

Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido¹

Effect of soil management on water deficit, gas exchange and cowpea yield in the semi-arid region

Francisco Bergson Parente Fernandes², Claudivan Feitosa de Lacerda³, Eunice Maia de Andrade³, Antônia Leila Rocha Neves^{4*} e Carlos Henrique Carvalho de Sousa³

RESUMO - A variabilidade das chuvas no semiárido ocasiona, frequentemente, insuficiências hídricas durante o ciclo do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), afetando o seu rendimento. Objetivou-se investigar o efeito de diferentes manejos do solo no déficit hídrico do solo, nas trocas gasosas foliares e no rendimento do feijão-de-corda, em regime de sequeiro no semiárido. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas com cinco sistemas de manejo (tratamentos), duas camadas de solo (0,15 e 0,30 m) e quatro repetições. Os manejos investigados foram: T-P, solo mobilizado somente pela enxada; T-ESC, solo escarificado a 0,30 m; T-CS, solo com subsolagem e captação *in situ*; o T-CCM, subsolagem, captação *in situ* e cobertura morta e o T-CCO, com subsolagem, captação *in situ*, cobertura morta e compostagem. Os resultados mostraram que a interação das práticas da cobertura morta, compostagem, subsolagem e a técnica de captação *in situ*, dotaram o T-CCO de maior capacidade de captar e armazenar água no solo, com um consequente aumento da disponibilidade hídrica para as culturas. Tal fato aumentou o rendimento da T-CCO em relação aos demais tratamentos na ordem (1º ao 4º) de 41%, 28%, 47% e 12%. Para um déficit hídrico gerado por 10 dias consecutivos sem chuvas, o T-CCO apresentou os melhores resultados na manutenção do estado fisiológico das plantas. No entanto, quando o solo se encontra próximo à capacidade de campo, as práticas de manejo do solo não mostraram diferenças significativas na condutância estomática, fotossíntese, transpiração e na temperatura foliar. Tal fato expressa a importância do manejo do solo em condições limitantes de umidade.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Solos-manejo. Plantio de sequeiro. Estresse hídrico.

ABSTRACT - Rainfall variability in semi-arid areas often results in water shortages during the cycle of the cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), affecting yield. This study aimed to investigate the effect of different management practices on soil water deficit, leaf gas exchange and the yield of the cowpea under rainfed conditions in a semi-arid region. The experimental design was completely randomised into split lots of five management systems (treatments) and two layers of soil (0.15 and 0.30 m), with four replications. The management systems investigated were: T-P, soil turned by hoe only; T-ESC, ploughing to 0.30 m only; T-CS, soil with subsoiling and *in situ* catchment; T-CCM, subsoiling, *in situ* catchment and mulch, and T-CCO, subsoiling, *in situ* catchment, mulch and compost. The results showed that the interaction of the practices of mulching, composting, subsoiling and *in situ* catchment, resulted in the T-CCO having a greater capacity to capture and store water in the soil, with a consequent increase in water availability for the crops. This fact increased the yield of T-CCO in relation to the other treatments by (1st to 4th) 41%, 28%, 47% and 12%. For a water deficit generated after ten consecutive days without rain, the T-CCO displayed the best results in maintaining the physiological state of the plants. However, when the soil was close to field capacity, there were no significant differences for soil management practice in stomatal conductance, photosynthesis, transpiration or leaf temperature. This fact demonstrates the importance of soil management under limiting conditions of moisture.

Key words: *Vigna unguiculata*. Soil management. Rainfed agriculture. Water stress.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150032

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 20/03/2014; aprovado em 09/04/2015

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/UFC

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, bergsonf@oi.com.br

³Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciência Agrária, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, cfeitosa@ufc.br, eandrade@ufc.br, sousaibiapina@yahoo.com.br

⁴Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Campus do PICI, Caixa Postal 12.168, Bloco 804, Fortaleza-CE, Brasil, 60.450-760, leilaneves7@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A exploração agrícola no semiárido cearense é constituída, predominantemente, pelo cultivo das culturas do milho e feijão, representando um total de 88% da área plantada. O feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) destaca-se por ser o alimento básico da agricultura familiar, ocupando grande parte das áreas cultivadas o que torna esta cultura importante para as comunidades rurais nas áreas econômica e social; porém, constitui-se em uma atividade de alto risco (instabilidade na produção) por estar submetida à dependência das características das chuvas nestas regiões (BEZERRA *et al.*, 2003).

Os sistemas de produção tradicionais têm no preparo do solo sua grande vulnerabilidade, pois esses ainda não estão adequados à realidade do clima semiárido. Realizado somente com a enxada, pouco altera a estrutura do solo, dificultando a infiltração e a armazenagem da água no solo (BRITO *et al.*, 2008).

Solos com tais sistemas de preparo aumentam as ocorrências do déficit hídrico, mesmo em anos considerados pluviometricamente normais. O decréscimo na disponibilidade hídrica do solo afeta o crescimento, o desenvolvimento e, principalmente, o rendimento das culturas exploradas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2005; KERBAUY, 2009).

A redução da disponibilidade hídrica no solo, como consequência dos períodos de veranicos, reduz a condutância estomática com implicações diretas na transpiração, fotossíntese e temperatura das folhas, causando prejuízos e, muitas vezes, o colapso na produção agrícola em caso de secas severas (MENDES *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2009; PEIXOTO, 2011).

Sistemas de manejo do solo que tem como base o princípio da conservação do solo e de água com o uso de equipamentos e técnicas apropriadas, provocam mudanças nas propriedades físicas, alterando, principalmente, o armazenamento da água (BESCANSA *et al.*, 2006; DALMAGO *et al.*, 2009). O uso dessas tecnologias introduzidas nos sistemas produtivos requer o conhecimento das alterações na armazenagem da água no solo para cada tipologia de manejo adotada (SAHRAWAT *et al.*, 2010).

Embora existam muitos trabalhos mostrando a influência do déficit hídrico sobre a cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), pouco se sabe sobre os efeitos de sistemas de preparo e manejo do solo na captação e retenção da água e nas respostas dessa cultura sob a influência do ambiente semiárido. Esse tipo de estudo permite entender o comportamento das variáveis fisiológicas da planta (condutância estomática, transpiração, fotossíntese e temperatura foliar), bem como as respostas no rendimento dos grãos,

sendo de importância fundamental para o desenvolvimento de novos sistemas de manejo e da cultura, no sentido de reduzir os riscos de perda de produção à climatologia local (FRANÇOIS, 2012; NASCIMENTO, 2009).

Assim, objetivou-se avaliar os efeitos do déficit hídrico na condutância estomática, fotossíntese, transpiração, temperatura foliar e rendimento do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), submetido a diferentes técnicas de manejo do solo no semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Fazenda Normal, de propriedade da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (Ematerce), no município de Quixeramobim, situado na zona fisiográfica do Sertão Central (5°12'08" S, 39°17'11" W), a uma altitude média de 250 m, distando 210 km da capital do Estado. O clima é do tipo semiárido quente e seco BSh'w', conforme classificação de Köppen. A estação das chuvas tem uma duração de três a quatro meses (fevereiro a maio) e a estação seca, com oito meses de duração, sem chuvas, (junho a janeiro), sendo os meses de outubro a dezembro os mais secos e quentes. Temperatura média máxima entre 32-38 °C, e a precipitação está entre as isoietas de 500 a 750 mm. De acordo com o levantamento realizado em campo, o solo trabalhado pertence à classe Argissolo Vermelho eutrófico, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013). Os dados das análises físicas da área estão apresentados na Tabela 1.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com cinco sistemas de manejo, em duas camadas de solo (0,15 e 0,30 m) e com quatro repetições, perfazendo um total de 40 unidades experimentais. A cultura instalada foi o feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar "Setenão", sendo a semeadura realizada, manualmente, em todos os tratamentos, no início do mês de abril. A escolha da variedade se deu em função da mesma ser a mais distribuída pelo programa "hora de plantar", executado pelo governo do estado do Ceará. A precipitação pluviométrica foi medida por um pluviômetro convencional modelo Ville de Paris.

Os tratamentos expressam cinco sistemas de produção decorrentes de diferentes sistemas de preparo do solo: 1) T-P - Sistema de produção com preparo do solo, utilizado pelos pequenos produtores familiares com menos de 2 ha, com uso da enxada. 2) T-ESC - escarificação mecânica, a uma profundidade de 0,25-0,30 m e espaçamento de 0,25 m; 3) T-CS - subsolagem, a uma profundidade de 0,30 m, e espaçadas de 0,60 m, com o uso de sulcadores, captação *in situ*; 4) T-CCM - Aplicou-se o mesmo manejo do Tratamento 3, adicionando-se cobertura morta; 5) T-CCO - Implementado

Tabela 1 - Características físicas nas camadas de (0-0,15 m) e (0,15-0,30 m), do solo da área experimental da Fazenda Normal em Quixeramobim, CE, 2012

Características físicas	Profundidade (m)	
	0-0,15	0,15-0,30
Areia total (g kg ⁻¹)	814,00	674,00
Areia muito grossa	91,24	68,75
Areia grossa	179,00	137,09
Areia média	169,00	148,15
Areia fina	255,35	208,80
Areia muito fina	119,41	111,21
Silte (g kg ⁻¹)	125,00	147,00
Argila (g kg ⁻¹)	61,00	179,00
Argila natural (g kg ⁻¹)	3,70	11,58
Grau de flocculação (g kg ⁻¹)	58,43	45,96
Característica textural	Areia Franca	Areia Franca
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,68	1,75
Densidade das partículas (kg dm ⁻³)	2,59	2,54
Porosidade (%)	0,27	0,34

da mesma forma que o tratamento 3, adicionando-se a cobertura morta e o composto orgânico (20 ton ha⁻¹).

As propriedades físicas do solo foram avaliadas no início do experimento (Tabela 1), permitindo verificar a existência, ou não, de horizontes adensados ou compactados. Para a determinação da umidade do solo (método gravimétrico) foram realizadas coletas de solo com o uso do trado de rosca nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m, nos seguintes dias após o plantio (DAP): 1; 6; 10; 15; 20; 28; 34; 37; 43; 50; 55 e 58. As amostras de solo retiradas eram acondicionadas em latas de alumínio, pesadas e colocadas em estufa a 105 °C, por 24 horas ou até atingirem peso constante.

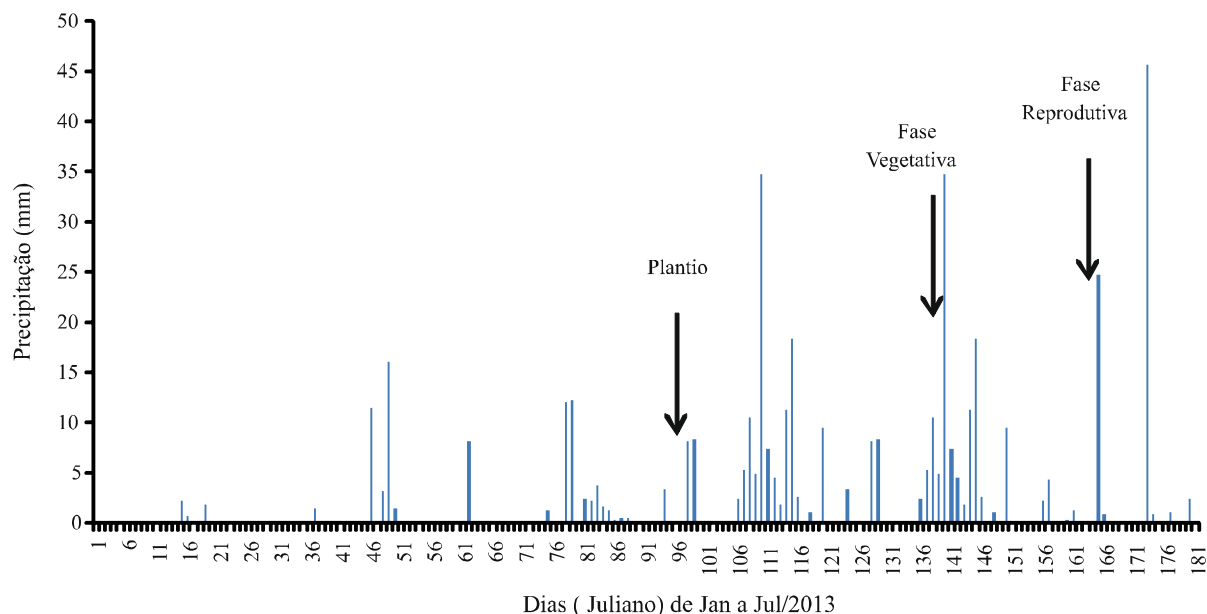
O composto orgânico utilizado no experimento foi produzido na própria área trabalhada com o aproveitamento da serrapilheira (43%). Entre as espécies que contribuíram para a serrapilheira encontram-se o marmeleiro (*Cróton* sp.), a jurema branca (*Pithecolobium diversifolium* Benth), a jurema preta (*Mimosa nigra* Hub.), o mofumbo (*Cobretum leprosum* Mart), o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e o pau branco (*Auxemma oncoalyx*). Como complemento, adicionou-se o esterco bovino (20%), a palha do milho (7%) e capim elefante (30%). Depois de curtido, o composto apresentou na sua composição os seguintes teores de nutrientes: N- 12,7; P-1,5; K- 8,0; P₂O₅- 3,4; K₂O- 9,8 e Ca- 21,2 g kg⁻¹. As análises foram realizadas no Laboratório de Química do Solo do Departamento de Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

Para verificar o grau de estresse imposto à cultura, foram realizadas medições da taxa de condutância estomática, taxa de fotossíntese líquida, transpiração e temperatura foliar, em folhas completamente maduras, utilizando-se um IRGA modelo LI 6400 (Licor, USA). As medições foram realizadas entre 7h 30min e 8h 30min e entre 12h e 13h, utilizando-se uma fonte artificial de radiação de 1400 μmol m⁻² s⁻¹ e sob condições naturais de temperatura e concentração de CO₂ do ar. As avaliações foram realizadas quando a umidade do solo se encontrava na capacidade de campo, aos 37 DAP, e logo após um veranico de dez dias, aos 58 DAP. Ao final do ciclo foi coletado um grupo de seis plantas por parcela para quantificação da produção de biomassa seca da parte aérea. O rendimento final da cultura foi obtido a partir da coleta das vagens de todas as plantas (cerca de 138 plantas por parcela). Com a produção de massa seca total e a produtividade calculou-se o índice de colheita (IC).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com P ≤ 0,05, utilizando-se o programa ASSISTAT 7.6 Beta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentada a distribuição das chuvas, no período de janeiro a junho de 2013. Em se tratando da agricultura de sequeiro, as precipitações

Figura 1 - Distribuição das chuvas na área experimental (Janeiro-Junho/2013)

pluviométricas são as responsáveis pelo suprimento de água às culturas durante o ciclo.

A quantidade de água precipitada na área experimental, a partir do plantio do feijão (09/04/2013), até sua colheita (70 DAP), representou o total de uma lâmina de água de 310,6 mm. Nesse período (70 dias), foram contabilizados cinco veranicos: dois, com seis dias sem chuva na fase vegetativa (1° e 24° DAP); e três, na fase reprodutiva, sendo o primeiro de seis dias, com início aos 40 DAP; o segundo de 10 dias aos 47 DAP, e o terceiro de sete dias aos 59 DAP (Figura 1).

Veranicos, dependendo do número de dias e do manejo do solo, podem provocar redução da umidade do solo, induzindo a um déficit hídrico na planta. A planta, quando submetida a déficits hídricos, reduz o seu crescimento celular e a fotossíntese com consequências no desenvolvimento e produtividade (FRANÇOIS, 2012; KERBAUY, 2009).

Identificou-se variações no armazenamento da água no solo entre os tratamentos decorrentes dos efeitos da distribuição temporal das precipitações pluviométricas (intensidade e veranicos). Foram, também observadas variações (Figura 2), bem como um consumo de água diferenciado pelo desenvolvimento fisiológico, em função do déficit hídrico e resistência mecânica do solo.

Diferenças não significativas no armazenamento da água no solo foram verificadas nas leituras, após a ocorrência de precipitações pluviométricas (baixas intensidades), indicando que, naquele momento, o

solo encontrava-se na capacidade de campo ou nas proximidades (1 e 10 DAP - Figura 2). Uma diferença não significativa também foi observada após a ocorrência de veranicos (6, 34 e 55 DAP - Figura 2). Esses resultados podem ser explicados pelos baixos conteúdos de água no solo.

Por outro lado, quando ocorreram maiores precipitações pluviométricas, as práticas de manejo do solo influenciaram na captação de água, contribuindo para um aumento diferenciado entre os tratamentos (15 e 37 DAP - Figura 2), mesmo que estes estivessem próximos da capacidade de campo. Observou-se a mesma tendência após os veranicos, onde as práticas com uma maior capacidade de retenção da água prolongaram a disponibilidade hídrica por maior período de tempo (20; 28; 43; 50 e 58 DAP).

O T-CCO foi o manejo de solo de maior eficiência na capacidade de armazenagem de água no solo, tanto na captação (período de precipitações pluviométricas - Figuras 1 e 2), como na retenção da umidade do solo (veranicos- Figuras 1 e 2), influenciadas pelas práticas de preparo do solo como a subsolagem, técnica de captação *in situ*, cobertura morta e uso do composto orgânico.

O T-P foi o de pior desempenho. A não mobilização do solo (adensado/compactado) limitou o desenvolvimento do sistema radicular, condicionando o seu crescimento superficialmente (0,0-0,15 m) e inibindo seu aprofundamento e desenvolvimento, tornando as plantas mais vulneráveis aos períodos de veranicos e ao déficit hídrico. O T-CCM; T-ESC e T-CS obtiveram um desempenho do conteúdo

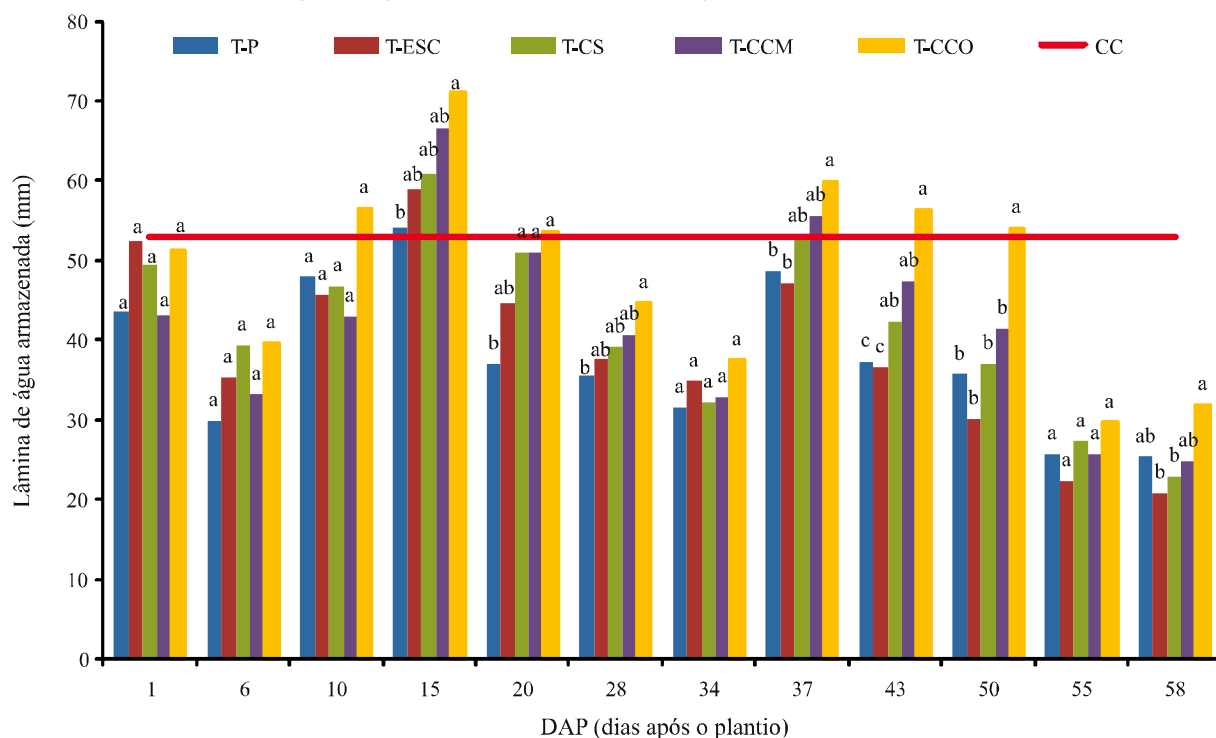
de umidade diferenciado dos anteriores recorrentes manejos no solo aos quais foram submetidos (Figura 2).

Observações nesse sentido podem ser verificadas pelas alturas das lâminas de água no solo durante todo o ciclo do feijão-de-corda. Em vários momentos, a umidade do solo em alguns tratamentos (maior frequência para o T-P; T-ESC e T-CS- Figura 2) ficou abaixo da capacidade de campo (52 mm em média - medida em laboratório - Figura 2). Exemplos desta natureza são visualizados aos 6; 20; 28; e 34 DAP (fase vegetativa do feijão-de-corda); e aos 43; 50; 55 e 58

(na fase reprodutiva). Na Tabela 2 é apresentado os resultados das trocas gasosas do feijão-de-corda sob os efeitos dos manejos do solo, na condição de umidade do solo próxima à capacidade de campo (37 DAP).

Os resultados obtidos aos 37 DAP mostram que não ocorreu nenhuma diferença significativa entre as variáveis de trocas gasosas (condutância estomática, taxa de fotossíntese e taxa de transpiração) e a temperatura foliar da planta em todos os tratamentos (Tabela 2). Este resultado está relacionado ao elevado conteúdo de água do solo, uma vez que a umidade se apresentava próximo à

Figura 2 - Variação da armazenagem da água no solo durante o ciclo do feijão-de-corda na camada de 0,0-0,30 m



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

Tabela 2 - Valores médios para condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) e temperatura das folhas (T1) de plantas de feijão-de-corda aos 37 DAP nos horários de 7 h 30 min e 12 h

Tratamentos	Gs (mol m ⁻² s ⁻¹)		A (μmol m ⁻² s ⁻¹)		E (mmol m ⁻² s ⁻¹)		T1 (°C)	
	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h
T-P	1,617 a	1,653 a	26,860 a	29,182 a	11,219 a	15,438 a	27,742 a	31,045 a
T-ESC	1,719 a	1,546 a	28,756 a	30,538 a	11,687 a	16,407 a	28,040 a	32,143 a
T-CS	1,485 a	1,652 a	28,520 a	30,589 a	11,554 a	16,254 a	28,213 a	31,746 a
T-CCM	1,644 a	1,678 a	29,294 a	31,544 a	12,114 a	16,919 a	28,401 a	32,014 a
T-CCO	1,777 a	1,709 a	29,478 a	31,851 a	11,920 a	16,515 a	28,024 a	31,680 a

Médias seguidas com as mesmas letras na coluna não difiram pelo teste de Tukey ao nível de 5%

capacidade de campo (lâmina de água nas proximidades de 52 mm, Figura 2). Solos nessas circunstâncias, com água abundante, favorecem a troca de água pela transpiração, permitindo maiores trocas de CO₂ com o ambiente, o que eleva a atividade fotossintética, o crescimento e a produção (KERBAUY, 2009).

Na Tabela 3 são apresentados os mesmos resultados da tabela anterior, na condição de um veranico de dez dias sem chuva. Os resultados apresentam diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis de trocas gasosas (condutância estomática, fotossíntese e transpiração). A temperatura continuou a apresentar resultados não significativos entre esses tratamentos. A condutância estomática entre os tratamentos na primeira leitura 7 h 30 min, não apresentaram diferenças significativas, enquanto que na segunda leitura, às 12 h, as diferenças foram significativas. Observa-se ainda, no horário de 12 h, redução nas variáveis da condutância estomática em relação ao observado às 7 h 30 min. Nesse intervalo de tempo, as reduções registradas em T-P; T-ESC; T-CS; T-CCM e T-CCO foram de 35%, 64%, 72%, 32% e 23%, respectivamente (Tabela 3).

A diferença nos valores das leituras entre 7 h 30 min e 12 h está relacionada ao potencial hídrico da planta. Pela manhã, o potencial hídrico tende a apresentar o seu máximo potencial para a condição hídrica em que o solo se apresenta (COSTA; MARENCO, 2007; PASSOS; PASSOS; PRADO, 2005; PEIXOTO, 2011). Os horários de maior intensidade de radiação, próximos ao meio-dia, favorecem o aumento do déficit da pressão de vapor de água entre a folha e o ar, reduzindo o potencial hídrico da planta, o que influencia as variáveis fisiológicas da mesma.

As reduções na condutância estomática entre os tratamentos observados aos 58 DAP (Tabela 3) foram similares às diferenças no armazenamento de água no solo entre os mesmos tratamentos (Figura 2 - 58 DAP). Esses

resultados não demonstram coerência com os resultados alcançados por Bianchi *et al.* (2007), os quais observaram que essa variável apresentou relação direta com o nível de disponibilidade de água no solo, independentemente do sistema de manejo do solo. Nesta pesquisa, identificou-se uma relação direta com o nível de disponibilidade de água, mas por influência das práticas no manejo do solo que o dotaram de maior capacidade em armazenar e disponibilizar água para as plantas (solo não saturado).

O elevado valor da condutância estomática no T-P (Tabela 3), está relacionado a dois eventos de precipitações pluviais de 2,2 e 4,2 mm, horas antes da leitura. O T-P, por não ter recebido nenhuma movimentação no solo, a não ser da enxada por ocasião do plantio, manteve o solo compactado ou adensado, dificultando o desenvolvimento de suas raízes que, raramente, ultrapassavam os 0,10 m de comprimento. O suprimento de água ao solo no T-P, após os eventos pluviométricos (2,2 e 4,2 mm), pode ser observado pelo aumento do armazenamento de água na primeira camada 0,0-0,15 m do solo (Figura 2- 58 DAP).

O T-ESC apesar de, também, apresentar aumento no armazenamento da água no solo, as plantas não responderam da mesma forma que com as do T-P. Isso pode estar relacionado ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas nesse tratamento (mais profunda), uma vez que o suprimento de água não alcançou a segunda camada (0,15-0,30 m).

O T-ESC e T-CS (Figura 2) apresentaram na camada de 0,15-0,30m, os menores conteúdos de água no solo, apesar de terem sido submetidos à escarificação (T-ESC) e à subsolagem (T-CS) e desenvolvido bem seus sistemas radiculares. A presença do selamento superficial e/ou o processo de umedecimento e secagem do solo podem ter influenciado o retardamento da infiltração da água até as camadas de suas raízes, mostrando uma situação diferenciada da realidade expressada no desenvolvimento das plantas.

Tabela 3 - Valores médios para condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A), taxa de transpiração (E) e temperatura das folhas (T1) de plantas de feijão-de-corda aos 58 DAP, nos horários de 7 h 30 min e 12 h

Tratamentos	Gs (mol m ⁻² s ⁻¹)		A (µmol m ⁻² s ⁻¹)		E (mmol m ⁻² s ⁻¹)		T1 °C	
	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h
T-P	0,970 a	0,629 ab	22,147 ab	24,860 a	8,032 a	10,543 a	28,057 a	32,648 a
T-ESC	0,611 a	0,218 b	20,385 b	15,273 b	6,619 a	5,921 b	28,508 a	34,611 a
T-CS	0,820 a	0,231 b	19,542 b	15,641 b	7,608 a	6,067 b	28,593 a	34,656 a
T-CCM	0,933 a	0,634 ab	25,445 a	28,067 a	8,263 a	10,827 a	28,430 a	33,232 a
T-CCO	0,962 a	0,741 a	23,661 ab	27,739 a	8,207 a	11,520 a	28,311 a	33,493 a

Médias seguidas com as mesmas letras na coluna não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 5%

O processo de infiltração da água no solo, no semiárido nordestino, é influenciado pelo processo de umedecimento e secagem (ocorrências de constantes veranicos) e das altas intensidades das precipitações pluviométricas que favorecem a formação do selamento superficial do solo, o que resulta na diminuição da taxa de infiltração (BRANDÃO *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2001). O T-CCM e T-CCO não apresentaram indícios do selamento superficial, além de demonstrarem, desde o início, maior potencial de capacidade de armazenagem da água no solo (Figura 2).

Eventos dessa natureza mostram a sensibilidade da condutância estomática nas plantas em relação à disponibilidade hídrica do solo. Em resposta ao déficit hídrico, as plantas reduzem a abertura dos estômatos, influenciando outras variáveis como a taxa de transpiração e a taxa de fotossíntese, com consequências na produtividade das culturas (FRANÇOIS, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A variável da taxa de transpiração teve um comportamento semelhante ao da condutância estomática pela manhã às 7 h 30 min, ou seja, os tratamentos não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3). A análise das médias pelo teste de Tukey mostrou, apenas, diferenças significativas entre os tratamentos a partir das 12 h, onde o T-ESC e o T-CS apresentaram redução na taxa de transpiração de 11% e 20%, respectivamente, em relação aos valores medidos às 7 h 30 min.

O T-P, T-CCM e o T-CCO obtiveram um aumento de 31%, 31% e 40%, respectivamente, na leitura das 12 h, em relação às leituras das 7 h 30 min (Tabela 3). Isto pode estar associado aos eventos pluviométricos ocorridos, bem como ao manejo do solo, conforme comentado anteriormente. Santos e Carlesso (1998) resumem todas essas variáveis de interferência (precipitações, veranicos, manejo do solo e outras) na disponibilidade de água à planta, às interações entre o sistema solo-planta-atmosfera.

A análise das médias pelo teste de Tukey para a variável da fotossíntese (Tabela 3) mostra diferença significativa logo na leitura das 7 h 30 min, entre o T-CCM, o T-ESC e o T-CS. O T-CCO e o T-P encontram-se em uma posição intermediária, ou seja, não diferem dos demais tratamentos. Às 12 h o T-P; T-CCM e o T-CCO apresentam valores estatisticamente superiores aos observados no T-ESC e no T-CS. A taxa fotossintética, às 12 h, apresentou entre os tratamentos os mesmos resultados obtidos pela transpiração, ou seja, o T-P; T-CCM e o T-CCO diferenciaram-se estatisticamente dos resultados do T-ESC e T-CS. Esses resultados evidenciam a redução na absorção do CO₂ nesses dois últimos tratamentos, associada em grande parte à

redução da condutância estomática (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Ao observar o comportamento das variáveis condutância e fotossíntese, no período das 7 h 30 min às 12 h, verificou-se que, para o T-P; T-CCM e T-CCO, apesar da redução média de 30% da condutância estomática pelo estresse hídrico de 10 dias sem chuva, não foi suficiente para impedir uma atividade positiva da fotossíntese provocada pelos dois pequenos eventos de chuva (2,2 e 4,2 mm), elevando esta variável em média 12%. Ao contrário, o T-ESC e T-CS apresentaram redução tanto na condutância estomática (média de 69%), como na taxa fotossintética com redução média de 58% (Tabela 3).

A temperatura da folha (Tabela 3) assim como na leitura anterior (Tabela 2) não apresentou resultados estatísticos significantes, mas obteve um aumento médio da leitura após o veranico de dez dias de 0,3 °C na primeira leitura (7 h 30 min) e de 2 °C na segunda leitura (12 h). O déficit hídrico condiciona o aumento da temperatura foliar, podendo-se apresentar valores superiores aos da temperatura do ar (MENDES *et al.*, 2007).

As reduções verificadas nas variáveis fisiológicas da cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) mostram a reação da cultura na defesa de manter a turgescência de suas células, quando se verifica uma deficiência hídrica no solo (LARCHER, 2006) como o verificado pelo estresse de dez dias sem chuva no semiárido (Tabela 4).

O déficit hídrico nas plantas, resultante dos dez dias de veranicos, ocasionou reduções diferenciadas nas trocas gasosas entre os tratamentos, em comparação com os resultados obtidos na medição realizada quando o solo se encontrava na capacidade campo (Tabela 4).

Para a situação mais crítica do déficit hídrico (horário das 12 h) o T-CCO apresentou redução na condutância estomática de 57%; o T-CCM e o T-P, de 62%; e o T-CS e o T-ESC, de 86%. A diferença de 29% desta variável entre o T-CCO e os tratamentos T-ESC e T-CS representa a resposta das plantas à disponibilidade de água, influenciada pelos efeitos das práticas agrícolas nos manejos do solo entre os tratamentos que poderão resultar no alcance de maiores rendimentos por parte do T-CCO (Tabela 4).

Como defesa do feijão-de-corda (variedade Setentão) ao déficit hídrico nos dez dias de veranicos para a manutenção de sua turgescência, a planta reduziu sua taxa de transpiração em todos os tratamentos. Em ordem crescente (1° ao 5°) dos tratamentos as reduções foram da ordem de 32%; 64%; 63%; 36% e 30%, respectivamente. Reduções na taxa de transpiração em relação à baixa disponibilidade

Tabela 4 - Redução entre os tratamentos para a condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e taxa de transpiração (E) para a condição de dez dias de veranicos (58 DAP) em relação à condição da capacidade de campo (37 DAP)

Tratamentos	gs		A		E	
	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h	7 h 30 min	12 h
	% de redução					
T-P	40	62	28	15	28	32
T-ESC	64	86	29	50	49	64
T-CS	45	86	31	49	34	63
T-CCM	43	62	13	11	32	36
T-CCO	46	57	20	13	31	32

de água no solo, também foram observadas por outros autores (GONÇALVES *et al.*, 2010; LAGO *et al.*, 2011; LAGO *et al.*, 2012; PIMENTEL, 2004) (Tabela 4).

Reduções nas taxas fotossintéticas mostram-se mais intensas quanto maior for a redução da quantidade de água no solo (FRANÇOIS, 2012; SANTOS *et al.*, 2009). Após os dez dias de veranicos, as reduções na taxa fotossintética foram em ordem crescente (1 ao 5°) dos tratamentos de 15%, 50%, 49%, 11%, e 13%, respectivamente (Tabela 4). As respostas das plantas aos níveis crescentes do déficit hídrico no solo representam o aumento da sua resistência à perda de água pelo fechamento dos estômatos, que reduzem a fixação do CO₂ (ROSA; DILLENBURG; FORSETH, 1991), com consequência na produção de fotoassimilados, impactando no rendimento dos grãos.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados entre os tratamentos para a produção de matéria seca das folhas, hastes, vagens e rendimento dos grãos ao final do ciclo do feijão-de-corda. Observa-se um aumento do rendimento do T-CCO em relação aos demais tratamentos nos seguintes percentuais: 41% para o T-

P; 28% para o T-ESC; 47% para o T-CS e 12% para o T-CCM. O selamento superficial ocorrido em maior intensidade no T-CS pode ter influenciado na redução da capacidade de infiltração da água, contribuindo na maior redução do rendimento da cultura do feijão-de-corda.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados dos valores do índice de colheita (IC) do feijão-de-corda aos 58 DAP, quando da coleta de material para o cálculo da produção de matéria seca e aos 70 DAP, quando foi realizado a colheita total do experimento em todos os tratamentos. Os dados de IC obtidos aos 58 DAP indicam que houve retardamento no desenvolvimento das plantas nos tratamentos T-CS, T-CCM e T-CCO. Observa-se, também, que ocorreu expressivo aumento no IC nestes dois últimos tratamentos ao final do ciclo.

O maior período do desenvolvimento vegetativo das plantas no T-CCM e no T-CCO pode estar relacionado a maior umidade do solo decorrente das práticas agrícolas investigadas. De acordo com Lacerda *et al.* (2011), a manutenção de elevados teores de umidade do solo durante o florescimento podem

Tabela 5 - Valores médios para produção da matéria seca das folhas, hastes, vagens e rendimento da cultura do feijão-de-corda nos diferentes tratamentos

Tratamentos	MSF	MSH	MSV	Rendimento
	g planta ⁻¹			kg ha ⁻¹
T-P	11,0458 b	15,7375 b	8,8515 b	1272,58 b
T-ESC	17,4625 a	29,4833 ab	12,3655 ab	1570,51 ab
T-CS	13,8250 ab	20,2208 ab	8,5982 b	1145,14 b
T-CCM	17,1833 a	30,2375 ab	13,8839 a	1913,21 a
T-CCO	17,4583 a	31,6958 a	16,2104 a	2169,76 a
CV(%)	18,24	26,81	17,27	17,90

Médias seguidas com as mesmas letras na coluna não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Tabela 6 - Índice de Colheita (IC) do feijão-de-corda estimado aos 58 e 70 DAP

Tratamentos	IC	
	58 DAP	70 DAP
T-P	18,1 ± 3,0*	25,9 ± 3,4
T-ESC	15,5 ± 2,0	21,5 ± 1,9
T-CS	11,9 ± 0,8	20,1 ± 0,6
T-CCM	11,8 ± 1,8	22,7 ± 1,3
T-CCO	12,9 ± 2,2	24,9 ± 1,7

*médias ± erro padrão da média; n = 4

alterar o padrão de desenvolvimento de leguminosas como o feijão-de-corda, retardando e diminuindo a produção de vagens. Vale salientar, que o período de maior umidade do solo, no presente estudo, foi bem inferior ao observado pelos autores acima citados. Além disso, o período de estresse subsequente favoreceu a transformação de grande parte da massa acumulada nos órgãos vegetativos para os órgãos reprodutivos, após o último período de estresse hídrico. Com isso, o IC ao final da colheita total do experimento, em relação aos 58 DAP, mais que dobrou nos tratamentos em que se usaram as práticas de cobertura morta (T-CCM) e cobertura morta + composto orgânico (T-CCO), despontando em maiores rendimentos o T-CCO.

CONCLUSÕES

1. As práticas de preparo e manejo do solo não influenciaram de forma significativa as trocas gasosas do feijão-de-corda (condutância estomática, taxa fotossintética, taxa de transpiração e na temperatura foliar), quando a umidade do solo se encontrava próxima ao valor da capacidade de campo;
2. O veranico de dez dias (58 DAP) em Argissolos no semiárido provocou diferenças significativas entre os tratamentos quanto as variáveis fisiológicas trabalhadas, sendo que o T-CCO, (subsolagem, captação *in situ*, cobertura morta e compostagem) resultou em maior retenção de água e manutenção de melhor estado fisiológico das plantas;
3. Precipitações pluviométricas de pequenos volumes (2,2 e 4,2 mm) foram capazes de manter e aumentar a taxa de transpiração e a taxa fotossintética, mesmo com a redução da abertura dos estômatos, demonstrando a resposta das plantas ao conteúdo da água disponível no solo diferenciado pelos efeitos do manejo no solo na captação da água da chuva.

REFERÊNCIAS

- BESCANSÀ, P. *et al.* Soil water retention as affected by tillage and residue management in semi-arid Spain. Pamplona, Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 87, n. 1, p. 19-27, 2006.
- BEZERRA, F. M. L. *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003.
- BIANCHI, C. A. M. *et al.* Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Ciência Rural**, v. 37, n. 2, p. 315-322, 2007.
- BRANDÃO, V. S. *et al.* Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 129-138, 2007.
- BRITO, L. T. L. *et al.* Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação *in situ* no semi-árido brasileiro. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 507-515, 2008.
- CORDEIRO, Y. E. M. *et al.* Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1449-1455, 2009.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.
- DALMAGO, G. A. *et al.* Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 855-864, 2009. Suplemento.
- EMPRESABRASILEIRADEPESQUISAAGROPECUARIA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Cultura do feijoeiro: estresse e produtividade. In: FANCELLI, A. L., DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado, tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005.
- FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012.

- 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água do Solo) - Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.
- GONÇALVES, E. R. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.
- LACERDA, C. F. *et al.* Influence of plant spacing and irrigation water quality on a cowpea-maize cropping system. **International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science**, v. 1, n. 5, p. 163-167, 2011.
- LAGO, I. *et al.* Transpiração e crescimento foliar das plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1415-1423, 2011.
- LAGO, I. *et al.* Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta à fração de água transpirável no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 745-754, 2012.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531 p.
- MENDES, R. M. S. *et al.* Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.
- NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2009.
- PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.
- PEIXOTO, C. P. **Curso de Fisiologia Vegetal**. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2011. 177 p.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191 p.
- SILVA, M. S. L. da. *etal.* **Solos adensados e/ou compactados: identificação/diagnóstico e alternativas de manejo**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001. 6 p.
- ROSA, L. M.; DILLENBURG, L. R.; FORSETH, I. N. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, v. 67, n. 1, p. 51-58, 1991.
- SAHRAWAT, K. L. *et al.* Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: A review. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 3, p. 375-381, 2010.
- SANTOS, M. G. *et al.* Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.