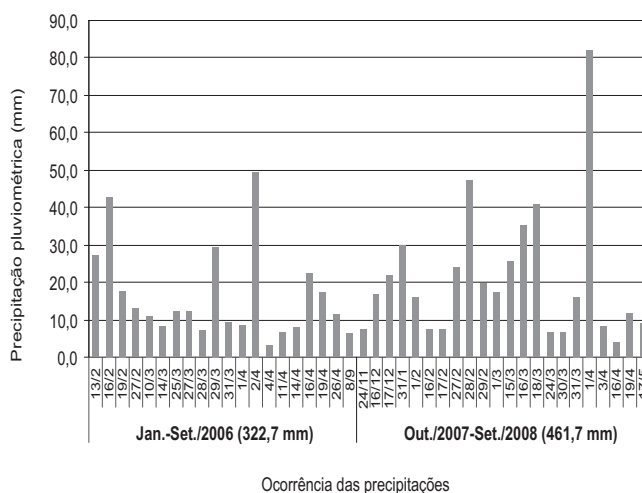


Figura 2. Precipitações pluviométricas (mm), acima de 5,0 mm, ocorridas na área experimental, nos anos agrícolas de 2006 e 2008.

Para melhor visualização gráfica da Figura 2, os valores de precipitação plotados foram superiores a 5,0 mm, tendo em vista que valores de precipitações abaixo deste não provocaram escoamento superficial, independente do estado de umidade do solo anterior ao momento da ocorrência da precipitação e de sua intensidade. No entanto, a Figura 2 e a Tabela 2 contêm a precipitação pluviométrica total ocorrida no ano agrícola de 2006, que correspondeu a 322,7 mm, isto é, que favoreceu no desenvolvimento da cultura do milho em suas diferentes fases, como também o valor total que proporcionou escoamento superficial, conseqüentemente, perdas de solo e de água, que foi igual a 271,9 mm.

Tabela 2. Volume de água escoado (VESC) (L) e de solo arrastado (kg) na parcela experimental, cultivada com milho, em função das precipitações pluviométricas (mm) e dos métodos de preparo de solo com captação in situ, nos anos agrícolas de 2006 e 2008.

Data	P (mm)	Perdas de água e de solo									
		T 1 ¹		T 2		T 3		T 4		T 5	
		VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)
Ano agrícola: fevereiro a setembro de 2006											
16/02	43,0	838,0	1,58	378,0	0,55	478,0	0,34	0,0	0,00	971,0	0,85
19/02	17,5	180,0	0,51	87,0	0,07	98,0	0,14	0,0	0,00	108,0	0,12
27/02	12,8	161,0	1,23	82,0	0,75	28,0	0,05	0,0	0,00	32,0	0,02
10/03	11,0	41,0	0,07	40,0	0,06	23,5	0,06	26,0	0,06	29,0	0,05
14/03	8,4	26,0	0,03	22,0	0,04	3,0	0,01	0,0	0,00	17,3	0,02
25/03	12,0	143,0	0,52	83,0	0,07	30,0	0,08	0,0	0,00	35,0	0,05
27/03	12,0	129,0	0,49	77,0	0,05	28,0	0,07	0,0	0,00	33,0	0,04
28/03	7,0	87,0	0,15	64,0	0,04	14,0	0,02	0,0	0,00	28,0	0,02
29/03	29,5	1.080,0	2,56	460,0	0,60	600,0	0,35	420,0	0,32	680,0	1,04
31/03	9,3	80,0	0,45	24,0	0,07	34,0	0,19	0,0	0,00	12,0	0,08
01/04	8,6	60,0	0,33	48,0	0,14	30,0	0,16	0,0	0,00	18,0	0,13
02/04	49,7	2.250,0	52,44	874,0	14,52	1.127,0	9,59	620,0	4,73	1.840,0	20,98
16/04	22,5	648,0	10,42	512,0	1,70	600,0	0,13	0,0	0,00	840,0	1,36
19/04	17,3	216,0	2,71	132,0	1,33	156,0	1,47	0,0	0,00	132,0	0,17
26/04	11,3	150,0	2,64	93,0	0,09	36,0	0,09	0,0	0,00	36,0	0,06
Total	271,9 ² 322,7 ^{3,4}	6.089,0	76,12	2.976,0	20,06	3.285,5	12,74	1.066,0	5,11	4.811,3	24,99
Ano agrícola: outubro 2007 a setembro 2008											
31/01	30,0	40,0	1,06	42,0	0,62	40,0	0,63	12,0	1,00	250,0	2,05
01/02	16,0	39,0	0,20	36,0	0,20	35,0	0,40	37,0	0,10	43,0	0,30
27/02	24,0	190,0	1,60	144,0	1,10	196,0	1,10	94,0	0,00	800,0	1,80
28/02	47,2	2.000,0	11,40	1.712,0	6,30	1.720,0	5,30	827,0	2,20	2.044,0	4,60
29/02	19,6	152,0	0,00	238,0	0,60	218,0	5,80	172,0	0,80	250,0	1,00
01/03	17,2	53,0	0,10	44,0	0,40	20,8	0,70	16,0	0,40	23,0	0,60
15/03	25,4	600,0	5,50	522,0	2,50	644,0	5,00	120,0	3,80	704,0	3,90
16/03	35,5	1.500,0	5,10	1.346,0	2,10	1.362,0	5,80	294,0	4,10	1.651,0	3,90
18/03	41,0	1.044,0	3,00	1.102,0	1,50	1.159,0	3,20	194,0	2,90	1.206,0	2,30
31/03	16,1	36,0	0,40	36,0	0,40	36,0	1,00	36,0	0,80	36,0	0,40
01/04	82,2	2.024,0	3,10	1.262,0	1,10	1.822,0	2,60	420,0	3,10	2.800,0	1,90
Total	354,2 ² 472,7 ^{3,4}	7.668,0	28,91	6.468,3	15,12	7.242,8	29,63	2.124,5	18,10	9.589,5	19,88

¹Tratamentos: T1: Guimarães Duque; T2: Aração profunda; T3: Aração parcial; T4: Sulco barrado; T5: Tradicional (plano).

²Precipitação (mm) que provocou escoamento superficial; ³Precipitação (mm) ocorrida no ciclo da cultura; ⁴Precipitação total (mm) no período.

Observando ainda a Figura 2 e a Tabela 2, verifica-se que, em 2006, o mês com maior precipitação pluviométrica foi abril, com o total de 129,4 mm, dos quais 49,7 mm (38,41%) ocorreram em apenas um dia (2 de abril) e proporcionou perdas de água e de solo em todos os tratamentos, com maiores valores no sistema de captação de água de chuva in situ Guimarães Duque (T1): (2.250 L; 52,44 kg) e tradicional (T5): (1.840 L; 20,98 kg). No entanto, no sistema de sulco barrado (T4), as perdas de água e de solo foram de apenas 620 L e 4,73 kg, respectivamente, significando que, por um lado, maior volume de água se infiltrou, proporcionando maior umidade no solo para as plantas, por outro, a erosão do solo foi significativamente reduzida (BRITO et al., 2008). Esta situação se repetiu nos demais eventos pluviométricos, observando-se que no final do ciclo da cultura do milho, o sistema Guimarães Duque (T1) e o preparo do solo tradicional (T5), quando comparados com o sulco barrado (T4), proporcionaram 471,20% e 341,34%; 1.389,63% e 389,04% mais perdas de água e de solo em 2006.

A tendência de o sulco barrado apresentar menores valores também foi observada em 2008 com a mesma cultura, porém, só em relação ao volume de água escoado, observando-se que o sistema com aração profunda apresentou menor valor de perda de solo no final do ciclo produtivo (15,12 kg), como pode ser observado na Tabela 2. Nesse ano agrícola, o sistema Guimarães Duque e o preparo do solo tradicional proporcionaram perdas de água superiores ao sulco barrado em 260,9% e 351,4%; enquanto as perdas de solo comparativamente ao sistema com aração profunda corresponderam a 91,2% e 31,5%, respectivamente. Isso se deve à formação de barreiras nos sulcos das linhas de plantio que impedirem o escoamento da água, favorecendo maior infiltração e, conseqüentemente, menores perdas de água, em condições de baixos volumes precipitados.

As diferenças entre os anos agrícolas nos percentuais de perdas de água e de solo podem estar relacionadas ao fato de que, em 2008, embora o valor total da precipitação pluviométrica que provocou escoamento superficial tenha sido maior que em 2006, sua ocorrência foi mais regular no tempo, com os maiores valores precipitados em dias sequenciados, como pode ser observado nos dias 27 a 29 de fevereiro, 15 a 18 de março e 31 de março e 1º de abril. Fazendo-se uma análise comparativa entre esses anos agrícolas para o sistema de preparo do solo Guimarães Duque, observa-se que os valores dos volumes de água escoados foram muito próximos (6.089,0 L; 7.668,0 L), enquanto em 2006 a perda de solo foi superior em 163,3%, quando comparada com 2008. As perdas de solo e de água observadas nos tratamentos com aração profunda (T2) e aração parcial (T3) nos dois anos agrícolas analisados com a cultura do milho se apresentam entre os valores intermediários e com tendências semelhantes. Nas Figuras 3a e 3b pode-se observar o desenvolvimento da cultura do milho em 2006, nos sistemas de preparo do solo Guimarães Duque (a) e sulco barrado (b).

Fotos: Nilton de Brito
Cavalcanti.

Figura 3. Sistema de preparo do solo Guimarães Duque (a) e sulco barrado (b) após a ocorrência de 29,5 mm de precipitação, em 29 de março de 06.

Em relação aos anos agrícolas de 2007, 2009 e 2010, observa-se na Figura 4 a distribuição das precipitações pluviométricas ocorridas, cujos valores foram superiores a 5,0 mm. Nesses períodos foi explorada a cultura do feijão-caupi e, apenas em 2010, foi incluído milho, cultivar Sertanejo, por suportar excesses hídricos, consorciado com o feijão-caupi, cultivar Canapu. Porém, as precipitações ocorridas, após o plantio, não foram suficientes para permitir seu desenvolvimento, permanecendo na área apenas o feijão-caupi.

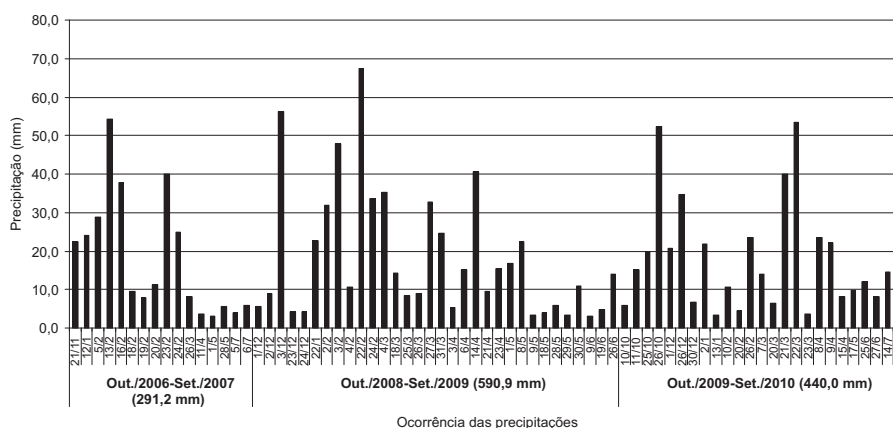


Figura 4. Precipitações pluviométricas (mm), acima de 5 mm, ocorridas na área experimental nos anos agrícolas de 2007, 2009 e 2010.

As perdas de água e de solo ocorridas na área experimental explorada com feijão-caupi nos anos agrícolas 2007, 2009 e 2010 em função dos sistemas de captação de água de chuva in situ e das precipitações ocorridas são apresentadas na Tabela 3.

Para o ano agrícola de 2007 observa-se que a precipitação total na área correspondeu a 291,2 mm, dos quais 269,1 mm provocaram escoamento superficial na maioria dos tratamentos avaliados e dos eventos de precipitação. Da lâmina total precipitada, 214,5 mm ocorreram em 19 dias de fevereiro, e provocou os maiores volumes de escoamento, favorecido pela umidade do solo antecedente aos dias de ocorrência das precipitações.

Tabela 3. Volume de água escoado (VESC) (L) e de solo arrastado (kg) na parcela experimental, cultivada com feijão-caupi, em função das precipitações pluviométricas (mm) e dos sistemas de captação in situ, nos anos agrícolas de 2007, 2009 e 2010.

Data	P (mm)	Perdas de água e de solo									
		T 1 ¹		T 2		T 3		T 4		T 5	
		VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)	VESC (L)	Solo (kg)
Ano agrícola: outubro 2006 a setembro 2007											
21/11	22,4	63,0	0,76	44,0	0,39	33,5	0,30	0,0	0,0	44,0	0,90
12/01	24,0	280,0	0,77	30,0	0,59	30,0	0,92	60,0	0,69	223,0	1,18
05/02	28,8	135,0	0,83	50,0	0,62	75,0	0,79	118,0	0,49	120,0	0,62
13/02	54,4	1016,0	1,27	508,0	1,95	572,0	1,86	246,0	1,79	1200,0	0,85
16/02	37,8	1480,0	2,87	1332,0	1,31	1068,0	2,58	144,0	1,39	1179,0	1,78
18/02	9,5	48,0	0,70	46,0	0,55	38,0	0,88	29,0	0,89	43,0	0,39
19/02	7,9	32,0	0,61	47,0	0,58	36,0	0,93	24,0	0,83	41,0	0,37
20/02	11,1	199,0	0,75	200,0	0,58	197,0	0,85	34,0	0,97	120,0	0,59
23/02	40,0	1428,0	5,85	1457,0	4,95	1358,0	7,08	144,0	0,77	1550,0	2,74
24/02	25,0	697,0	2,79	723,0	3,23	677,0	3,77	87,0	0,67	687,0	2,04
26/03	8,2	7,0	1,14	20,0	1,05	15,0	0,72	0,0	0,00	5,0	0,88
Total	269,1 ² 214,5 ³ 291,2 ⁴	5.385,0	18,34	4.457,0	15,8	4.099,5	20,68	886,0	8,49	5.212,0	12,44
Ano agrícola: outubro 2008 a setembro 2009											
02/12	65,0	1.214,0	1,16	2.000,0	1,22	1.500,0	1,3	240,0	0,04	800,0	0,26
22/01	22,7	96,0	0,13	44,0	0,07	42,0	0,06	15,0	0,05	69,0	0,09
02/02	32,0	978,0	3,88	192,0	1,05	572,0	2,01	120,0	0,48	960,0	2,11
03/02	47,7	1.980,0	7,31	1.500,0	3,83	1.860,0	7,83	240,0	1,13	1.997,0	5,28
22/02	67,5	2.136,0	6,42	2.097,0	2,53	2.090,0	4,55	367,0	1,65	2.481,0	5,55
24/02	33,6	1.109,0	4,24	823,0	1,20	840,0	1,87	152,0	0,29	1.187,0	2,14
04/03	35,3	1.250,0	3,02	983,0	0,80	1.200,0	2,11	168,0	0,22	1.244,0	2,63
18/03	14,4	72,0	1,00	24,0	0,43	48,0	0,29	38,0	0,19	84,0	0,48
26/03	9,0	152,0	1,20	18,0	0,37	84,0	0,44	31,0	0,16	77,0	0,38
27/03	32,6	1.220,0	4,33	924,0	1,10	1.024,0	2,53	120,0	0,40	1.092,0	2,17
31/03	24,5	672,0	2,40	216,0	0,18	456,0	0,80	98,0	0,47	408,0	0,39
06/04	15,0	600,0	3,04	288,0	0,63	476,0	0,97	72,0	0,27	456,0	1,33
14/04	40,5	975,0	1,78	316,0	0,60	696,0	0,61	192,0	0,30	480,0	1,12
23/04	15,5	240,0	0,54	24,0	0,21	44,0	0,36	48,0	0,08	72,0	0,28
01/05	16,7	372,0	1,80	114,0	1,10	120,0	0,75	58,0	0,00	119,0	0,47
08/05	8,4	228,0	0,80	170,0	0,36	94,0	0,42	34,0	0,00	77,0	0,52
09/05	18,3	812,0	2,85	740,0	1,22	656,0	1,37	90,0	0,00	620,0	0,83
Total	498,7 ² 399,3 ³ 595,6 ⁴	14.106,0	45,9	10.473,0	16,9	11.802,0	28,27	2.083,0	5,73	12.223,0	26,03
Ano agrícola: outubro 2009 a setembro 2010											
26/10	90,3	2.137,0	7,44	660,0	1,85	1.100,0	3,47	300,0	0,25	2.050,0	6,75
26/02	23,6	240,0	2,33	220,0	1,30	350,0	1,99	84,0	0,25	184,0	1,53
07/03	14,0	102,0	0,97	90,0	0,58	140,0	0,99	31,0	0,19	156,0	0,65
22/03	40,0	1.800,0	3,55	1.360,0	2,23	1.324,0	2,55	600,0	0,96	1.520,0	1,45
23/03	53,5	2.000,0	1,87	1.264,0	2,13	1.800,0	1,35	800,0	1,25	2.127,0	3,12
08/04	23,5	244,0	2,00	220,0	1,40	284,0	1,15	48,0	0,90	334,0	1,25
9/04	22,0	550,0	1,25	650,0	0,50	700,0	0,75	121,0	0,35	650,0	0,63
Total	266,9 ² 176,6 ³ 435,1 ⁴	7.073,0	17,54	4.464,0	9,99	5.698,0	12,25	1.984,0	4,15	7.021,0	15,38

Analisando-se as perdas totais anuais de água e de solo, observou-se que o sistema de captação in situ tipo sulco barrado foi o que apresentou menores perdas de água e de solo em todos os anos agrícolas, seguindo a tendência do comportamento obtido com a cultura do milho em 2006 e 2008. Uma análise comparativa entre o sulco barrado e o sistema Guimarães Duque permitiu observar aumentos nas perdas de água e de solos da ordem de 507,8% e 116,02%; 577,2% e 701,0% e 256,5% e 322,6%, respectivamente. Com o sistema tradicional, os aumentos foram de 488,3% e 46,5%; 486,8% e 354,3%; 253,9% e 270,6%, nos três anos agrícolas, respectivamente. Ressalta-se, portanto, que no ano agrícola de 2010 foi o de menor precipitação pluviométrica que provocam escoamento superficial (266,9 mm), com 131,2 mm ocorridos no mês de outubro de 2009, seguido por 2007 (269,1 mm) e, finalmente 2009 (498,7 mm), que além do maior volume total precipitado (595,6 mm), também houve melhor regularidade em sua distribuição temporal (Figura 4).

Analisando-se eventos isolados de precipitações pluviométricas, observa-se que os maiores valores ocorreram em 1º de abril de 2008 (82,2 mm), 22 de fevereiro de 2009 (67,5 mm) e 26 de outubro de 2009 (90,3 mm), (Figuras 2 e 4). Com essas precipitações os valores dos volumes escoados em cada sistema de preparo do solo foram próximos e corresponderam a 2.024,0 L, 2.136,0 L e 2.137,0 L, respectivamente, (Tabelas 2 e 3); observando-se que nos dois primeiros eventos houve influência da unidade do solo, uma vez que no mês de outubro o solo se encontrava com baixo teor de umidade e, naturalmente, infiltrou mais água do que os eventos de fevereiro e abril, meses de maior ocorrência de precipitações na região.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os encontrados por Silva et al. (1999), que obtiveram as maiores perdas de água e de solo em áreas aradas e gradeadas. Esses autores analisaram 20 anos de precipitação, correlacionando-a com o escoamento superficial e observaram que áreas com uma e duas arações e gradagens proporcionaram aumentos nas perdas de água na ordem de 2,5 e 2,6 vezes, e de solos na ordem de 4,2 a 7,4 vezes, comparadas às áreas com tratamento tradicional (cultivadas com enxada), respectivamente.

O volume de água decorrente do escoamento superficial depende de fatores de natureza climática e física. Dentre os fatores climáticos destacam-se a intensidade e a duração da precipitação e a precipitação antecedente, isto é, o efeito da umidade do solo decorrente da precipitação que ocorreu anteriormente, proporcionando, assim, maior facilidade de escoamento. Quanto aos aspectos físicos da bacia hidrográfica, os fatores mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração, e a topografia (PINTO et al., 1976).

Relativo aos fatores climáticos, Alencar et al. (2006) avaliaram a influência relativa do total precipitado (P), da precipitação antecedente (PA) e da intensidade de precipitação (IP) na ocorrência de eventos de escoamento superficial (ES), na microbacia do Córrego Capetinga, Região Centro-Oeste do Brasil. Os resultados mostraram que as variáveis independentes P, PA e IP têm dupla e tríplice interação, influenciando na variável dependente ES e que a variável IP foi mais importante do que PA na estimativa do escoamento superficial. Esses resultados corroboram com os encontrados por Alves e Cabeba (1999), que utilizando diferentes métodos de preparo do solo, observaram que no sistema tradicional ocorreu redução significativa na taxa de infiltração à medida que a intensidade de precipitação aumentou.

Analisando-se o efeito dos diferentes sistemas de captação de água de chuva in situ e das precipitações ocorridas nos períodos do estudo, observa-se que em 2006 (Figura 2), nas diferentes fases fenológicas do ciclo de produção do milho, abrangendo do período da semeadura (14 de fevereiro) à colheita (17 de maio), que os maiores valores de precipitação ocorreram nas fases de germinação e de floração-formação de espigas, conseqüentemente, favorecendo no aumento da umidade do solo, que coincidiu com os períodos em que a cultura necessita de mais água para expressar seu potencial produtivo. A precipitação total no ciclo da cultura foi de apenas 322,7 mm e, segundo Doorenbos e Kassan (1979), a quantidade de água necessária durante o ciclo produtivo da cultura do milho varia de 500-800 mm. A deficiência de umidade no solo durante o ciclo de cultivo pode afetar gravemente o rendimento da cultura, especialmente se essa deficiência ocorre no início e durante a fase de floração.

Na Figura 5, observa-se a distribuição de umidade do solo nas diferentes fases de produção do milho, correspondendo à semeadura, germinação, floração e formação de espigas. Observa-se, também, que, no momento da semeadura, a umidade inicial do solo apresentou baixos valores em todo o perfil, por causa das baixas precipitações ocorridas na área experimental.

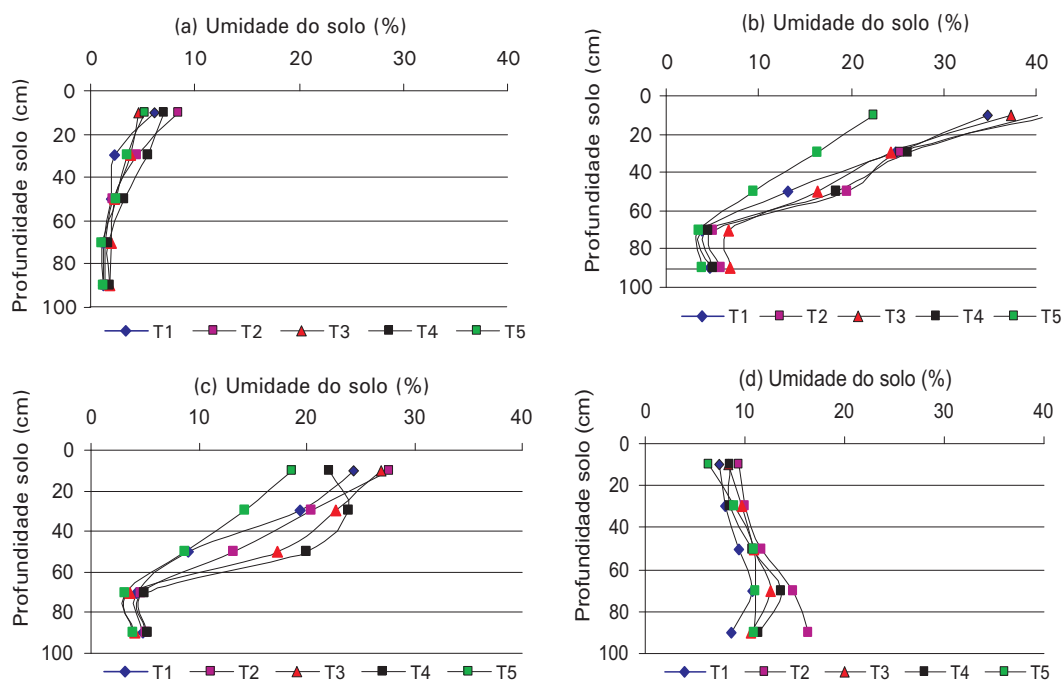


Figura 5. Variação da umidade do solo em função dos sistemas de captação in situ (T1: Guimarães Duque; T2: Aração profunda; T3: Aração parcial; T4: Sulco Barrado; T5: Tradicional) nas fases de cultivo do milho: semeadura (a), germinação (b), floração (c) e formação de espigas (d), em 2006.

Os maiores valores de umidade no ciclo de produção foram obtidos nos sistemas de preparo do solo com aração profunda (T2: 8,38%) e com sulco barrado (T4: 7,11%). Esses resultados estão relacionados com o maior volume de água infiltrado, proporcionado, conseqüentemente, maior disponibilidade de umidade do solo. Essa mesma tendência foi observada em todas as fases de desenvolvimento da cultura e em todas as profundidades do solo. Os sistemas de preparo do solo Guimarães Duque e tradicional apresentaram menores os valores de umidade do solo.

No ano agrícola de 2008, o ciclo de produção do milho ocorreu de 31 de janeiro a 19 de maio. Nesse período ocorreram 472,7 mm de precipitação pluviométrica, dos quais 106,8 mm em fevereiro, 135,2 mm em março e 82,0 mm em abril, atingindo as principais fases de necessidade de água pela cultura, que correspondem à floração e formação de espigas. Observa-se na Figura 6 que na fase da floração, na profundidade de 60 cm, a umidade do solo alcançou 15,64% no sistema com sulco barrado e na formação de espigas os valores da umidade em todos os tratamentos foram próximos. Ressalta-se que a água retida no solo entre os pontos de umidade

residual e de saturação (Tabela 1) estão em torno de 8,06% e 4,35% na camada de 0-20 cm e de 12,37% e 7,57% na camada de 20-40 cm, respectivamente.

Na Tabela 4, apresentam-se características como altura da planta, diâmetro basal, número de espigas, matéria seca e produção grãos (kg) observadas na cultura do milho, em 2006 e 2008, nos diferentes tratamentos. Em 2006 a maior produção de grãos na parcela experimental (3,03 kg) e de matéria seca (2,41 kg) foram observadas no sistema do sulco barrado (T4), diferenciando-se significativamente dos demais sistemas de preparo do solo.

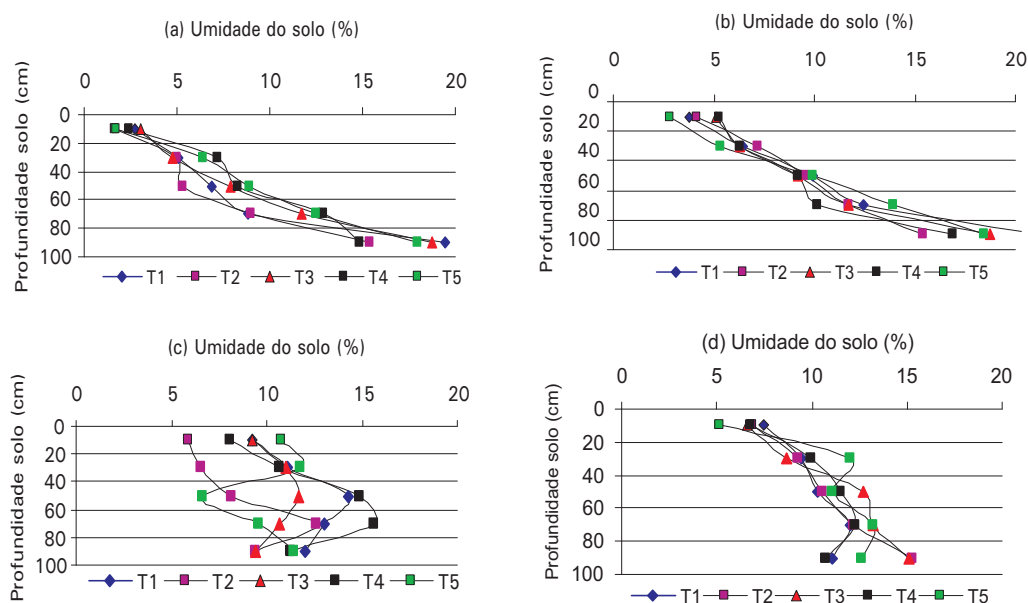


Figura 6. Variação da umidade do solo em função dos sistemas de captação in situ (T1: Guimarães Duque; T2: aração profunda; T3: aração parcial; T4: sulco barrado; T5: tradicional) nas fases de cultivo do milho: semeadura (a), germinação (b), floração (c) e formação de espigas (d), em 2008.

Os sistemas com aração parcial e profunda não apresentaram diferença significativa pela análise de variância. Os maiores valores de produção de grãos e de matéria seca obtidos com estes sistemas estão diretamente relacionados com a maior disponibilidade de água no solo no período da floração, quando há maior demanda de água pela cultura do milho. Nessa fase, a umidade do solo estava em torno de 20% e 17% nas profundidades de 40 cm a 60 cm, respectivamente. A menor produção de grãos, aproximadamente 50% da maior, foi obtida

no sistema tradicional (T5), correspondendo a 1,51 kg. Quanto às demais características analisadas, observa-se que o sistema tradicional (T5) apresentou diferença estatística entre os demais tratamentos para todas as variáveis.

Com relação ao ano de 2008, a produção de grãos foi diferenciada entre todos os tratamentos, sendo obtido o maior valor (30,43 kg) com o sistema de aração profunda (Tabela 4). Não se observou diferença na distribuição de umidade do solo em relação aos demais tratamentos, em especial ao sulco barrado, que na fase de floração apresentou maiores teores de umidade na profundidade de 0,60 m.

Comparando-se as produções de grãos obtidas com os sistemas de captação in situ aração profunda e sulco barrado com o sistema tradicional, observam-se aumentos de produção da ordem de 490% e 350%, respectivamente. Com relação ao período anterior, observam-se aumentos em todos os tratamentos, provavelmente, porque nesse ano agrícola (2008) o volume total precipitado foi, aproximadamente, 50% superior ao de 2006 e, principalmente, por causa do fator distribuição, que ocorreu de forma mais regular.

Tabela 4. Altura da planta, diâmetro basal, número de espigas, matéria seca e produção da cultura do milho nos diferentes métodos de preparo de solo com captação de água de chuva in situ nos anos agrícolas 2006 e 2008.

Tratamentos	Altura da Planta ¹ (m)	Diâmetro Basal (cm)	No de Espigas	Matéria Seca (kg)	Produção de Grãos (kg)
Ano: 2006					
T1: Guimarães Duque	1,42 a	0,95 a	143,0 a	1,53 c	1,61 c
T2: Aração Profunda	1,55 a	1,14 a	141,0 a	1,73 b	1,81 b
T3: Aração Parcial	1,51 a	1,04 a	138,0 a	1,88 b	1,85 b
T4: Sulco Barrado	1,52 a	0,98 a	138,0 a	2,41 a	3,03 a
T5: Tradicional (plano)	1,21 b	0,71 b	97,0 b	0,95 d	1,51 d
Média	1,44	0,96	131,4	1,70	1,96
Ano: 2008					
T1: Guimarães Duque	2,19 a	1,22 c	132,0 b	19,49 a	16,48 d
T2: Aração Profunda	2,36 a	2,09 a	129,0 c	19,44 a	30,43 a
T3: Aração Parcial	2,15 a	2,05 a	136,0 a	17,06 b	22,14 c
T4: Sulco Barrado	1,94 b	1,56 b	133,0 b	16,51 b	23,21 b
T5: Tradicional (plano)	1,27 c	2,22 a	48,0 d	3,43 c	5,16 e
Média	1,98	1,82	115,0	15,18	19,48

¹Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si, pelo Teste de t.

Em geral, os resultados de produção de grãos do milho obtidos nos respectivos tratamentos variaram entre 1,51 kg, com o sistema tradicional e 3,03 kg com o sistema Guimarães Duque (322,0 kg ha⁻¹ e 606,0 kg ha⁻¹) e 16,48 kg e 30,43 kg (3.296 kg ha⁻¹ e 6.086 kg ha⁻¹), respectivamente, em 2006 e 2008 (Tabela 4), que podem ser considerados favoráveis, visto que, em 2005, as produtividades médias de milho obtidas nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas foram de 661 kg ha⁻¹; 497 kg ha⁻¹; 465 kg ha⁻¹; 402 kg ha⁻¹; 560 kg ha⁻¹ e 475 kg ha⁻¹, respectivamente (IBGE, 2005).

Correlacionando-se os valores apresentados na Tabela 2, referentes ao volume de água escoado (VESC) (L) na parcela experimental cultivada com milho, com os das precipitações pluviométricas (mm) e do solo arrastado (kg), verifica-se que para os valores de precipitações pluviométricas totais ocorridas em 2006 (322,7 mm) e em 2008 (472,7 mm), ocorreram variações, também, na quantidade de água necessária para carrear 1 kg de solo. No sistema com sulco barrado (T4) e na aração profunda (T2), em 2006, a relação perda de água (L) por quantidade de solo arrastado (kg) de 208,61:1 e 148,35:1, enquanto, em 2008, esses valores corresponderam a 117,34:1 e 427,79:1, respectivamente. Assim, evidencia-se que em anos com ocorrência de maiores valores de precipitações pluviométricas o sulco barrado sofre maior pressão da ação das gotas de água de chuva sobre os camalhões, carreando o solo para os sulcos e, como as microbacias formadas pelas interceptações (barramento) não têm capacidade de reter o volume de água em anos de maiores valores de precipitações pluviométricas, logo, ocorre o transbordamento das barreiras que favorece o carregamento de maior quantidade de solo. Já, no sistema com aração profunda, a área de captação é formada por toda superfície do solo mobilizado pela aração, favorecendo em maior quantidade de água infiltrada, necessitando, assim de maior volume de água para carrear 1 kg de solo. Maior volume de água infiltrado influencia no desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, na sua produção de grãos.

Nos anos agrícolas de 2007, 2009 e 2010 ocorreram 291,3 mm, 595,6 mm e 435,1 mm de precipitação na área experimental, respectivamente. Porém, durante os ciclos de produção da cultura, corresponderam a 227,7 mm, 399,3 mm e 176,6 mm, que corresponderam aos volumes de 11.135 L, 24.935 L e 8.830 L, respectivamente. Analisando-se o sistema de preparo do solo com

o sulco barrado em relação aos demais, verificou-se que nesse sistema foram obtidos os menores valores de volumes escoados (886,0 L, 2.083,0 L e 1.984,0 L) (Tabela 3), resultando, respectivamente, em maiores volumes de água infiltrado durante o período de cultivo (10.249 L, 22.852,0 L e 6.846,0 L) e, assim, disponíveis para a cultura do feijão-caupi. No ciclo hidrológico os processos de escoamento superficial e da infiltração de água no solo atuam de modo inverso, ou seja, o aumento dos valores de um causa a redução dos valores do outro em igual magnitude para um mesmo evento de precipitação.

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam a distribuição de umidade no solo nas diferentes fases de desenvolvimento do feijão-caupi em função dos tipos de preparo do solo, observando-se que, em 2007, os maiores valores de umidade do solo nas fases de floração e formação de vagem foram obtidos com o sistema sulco barrado, em torno de 15%. Em 2009, embora com maior volume de precipitação, na fase de formação de vagem a umidade neste sistema, encontrava-se em torno de 12%, mesmo valor médio obtido em 2010. Isto demonstra que, além do quantitativo do volume precipitado, é de fundamental importância a distribuição das chuvas no ciclo da cultura.

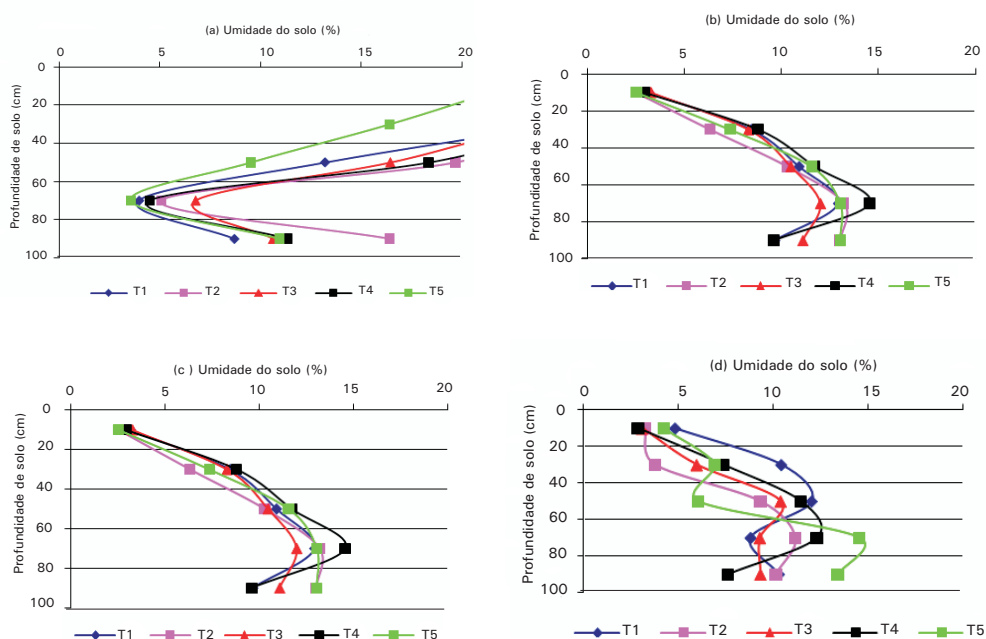


Figura 7. Variação da umidade do solo em função dos sistemas de captação in situ (T1: Guimarães Duque; T2: aração profunda; T3: aração parcial; T4: sulco barrado; T5: tradicional) nas fases de cultivo do feijão-caupi: germinação (a), floração (b), formação de vagem (c) e (d) colheita, em 2007.

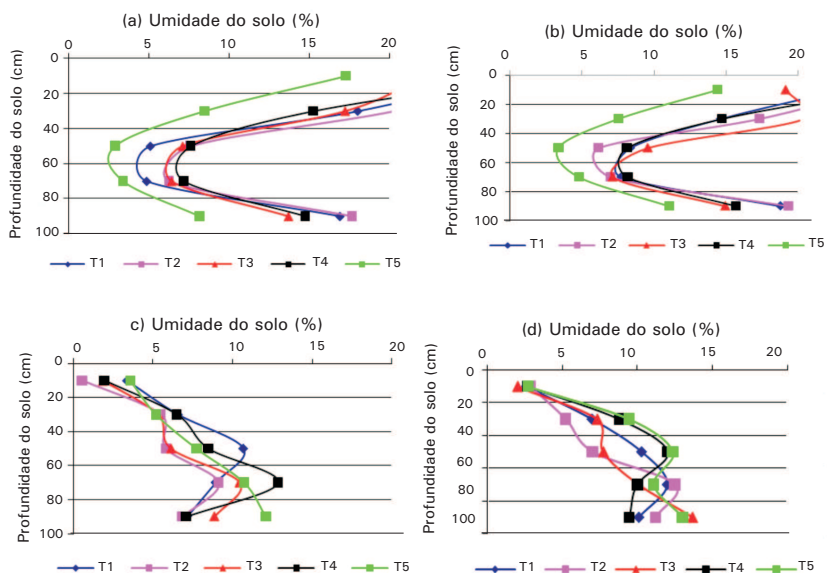


Figura 8. Variação da umidade do solo em função dos tratamentos e nas diferentes fases de cultivo do feijão: semeadura (a), germinação (b), floração (c) e formação de vagens (d), em 2009.

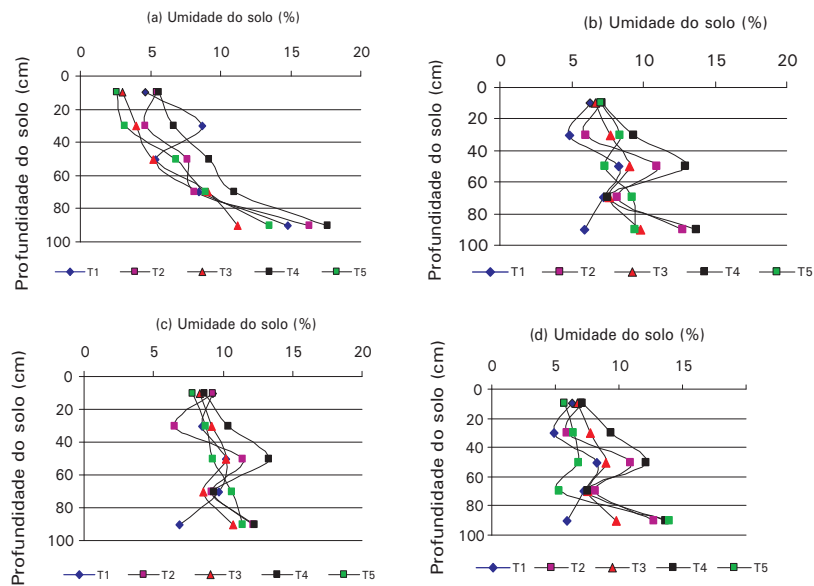


Figura 9. Variação da umidade do solo em função dos tratamentos e nas diferentes fases de cultivo do feijão: semeadura (a), germinação (b), floração (c) e formação de vagens (d), em 2010.

Na Tabela 5 pode-se observar as variáveis analisadas nos três ciclos de produção do feijão-caupi em relação aos sistemas de preparo do solo. Em 2007, a variável produção não apresentou diferença estatística entre os sistemas Guimarães Duque (1,25 kg) e aração parcial (1,20 kg), porém, estes foram diferentes da produção obtida com a aração profunda (1,71 kg). As produções obtidas nos sistemas sulco barrado (1,13 kg) e tradicional (1,12 kg) foram semelhantes. Em 2009, quando ocorreu mais que o dobro da precipitação de 2007, as produções de grãos obtidas nos diferentes sistemas de preparo do solo foram superiores, observando-se que o sistema com sulco barrado, mais uma vez, apresentou a maior produção (1,58 kg), diferente dos demais. Da mesma maneira que em 2007, os valores das produções obtidas com os sistemas Guimarães Duque (1,33 kg) e aração parcial (1,32 kg) foram semelhantes.

O ano de 2010 foi totalmente atípico tanto em relação à quantidade da precipitação ocorrida quanto à sua distribuição temporal, ocorrendo durante o ciclo da cultura do feijão-caupi apenas 176,6 mm. Este comportamento das precipitações pluviométricas influenciou significativamente nos valores da produção obtida nos diferentes sistemas de preparo do solo, quando comparados aos demais anos da pesquisa. Mesmo assim, a produção de grãos com o sistema aração profunda foi superior à dos demais sistemas (1,12 kg), tendo a mesma tendência de 2007, enquanto as produções dos sistemas Guimarães Duque (0,47 kg) e sulco barrado (0,48 kg) não apresentaram diferença estatística.

De modo geral, observa-se nas Tabelas 4 e 5 que ocorreram variações nos valores das produções de grãos obtidas tanto para o milho quanto para o feijão-caupi, mesmo entre os anos e para um mesmo tipo de preparo do solo. Isso, provavelmente, está associado à variabilidade das precipitações pluviométricas, tanto em termos de quantidade quanto de regularidade.

Tabela 5. Altura da planta, diâmetro basal, número de vagens, matéria seca e produção da cultura do feijão-caupi nos diferentes métodos de preparo de solo com captação de água de chuva in situ nos anos agrícolas 2007, 2009 e 2010.

Tratamentos	Altura da planta ¹ (cm)	Diâmetro basal (cm)	Nº de Vagens	Matéria seca (kg)	Produção (kg)
Ano: 2007					
T1: Guimarães Duque	36,40 b	0,56 a	576,0 a	1,47 a	1,25 b
T2: Aração Profunda	36,52 b	0,45 b	446,0 b	1,13 b	1,71 a
T3: Aração Parcial	37,06 b	0,38 c	346,0 d	0,95 c	1,20 b
T4: Sulco Barrado	38,56 a	0,38 c	400,0 c	1,11 b	1,13 c
T5: Tradicional (plano)	35,23 c	0,37 c	276,0 e	1,10 b	1,12 c
Média	36,75	0,42	408,0	1,15	1,28
Ano: 2009					
T1: Guimarães Duque	36,49 b	1,31 b	413,0 c	1,34 b	1,33 b
T2: Aração Profunda	35,88 b	2,14 a	414,0 c	0,80 c	1,15 c
T3: Aração Parcial	48,43 a	2,01 a	547,0 b	1,37 b	1,32 b
T4: Sulco Barrado	37,60 b	2,16 a	735,0 a	2,37 a	1,58 a
T5: Tradicional (plano)	32,20 c	1,41 b	400,0 d	0,80 c	0,84 d
Média	38,12	1,80	501,0	1,33	1,22
Ano: 2010					
T1: Guimarães Duque	47,28 b	0,73 c	435,0 c	1,68 b	0,47 b
T2: Aração Profunda	55,51 a	1,03 a	740,0 a	1,78 b	1,12 a
T3: Aração Parcial	37,13 c	0,69 c	242,0 d	1,11 d	0,28 d
T4: Sulco Barrado	48,19 b	0,81 b	465,0 b	2,23 a	0,48 b
T5: Tradicional (plano)	28,15 d	0,70 c	220,0 e	1,41 c	0,32 c
Média	43,25	0,79	420,4	1,64	0,54

¹Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si, pelo Teste de t.

*Milho semeado em 2010, não resistiu à irregularidade das precipitações pluviométricas.

Conclusões

O uso excessivo e continuado de arações e/ou gradagens no processo de preparo de solo provoca alterações em suas características físicas e químicas, podendo causar a desestruturação da camada arável, tornando-a mais susceptível à erosão e, também, compactação na camada subsuperficial, que contribuirá, de modo significativo com a redução da taxa de infiltração de água e, conseqüentemente, aumentando o volume de água escoado na superfície do solo, o que pode elevar os riscos de erosão hídrica. Na planta, o efeito da compactação pode prejudicar o desenvolvimento radicular e afetar seu potencial produtivo. Como meio de prevenção destes problemas, a ciência do manejo e conservação do solo e da água preconiza um conjunto de medidas, que implementadas de forma integrada, auxiliam não só na manutenção, mas, também na recuperação das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

No contexto das práticas conservacionistas de solo e, considerando-se os resultados obtidos nos 5 anos de pesquisa, pode-se afirmar que:

— Entre os sistemas de captação in situ avaliados, o sulco barrado é o que proporciona menores perdas de água e de solo. Além disso, em alguns anos, a produção de grãos de milho e feijão-caupi foi superior à dos demais sistemas de preparo do solo.

— O sistema tradicional de preparo do solo proporcionou as maiores perdas de água e de solo, como também, os menores valores de produção. Assim, não deve ser recomendado para as condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro.

— Houve grande variabilidade nos valores das produções de grãos de feijão-caupi e de milho obtidos, mesmo entre os anos e para um mesmo tipo de preparo do solo.

Agradecimentos

Ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB), ao Fundo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDECI) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Referências

- ALENCAR, D. B. S. de; SILVA, C. L. da; OLIVEIRA, C. A. da S. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 103-112, jan./abr. 2006.
- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 753-761, 1999.
- ANJOS, J. B. dos; BRITO, L. T. de L.; SILVA, M. S. L. da. Métodos de captación de água de lluvia in situ e irrigación. In: FAO. **Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos**. Roma, 2000. cap. 15, p. 139-150. (FAO. Boletín de Tierras y Aguas, 8).
- ANJOS, J. B. dos; CAVALCANTI, N. de B.; BRITO, L. T. de L.; SILVA, M. S. L. da. Captação "in situ": água de chuva para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. cap. 7, p.141-155.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: ICONE, 1999. 355 p.
- BRASIL. Portaria Interministerial no 1, de 9 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil União**, Brasília, DF, 11 mar. 2005. Seção 1, p. 41.
- BRITO, L. T. de L.; CAVALCANTI, N. B.; ANJOS, J. B. dos; SILVA, A. de S.; PEREIRA, L. A. Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação in situ no semi-árido brasileiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 507-515, jul./set. 2008.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- IBGE. **Produção agrícola municipal**: 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 set. 2006.
- LOPES, P. R. C.; BRITO, L. T. de L. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 129-133, 1993.
- MONTEIRO, M. A. R.; SILVA, A. de S.; BRITO, L.T. de L.; PORTO, E.R. Captação de água de chuva in situ III: densidade de milho. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropicó Semiárido (Petrolina, PE). **Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio**. Petrolina, 1989. p. 39-53. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 35).
- MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. da; BORGES, C. J. R. Análise da precipitação e do número de dias de chuva no município de Petrolina - PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DA CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina. **Anais...** Petrolina: Associação Brasileira de Captação de Água de Chuva, 2005. 1 CD-ROM.

PEREIRA, L. A.; BRITO, L. T. de L.; CAVALCANTI, N. de B.; MELO, R. F. de. Avaliação de diferentes sistemas de preparo do solo no desenvolvimento da cultura do feijão caupi em condições dependente de chuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro, Petrolina. **Planejamento da bacia hidrográfica e o desenvolvimento da agricultura**: anais. Juazeiro: UNIVASF, 2009. 1 CD-ROM.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 278 p.

PORTO, E. R.; GARAGORRY, F. L.; SILVA, A. de S.; MOITA, A. W. **Risco climático: estimativa de sucesso da agricultura dependente de chuva para diferentes épocas de plantio I: cultivo do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1983. 129 p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 23).

PORTO, E. R.; SILVA, A. de S.; BRITO, L.T. de L.; MONTEIRO, M. A. R. Captação de água de chuva in situ II: densidade de caupi. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Petrolina, PE). **Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio**. Petrolina, 1989. p. 25-37. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 35).

REBOUÇAS, A. C.; MARINHO, M. E. **Hidrologia das secas do Nordeste do Brasil**. Recife: SUDENE-DRN, Divisão de Hidrologia, 1972. 126 p. (BRASIL. SUDENE. Hidrologia, 40).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User Guide**: version 8. Cary, 1999. 3.384 p.

SILVA, A. B.; RESENDE, M.; SOUSA, A. R.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um regossolo no Agreste Pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 2, p. 299-307, 1999.

SILVA, A. de S.; PORTO, E. R. **Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do Trópico Semiárido do Brasil**: tecnologias de baixo custo. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1982. 128 p. (EMBRAPA-CPATSA . Documentos, 14).

SILVA, A. de S.; PORTO, E. R.; BRITO, L. T. de L.; MONTEIRO, M. A. R. Captação de água de chuva in situ I: comparação de métodos da região semi-árida brasileira. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (Petrolina, PE). **Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio**. Petrolina, 1989. p. 5-24. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 35).



Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**



CGPE 9945