



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Crescimento e Produtividade do Milho e Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas e Disponibilidade Hídrica no Semiárido

Luciana Sandra Bastos de Souza¹, Magna Soelma Beserra de Moura², Gilberto Chohaku Sedyama³, Thieres George Freire da Silva⁴

¹ Bióloga, Professora Assistente I, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. (87) 3929-3208. sanddrbastos@yahoo.com.br. ² Engenheira-Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23, CEP 56302-970, Petrolina, Pernambuco. (87) 3866-3600. magna_upa@hotmail.com. ³ Engenheiro Agrônomo, Professor, Departamento de Engenharia Agrícola, Unidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Holsfs, s/n, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais. (31) 3899-1880. g.sedyama@ufv.br. ⁴ Engenheiro-Agrônomo, Professor Adjunto III, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. (87) 3929-3208. thieres_freire@yahoo.com.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 06/07/2014 e aceito em 06/08/2014.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi analisar o crescimento e a produtividade das culturas do milho e do feijão-caupi em resposta à disponibilidade hídrica nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro. As culturas foram dispostas em três configurações quanto aos sistemas de cultivo: plantio consorciado de milho e feijão-caupi, plantio exclusivo de feijão-caupi, e plantio exclusivo de milho. Aos 40 dias após a sementeira, com o início do pendoamento do milho e da fase de floração do feijão-caupi, as três configurações foram submetidas a cinco diferentes lâminas de irrigação com base na evapotranspiração de referência (ET_o). Ao longo dos ciclos foram obtidas a fitomassa seca total da parte aérea e o índice de área foliar, os quais foram usados no cálculo de índices morfofisiológicos e os componentes de produção. Observou-se que o feijão-caupi no sistema exclusivo promoveu redução do crescimento e da produtividade com lâminas de água acima de 100% ET_o. Para a cultura do milho, em ambos os sistemas de plantio, e o feijão-caupi consorciado, os melhores resultados foram obtidos com a lâmina de 125% ET_o. A diminuição da disponibilidade de água e o sistema consorciado resultaram redução do crescimento e dos componentes de produção de ambas as culturas quando comparados ao sistema de plantio exclusivo.

Palavras-chave: índices morfofisiológicos, estresse hídrico, sistema consorciado, sistema exclusivo, *Zea mays* L., *Vigna unguiculata* L.

Growth and Yield of the Maize and Cowpea in Different Systems and Water Availability in Semi-Arid

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the growth and yield of corn and cowpea in response to water availability in unique planting and intercropping systems in the Brazilian semi-arid. The cultures were placed in three configurations as the cropping systems: intercropped maize and cowpea, unique planting cowpea, and unique planting corn. At 40 days after sowing, with the beginning of tasseling and flowering stage of cowpea, three configurations were subjected to five different irrigation levels based on reference evapotranspiration (ET_o). Throughout the cycles of total dry mass of shoots and leaf area index, which were used in the calculation of Morphophysiological indices and yield components were obtained. It was observed that cowpea in exclusive system promoted reduction and productivity growth at water depths greater than 100 % ET_o. For corn in both tillage systems, intercropping and cowpea, the best results were obtained with blade of 125 % ET_o. Decreased water availability and intercropping system resulted in reduced growth and yield components of both cultures when compared to the unique planting system.

Keywords: morphophysiological indices, water stress, intercropped system, sole system, *Zea mays* L., *Vigna unguiculata* L.

* E-mail para correspondência:
thieres_freire@yahoo.com.br (Silva, T. G. F. da).

Introdução

A produção de milho para a alimentação humana e animal constitui uma atividade básica e generalizada na grande maioria das pequenas propriedades rurais do Nordeste brasileiro. Por sua vez, o feijão-caupi é uma alternativa alimentar para a população devido ao seu elevado teor proteico e alta tolerância ao déficit hídrico. Desta forma, ambas as culturas se destacam pela importância socioeconômica.

Com a busca de se reduzir os riscos de perdas, melhorar o aproveitamento da propriedade e aumentar o seu retorno econômico, muitos produtores têm optado pela exploração destas culturas em sistemas de plantio consorciado. Além destes benefícios, este tipo de sistema permite reduzir a erosão, aumentar a fertilidade do solo e melhorar a biodiversidade, sendo uma alternativa viável para incrementar a oferta de alimentos (Mushagalusa et al., 2008). Todavia, as regiões em que este sistema é frequentemente usado, em geral, encontram-se sujeitos ao déficit hídrico, o que pode diminuir o crescimento e a produtividade das plantas (Kiani et al., 2007; Souza et al., 2011).

A interação de vários fatores, incluindo o sistema de cultivo e a disponibilidade de água influencia nos processos fisiológicos e é bastante complexa. Assim, a análise de crescimento pode ser utilizada para entender os efeitos de sistemas de manejo sobre as culturas agrícolas, descrevendo mudanças na produção vegetal

em função do tempo, em vez de apenas registrar o rendimento (Urchei et al., 2000). Com a aplicação dessa técnica é possível identificar diferenças morfológicas e quantificar a produção resultante do processo fotossintético (Benincasa, 2003; Alvarez et al., 2012).

Para isso, os índices morfofisiológicos têm sido utilizados para analisar as diferenças de crescimento entre indivíduos de comunidades vegetais (Batista et al., 2013; Alvarez et al., 2012). Esses índices foram usados na análise do crescimento de várias culturas: soja (Campos et al., 2008), batata (Silva et al., 2009), arroz (Alvarez et al., 2012) e cana-de-açúcar (Batista et al., 2013).

Para a cultura do milho, Rivera-Fernández et al. (2009) relataram redução do crescimento sob diferentes tensões de umidade do solo e adubação. Em sistema consorciado há relatos de potencial do milho com as culturas do sorgo e do girassol, mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica (Schittenhelm, 2010). Para o feijão-caupi, Nascimento et al. (2004) citam que o déficit hídrico afeta bastante o crescimento e a produção de grãos. Efeitos da disponibilidade hídrica no desempenho produtivo do milho e do feijão-caupi foram relatados por Ferreira et al. (2010), sendo que, reduções na produtividade também foram verificados em decorrência da adoção dos sistemas consorciados.

Os efeitos da disponibilidade de água sobre o crescimento de culturas em consorciação não têm sido quantificados e podem ser extremamente úteis na compreensão das mudanças morfofisiológicas ocasionadas pelo déficit de água, e conseqüentemente, na explicação da variabilidade da produtividade das culturas. Com isso, objetivou-se analisar o crescimento e a produtividade do milho e do feijão-caupi, submetidas a diferentes lâminas de irrigação nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado, em ambiente Semiárido.

Material e métodos

Descrição da Área Experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semiárido, município de Petrolina-PE (09°09' S, 40°22' W, 365,5m), entre o final do segundo semestre de 2007 e o primeiro semestre do ano de 2008. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSw^h, ou seja, Semiárido com estação chuvosa compreendida entre os meses de janeiro e abril.

O solo da área experimental é classificado como Podzólico Amarelo Eutrófico latossólico com fragipã, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano, moderadamente drenado, com lençol freático a 1,80m de profundidade (Embrapa, 1999). O preparo do solo consistiu na

realização de uma aração e uma gradagem. Foram realizadas amostragens de solo no perfil até 40 cm, a cada 10 cm de profundidade, visando definir as recomendações de adubação.

Utilizaram-se as cultivares Caatingueiro para o milho (*Zea mays* L.) e Pujante para o feijão-caupi (*Vigna unguiculada* L.), que são adaptadas às condições de clima Semiárido. O plantio foi feito em dois sistemas de produção, sendo um exclusivo e o outro consorciado. A área experimental foi subdividida em três configurações quanto ao sistema de cultivo, sendo: a) plantio consorciado de milho e feijão-caupi (PCMF), b) plantio exclusivo de feijão-caupi (PEF) e c) plantio exclusivo de milho (PEM).

As sementeiras do milho e do feijão-caupi foram realizadas no dia 20 de dezembro de 2007, com espaçamento de 0,5 x 0,5 m, com duas plantas por cova, para o caso do feijão-caupi no sistema exclusivo (80.000 plantas ha⁻¹); e 1,0 x 0,5 m entre plantas de feijão-caupi, com duas plantas por cova (40.000 plantas ha⁻¹) e 1,0 x 0,2 m entre plantas de milho em ambos os sistemas de plantio (50.000 plantas ha⁻¹). Nos sistemas de cultivo exclusivos, a parcela experimental foi composta por quatro fileiras de 16 m de comprimento. Por outro lado, no sistema consorciado, a parcela foi formada pela associação de uma fileira de feijão-caupi e uma fileira de milho, ambas com 16 m de comprimento, o que resultou em seis fileiras

para cada parcela experimental. Após a semeadura foram realizados os tratos culturais como capina e controle de pragas e doenças, necessários ao bom desenvolvimento das culturas.

Durante o experimento foram realizadas avaliações do comportamento fenológico das culturas, por meio de visitas diárias a área experimental para observação visual do desenvolvimento das culturas, identificação das datas de ocorrência dos eventos fenológicos e delimitação da duração dos subperíodos (semeadura-emergência, emergência-floração, floração-maturação e maturação-colheita).

Tratamentos Experimentais

As culturas do milho e do feijão-caupi, nas três configurações quanto aos sistemas de cultivo (PCMF, PEF e PEM), foram submetidas à mesma lâmina de irrigação por gotejamento nos primeiros 40 dias, e, em seguida, a cinco diferentes lâminas aplicadas, caracterizada pela ocorrência das fases fenológicas de pendoamento no milho e de floração do feijão-caupi. O período de aplicação das lâminas de irrigação teve duração de 30 dias. Estas lâminas calculadas com base nos valores da evapotranspiração de referência (E_{To}), como segue: $L125 = 125\% \times E_{To}$, $L100 = 100\% \times E_{To}$, $L75 = 75\% \times E_{To}$, $L50 = 50\% \times E_{To}$ e $L0 = 0\% \times E_{To}$. No período antecedente aos 40 dias, a lâmina aplicada correspondeu a $100\% \cdot E_{To}$. A E_{To}

foi calculada utilizando dados meteorológicos de uma estação automática situada a 300 m da área experimental e por meio do método de Penman Monteith.

Combinando as três configurações de sistema de cultivo (PCMF, PEF e PEM) e as cinco diferentes lâminas de irrigação, as culturas do milho e feijão-caupi foram submetidas a 15 tratamentos distintos: PCMF-L125, PCMF-L100, PCMF-L75, PCMF-L50, PCMF-L0, PEF-L125, PEF-L100, PEF-L75, PEF-L50 e PEF-L0, PEM-L125, PEM-L100, PEM-L75, PEM-L50 e PEM-L0. Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema de três repetições.

Amostragem de plantas

Para a obtenção da fitomassas secas acumuladas foram amostradas ao acaso três plantas de milho aos 8, 19, 26, 33, 40, 54, 63, 68, 78, 88, 97 e 109 dias após a semeadura (DAS) e de feijão-caupi aos 7, 18, 25, 32, 39, 53, 62, 67 e 76 (DAS), em cada um dos quinze tratamentos. A área foliar das plantas amostradas foi medida utilizando o integrador modelo LI-3100(LI-COR Inc., Lincoln, NE). Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal e foram subdivididas nos seguintes componentes estruturais: caule, folhas e vagens ou espigas. Os componentes estruturais foram colocados em sacos de papel e alocados em estufa com ventilação forçada à temperatura de 70°C , onde permaneceram por um período de 72h.

Após este período, as amostras foram pesadas utilizando uma balança com precisão de 0,001 g (Modelo MARK 210A, Bel Engineering, Monza-MI, Itália), até se obter peso constante e, conseqüentemente, ter-se a matéria seca de cada componente estrutural.

Variáveis de crescimento

Por meio dos dados de fitomassas seca e área foliar das plantas foram calculados os seguintes índices morfofisiológicos (Alvarez et al., 2012; Batista et al., 2013): taxa de crescimento absoluto e relativo (TCC e TCR), razão de área foliar (RAF, $m^2 \cdot g^{-1}$) e razão do peso foliar (RMF, $g \cdot g^{-1}$). As equações utilizadas para a estimativa dos valores de TCC, TCR, RAF e RMF são descritas abaixo (Benincasa, 2003).

$$TCC = \frac{w_{t2} - w_{t1}}{t_2 - t_1}$$

$$TCR = \frac{\ln(w_{t2}) - \ln(w_{t1})}{t_2 - t_1}$$

$$RAF = \frac{AF_2 - AF_1}{w_{t2} - w_{t1}} \cdot \frac{\ln(w_{t2}) - \ln(w_{t1})}{\ln(AF_2) - \ln(AF_1)}$$

$$RMF = \frac{w_{f \ n}}{w_{t \ n}}$$

em que, w_{t1} e w_{t2} = matéria seca da planta ($g \ m^{-2}$), excluindo-se as raízes, obtidas de duas amostragens sucessivas; AF_1 e AF_2 = área foliar (m^2), obtidas de duas amostragens sucessivas 1 e 2; w_t = matéria seca da planta em uma determinada amostragem, excluindo as raízes; w_f = matéria seca das folhas ($g \ m^{-2}$); AF = área foliar da planta (m^2); e, n = número

Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Sediya, G.C.; Silva, T.G. F.

de uma determinada amostragem (variando de 1 a 12 para o milho e de 1 a 9 para o feijão-caupi).

Componentes de produção

Esses componentes foram obtidos na ocasião da colheita do feijão-caupi, aos 76 DAS (05 de março de 2008), e do milho, aos 109 DAS (07 de abril de 2008), quando foram obtidos os seguintes dados: produção de grãos, número de vagens (NVP)/espigas por planta (NEP), comprimento (CV, CE) e peso de grãos por vagem/espiga (com palha, PEE e sem palha, PED).

Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância - ANOVA, sendo que, uma vez significativa, os efeitos individuais dos tratamentos e as interações entre os fatores (lâmina de irrigação e sistema de plantio) foram analisados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

O início do ciclo foi marcado pela ocorrência de temperaturas elevadas, atingido valores médios da ordem de $33,29 \pm 2,46^\circ C$, $27,31 \pm 1,61^\circ C$ e $22,25 \pm 1,00^\circ C$ para as temperatura máxima, média e mínima, respectivamente, com posterior tendência a

redução. Constatou-se que houve um atraso na ocorrência de chuvas e, embora alguns dias do ciclo das culturas tenham ocorrido no período chuvoso, observou-se que os eventos de precipitação não ocorreram durante a aplicação dos tratamentos; sendo que a lâmina total precipitada durante o desenvolvimento das culturas foi igual a 118,63 mm.

Nos sistemas de plantio exclusivo, o crescimento foi superior para ambas as culturas (milho e feijão-caupi), sugerindo que esse sistema promove maior desenvolvimento das plantas quando comparado ao sistema consorciado. Isto pode ser decorrente do fato que o consórcio de milho e feijão-caupi pode reduzir muitas características morfológicas e dos componentes de produção devido à competição entre as espécies (Gomes et al. 2007).

Quando se analisou o índice de área foliar (IAF) observou-se que o valor máximo para todos os tratamentos do milho ocorreu próximo aos 60DAS, no início da fase de enchimento de grãos sendo de 2,75, 2,95, 2,55, 2,63 e 2,44 $m^2 m^{-2}$ para os tratamentos PEM-L125, PEM-L100, PEM-L75, PEM-L50 e PEM-L0 (Figura 1a). No consórcio houve uma redução de 6,55, 24,96, e 23,40, 3,28 e 7,25% nos valores máximos do IAF, para o PCMF-L125, PCMF-L100, PCMF-L75, PCMF-L50, PCMF-L0, respectivamente (Figura 1b). Neste caso, a competição entre as espécies na mesma área, podem ter contribuído para um menor IAF no sistema

consorciado. Tais valores foram inferiores aos obtidos por Meneghetti et al. (2008), que em trabalho realizado para avaliar lâminas de irrigação no crescimento da cultura do milho (*Zea mays* L.) para obtenção de minimilho, determinadas pela evapotranspiração da cultura, baseadas na evaporação da água do Tanque “Classe A” e aplicadas quando a evapotranspiração atingia os valores acumulados: T1 - 15 mm, T2 - 30 mm, T3 - 45 mm e T4 - 60 mm; encontraram valores de IAF variando entre 3,70, 3,94 e 3,24 $m^2 m^{-2}$; porém muito semelhantes aos encontrados por Sá et al. (2002) em trabalho realizado para avaliar os aspectos morfofisiológicos para cultivares de milho antigas e modernas em que as médias do IAF variaram entre 3,0 e 3,1 $m^2 m^{-2}$.

Para o feijão-caupi o IAF máximo ocorreu próximo aos 56DAS, no final do estágio de florescimento sendo de 4,67, 4,77, 3,42, 3,66 e 2,93 $m^2 m^{-2}$ para os tratamentos PEF-L125, PEF-L100, PEF-L75, PEF-L50 e PEF-L0 (Figura 1c), respectivamente e 1,99, 1,93, 1,98, 1,72 e 1,36 para PCMF-L125, PCMF-L100, PCMF-L75, PCMF-L50, PCMF-L0 (Figura 1d). Os valores do índice de área foliar obtidos para o sistema PE no presente trabalho são superiores aos reportados por Bastos et al. (2002) para as cultivares Gurguéia e Mulato nas condições de semiárido do Piauí, que oscilaram em torno de 3,0 $m^2 m^{-2}$ entre 43 e 47 dias após a semeadura.

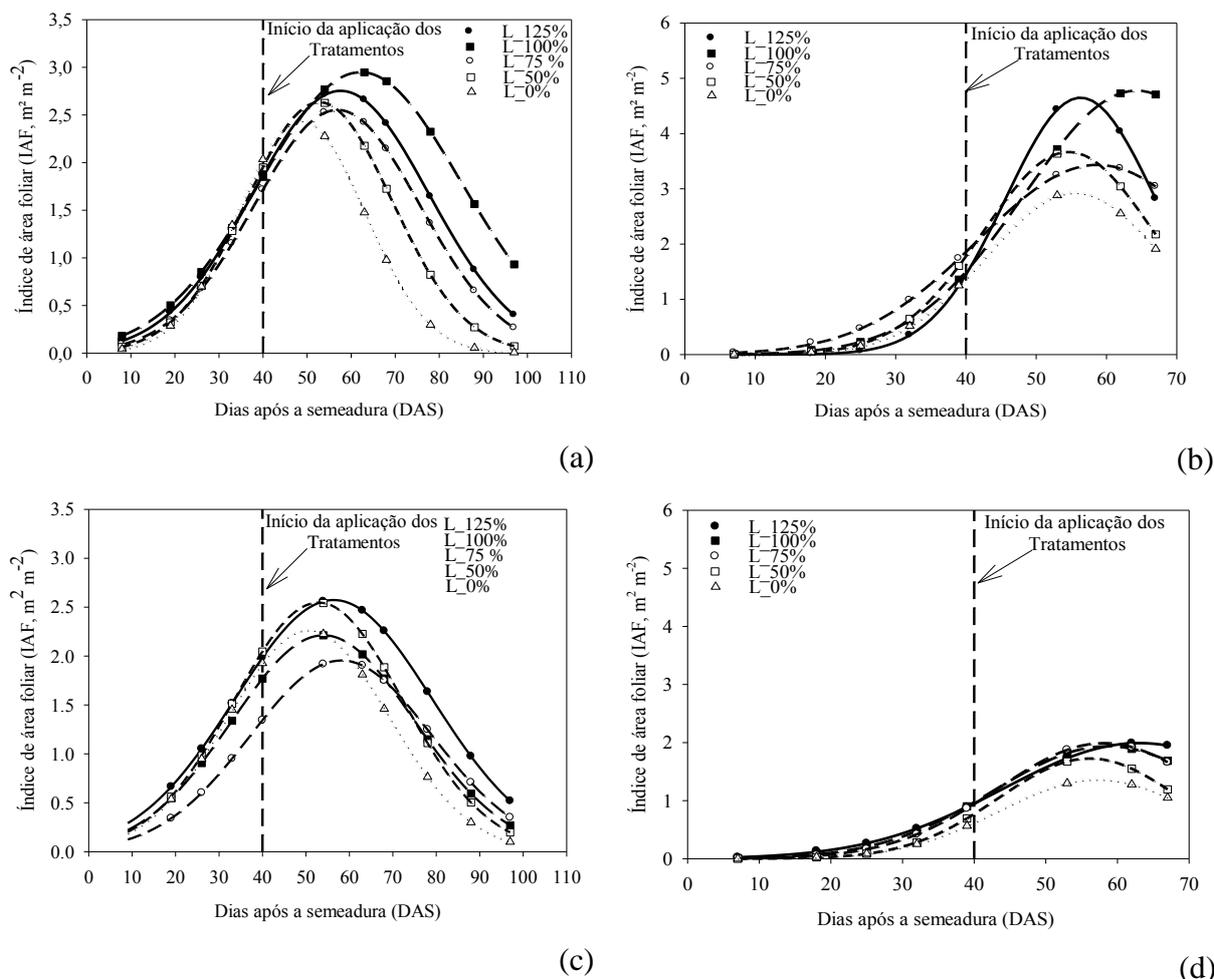


Figura 1. Variação do índice de área foliar do milho(a e c) e do feijão-caupi (b e d) em sistemas de plantio exclusivo (a e b) e consorciado (c e d), submetidas à diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

De acordo com Bastos et al. (2002) em plantas C3, um IAF igual ou superior a 3 indica que a mesma apresenta cobertura foliar suficiente para uma máxima interceptação de radiação. O valor máximo do índice de área foliar para as lâminas de 125%, 75%, 50% e 0% ocorreu próximo ao 18º dia após a aplicação dos tratamentos. No tratamento de 100%.ETo, cuja disponibilidade hídrica foi considerada ideal, houve um atraso para a ocorrência do valor máximo de IAF; o que pode ser explicado pelo fato de nesse tratamento a senescência foliar ter sido retardada. Posteriormente, evidenciou-se um

Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Sediayama, G. C.; Silva, T. G. F.

decréscimo do IAF, ficando a lâmina de 100% com os maiores valores para ambos os sistemas de plantio. Sendo observadas diferenças ($p < 0,05$) para a FSTPA, FSF e o IAF do milho feijão-caupi ao final do ciclo (97 e 67 DAS, respectivamente).

A análise dos dados referentes ao acúmulo de fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA) para as culturas do milho (Figura 2 a e c) e do feijão-caupi (Figura 2 b e d) em sistemas de plantio exclusivo e consorciado submetidos a diferentes lâminas de irrigação mostrou que ambas as culturas não apresentaram diferenças na produção de

fitomassa para os sistemas de plantio até os 40 DAS, quando começaram a aplicação dos tratamentos. Na fase do florescimento, as necessidades hídricas e nutricionais da cultura

são intensificadas (Moura et al., 2006; Bastos et al., 2002), assim, a redução da quantidade de água aplicada para as culturas ocasiona efeitos sobre os valores de FSTPA.

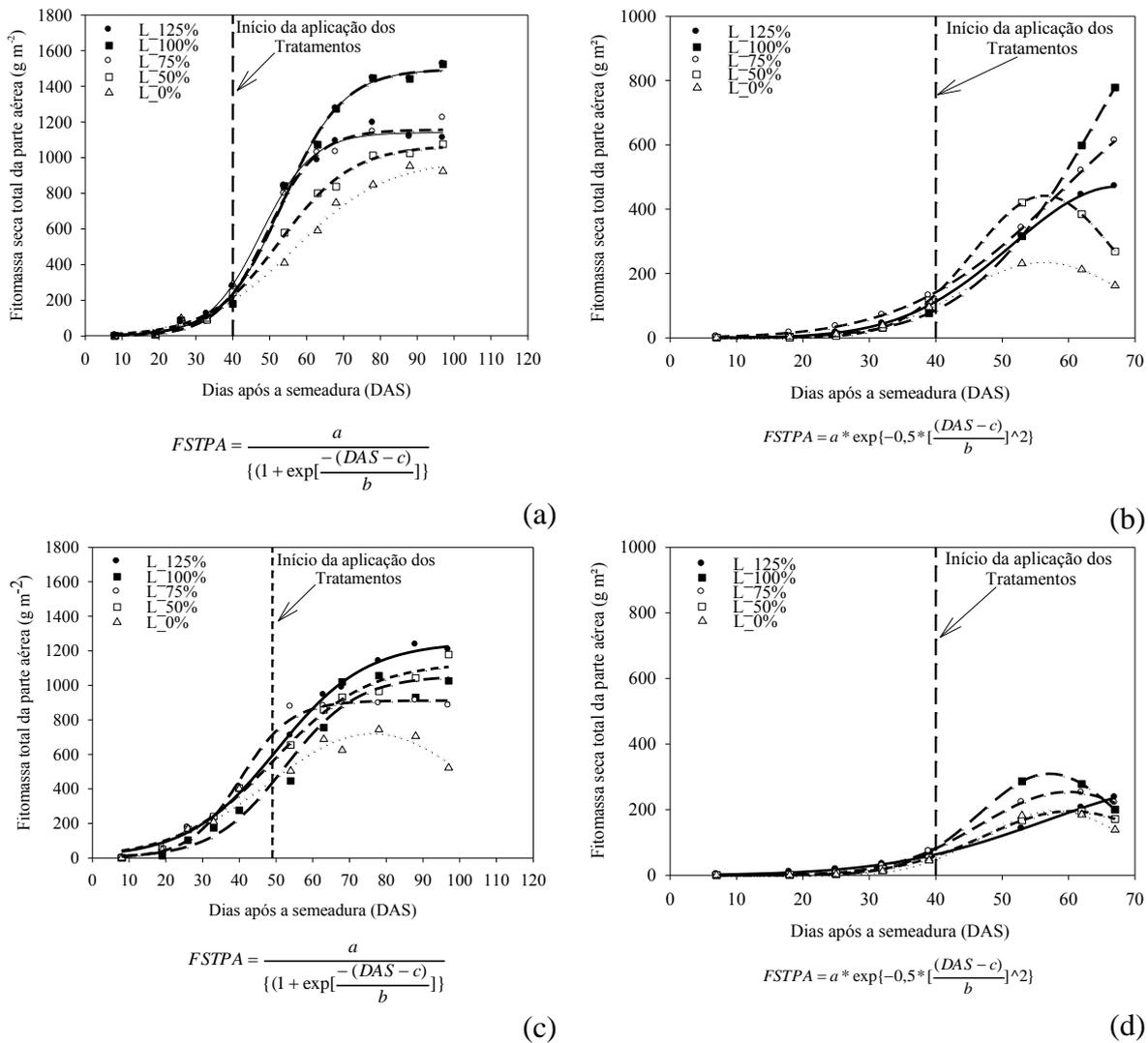


Figura 2. Fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA) do milho (a e c) e do feijão-caupi (b e d) em sistemas de plantio exclusivo (a e b) e consorciado (c e d), submetidas à diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Quando se analisou os efeitos das diferentes lâminas de irrigação, observou-se que o maior acúmulo de FSTPA para a cultura do milho, para os sistemas PE e PC foi obtido com as lâminas de 100%.ETo e 125%.ETo, respectivamente; neste último caso, o comportamento apresentado pode ser

atribuído ao fato de que o sistema consorciado demanda maiores requerimentos hídricos, além da competição luz e de nutrientes (Ferreira et al., 2008). Comportamento semelhante foi observado para o feijão-caupi em ambos os sistemas de plantio; contudo, neste último caso, o aumento ou a redução da

quantidade de água aplicada ao sistema de plantio exclusivo, resultou em valores de produção de fitomassa inferiores ao tratamento de 100%.ETO. Tais resultados podem ser explicados pelo fato do déficit ou excesso de água afetar os componentes de produção, de maneira diferente a depender do nível e duração do estresse. A cultura do feijão-caupi quando submetida ao déficit hídrico durante o estágio de florescimento apresenta diminuição da área foliar, redução do número de folhas e da produção; contudo, esta cultura é bastante resistente, e pode apresentar grande adaptabilidade a condições adversas. O excesso de água no solo também provoca prejuízos à cultura devido à redução de oxigênio e diminuição da atividade microbiana do solo (Follegatti et al., 1999).

Observou-se que, para ambas as espécies e sistemas de plantio, a taxa de crescimento da cultura (TCC) apresentou três fases bem definidas (Figuras 3 e 4); sendo a primeira caracterizada por apresentar um acúmulo lento de matéria seca; a segunda por um rápido crescimento e a terceira marcada por uma rápida diminuição. Comportamento semelhante foi observado por Garcia et al.

(2007), em estudo para avaliar o crescimento e produção do milho irrigado com água salina, e por Urchei et al. (2000), avaliando o crescimento do feijão sob plantio direto e convencional. Percebe-se ainda que o valor de TCC do sistema PE foi praticamente o dobro em relação ao valor obtido pelas plantas do milho e feijão-caupi em sistema PC. A cultura do milho quando comparada a do feijão-caupi é mais exigente em termos hídricos e nutricionais; assim, embora o milho tenha sido cultivado em uma mesma densidade para ambos os sistemas, a competição por água, luz e nutrientes no plantio consorciado promoveu redução na TCC. Para o feijão-caupi, esse resultado se deve as diferentes densidades dos dois sistemas de plantio (PE: 8,0 plantas m^{-2} e PC: 4,0 plantas m^{-2}), ou seja, as fitomassas secas acumuladas na mesma unidade de área e tempo foram distintas. Nesse caso, apenas os valores de TCC não são bons indicadores do efeito desse sistema de plantio, devendo considerar os valores de TCR, uma vez que estes representam a eficiência de conversão de fitomassa da planta em relação a uma quantidade de fitomassa preexistente.

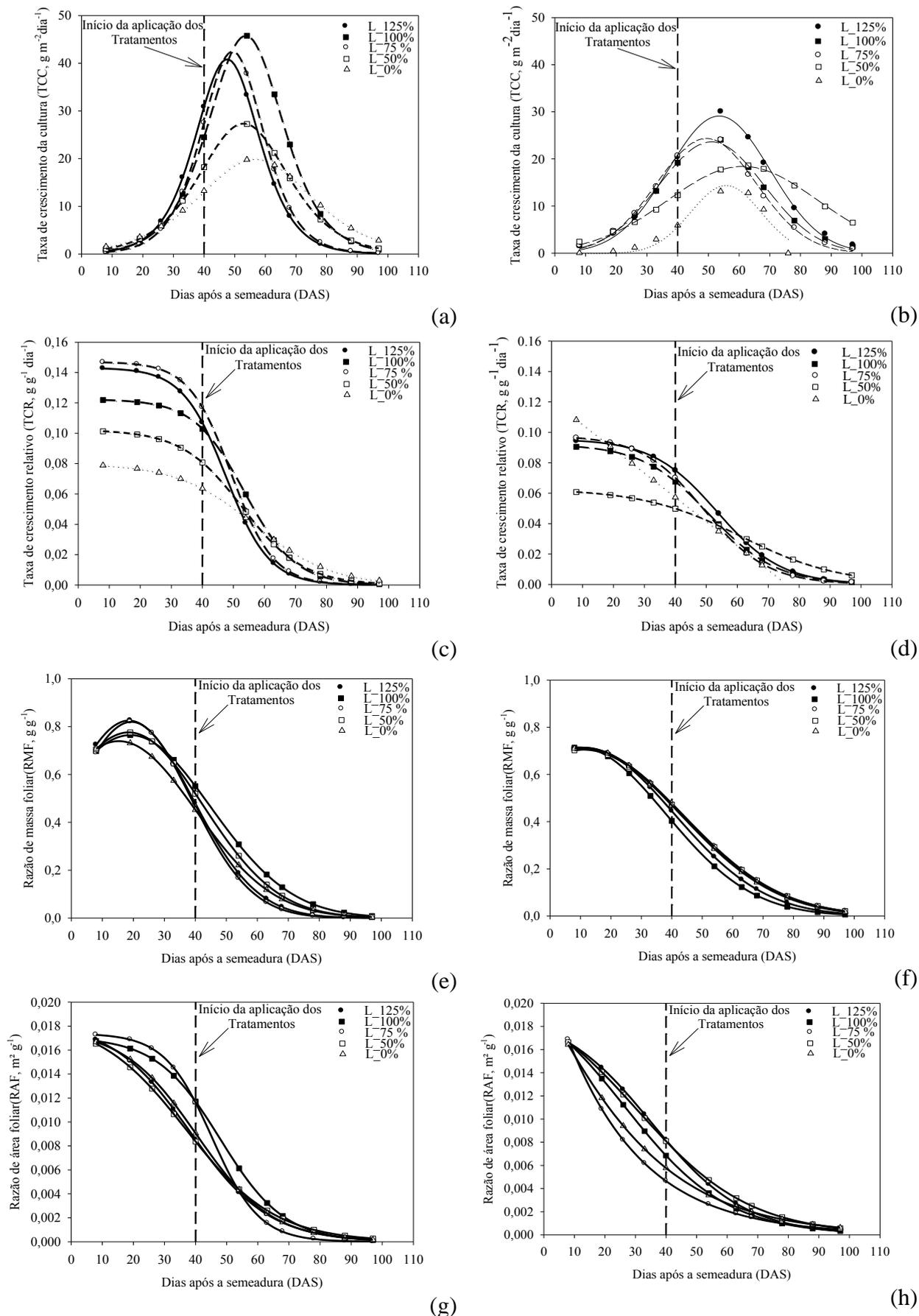


Figura 3. Variação das taxas de crescimento da cultura (a e b), taxa de crescimento relativo (c e d), e razão de massa foliar (e e f) e razão de área foliar (g e h) do milho em sistemas de plantio exclusivo (a, c, e e g) e consorciado (b, d, f e h), submetidas à diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

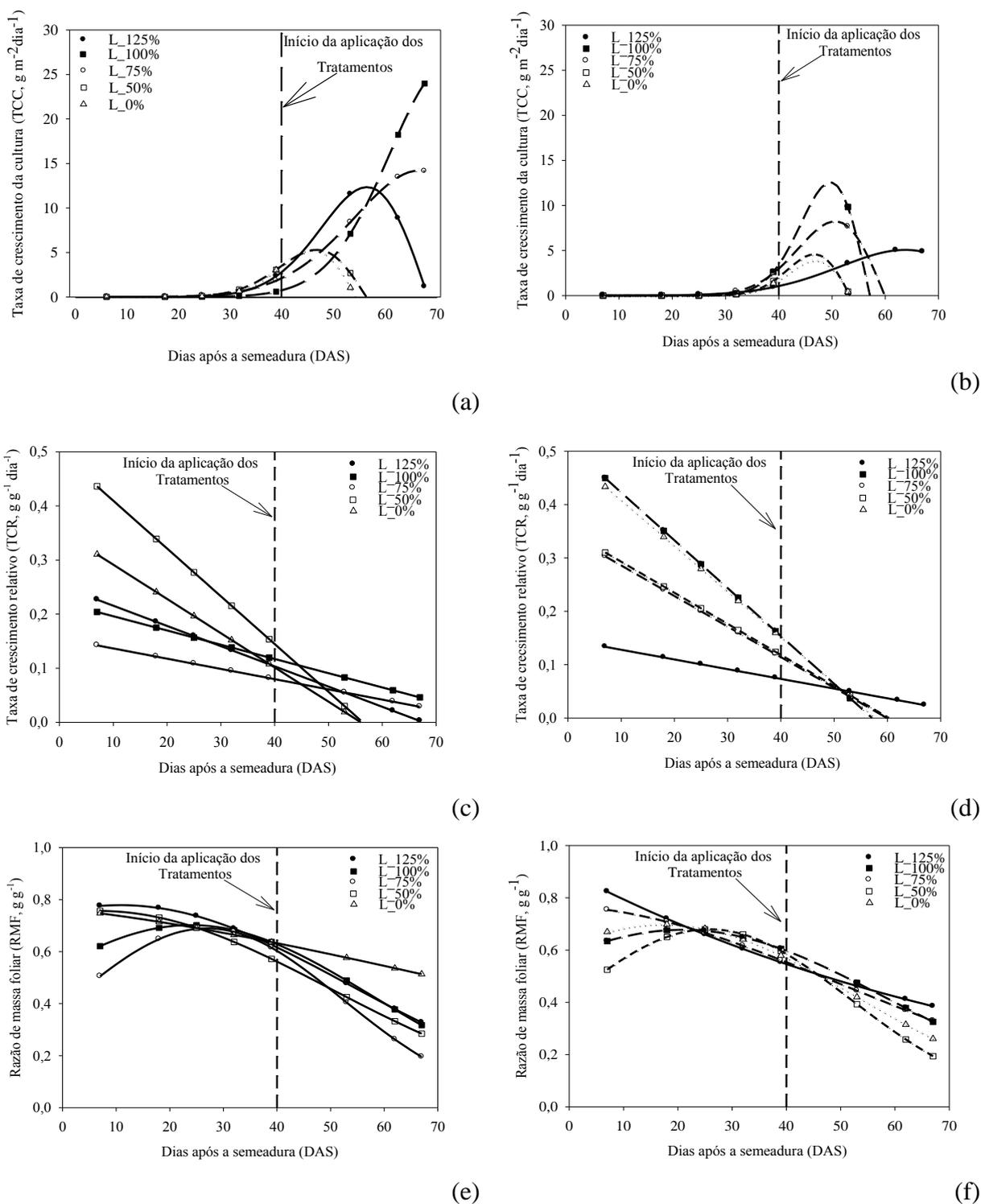


Figura 4. Variação das taxas de crescimento da cultura (a e b), taxa de crescimento relativo (c e d), e razão de massa foliar (e e f) do feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo (a, c, e e) e consorciado (b, d, e f), submetidas à diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Verificou-se para ambas as culturas e sistemas de plantio, a tendência de redução da TCR até o final do ciclo das culturas, a qual pode ser explicada pelo autosombreamento e pelo menor incremento de área foliar ao longo do ciclo da cultura (Urchei et al., 2000). Resultados semelhantes são citados por Zobot et al. (2004). Os valores de TCR obtidos para o feijão-caupi e o milho nos dois sistemas de cultivo foram menores do que informados na literatura para a cultura do sorgo (0,19 a 0,24 g g⁻¹ dia⁻¹) (Goudriaan & Monteith; 1990) e alface (0,2606 g g⁻¹ dia⁻¹) (Lyra et al., 2003), e superiores aos do feijoeiro comum (0,1300) (Goudriaan & Monteith; 1990).

A RAF da cultura do milho no sistema PE e consorciado apresentou tendência de aumento no início do ciclo da cultura, indicando que as plantas converteram maior parte da produção fotossintética em área foliar (Figura 3g). Segundo Urchei et al. (2000), a partir desse período as estruturas não-fotossintetizantes, como as flores, o auto-sombreamento e a queda de folhas reduzem a RAF na cultura do feijoeiro comum submetido a dois sistemas de cultivo diferentes (plantio direto e convencional). Para ambas as culturas, a RAF no sistema PC apresentou diminuição mais acentuada quando comparada ao sistema PE. Tal fenômeno é decorrente da maior eficiência das folhas na conversão de CO₂ e energia luminosa em matéria seca no sistema de plantio consorciado, logo que a RAF indica a

eficiência do aparelho fotossintético na produção de matéria seca.

No que se refere à RMF (Figura 3 e 4 e e f), constatou-se que ambas as culturas e sistemas de plantio apresentaram redução dos valores ao longo do tempo, indicando maior conversão do material fotossintetizante para a produção de folhas no início do ciclo, a fim de se aumentar a eficiência na interceptação de radiação e, subseqüentemente, a produção de estruturas florais. Comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2009) para a cultura do girassol ornamental submetida à diferentes condutividades elétrica das lâminas da fertirrigação.

O efeito da disponibilidade hídrica e dos sistemas de plantio do milho e do feijão-caupi teve reflexo na produtividade das culturas (Tabela 1 e 2). No sistema exclusivo do feijão-caupi, o maior crescimento, observado na lâmina de 100%.ETo, resultou na maior produtividade quando comparada as demais disponibilidade de água ($p < 0,05$). Todavia, não foram observadas diferenças entre a maioria dos componentes de produção de grãos das lâminas de água de 125%.ETo, 100%.ETo e 75%.ETo. A única diferença foi observada no número de vagens por planta (NVP), que é o principal contribuinte para o aumento da produção, sendo muito sensível ao déficit hídrico no período de floração.

Tabela 1. Valores médios da produtividade de grãos (PG), número de vagens por planta (NVP), comprimento de vagens (CV) e número de grãos por vagem (NGV), obtidos para o feijão-caupi variedade Pujante, nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado, submetido aos tratamentos com aplicação de diferentes lâminas de irrigação (L – 125%, L – 100%, L – 75%, L – 50% e L – 0%) no Semiárido brasileiro, Petrolina-PE.

| Sistema | Tratamentos | PG (kg ha ⁻¹) | NVP | CV (cm) | NGV |
|------------------|-------------|---------------------------|--------|---------|-------|
| Exclusivo | L – 125% | 1320,7b | 13,3ab | 22,4a | 11,7a |
| | L – 100% | 1374,7b | 15,5b | 22,4a | 11,7a |
| | L – 75% | 1316,5b | 8,8b | 21,2a | 11,3a |
| | L – 50% | 866,0a | 8,0a | 21,3a | 11,1a |
| | L – 0 % | 571,4c | 7,0a | 15,7a | 7,9a |
| Consórcio | L – 125% | 622,3a | 15,3b | 22,4a | 13,0a |
| | L – 100% | 556,0a | 11,0ab | 22,2a | 11,6a |
| | L – 75% | 609,0a | 11,0ab | 22,6a | 11,8a |
| | L – 50% | 373,7a | 11,7ab | 20,9a | 10,8a |
| | L – 0 % | 138,3b | 5,3a | 18,4a | 8,3a |

Andrade Júnior et al. (2002), estudando a cultura do feijão-caupi cv. Gurguéia sob diferentes lâminas de irrigação nas condições do Piauí, verificaram que o aumento da lâmina de irrigação a partir de um ponto ótimo ocasionou decréscimo da produção, sendo que a máxima produção foi obtida com aplicação da lâmina de 449,1mm. Jadoski et al. (2003) constataram que o feijão-caupi submetido ao excesso hídrico pode reduzir a produtividade em até 50%. No sistema consorciado, devido à competição entre as espécies, o crescimento mais acentuado foi verificado no tratamento de 125%.ETo, resultando em maior produtividade. Neste tratamento foi observado maior número de vagens por planta, que se

diferiu dos demais. Todavia, não foram observadas diferenças de produção e número de vagens por planta entre os tratamentos 100%.ETo, 75%.ETo e 50%.ETo. Quando se analisou a produção do milho, pode-se constatar que a consorciação e a diminuição da disponibilidade hídrica promoveram uma redução significativa no peso da espiga com e sem palha (PEE e PED) (Tabela 2). Por outro lado, o comprimento das espigas (CE) não foi afetado pela aplicação dos tratamentos. No caso da produção de grãos, constatou-se que o crescimento mais acentuado com a aplicação da lâmina de 125%.ETo em ambos os sistemas de plantio, promoveu a maior produtividade da cultura, e o sistema consorciado diminuiu em 13% do rendimento

em relação ao sistema exclusivo. Comportamento semelhante foi reportado por Ferreira et al. (2010), analisando a

performance produtiva do milho e do feijão-caupi sob diferentes regimes de irrigação.

Tabela 2. Valores médios da produtividade de grãos (PG), peso de espiga empalhada (PEE), peso de espiga despalhada (PED) e comprimento de espiga (CE), obtidos para o milho variedade Caatingueiro, nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado, submetido aos tratamentos com aplicação de diferentes lâminas de irrigação (L – 125%, L – 100%, L – 75%, L – 50% e L – 0%) no Semiárido brasileiro, Petrolina-PE.

| Sistema | Tratamentos | PG (kg ha ⁻¹) | PEE (g) | PED (g) | CE (cm) |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|---------|---------|
| Exclusivo | L – 125% | 3860,0d | 274,4a | 132,7a | 17,4a |
| | L – 100% | 3418,3cd | 245,4b | 177,2b | 16,4a |
| | L – 75% | 3005,0bc | 212,9c | 155,7c | 15,5a |
| | L – 50% | 2433,3ab | 172,9d | 126,5ad | 15,4a |
| | L – 0 % | 1655,0a | 117,2e | 87,0d | 15,2a |
| Consórcio | L – 125% | 3476,7b | 174,0a | 129,0a | 17,0a |
| | L – 100% | 2865,8ab | 146,8b | 107,9b | 16,1a |
| | L – 75% | 2600,0ab | 131,4c | 97,6c | 15,0a |
| | L – 50% | 2098,3ab | 111,9d | 79,5d | 14,2a |
| | L – 0 % | 1506,7a | 74,9e | 57,1e | 13,1a |

Conclusão

O crescimento do milho e do feijão-caupi foi reduzido com o déficit de água, sendo mais pronunciado quando as culturas foram dispostas em sistema consorciado. O crescimento diferenciado influencia diretamente nos seus componentes de produção, com melhores desempenhos a partir da aplicação de lâminas de água com base em 100% e 125% da evapotranspiração de referência para o milho e o feijão-caupi em sistema exclusivo, respectivamente, e de

125% para as culturas em sistema consorciado.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa Semiárido, à Universidade Federal Viçosa - UFV e ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA.

Referências

Alvarez, R. C. F.; Crusciol, C. A. C.; Nascente, A. S. 2012. Análise de crescimento

e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 4, p. 397-406.

Bastos, E. A.; Rodrigues, B. H. N.; Andrade Júnior, A. S.; Cardoso, M. J. 2002. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, v. 22, n. 1, p. 43-50.

Batista, E. L. S.; Zolnier, S.; Ribeiro, A.; Lyra, G. B.; Silva, T. G. F.; Boehringer, D. 2013. Modelagem de crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n.10, p. 1080-1087.

Benicasa, M. M. P. 2003. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 41p.

Campos, M. F.; Ono, E. O.; Boaro, C. S. F.; Rodrigues, J. D. 2008. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. *Biotemas*, v. 21, n. 3, p. 53-63.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro. 412p.

Ferreira, V. M.; Andrade Júnior, A. S.; Silva, C. R.; Maschio, R. 2008. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos solteiro e consorciado. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 16, n. 1, p. 96-106.

Ferreira, V. M.; Andrade Júnior, A. S.; Cardoso, M. J.; Ribeiro, V. Q.; Morais, E. L. C. 2010. Performance produtiva do consórcio milho-feijão caupi e disponibilidade hídrica do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 2, p. 177-18.

Garcia, G. de O.; Ferreira, P. A.; Miranda, G. V.; Oliveira, F. G. de; Santos, D. B. dos. Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Sedyama, G.C.; Silva, T.G. F.

2007. Índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. *Irriga, Botucatu*, v. 12, p. 307-325.

Gomes, J. K. O.; Silva, P. S. L.; Silva, K. M. B.; Rodrigues Filho, F. F.; Santos, V. G. 2007. Effects of weed control through cowpea intercropping on maize morphology and yield. *Planta Daninha, Viçosa*, v. 25, n. 3, p. 433-441.

Goudriaan, J.; Monteith, J. L. 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Annals of Botany*, v. 66, p. 695-701.

Kiani, S. P.; Talia, P.; Maury P.; Grieu, P.; Heinz, R.; Perrault, A.; Nishinakamasu, V.; Hopp E.; Gentzittel, L.; Paniego, N.; Sarrafi, A. 2007. Genetic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred lines of sunflower under two water treatments. *Plant Science*, v. 172, p. 773-787.

Meneghetti, A. M.; Santos, R. F.; Nóbrega, L. H. P.; Martins, G. I. 2008. Análise de crescimento de minimilho submetido a lâminas de irrigação. *Acta Scientia Agrônômica*, v. 30, n. 2, p. 211-216.

Mushagalusa, G. N.; Ledent, J. F.; Draye, X. 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Environmental and experimental Botany*, v. 64, p. 180-188.

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

Rivera-Hernández, B.; Carrilo-Ávila, E.; Obrador-Olán, J. J.; Juárez-López, J. F.; Aceves-Navarro, L. A.; García-López, E. 2009. Soil moisture tension and phosphate fertilization on yield components of A-7573 sweet corn (*Zea mays* L.) hybrid, in Campeche, Mexico. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 9, p. 1285-1292.

Sá, M. I.; Ramalho, M. A. P.; Souza Sobrinho, F. 2002. Aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares modernas e antigas de milho. *Ciência Agrotecnologia*, v. 26, n. 5, p. 1082-1091.

Schittenhelm, S. 2010. Effect of drought stress on yield and quality of maize/sunflower and maize/sorghum intercrops for biogas production. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 196, n. 4, p. 253–261.

Silva, F. L.da.; Pinto, C. A. B. P.; Alves, J. D.; Benites, F. R. G.; Andrade, C. M.; Rodrigues, G. B.; Lepre, A. L.; Bhering, L. P. 2009. Caracterização morfofisiológica de clones precoces e tardios de batata visando à adaptação a condições tropicais. *Bragantia*, v. 68, p. 295-302.

Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Sedyama, G. C.; Silva, T. G. F. 2011. Eficiência do uso

da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. *Bragantia*, v. 70, n. 3, p. 715-721.

Urchei, M. A.; Rodrigues, J. D.; Stone, L. F. 2000. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 3, p. 497-506.

Zabot, L.; Dutra, L. M. C.; Jauer, A.; Lucca Filho, O. A.; Uhry, D.; Stefanelo, C.; Losekan, M. E.; Farias, J. R.; Ludwing, M. P. 2004. Análise de crescimento da cultivar de feijão BR IPAGRO 44 guapo brilhante cultivada na safrinha em quatro densidades de semeadura em Santa Maria. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 3, n. 2, p. 105-115.