

LUCIANA SANDRA BASTOS DE SOUZA

**CRESCIMENTO, NECESSIDADES HÍDRICAS E EFICIÊNCIA DO
USO DA ÁGUA DO MILHO E DO FEIJÃO-CAUPI EM SISTEMAS
DE CULTIVO EXCLUSIVO E CONSORCIADO NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Meteorologia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011**

LUCIANA SANDRA BASTOS DE SOUZA

**CRESCIMENTO, NECESSIDADES HÍDRICAS E EFICIÊNCIA DO
USO DA ÁGUA DO MILHO E DO FEIJÃO-CAUPI EM SISTEMAS
DE CULTIVO EXCLUSIVO E CONSORCIADO NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Meteorologia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2011.

Prof. Paulo José Hamakawa
(Coorientador)

Dra. Magna Soelma Beserra de Moura
(Coorientadora)

Prof. Everardo Chartuni Mantovani

Dr. Welliam Chaves Monteiro da Silva

Prof. Gilberto C. Sedyama
(Orientador)

DEDICO

Com amor e carinho aos meus pais, Carlos Otávio de Souza e Graciete Bastos da Silva Souza pelo amor que me dedicaram, pelos ensinamentos que me conduziram a perceber a importância de buscar os meus sonhos e por serem sempre minha fonte de inspiração e apoio diário.

Ao meu Esposo e meu Filho, pelo companheirismo, amor, dedicação, apoio e pelos momentos felizes juntos.

Aos meus irmãos Hugo e Breno e a amiga-irmã Emanuely, por todo o amor, amizade, carinho, incentivo, compreensão e conselhos nesta longa jornada.

EU AMO VOCÊS!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a uma “Força Suprema” que, quando pequena fui ensinada a chamar de Deus. Pela força divina que tem me oferecido, para enfrentar os desafios e obstáculos, sempre com muita perseverança e tendo em mente que nada é impossível quando realmente desejamos.

Ao meu orientador, professor Gilberto Sedyama, pela dedicação, ensinamentos, competência, respeito, profissionalismo, e principalmente pela oportunidade e por acreditar em mim.

À minha conselheira Magna Soelma Beserra de Moura pelo profissionalismo e amizade, que sempre com muita sabedoria, discernimento, bom senso e dedicação me auxiliaram no cumprimento de mais esta etapa.

Ao professor Paulo Hamakawa pelo profissionalismo e pelas contribuições para melhoria desse trabalho.

À minha Avó Maria Edite da Silva pelo amor sincero, confiança, ensinamentos, presença constante e principalmente por permitir que faça parte de sua vida.

Aos meus tios Gildete Bastos da Silva, Guiomar Bastos, Antenor Cesário Rodrigues e Francisco Vital de Sá que amo de todo meu coração, pelas conversas, por todos os momentos maravilhosos e pela confiança depositada.

Às amigas Emanuely Lidiane, Lêda Lopes, Ana Clara, Dinalva e Thais, pelas conversas e pelo apoio constante durante essa etapa de minha vida.

Aos queridos Gildemar da Silva, Edenilde Soares Freire da Silva e Taciana Freire da Silva pelas palavras carinhosas, conversas agradáveis, força em cada momento e carinho sincero.

Às amigas Érica Urbano, Luciana Cristina Vieira, Yhasmin Paiva Gabriel, Tathiane. Pela convivência harmoniosa, conversas agradáveis e pela força que me deram durante todo o tempo para suportar a ausência.

À “Tia” Socorro e toda a família Gomes da Trindade pela amizade sincera e confiança que sempre me dedicaram.

Ao Roque Antônio Barbosa - Setor de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido e aos colegas Weidson Souza, Elieth Oliveira Brandão, José Francisco Alves do Carmo e Neilton, também estagiários da Embrapa Semiárido, pela colaboração.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade concedida e excelente infraestrutura de ensino e pesquisa.

À Embrapa Semiárido pela oportunidade do estágio e pela concessão da infraestrutura para realização deste trabalho.

À FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários do Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semiárido: Genival Santos, Expedito Freire, Hélio Macedo, João Filho, Manoel Cícero, Manoel Luiz, Eloi, José Carlos, pelos momentos de harmonia e sem os quais a realização deste trabalho não teria sido possível.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

LUCIANA SANDRA BASTOS DE SOUZA, filha de Carlos Otávio de Souza e Graciete Bastos da Silva Souza, nasceu em 25 de outubro de 1987, na cidade de Floresta, estado de Pernambuco.

Concluiu o ensino médio em 2004, na Escola Otacílio Nunes de Souza, Petrolina. No mesmo ano foi aprovada no vestibular para o curso de Ciências Biológicas na Universidade Estadual de Pernambuco – Campus III em Petrolina-PE. Durante a graduação atuou na área de Agrometeorologia como bolsista de iniciação científica PIBIC/CNPq na Embrapa Semiárido. Durante esse período foi premiada por sua apresentação oral na II Jornada de Iniciação Científica da Embrapa. Posteriormente foi bolsista de outros programas de Pesquisa na referida instituição. Graduou-se em dezembro de 2008.

Em março de 2009 iniciou o mestrado na Universidade Federal de Viçosa – UFV, na área de Meteorologia Agrícola, o qual concluiu em fevereiro de 2011.

SUMÁRIO

LISTA DE SIMBOLOS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Referências bibliográficas	4
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo principal	6
2.2. Objetivos específicos	6
3. CAPÍTULOS	7
3.1. CAPÍTULO I - Crescimento do milho e do feijão-caupi submetidos a diferentes lâminas de irrigação em sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro	
3.1.1 RESUMO	7
3.1.2 ABSTRACT	8
3.1.3. INTRODUÇÃO	9
3.1.4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1.6. CONCLUSÕES	29
3.1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
3.2. CAPÍTULO II - Necessidade de água e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro	
3.2.1 RESUMO	34
3.2.2 ABSTRACT	35

3.2.3. INTRODUÇÃO	36
3.2.4. MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.2.6. CONCLUSÕES	54
3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
3.3. CAPÍTULO III - Eficiência do uso da água das culturas do milho e feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro	
3.3.1 RESUMO	58
3.3.2 ABSTRACT	59
3.3.3. INTRODUÇÃO	60
3.3.4. MATERIAIS E MÉTODOS	61
3.3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
3.3.6. CONCLUSÕES	74
3.3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
4. CONCLUSÕES GERAIS	77

LISTA DE SÍMBOLOS

AF	Área foliar	M^2
DAS	Dias após a semeadura	-
e_a	Pressão de vapor d'água	kPa
e_s	Pressão de saturação de vapor	kPa
ETc	Evapotranspiração da cultura	$Mm\ d^{-1}$
ETo	Evapotranspiração de referência	$Mm\ d^{-1}$
EUA	Eficiência do uso da água	$kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$
FSF	Fitomassa seca das folhas	$g\ m^{-2}$
FSTPA	Fitomassa seca total da parte aérea	$g\ m^{-2}$
G	Fluxo de calor no solo	$MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$
GDA	Graus-dia acumulados	$^{\circ}C\ d^{-1}$
H_1	Altura média da planta na Fase II	M
H_2	Altura média da planta na Fase III	M
IAF	Índice de área foliar	$m^2\ m^{-2}$
IE	Intervalo entre eventos de umedecimento do solo	-
Kc	Coefficiente de cultura	-
Kc_f	Coefficiente de cultura final	-

Kc_m	Coeficiente de cultura médio	-
LI	Lâmina de irrigação	mm
P	Precipitação	Mm
PC	Plantio consorciado	-
PCMF	Plantio consorciado de milho e feijão-caupi	-
PE	Plantio exclusivo	-
PEF	Plantio exclusivo de feijão-caupi	-
PEM	Plantio exclusivo de milho	-
PF_{Max}	Média mais o desvio padrão do preço mínimo do feijão-caupi	R\$
PF_{min}	Média menos o desvio padrão do preço mínimo do feijão-caupi	R\$
PG	Produtividade de grãos	kg ha ⁻¹
PMF_{med}	Valor médio do preço mínimo do feijão-caupi	R\$
PM_{max}	Média mais o desvio padrão do preço mínimo do milho	R\$
PM_{min}	Média menos o desvio padrão do preço mínimo do milho	R\$
PMM_{med}	Valor médio do preço mínimo do milho	R\$
R	Relação entre os preços do feijão-caupi e do milho	-
RAF	Razão de área foliar	m ² g ⁻¹
RMF	Razão de massa foliar	g g ⁻¹

Rn	Saldo de radiação sobre a superfície de referência	MJ m ⁻² d ⁻¹
T	Temperatura do ar	°C
T _b	Temperatura base	°C
TCC	Taxa de crescimento da cultura	g m ⁻² d ⁻¹
T _{máx}	Temperatura máxima do ar	°C
T _{med}	Temperatura média do ar	°C
T _{min}	Temperatura mínima do ar	°C
U ₂	Velocidade do vento	m s ⁻¹
UR	Umidade relativa do ar	%
UR _{min}	Umidade relativa mínima	%
w _t	Matéria seca da parte aérea planta	g m ⁻²
Y _e	Índice de produção equivalente	kg ha ⁻¹
Y _f	Produtividade de grãos de feijão-caupi no cultivo consorciado	kg ha ⁻¹
Y _m	Produtividade de grãos de milho no cultivo consorciado	kg ha ⁻¹
Γ	Constante psicrométrica	kPa °C ⁻¹
Δ	Declividade da curva de pressão de saturação de vapor	kPa °C ⁻¹
ΔARM	Variação do conteúdo de água no solo	-

RESUMO

SOUZA, Luciana Sandra Bastos de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Crescimento, necessidades hídricas e eficiência do uso da água do milho e do feijão-caupi em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro.** Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Coorientadores: Magna Soelma Beserra de Moura e Paulo José Hamakawa.

O objetivo desse trabalho foi analisar o crescimento, as necessidades hídricas e a eficiência do uso de água das culturas do milho e do feijão-caupi, submetidas a diferentes lâminas de água nos sistemas de plantio, exclusivo e consorciado, no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro (09°09'S; 40°22'W, 365,6m) da Embrapa Semiárido, localizado no município de Petrolina-PE. As culturas, nos diferentes sistemas de plantio (exclusivo e consorciado), foram submetidas a cinco lâminas de irrigação, aplicadas logo após o pendoamento no milho e na fase de floração do feijão-caupi aos 40 dias depois da semeadura. Combinando as configurações de sistema de cultivo e as diferentes lâminas de irrigação, as culturas do milho e do feijão-caupi foram submetidas a 15 tratamentos distintos. Foram utilizados três diferentes métodos para obtenção dos valores de coeficiente de cultura (Kc): balanço hídrico no solo, utilização da equação proposta pela FAO56 e ajuste da variável graus-dia aos valores de Kc. Para tanto, o monitoramento do teor de água no solo foi realizado diariamente por meio de uma sonda modelo Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd., Austrália) e tubos de acesso instalados em cada tratamento. Realizaram-se medições de biomassa em intervalos semanais e de rendimento ao final do ciclo das culturas, que ocorreram aos 109 e 76 dias, para o milho e o feijão-caupi, respectivamente. Foram calculados índices morfofisiológicos para caracterizar o crescimento das culturas do milho e feijão-caupi nos diferentes sistemas de plantio. Além disso, foram utilizados indicadores que consideram a resposta produtiva da cultura e o desempenho de aplicação de água no sistema de

produção, que foram calculados por meio dos dados de rendimento total, da relação entre os preços da produção comercial de grãos de ambas as culturas, bem como dos valores de precipitação (P) e do volume de água aplicado por irrigação (I). O consorcio reduziu significativamente a fitomassa seca total da parte aérea, o índice de área foliar, a taxa de crescimento da cultura, a razão de massa foliar e a razão de área foliar do milho e feijão-caupi. O coeficiente de cultura em sistema exclusivo apresentou valores médios de 0,86, 1,10 e 0,52 para o milho e de 0,68, 1,04, 1,06 e 0,63 para o feijão-caupi, respectivamente para as fases inicial, intermediária e final. No sistema consorciado esses valores foram de 0,90, 1,30 e 0,72 para o milho e 0,86, 1,30 e 0,91 para o feijão-caupi, para as referidas fases na ordem que foram mencionadas. A produtividade de grãos das culturas do milho e feijão-caupi em resposta à disponibilidade hídrica no solo foi reduzida nos plantios consorciados em relação aos plantios exclusivos e a eficiência de uso de água das culturas do milho e do feijão-caupi foi superior no plantio exclusivo em relação ao consorciado. Mesmo assim, em termos econômicos a adoção do consórcio mostrou ser mais vantajosa em todos os tratamentos. Essas informações são de grande importância para subsidiar a melhoria do manejo da água no Semiárido do Nordeste brasileiro.

ABSTRACT

SOUZA, Luciana Sandra Bastos de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february of 2011. **Growth and water use efficiency and economic viability of maize and cowpea in sole cropping systems and intercropping in Brazilian Semiarid.** Adviser: Gilberto Chohaku Sedyama. Co-Advisers: Magna Soelma Beserra de Moura and Paulo José Hamakawa.

The aim of this study was to analyze the growth and water use efficiency of maize and cowpea crops under different irrigation water depths in sole and intercropping systems in a semi-arid region. The experiment was carried out at the Experimental Field Station of *Bebedouro* (09 ° 09'S, 40 ° 22'W) *Embrapa Semiarido*, located at *Petrolina-PE*. The cowpea and maize in different cropping systems (sole and intercropping) were subjected to five different irrigation water depths applied shortly after tasseling in corn and flowering stage in cowpea 40 days after sowing. Combining the three settings of cropping systems and the five different irrigation water depths, the crops of maize and cowpea were subjected to 15 different treatments. Three different methods were used to obtain the values of crop coefficient (Kc): Soil water balance method, using the equation proposed by FAO bulletin 56, and Kc adjusted according to degree days values. To attain these objectives, the access tubes were settled down in each experimental treatment to a depth of 1.0 m for monitoring the soil water content in daily basis through an access tube model Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd., Australia). The measurements were taken on weekly basis and the total biomass yield at the end of crop cycle (at 102 and 78 days for maize and cowpea, respectively). Morphophysiological indices were calculated to characterize the growth of corn and cowpea in different cropping systems. Indicators of the response of crop production and performance of water application in the cropping system were calculated by using data of total income, the relationship between the prices of commercial grain production for both crops, as

well as amounts of precipitation (P) and volume of water applied by irrigation (I). The consortium has significantly reduced the total dry matter of shoots, leaf area index, the rate of crops growth, leaf weight and leaf area ratio of maize and cowpea. The coefficient of sole crop system showed values of 0.86, 1.10 and 0.52 for corn and 0.68, 1.04, 1.06 and 0.63 for cowpea, respectively, for phases beginning, middle and end. Intercropping system these values were 0.90, 1.30 and 0.72 for corn and 0.86 1.30 and 0.91 for cowpea, for these phases in the order they were mentioned. The grain yield of corn and cowpea in response to soil water availability was reduced in mixed stands in relation to unique plantings and water use efficiency of corn and cowpea planting was higher in exclusive compared to intercropping. Even so, in economic terms the adoption of the consortium was more advantageous in all treatments. This information is of great importance to support the improvement of water management in the Semiarid Northeast Brazil

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de milho e de feijão para a alimentação humana e animal constitui-se uma atividade básica de grande importância sócio-econômica na maioria das pequenas propriedades rurais. Estas culturas são conduzidas tanto em sistema de produção exclusivo quanto consorciado, sendo este último bastante comum sob as condições do Nordeste brasileiro (ANDRADE et al., 2001).

O consórcio de culturas é uma prática amplamente difundida em diversas partes do mundo, primeiramente devido à possibilidade de produção diversificada de alimentos em uma mesma área, à proteção do solo e a maior regularidade de suprimentos alimentícios ao longo do período produtivo. Adicionalmente, o consórcio permite melhorar o aproveitamento de mão-de-obra, reduzir os riscos de perdas devido às irregularidades climáticas e, finalmente, melhorar a distribuição de renda entre os produtores (ZHANG e LI, 2003; BLAISE et al., 2005; SCHADER et al., 2005).

Vários estudos foram conduzidos com a finalidade de analisar as respostas da associação de culturas, em relação aos sistemas de monocultivo, quanto à eficiência de uso da radiação (AWAL et al., 2006; TSUBO et al., 2001), à utilização de nutrientes (LI et al., 2001, ROWE et al., 2005), ao uso da água (WALKER e OGINDO, 2003) e ao uso da terra (DHIMA et al., 2007; ZHANG et al., 2007). Apesar disso, ainda não se têm bem definidas as vantagens do sistema de produção consorciado relacionado à quantidade de água, especialmente, entre o milho e o feijão-caupi, sob as condições semiáridas do Nordeste brasileiro.

Em tais regiões, onde a água é escassa e a demanda evaporativa é alta, a irregularidade temporal e espacial da precipitação e a freqüente ocorrência de

veranicos podem prejudicar a produtividade das culturas em decorrência do estresse hídrico sofrido pelas plantas, sobretudo durante a fase crítica de crescimento. Para as culturas do milho e do feijão-caupi esta fase ocorre durante a floração (BEZERRA et al., 2003).

Sob condições de estresse, as respostas fisiológicas das plantas, geralmente tendem a ser modificadas, a depender da duração e severidade do estresse hídrico e da fase fenológica de ocorrência (MOURA et al., 2006). Por outro lado, o crescimento das plantas é particularmente sensível à disponibilidade de água no solo, de modo que indicadores de crescimento e de produção têm sido utilizados com o objetivo de se avaliar o grau de estresse e a tolerância de diversas culturas (KUMAR et al., 2006; LIU e STÜTZEL, 2004; PAYERO et al., 2008). Dentre estes indicadores, os mais utilizados são os índices morfofisiológicos como a taxa de crescimento da cultura, a taxa de crescimento relativo, a taxa de assimilação líquida, a razão de área foliar, a razão de massa foliar e a área foliar específica. Estes índices são calculados a partir de dados de matéria seca acumulada e da área foliar, obtidos em intervalos de tempo regulares (BENINCASA, 2003; GARCIA et al., 2007). Outra maneira de analisar as respostas dos cultivos às condições variadas de disponibilidade de água é por meio do uso eficiente de água (EUA), que relaciona a produção de biomassa seca e, ou, produção comercial, com a quantidade de água aplicada e, ou evapotranspirada (LIU e STÜTZEL, 2004; PUPPALA et al., 2005).

Estudos dessa natureza não foram amplamente realizados para as culturas do milho e do feijão-caupi em sistema de cultivo consorciado, o que fortalece a necessidade de sua utilização visando melhorar a compreensão das respostas das plantas, em relação aos sistemas exclusivos. Essas informações, quando associadas a dados agro-econômicos como, o índice de colheita, índice de produção equivalente e

ao próprio EUA, são extremamente úteis para entender as diferenças de produção das culturas às condições ambientais e às técnicas de manejo. Além disso, as informações geradas por meio deste tipo de pesquisa podem ser utilizadas como dados de entrada em modelos de simulação de crescimento, bem como para a identificação de cultivares mais adaptadas às condições ambientais do semiárido no Nordeste brasileiro.

1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. J. B.; MORAIS, A. R.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, M. V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho-pipoca. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 242-250, 2001.

AWAL, M.A.; KOSHI, H.; IKEDA, T. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 139, 74–83, 2006.

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

BEZERRA, F.M.L.; ARARIPE, M.A.E.; TEÓFILO, E.M.; CORDEIRO, L.G.; SANTOS, J.J.A. dos. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 13-18, 2003.

BLAISE, D.; BONDE, A.; CHAUDHARY, R. Nutrient uptake and balance of cotton plus pigeon pea strip intercropping on rainfed vertisols of central India. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v. 73, 135–145, 2005.

DHIMA, K.V.; LITHOURGIDIS, A.S.; VASILAKOGLU, I.B.; DORDAS, C.A. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.100, 249–256, 2007.

GARCIA, G. de O.; FERREIRA, P. A.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, F. G. de ; SANTOS, D. B. dos . Índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. **Irriga**, Botucatu, v. 12, p. 307-325, 2007.

KUMAR, R.; SARAWGI, A.K.; RAMOS, C.; AMARANTE, S.T.; ISMAIL, A.M.; WADE, L.J. Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. **Field Crops Research**, v.96, p.455–465, 2006.

LI, L.; SUN, J.H.; ZHANG, F.S.; LI, X.L.; YANG, S.C.; RENGEL, Z. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.71, 123–137, 2001.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v.102, p.15-27, 2004.

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

PAYERO, J. O.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S.; DAVISON, D.; PETERSEN, J. L. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a

semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.8, p.895 -908, 2008.

PUPPALA, N.; FOWLER, J.L.; JONES, T.L.; GUTSCHICK, V.; MURRAY, L. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, v.21, p.33-47, 2005.

ROWE, E.C.; NOORDWIJK, M.V.; SUPRAYOGO, D.; CADISCH, G. Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. **Plant Soil**, v.268, p.61-74, 2005.

SCHADER, C.; ZALLER, J.G.; KOPKE, U. Cotton-basil intercropping: effects on pests, yields and economical parameters in an organic field in Fayoum, Egypt. **Biology Agriculture Horticulture**, v.23, p.59-72, 2005.

TSUBO, M.; WALKER, S.; MUKHALA, E. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. **Field Crops Research**, v.71, p.17-29, 2001.

WALKER, S.; OGINDO, H.O. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.28, p.919-926, 2003.

ZHANG, F.; LI, L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. **Plant Soil**, v.248, p.305-312, 2003.

ZHANG, L. W.; VAN DER, W.; ZHANG, S.; LI, B.; SPIERTZ, J.H.J. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.103, p.178-188, 2007.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1. Objetivo geral

Analisar o crescimento, as necessidades hídricas e a eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi submetidas a diferentes lâminas de irrigação nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar os padrões de crescimento e de rendimento das culturas do milho e do feijão-caupi;
- Determinar os valores específicos de coeficiente de cultura (K_c) e de evapotranspiração de cultura (ET_c) para o milho e o feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado;
- Estimar o índice de produção equivalente e a eficiência do uso de água das culturas do milho e do feijão-caupi no semiárido brasileiro.

3.1. CAPÍTULO I

Crescimento do milho e do feijão-caupi submetidos a diferentes lâminas de água em sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro

3.1.1. RESUMO: O objetivo desse trabalho foi analisar os padrões de crescimento das culturas do milho e do feijão-caupi, submetidas a diferentes lâminas de água nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro. Para tanto, foi conduzido um experimento em condições de campo, com irrigação por gotejamento, na área experimental da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE. As culturas do milho e do feijão-caupi 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 semeadura, com o início do pendoamento do milho e da floração do feijão-caupi, os três sistemas de cultivo foram submetidos a cinco lâminas de irrigação com base na evapotranspiração de referência (ET_o), totalizando 15 tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições. Ao longo do ciclo foram determinados a fitomassa seca total da parte aérea, a fitomassa seca das folhas e o índice de área foliar. Com estes dados foram calculados os índices morfofisiológicos como: taxa de crescimento da cultura, razão de massa foliar e razão de área foliar. Verificou-se que o modelo sigmoidal e Gaussian permitiram os melhores ajustes dos valores de fitomassa seca total da parte aérea, de fitomassa seca das folhas e do índice de área foliar. O sistema de plantio exclusivo submetido ao tratamento com aplicação de água equivalente a 100% da ET_o foi o que proporcionou maior crescimento em ambas às culturas.

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

Growth of maize and cowpea under different depth of irrigation in sole and intercropping systems in Brazilian Semiarid

3.1.2. ABSTRACT: The aim of this study was to examine the maize and cowpea growth under different depths of irrigation in sole and intercropping systems in Brazilian Semiarid. The experiment was carried out under field conditions, with drip irrigation system design, in the experimental area of *Embrapa Semiarido*, *Petrolina* district, State of *Pernambuco*. The maize and cowpea crops were arranged in three cropping systems: maize and cowpea intercropping planting, cowpea sole planting and maize sole planting. 40 days after sowing, i.e., the beginning of tasseling for maize and flowering stage for beans, the crops were submitted to three configurations of planting systems and five different irrigation water depths, totaling 15 treatments. The field experiment was installed in a completely randomized design with three replications. Along the crops growing cycles, the total shoot, dry phytomass, leaf area index and the dry leaves phytomass were determined. The morphophysiological indices, the crop growth rate, relative growth rate, leaf weight ratio, and the leaf area ratio data were calculated. It was observed that the sigmoidal and Gaussian models allowed the best fit to the phytomass values, leaf area index and the dry leaves phytomass. The sole cropping systems submitted to the 100% of ETo treatment provided better growth rate for both crops.

Key-words: morphophysiological indices, growth, *Zea mays* L., *Vigna unguiculata* L.

3.1.3. INTRODUÇÃO

A produção de milho e de feijão-caupi para a alimentação humana constitui uma atividade básica e generalizada na grande maioria das pequenas propriedades rurais do Nordeste brasileiro, o que as tornam culturas de grande importância socioeconômica.

Com o intuito de se reduzir os riscos de perdas, de 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 ainda: reduzir a erosão, aumentar a fertilidade do solo e contribuir para melhorar a biodiversidade, além de constituir uma alternativa altamente viável para aumentar a oferta de alimentos (ANDRADE et al., 2001; MUSHAGALUSA et al., 2008). Contudo, nas regiões em que este sistema de plantio é frequentemente utilizado, em geral, encontram-se sujeita ao déficit hídrico, o que pode diminuir o crescimento e a produtividade das plantas (KIANI et al., 2007; FOLLEGATTI et al., 1999).

A interação entre os vários fatores que influenciam os processos fisiológicos é bastante complexa e, dessa forma, a análise de crescimento tem sido uma técnica bastante utilizada para entender os efeitos dos sistemas de manejo sobre as plantas, pois descreve as mudanças na produção vegetal em função do tempo, o que não é possível com um simples registro de rendimento (URCHEI et al., 2000). Além disso, essa técnica permite identificar diferenças morfológicas, assim como, quantificar a produção líquida resultante do processo fotossintético (BENINCASA, 2003; FONTES et al., 2005). Vários índices morfofisiológicos têm sido utilizados para analisar as diferenças de crescimento entre indivíduos de comunidades vegetais,

dentre os quais, os mais utilizados são a taxa de crescimento da cultura (TCC), a taxa de crescimento relativo (TCR), a razão de área foliar (RAF) e a razão da massa foliar (RMF) (TEI et al., 1996).

A TCC representa a variação de massa da matéria seca acumulada pela planta, ao longo de um intervalo de tempo. A RAF representa a relação entre a área foliar total e a massa total da matéria seca, resultando na fotossíntese líquida, enquanto a RMF indica quanto da estrutura das folhas corresponde à massa total (BENINCASA, 2003; SILVA et al., 2009). Esses índices foram utilizados para estimar o crescimento nas culturas da batata (SILVA et al., 2009), alface (VIANA et al., 2004), feijão (BASTOS et al., 2002), milho (AZEVEDO e TABOSA., 2000) e melão (FARIAS et al., 2003), dentre outras espécies. As respostas do crescimento aos efeitos do déficit hídrico em cultivos consorciados não têm sido quantificadas. Com base no exposto, este trabalho teve como objetivo analisar o crescimento das culturas do milho e do feijão-caupi submetidas a diferentes lâminas de irrigação nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado sob as condições do Semiárido brasileiro.

3.1.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.1.4.1. *Descrição da Área Experimental*

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE (09°09' S, 40°22'W, 365,5m) (Figura 1), cujo clima é classificado, segundo Köopen, como BSw^h, ou seja, Semiárido com estação

chuvosa compreendida entre os meses de janeiro e abril, apresentando média anual acumulado de 550 mm e temperaturas médias anuais, elevadas, da ordem de 26,2 °C.

O solo da área experimental foi 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 0,4 m, a cada 0,1 m de profundidade, visando determinar suas características físico-químicas e definir as recomendações de adubação, as quais foram realizadas pelo Laboratório de Solos, Água e Plantas da Embrapa Semiárido.



Figura 1. Imagem aérea do Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semiárido. Petrolina, PE. Fonte: Google Earth Beta (v 4.0.2740)

Foram utilizadas 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 e apresentam bons rendimentos (SANTOS et al., 2004;

CARVALHO et al., 2004). A semeadura foi feita nos sistemas de produção exclusivo e consorciado ambos irrigados por gotejamento. 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) (Figura 2).



Figura 2. Disposição dos sistemas de plantio consorciado (a) e exclusivos de milho (b) e feijão-caupi (c).

As semeaduras do milho e do feijão-caupi foram realizadas no dia 20 de dezembro de 2007, com espaçamento de 1,0 x 0,2 m para o milho no sistema exclusivo, totalizando uma população de 50.000 plantas ha^{-1} ; 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 no sistema consorciado (50.000 plantas ha^{-1}). Após a semeadura foram realizados os tratos culturais como capina e

controle de pragas e doenças de acordo com as recomendações de técnicos da Embrapa.

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

3.1.4.2. *Tratamentos Experimentais*

As culturas do milho e do feijão-caupi, nas três configurações quanto aos sistemas de cultivo (PCMF, PEF e PEM), foram submetidas a cinco lâminas de irrigação, aplicadas após a ocorrência das fases fenológicas de pendoamento no milho e de floração do feijão-caupi, ambos ocorridos aos 40 dias após a semeadura (DAS). O período de aplicação das lâminas de irrigação (LI) teve duração de 30 dias. As lâminas foram definidas com base nos valores calculados da evapotranspiração de referência (ET_o), como segue: L125 = 125% x ET_o, L100 = 100% x ET_o, L75 = 75% x ET_o, L50 = 50% x ET_o e L0 = 0% x ET_o.

Combinando as três configurações de sistema de cultivo (PCMF, PEF e PEM) e as cinco 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 para cada configuração de sistema de cultivo (PCMF, PEF e PEM). 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 (Figura 3).

Durante o ciclo experimental, realizou-se o monitoramento do teor de água no solo, diariamente, por meio de uma sonda FDR (Frequency Domain Reflectometer) modelo Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd., Austrália). Para tanto, foram instalados tubos de acesso, em cada tratamento, até a profundidade de 1,0m, sendo as leituras efetuadas a cada 0,1 m no perfil do solo.

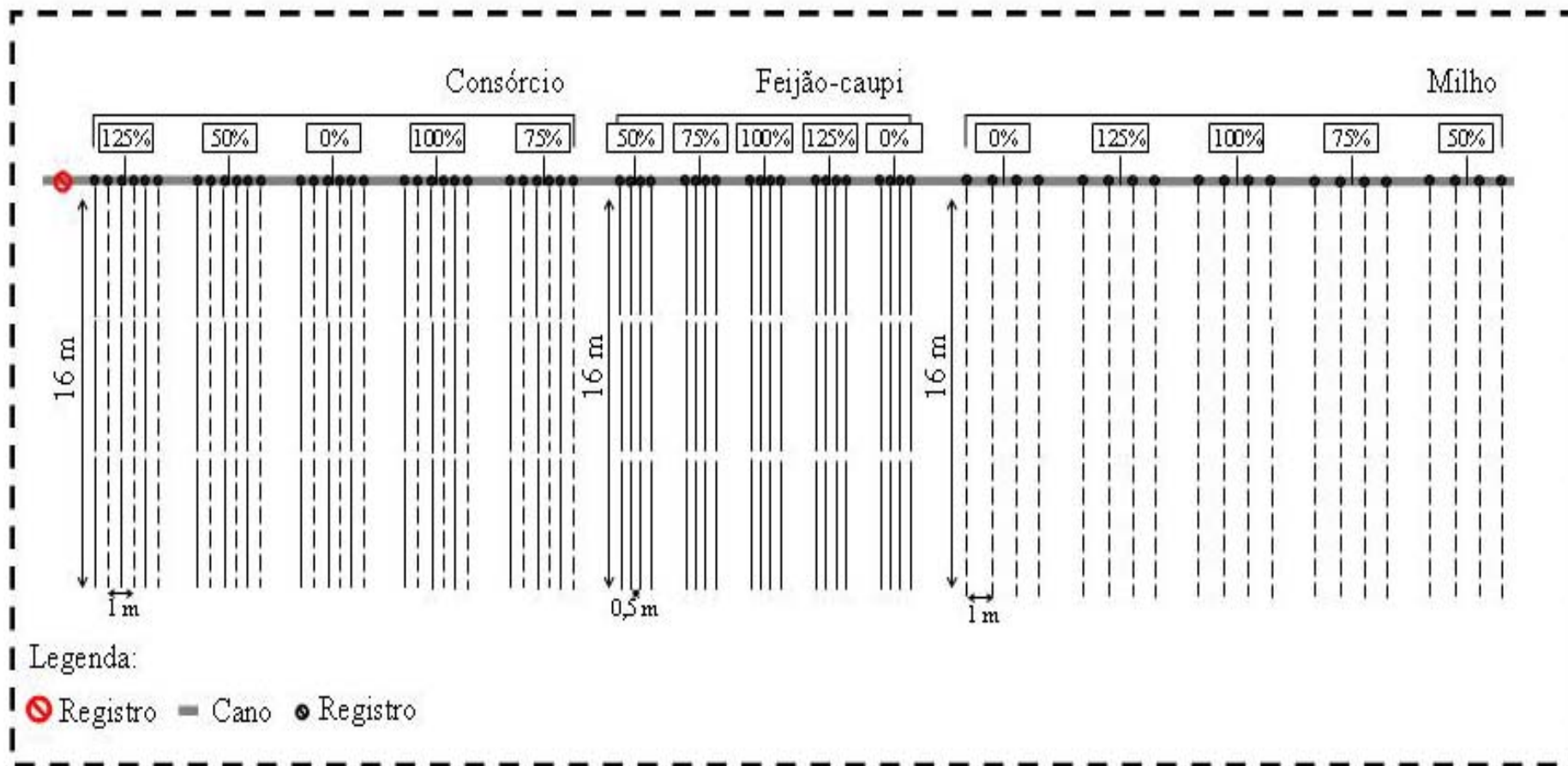


Figura 3. Detalhes da área experimental para as culturas do milho e feijão-caupi nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado.

3.1.4.3. Amostragem de plantas

Para a obtenção da fitomassa seca acumulada foram amostradas três plantas de milho ao acaso 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 estimada utilizando o integrador modelo LI-3100 (LI-COR Inc., Lincoln, NE). Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Semiárido 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, em intervalos de 24h, utilizando uma balança com precisão de 0,001 g (Modelo MARK 210A, Bel Engineering, Monza-MI, Itália), até se obter massa constante e, conseqüentemente, ter-se a matéria seca de cada componente estrutural.

3.1.4.4. Variáveis de crescimento

Foram analisadas a fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA, g m⁻²), a fitomassa seca das folhas (FSF, g m⁻²) e o índice de área foliar (IAF, m² m⁻²). Posteriormente, esses dados foram utilizados para calcular os seguintes índices morfofisiológicos (BASTOS et al., 2002; GARCIA et al., 2007): taxa de crescimento da cultura (TCC), razão de área foliar (RAF, m² g⁻¹) e razão da massa foliar (RMF, g g⁻¹). As equações utilizadas para a estimativa dos valores de TCC, RAF e RMF são descritas a seguir (BENINCASA, 2003):

$$TCC = \frac{W_{t2} - W_{t1}}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

$$RAF = \frac{AF_2 - AF_1}{W_{t2} - W_{t1}} \frac{\ln(W_{t2}) - \ln(W_{t1})}{\ln(AF_2) - \ln(AF_1)} \quad (2)$$

$$RMF = \frac{W_{f\ n}}{W_{t\ n}} \quad (3)$$

em que, w_{t1} e w_{t2} = matéria seca da planta ($g\ m^{-2}$), excluindo-se as raízes, obtidas de duas amostragens sucessivas (1 e 2); AF_1 e AF_2 = área foliar (m^2), obtidas de duas amostragens sucessivas (1 e 2); w_t = matéria seca total 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 de uma determinada amostragem (variando de 1 a 12 para o milho e de 1 a 9 para o feijão-caupi).

3.1.4.5. Dados meteorológicos

O monitoramento das condições meteorológicas durante o período de execução do experimento foi realizado por meio de uma estação agrometeorológica automática localizada a 400m da área experimental. A estação é composta de um datalogger modelo CR10X (Campbell Scientific INC.), sensores de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar incidente, saldo de radiação e fluxo de calor no solo e precipitação. Os elementos meteorológicos foram medidos a cada 60 segundos, e as médias armazenadas a cada 30 minutos, sendo posteriormente utilizados no cálculo da evapotranspiração de referência

3.1.4.6. Análise estatística

Os dados obtidos ao longo do período experimental foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância – ANOVA, utilizando-se o programa computacional estatístico SISVAR. Os efeitos individuais dos tratamentos e as interações entre os fatores (lâmina de irrigação e sistema de plantio) foram avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para modelagem da fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA), fitomassa seca das folhas (FSF) e índice de área foliar (IAF), os dados foram submetidos a análises de regressão não linear usando o software SigmaPlot 10.0.

3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados meteorológicos referentes ao período de cultivo do experimento pode-se constatar que o período inicial do ciclo foi marcado pela ocorrência de temperaturas (T) elevadas, com valores médios da ordem de $33,4 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$, $27,3 \pm 1,6^{\circ}\text{C}$ e $22,3 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ para as temperatura máxima (T_{máx}), média (T_{med}) e mínima (T_{min}), respectivamente. Com tendência à redução nos valores de temperatura ao final do ciclo (Figura 4a). No ano de 2008, 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 118,6 mm (Figura 4b).

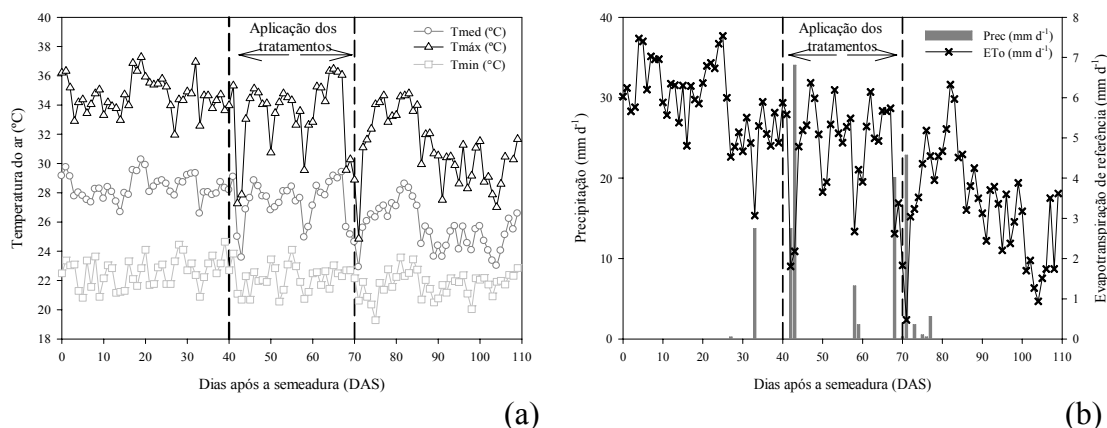


Figura 4. Comportamento diário da temperatura média, máxima e mínima do ar (a), da precipitação e da evapotranspiração de referência (b) ao longo do ciclo das culturas do milho e do feijão-caupi nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado, sob as condições climáticas do município de Petrolina - PE.

O modelo sigmoidal foi o que melhor se ajustou aos dados de fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA) do milho nos sistemas de plantio exclusivo (PE) e consorciado (PC), com parâmetros significativos a 5% de probabilidade e coeficientes de determinação ajustados acima de 0,98 para todos os tratamentos (Tabela 1). Tais coeficientes indicaram que houve uma boa correlação entre os dados de matéria seca e os dias decorridos após a semeadura. Silva et al. (2009) em trabalho realizado com a cultura do girassol submetida a diferentes condutividades elétricas reportaram um bom ajuste do modelo sigmoidal aos dados de matéria seca, com coeficientes de determinação acima de 0,95. Silva Júnior et al. (2006) também reportaram a boa adequação desse modelo aos dados de matéria seca do melão.

Tabela 1 – Parâmetros do modelo Sigmoidal ajustados aos valores observados de fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA), fitomassa seca das folhas e índice de área foliar (IAF) da cultura do milho em sistemas de plantio exclusivo e consorciado submetidos a diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Sistema de Plantio	Modelo	Tratamento	a	b	c
Exclusivo	FSTPA	L125%	1141,38	6,99	47,58
		L100%	1497,22	8,18	53,62
		L75%	1156,48	6,80	49,30
		L50%	1069,60	9,78	52,91
		L0%	993,41	12,42	56,47
	FSF	L125%	151,36	21,43	59,09
		L100%	168,92	24,25	66,42
		L75%	118,20	22,33	59,21
		L50%	139,65	20,02	57,78
		L0%	123,39	15,13	48,81
	IAF	L125%	2,75	20,04	57,63
		L100%	2,95	22,95	62,16
		L75%	2,55	18,87	56,83
		L50%	2,63	16,52	52,81
		L0%	2,44	14,32	48,64
Consórcio	FSTPA	L125%	1258,23	10,45	53,46
		L100%	1063,51	10,84	50,95
		L75%	1034,51	10,20	49,35
		L50%	1188,47	15,90	61,31
		L0%	808,90	25,06	75,95
	FSF	L125%	151,30	22,13	57,93
		L100%	136,52	18,99	53,45
		L75%	187,16	18,74	54,97
		L50%	156,71	18,84	52,65
		L0%	170,46	17,66	54,18
	IAF	L125%	2,57	22,71	56,37
		L100%	2,21	20,97	54,01
		L75%	1,95	20,95	58,15
		L50%	2,55	19,49	52,89
		L0%	2,26	18,62	50,56

No caso do feijão-caupi, para ajuste aos dados de FSTPA, observou-se que o modelo Gaussiano foi o que apresentou melhor desempenho, inclusive para a estimativa do índice de área foliar (IAF) e da fitomassa seca das folhas (FSF), independente da cultura, tratamento ou sistema de plantio (Tabela 2). Os mesmos apresentaram parâmetros significativos a 5% de probabilidade e coeficientes de

determinação acima de 0,98 (Tabelas 1 e 2). O comportamento observado para a FSF e o IAF deve-se ao fato de que com a maturação as folhas tendem a senescer, reduzindo assim o número de folhas e, conseqüentemente, o IAF. O modelo Gaussiano tem sido utilizado com bastante precisão na simulação do comportamento dos dados de IAF e da FSF do milho (FARRÉ et al., 2000), feijão (COSTA et al., 1997) e tomate (MUSHAGALUSA et al., 2008).

Tabela 2 – Parâmetros do modelo Gaussiano ajustados aos valores observados de fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA), fitomassa seca das folhas e índice de área foliar (IAF) da cultura do feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado submetidos a diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Sistema de Plantio	Modelo	Tratamento	a	b	c
Exclusivo	FSTPA	L125%	470,94	16,36	67,67
		L100%	1164,29	19,48	84,47
		L75%	760,90	22,98	82,15
		L50%	441,79	10,64	56,38
		L0%	237,51	12,56	56,02
	FSF	L125%	235,40	11,34	57,14
		L100%	258,73	18,95	70,62
		L75%	160,00	14,75	55,37
		L50%	164,38	13,29	56,04
		L0%	144,12	11,66	53,99
	IAF	L125%	4,64	10,68	56,31
		L100%	4,77	15,93	64,27
		L75%	3,43	16,86	58,68
		L50%	3,66	12,13	54,60
		L0%	2,93	12,54	55,39
Consórcio	FSTPA	L125%	277,65	23,44	80,30
		L100%	309,45	10,56	57,13
		L75%	253,96	13,21	59,91
		L50%	195,27	13,10	60,30
		L0%	199,57	10,82	57,71
	FSF	L125%	104,89	25,22	78,33
		L100%	124,63	10,91	55,11
		L75%	109,40	12,17	55,91
		L50%	101,43	9,48	53,39
		L0%	86,80	9,48	53,45
	IAF	L125%	1,99	18,96	63,06
		L100%	1,94	15,90	58,64
		L75%	1,99	14,79	58,09
		L50%	1,73	12,68	56,12
		L0%	1,36	13,70	57,15

Os dados referentes ao acúmulo de fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA) para as culturas do milho (Figura 5 a e b) e feijão-caupi (Figura 6 a e b) em sistemas de plantio exclusivo e consorciado submetidos a diferentes lâminas de irrigação mostraram que ambas as culturas não apresentaram diferenças significativas na produção de fitomassa para os diferentes 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, observa-se que a redução da quantidade de água aplicada para as culturas ocasionou efeitos sobre os valores de FSTPA.

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 de plantio exclusivo (PE) e consorciado (PC) foi obtido com as lâminas de 100% e 125%, respectivamente; neste último caso, o comportamento apresentado pode ser atribuído ao fato de que o sistema consorciado demanda maior requerimento hídrico, além da competição por luz e nutrientes (FERREIRA et al., 2008). Comportamento semelhante foi observado para o feijão-caupi em ambos os sistemas de plantio; contudo, 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%. Tais resultados podem ser explicados pelo fato de que o déficit ou o excesso de água sobre a cultura afeta os componentes de produção de maneira diferente a depender do nível e da duração do estresse. A cultura do feijão-caupi quando submetida ao déficit hídrico durante o estágio de florescimento pode apresentar 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. Já o excesso de água no solo provoca prejuízos à cultura devido

à redução de oxigênio e diminuição da atividade microbiana do solo (FOLLEGATTI et al., 1999).

No sistema de plantio exclusivo ambas as culturas apresentaram crescimento superior, o que sugere que este sistema possibilitou um melhor desenvolvimento da cultura quando comparado ao sistema consorciado. Isto pode ser decorrente do fato que o consórcio de milho e feijão-caupi pode reduzir muitas características dos componentes de produção (GOMES et al., 2007).

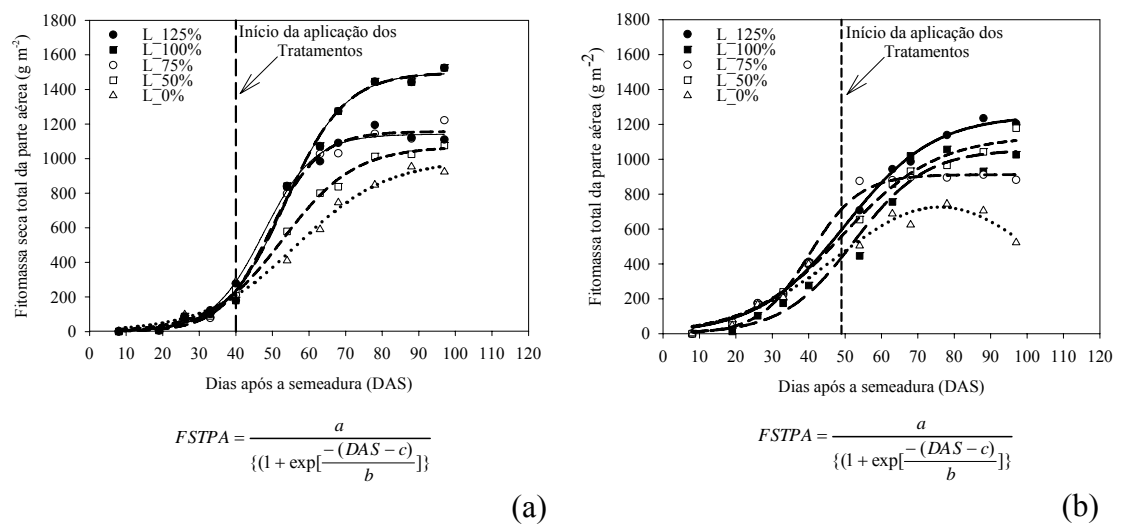


Figura 5. Fitomassa seca total da parte aérea do milho em sistemas de plantio exclusivo (a) e consorciado (b), submetidas a diferentes lâminas de irrigação (LI) nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

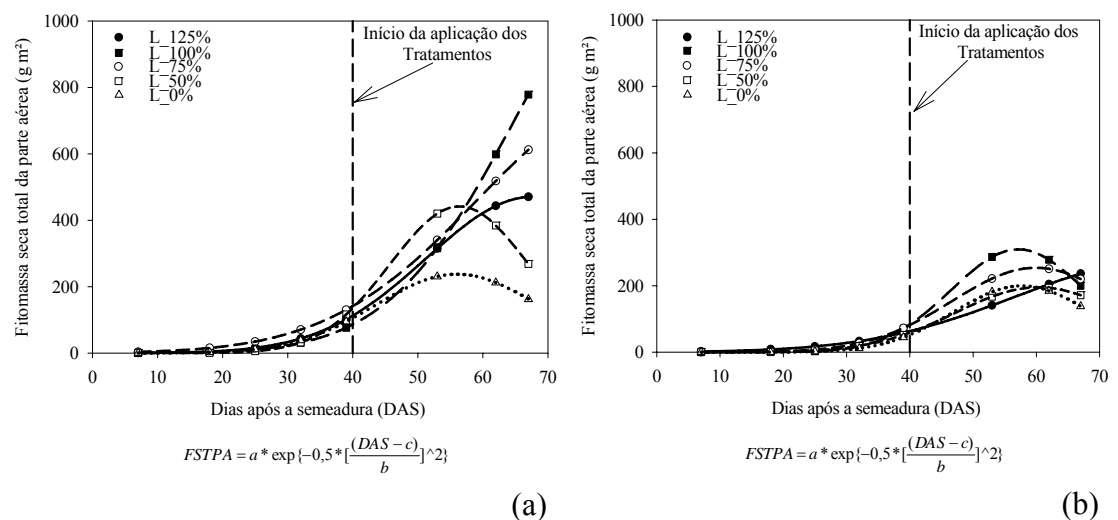


Figura 6. Fitomassa seca total da parte aérea do feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo (a) e consorciado (b), submetidas a diferentes lâminas de irrigação (LI) nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

O índice de área foliar máximo obtido pelas curvas ajustadas para todos os tratamentos do milho ocorreu próximo aos 60 DAS, no início da fase de enchimento de grãos sendo de 2,75; 2,95; 2,55; 2,63 e 2,44 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ para os tratamentos PEM-L125, PEM-L100, PEM-L75, PEM-L50 e PEM-L0, respectivamente (Figura 7a). No consórcio houve uma redução de 6,55; 24,96; 23,40; 3,28 e 7,25% nos valores máximos do IAF, os quais foram de 2,56; 2,21; 1,95; 2,54 e 2,26 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ para o PCMF-L125, PCMF-L100, PCMF-L75, PCMF-L50, PCMF-L0, respectivamente (Figura 7b). 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, encontraram valores de IAF iguais a 3,70; 3,94 e 3,24 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$; e 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 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$.

Para o feijão-caupi o IAF máximo ocorreu próximo aos 56 DAS, no final do estágio de florescimento, com valores iguais a 4,67; 4,77; 3,42; 3,66 e 2,93 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ para os tratamentos PEF-L125, PEF-L100, PEF-L75, PEF-L50 e PEF-L0 (Figura 8a), 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 8b). Os valores do índice de área foliar obtidos para o sistema exclusivo (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 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ entre 43 e 47 DAS. Em plantas C3, como é o caso do feijão-caupi, um IAF igual ou superior a 3 indica que a planta tem uma cobertura foliar suficiente para uma máxima interceptação de luz (BASTOS et al., 2002; SUMMERFIELD et al., 1983). O valor máximo do índice de área foliar para as lâminas de 125%, 75%, 50% e 0% ocorreu

próximo aos 16 dias após o início da aplicação dos tratamentos. No tratamento de 100% x ETo, cuja disponibilidade hídrica foi considerada ideal para o feijão-caupi, houve um atraso para a ocorrência do valor máximo de IAF; o que pode ser explicado pelo fato de que nesse tratamento a senescência foliar foi retardada. Posteriormente, evidenciou-se um decréscimo do IAF, ficando a lâmina de 100% com os maiores valores para ambos os sistemas de plantio. Foram observadas diferenças significativas para a FSTPA, FSF e o IAF do milho e do feijão-caupi ao final do ciclo, respectivamente aos 97 e 67 DAS (Tabela 3 e 4).

Tabela 3. Valores médios da fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA, g m^{-2}), das folhas (FSF, g m^{-2}) e índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) em plantas de milho submetidas a diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro. Avaliação aos 97 dias após a semeadura (DAS).

Sistema de Plantio	Tratamento	FSTPA (g m^{-2})	FSF (g m^{-2})	IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)
Exclusivo	L125%	1197,77ab	7,87a	0,13a
	L100%	1641,33b	81,03b	0,96b
	L75%	1316,15ab	33,38ab	0,50ab
	L50%	1142,18ab	31,72ab	0,47ab
	L0%	579,18a	-	-
Consórcio	L125%	1200,55b	42,10b	0,35ab
	L100%	1021,47ab	-	-
	L75%	1022,61ab	3,68a	0,03a
	L50%	1173,38b	39,98b	0,48b
	L0%	592,30a	-	-

* Valores seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes com base no teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4. Valores médios da fitomassa seca total da parte aérea (FSTPA, g m⁻²), das folhas (FSF, g m⁻²) e índice de área foliar (IAF, m² m⁻²) em plantas de feijão-caupi submetidas a diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro. Avaliação aos 67 dias após a semeadura (DAS).

Sistema de Plantio	Tratamento	FSTPA (g m ⁻²)	FSF (g m ⁻²)	IAF (m ² m ⁻²)
Exclusivo	L125%	332,96ab	134,05ab	3,72ab
	L100%	557,28b	177,72b	4,68b
	L75%	370,27ab	124,32ab	3,17ab
	L50%	344,01ab	125,72ab	2,13a
	L0%	154,36a	72,04a	2,09a
Consórcio	L125%	237,08a	95,29a	1,97b
	L100%	193,66a	65,18a	1,56ab
	L75%	221,27a	70,01a	1,55ab
	L50%	127,45a	33,56a	1,18a
	L0%	118,00a	29,48a	1,06a

* Valores seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes com base no teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O comportamento da taxa de crescimento da cultura (TCC) para o milho e feijão-caupi, sob os sistemas de plantio exclusivo e consorciado, é apresentado nas Figuras 7 e 8, respectivamente. Observa-se que para ambas as espécies e sistemas de plantio, a taxa de crescimento da cultura apresentou três fases bem definidas; 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 da TCC. Comportamento semelhante ao 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 à do feijão-caupi é mais exigente em termos hídricos e nutricionais; sendo 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 ocasionou uma redução na TCC.

No que se refere à RMF, constatou-se que ambas as culturas e sistemas de plantio apresentaram redução dos valores ao longo do experimento, o que indica a 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 (Figuras 7e, 7f, 8e e 8f). Comportamento semelhante foi observado por Silva et al (2009) para a cultura do girassol submetida à diferentes sistemas de condutividade elétrica.

A RAF para a cultura do milho no sistema PE apresentou tendência de aumento no início do ciclo da cultura, indicando que, durante essa fase, as plantas converteram maior porção da produção fotossintética em área foliar (Figura 7g). Porém, 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 os valores desse índice. Para o sistema consorciado, a RAF apresentou valores iniciais elevados com tendência a redução ao final do ciclo (Figura 7h). Resultados semelhantes foram observados por Urchei et al (2000) para o feijoeiro submetido a dois sistemas de cultivo diferentes (plantio direto e convencional), em que os valores de RAF aumentaram no início do ciclo da cultura (30 e 37 dias após a emergência) para, em seguida, apresentar quedas gradativas.

Para ambas as culturas, a RAF no sistema PC apresentou uma diminuição mais acentuada quando comparado ao sistema PE. Tal fenômeno pode ter sido decorrente da maior eficiência das folhas na conversão de CO₂ e energia luminosa em matéria seca no sistema de plantio consorciado, já que a RAF indica a eficiência do aparelho fotossintético na produção de matéria seca. Urchei et al. (2000) em estudo realizado com feijão em sistemas de plantio direto e convencional, reportaram que sob plantio direto o feijão tem sua eficiência fotossintética aumentada.

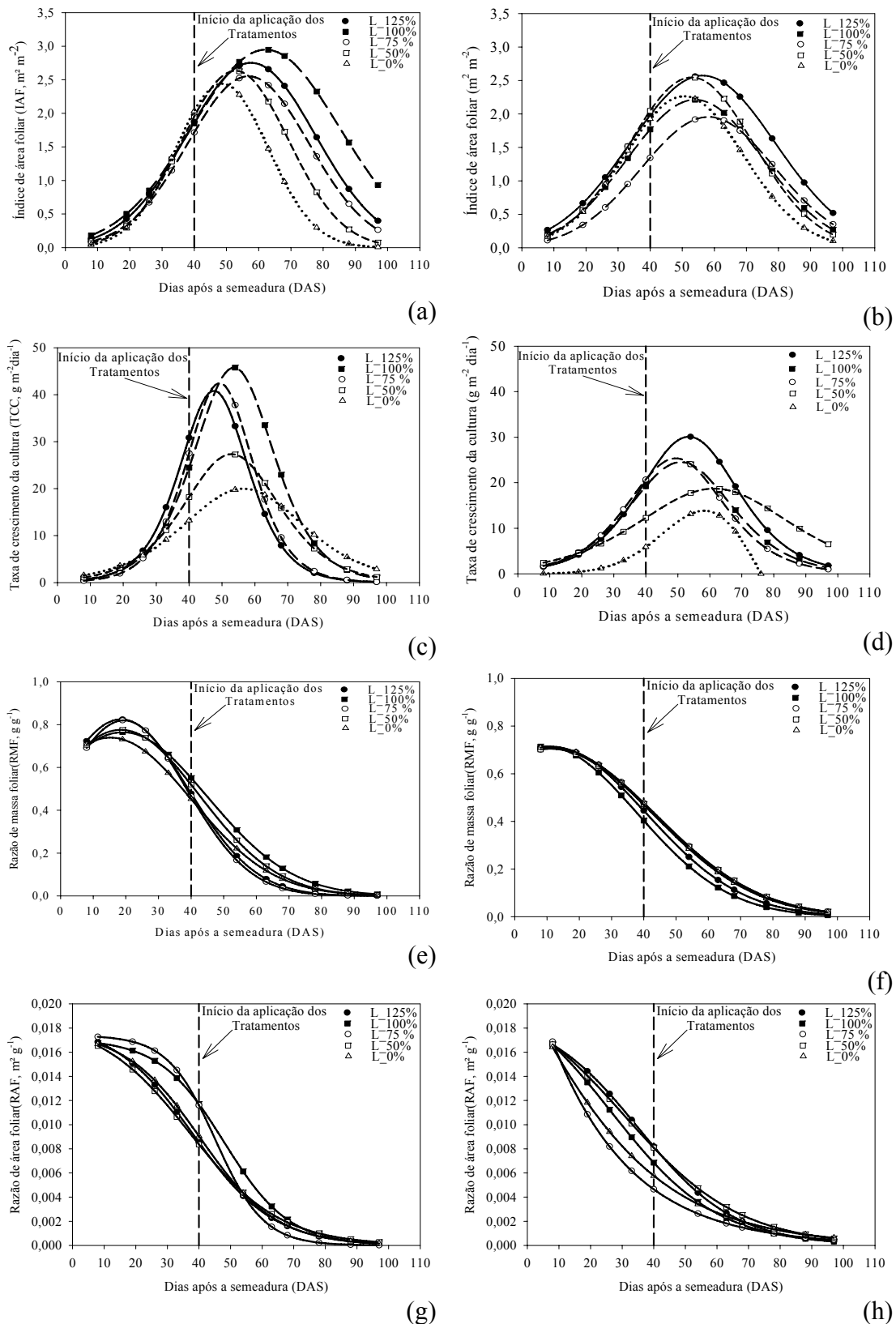


Figura 7. Variação do índice de área foliar (a e b), taxas de crescimento da cultura (c e d), e razão de massa foliar (g e h) do milho em sistemas de plantio exclusivo (a, c, e e g) e consorciado (b, d, f e h), submetidas à diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

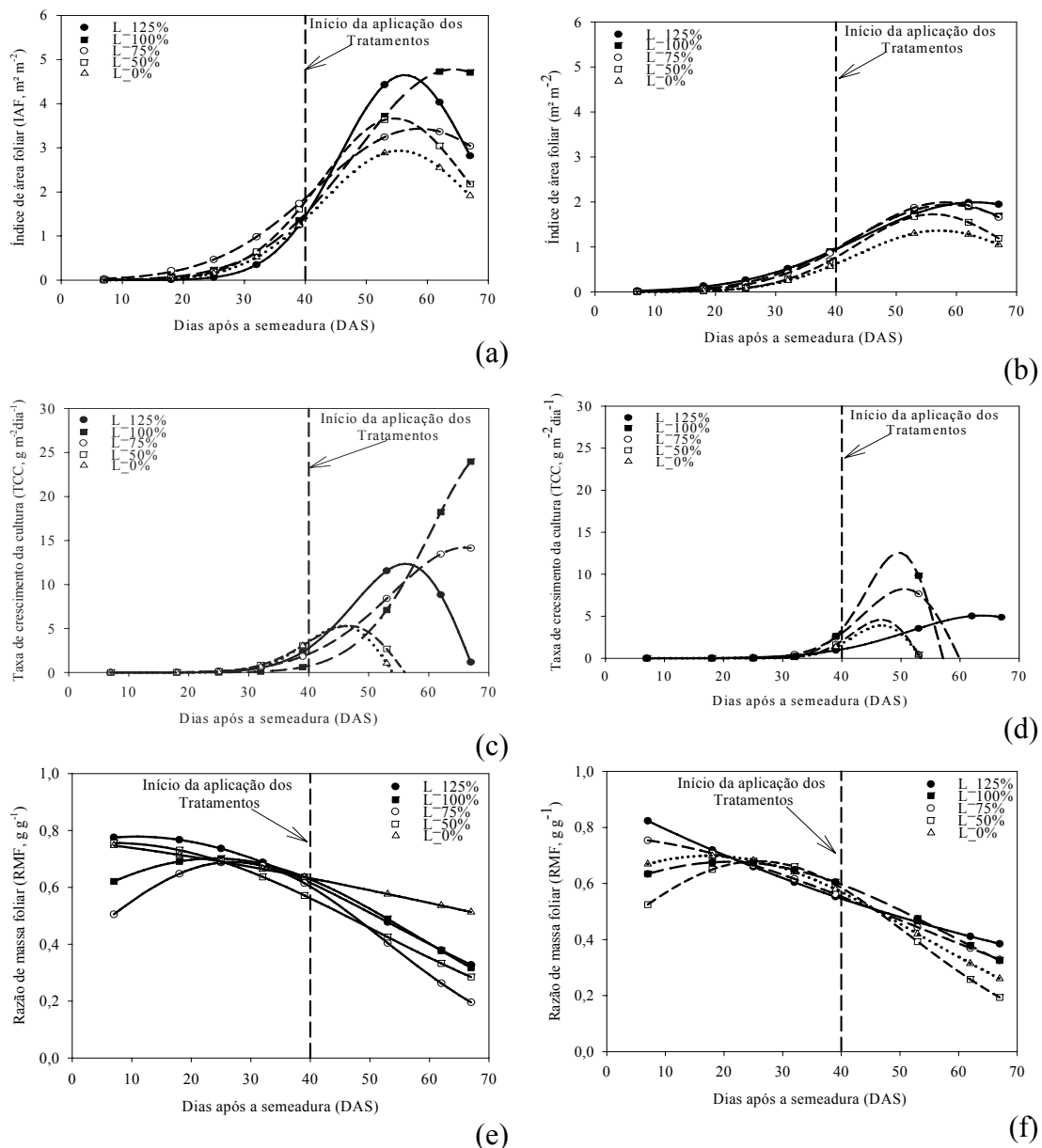


Figura 8. Variação do índice de área foliar (a e b), taxas de crescimento da cultura (c e d), e razão de massa foliar (e e f) do feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo (a, c, e e g) e consorciado (b, d, f e h), submetidas à diferentes lâminas de irrigação nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

3.1.6. CONCLUSÕES

- O consórcio reduz significativamente a fitomassa seca total da parte aérea, o índice de área foliar, a taxa de crescimento da cultura, a razão de massa foliar e a razão de área foliar do milho e feijão-caupi.

- Os maiores valores de fitomassa seca total da parte aérea no sistema consorciado foram obtidos com a aplicação da lâmina de água equivalente a 125% x ETo. Contudo, devido a proximidade estatística com os valores obtidos com a lâmina referente a 75% x ETo, o incremento de água acima desse valor para o aumento da FSTPA só deverá ser efetuado se a água não for um fator limitante na região;
- O modelo sigmoidal com três parâmetros pode ser utilizado como uma ferramenta para modelagem da FSTPA, com bastante precisão, exibindo um coeficiente de determinação ajustado acima de 0,97, independente do tratamento;
- A análise de crescimento foi um instrumento adequado para avaliar as diferenças no desenvolvimento das culturas do milho e feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado.

3.1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M.J.B.; MORAIS, A.R.; TEIXEIRA, I.R.; SILVA, M.V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho-pipoca. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 242-250, 2001.

AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de **milho**: Parte II. Análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.159-164, 2000

BASTOS, E.A.; RODRIGUES, B.H.N.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; CARDOSO, M.J. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 1, p. 43-50, 2002.

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

CARVALHO, H.W.L.; SANTOS, M.X.; SILVA, A.A.G.; CARDOSO, M.J.; SANTOS, D.M.; TABOSA, J.N.; FILHO, M.M.; LIRA, M.A.; BONFIM, M.H.C.; SOUZA, E.M.; SAMPAIO, G.V.; BRITO, A.R.M.B.; DOURADO, V.V.; TAVARES, J.A.; NETO, J.G.N.; NASCIMENTO, M.M.A.; FILHO, J.J.T.; JUNIOR, A.S.A.; CARVALHO, B.C.L. Caatingueiro – Uma Variedade de Milho para o Semi-árido Nordeste. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2004/cot-29.pdf. Acessado em: 11/03/2009.

COSTA, W.A.J.M. DE; DENNETT, M.D.; RATNAWEERA, U.; NYALEMEGBE, K. Field Crops Research Effects of different water regimes on field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.). I. Canopy growth and biomass production. **Field Crops Research**, v.49, p.83-93, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FARIAS, C.H. DE A.; SOBRINHO, J.E.; MEDEIROS, J.F. DE.; COSTA, M. DA C.; NASCIMENTO, I.B. DO; SILVA, M.C. DE C. Crescimento e desenvolvimento da cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, 2003.

FARRÉ, I.; OIJEN, M. VAN.; LEFFELAAR, P.A.; FACI, J.M. Analysis of maize growth for different irrigation strategies in northeastern Spain. **European Journal of Agronomy**, v.12, p.225-238, 2000.

FERNANDES, A.A.H; RODRIGUES J.D.; CASTRO P.R.C; PINHO S.Z. DE. Efeitos do agrostemin em plantas de soja (*Glicine max* (L.) Merrill cv. IAC-8), através dos parâmetros fisiológicos: razão de área foliar, taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento relativo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.339-345, 1995.

FERREIRA, V.M.; ANDRADE Jr., A.S.; SILVA, C.R.; MASCHIO, R. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.16, n.1, p.96-106, 2008.

FOLEGATTI, M. V.; SILVA PAZ, V. P. DA.; OLIVEIRA, A. S. Rendimento do feijoeiro irrigado submetido a diferentes lâminas de água com irrigação por sulco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.281-285, 1999.

FONTES, P.C.R, DIAS E.N.; SILVA, D.J.H. DA. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v.23, n.1, p.94-99, 2005.

GARCIA, G. DE O.; FERREIRA, P.A.; MIRANDA, G.V.; OLIVEIRA, F.G. DE; SANTOS, D.B. DOS. Índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. **Irriga**, Botucatu, v.12, p.307-325, 2007.

GOMES, J. K. O.; SILVA, P. S. L.; SILVA, K. M. B.; RODRIGUES FILHO, F. F.; SANTOS, V. G. Effects of weed control through cowpea intercropping on maize morphology and yield. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.3, p.433-441, 2007.

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

KIANI S.P.; TALIA P.; MAURY P.; GRIEU P.; HEINZ R.; PERRAULT A.; NISHINAKAMASU V.; HOPP E.; GENTZBITTEL L.; PANIEGO N.; SARRAFI A. 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, 2007.

LYRA, G.B.; ZOLNIER, S.; COSTA, L.C. DA; SEDIYAMA, G. C.; SEDIYAMA, M.A.N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.69-77, 2003.

MENEGHETTI, A.M.; SANTOS, R.F.; NÓBREGA, L.H.P.; MARTINS, G.I. Análise de crescimento de minimilho submetido a lâminas de irrigação. **Acta Scientia Agronômica**, Maringá, v.30, n.2, p.211-216, 2008.

MONTEIRO, C. DE A. **Análise de crescimento e produtividade agrícola de girassol conduzido na safrinha em cinco densidades de plantas**. 2001. 94f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia), Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

MONTEITH, J. L. Fundamental equations for growth in uniform stands of vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.104, p.5-11, 2000.

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

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

SÁ, M. I; RAMALHO, M. A. P; SOUZA SOBRINHO, F. Aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares modernas e antigas de milho. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.5, p.1082-1091, 2002.

SILVA JUNIOR, M. J. da; MEDEIROS, J. F. de; OLIVEIRA, F. H. T. de; DUTRA, I. Acúmulo de matéria seca e absorção de nutrientes pelo meloeiro "pele-de-sapo". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2006, vol.10, n.2, pp. 364-368. ISSN 1415-4366. doi: 10.1590/S1415-43662006000200017.

SILVA, F.L.; PINTO, C.A. B. P.; ALVES, J.D.; BENITES, F.R.G.; ANDRADE, C.M.; RODRIGUES, G.B.; LEPRE, A.L.; BHERING, L.L. Caracterização morfofisiológica de clones precoces e tardios de batata visando à adaptação a condições tropicais. **Bragantia**, Campinas, 2009, v.68, n.2, p.295-302.

SUMMERFIELD, R.J.; MINCHIN, F.R.; ROBERTS, E.H.; HADLEY, P. Cowpea. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIROMENTS, 1983, Los Baños, Philippines. *Proceedings...* International Rice Research Institute, 1983. p.249-80.

TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D.P. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth Analysis, Light Interception, and Radiation Use Efficiency. **Annals of Botany**, London, v.78, n.5, p.633-643, 1996.

THOMAZ, L.F. **População de plantas para feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) na safrinha em Santa Maria-RS**. Santa Maria – RS. 129 p. Tese (Mestrado em Agronomia) – Curso de pós graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 2001.

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

VIANA, S.B.A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; CARNEIRO, P.T. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v.8, n.1, p.23-30, 2004.

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. 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**, Lages, v.3, n.2, p.105-115, 2004.

3.2 CAPÍTULO II

Necessidades hídricas e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro

3.2.1. RESUMO: A determinação da necessidade de água, bem como do coeficiente de cultura são informações imprescindíveis para o manejo adequado das culturas e obtenção de altas produtividades. O presente trabalho teve por objetivo determinar a necessidade de água e o coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L) e do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp), para suas diferentes fases fenológicas, em sistemas de plantio exclusivo e consorciado, utilizando três diferentes metodologias sob as condições climáticas do Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido no município de Petrolina-PE, onde se obteve a evapotranspiração da cultura (ET_c) por meio do balanço simplificado de água no solo. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada pela equação de Penman-Monteith usando dados de uma estação agrometeorológica automática. Foram utilizadas uma metodologia e duas equações de estimativa para obtenção dos valores de coeficiente de cultura (K_c): balanço hídrico no solo, utilização da equação proposta pela Food and Agriculture Organization (FAO) e ajuste da variável graus-dia aos valores de K_c. As demandas hídricas do milho e feijão-caupi no sistema de plantio consorciado foram de 439,4 mm e 408,4 mm, respectivamente, sendo elas superiores às do sistema exclusivo, que foram 387 mm e 322,6 mm para o milho e feijão-caupi, nesta ordem. Os valores de K_c no sistema de plantio consorciado foram iguais a 0,90; 1,30 e 0,72 para o milho e 0,86; 1,28 e 0,91 para o feijão-caupi, respectivamente para as fases inicial, intermediária e final. No sistema exclusivo esses valores foram de, 0,86; 1,10 e 0,52 para o milho e de 0,68; 1,04 e 0,63 para o feijão-caupi nas referidas fases

mencionadas. Devido as diferenças entre os valores do coeficiente de cultura (K_c) determinados obtidos pelos diferentes métodos especialmente para a Fase II do milho e a Fase III do feijão-caupi sugere-se que os dados de K_c estimados à partir dos dados meteorológicos sejam utilizados com cautela no manejo de irrigação destas culturas na região em estudo.

Palavras-chave: demanda de água, balanço de água, irrigação, consórcio de culturas.

Water requirement and crop coefficient of maize and cowpea in sole and intercropping systems in semiarid region

3.2.2. ABSTRACT: The crop water requirements and the crop coefficients are the main concern for rational irrigation management as well as for water resources planning in agriculture. This study aimed to determine the water requirement and crop coefficients of maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp), in their various phenological stages using three different methodologies, for conditions of sole and intercropping systems, under Brazilian semiarid conditions. The experiment was carried out in *Petrolina* district, State of *Pernambuco*, Brazil. The crop evapotranspiration (E_{Tc}) was monitored by mean of the simplified soil water balance method. The reference evapotranspiration was calculated using the Penman-Monteith equation of the FAO bulletin 56, using climatic data from an automatic weather station. The water demands for maize and cowpea crops in intercropping system were 439.4 mm and 408.4 mm, respective, being ones greater to the of the sole cropping system, that were 387 mm e 322.6 mm for maize and cowpea, respective. The crop coefficient values in intercropping system were equals

to 0.90, 1.30 e 0.72 for maize and 0.86, 1.28 e 0.91 for the cowpea, respective for vegetative, flowering, grain enchainment and physiological maturity phenological stages. In the sole cropping systems, the Kc values were 0.86, 1.10 e 0.52 for the maize and 0.68, 1.04 e 0.63 for the cowpea in the phenological stages mentioned, respective. Because of the differences between the values of crop coefficient (Kc) determined by different methods obtained especially for Phase II and Phase III of maize cowpea is suggested that data from the estimated Kc meteorological data to be used with caution irrigation management in these crops in the study area.

Key words: water demand, water balance, irrigation, intercropping.

3.2.3. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de grande importância agrícola, não só por se adaptar às condições edafoclimáticas brasileiras, alcançando elevados níveis de produção mesmo em condições adversas, mas também por representar uma boa fonte proteica (EVANGELISTA et al., 2005). Por sua vez, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) também é uma excelente fonte de proteínas, além de possuir aminoácidos essenciais, grande teor de fibras e baixa quantidade de gorduras (CARDOSO et al., 1994).

Estas espécies constituem a base da alimentação da população das regiões Nordeste e Norte do Brasil, onde seu cultivo é responsável pela geração de emprego e renda (BEZERRA et al., 2008). Tanto para o milho como para o feijão-caupi, o Brasil é o terceiro produtor mundial (SINGH et al., 2002; CARVALHO et al., 2006).

Na região Nordeste, tem-se verificado que essas culturas são tradicionalmente exploradas em sistemas de plantio consorciados sob condições de sequeiro,

resultando, em geral, baixa produtividade, que atingem uma média de 812 e 317 kg ha⁻¹ para as culturas do milho e do feijão-caupi, respectivamente (FREIRE FILHO e RIBEIRO, 2005). As principais causas dos baixos valores de produtividade estão relacionadas a grande irregularidade dos regimes pluviométricos e ao manejo inadequado, em que as famílias, em geral, incorporam baixos níveis tecnológicos (BEZERRA et al., 2008; FERREIRA et al., 2007).

As necessidades hídricas dos sistemas consorciados se constituem dados básicos para a realização dos zoneamentos de riscos climáticos e o planejamento da irrigação (ANDRADE JUNIOR et al., 2008). Dentre esses dados, está o coeficiente de cultura (Kc), que varia de acordo com a cultivar, o estágio de desenvolvimento e o manejo da cultura. Vários trabalhos têm reportado valores de Kc para as culturas do milho e do feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivos (PAYERO et al., 2008; DETAR, 2009).

Valores de Kc, também têm sido recomendados pela Food and Agriculture Organization (FAO), entretanto, tratam-se de dados médios obtidos em diferentes regiões do mundo, sendo que a sua utilização pode acarretar erros consideráveis na estimativa do consumo de água dessas culturas. Além disso, esses valores consideram a duração de cada estágio de desenvolvimento da cultura em tempo cronológico, representado por dias após a semeadura ou dias após o plantio. Entretanto, esta duração depende do tipo de cultivar e tende a variar bastante com as condições meteorológicas reinantes em cada local, o que pode alterar a curva do Kc e, conseqüentemente, superestimar ou subestimar o consumo de água da cultura, em algum momento do seu ciclo (RIBEIRO et al., 2009). Para minimizar tal problema, tem-se procurado relacionar indicadores térmicos, como os graus-dia acumulados,

com os valores de K_c em substituição ao tempo decorrido, objetivando-se uma maior precisão na duração das fases fenológicas (SEDIYAMA et al., 1998).

No caso dos sistemas consorciados, a questão é ainda mais complexa uma vez que estudos para determinar o requerimento de água das culturas são bastante escassos e praticamente inexistentes (GAO et al., 2009). Neste sentido, a determinação do K_c , juntamente com outros indicadores hídricos para os sistemas consorciados são bastante úteis na realização de zoneamentos de riscos climáticos os quais podem contribuir para o aumento da produção das culturas com redução nos custos. Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar a necessidade de água e o coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado, em suas diferentes fases fenológicas sob as condições de Semiárido brasileiro.

3.2.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.4.1 Caracterização da área

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE (09°09' S, 40°22'W, 365,5m), cujo clima é classificado, segundo Köppen, como BSw^h, ou seja, Semiárido com estação chuvosa compreendida entre os meses de janeiro e abril, sendo a média anual acumulada de 550 mm e temperaturas médias elevadas da ordem de 26,2 °C.

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). As características físico-químicas foram determinadas a cada 0,1 m, até a profundidade de 1 m, no Laboratório de Solos, Água e Planta da Embrapa Semiárido.

A área experimental foi semeada com 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. A semeadura foi realizada no dia 20 de dezembro de 2007, e após esta data foram realizados os tratos culturais como capina e controle de pragas e doenças de acordo com recomendações de técnicos da Embrapa para as culturas.

A fenologia das culturas foi observada por meio de visitas diárias a área experimental, quando foram identificadas as datas de ocorrência dos eventos fenológicos e delimitadas a duração dos subperíodos de crescimento e desenvolvimento, adotando-se o método proposto por Cruz et al. (2006) e Fernández et al. (1982).

3.2.4.2 Manejo de irrigação e monitoramento da umidade do solo

Utilizou-se o sistema de irrigação por gotejamento com linhas laterais de 17 mm de diâmetro externo, gotejadores na linha tipo autocompensantes e autolimpantes, espaçados de 0,5m, com uma vazão média de 1,8 l/h e um coeficiente de uniformidade igual a 94,03%. A lâmina de irrigação foi obtida por meio do produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e o K_c, sendo este igual a unidade, com turno de rega a cada dois dias.

A umidade do solo foi determinada em tubos de acesso instalados em cada sistema de plantio até a profundidade de 1m, sendo as leituras efetuadas a cada 0,1

m. As medidas foram realizadas diariamente, durante todo ciclo, por meio de uma sonda FDR modelo Diviner 2000 (Sentek Pty Ltd., Austrália).

Para o cálculo do balanço hídrico foram considerados os valores de conteúdo de água no solo resultantes do somatório do armazenamento de água no solo nas camadas de 0 a 0,5 m, uma vez que, nessa profundidade, encontram-se 80% do sistema radicular do milho e do feijão-caupi (FERREIRA et al., 2008).

3.2.4.2 Dados meteorológicos

O monitoramento das condições climáticas durante o período de execução do experimento foi realizado por meio de uma estação agrometeorológica automática localizada a 400m da área experimental. A estação é composta de um datalogger modelo CR10X (Campbell Scientific INC.), sensores de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar incidente, saldo de radiação e fluxo de calor no solo e precipitação. Os elementos meteorológicos foram medidos a cada 60 segundos, e as médias armazenadas a cada 30 minutos. Os dados foram transferidos à estação base, localizada na Embrapa Semiárido, por meio de um sistema de telemetria via ondas de rádio.

3.2.4.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida pela metodologia s do balanço hídrico no solo (Equação 1).

$$\Delta ARM = P + O + Ri + DLi + AC + -ETc - Ro - DLo - DP \quad (1)$$

em que: ΔARM = variação do conteúdo de água no solo (profundidade da superfície até a 0,5m), P = precipitação (mm d^{-1}), O = orvalho, R_i = escoamento superficial, D_{Li} = escoamento subsuperficial, AC = ascensão capilar, ET_c = evapotranspiração da cultura, R_o = escoamento superficial, D_{Lo} = escoamento subsuperficial e DP = drenagem profunda

O modelo do balanço hídrico foi simplificado. O escoamento superficial foi considerado como nulo devido ao relevo plano do local, o experimento se desenvolveu em um período com altas temperaturas não sendo verificada a ocorrência de orvalho e os movimentos ascendentes e descendentes no solo não foram admitidos, uma vez que não houve variação nos valores diários de umidade do solo abaixo da camada controle do solo (0,5 m), obtendo-se assim a Equação 2 (FERREIRA., 2007; LOPEZ-URREA et al., 2009):

$$ET_c = P + I - \Delta ARM \quad (2)$$

em que, ET_c = evapotranspiração da cultura (mm d^{-1}), P = precipitação (mm d^{-1}), ΔARM = variação do conteúdo de água no solo até a profundidade de 0,5m.

3.2.4.3. Evapotranspiração de referência (ET_o)

O cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizado em escala diária, de acordo com a metodologia de Penman-Monteith parametrizada no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (3)$$

em que, R_n = saldo de radiação sobre a superfície da cultura de referência ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T = temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 = velocidade do vento (m s^{-1}); $(e_s - e_a)$ = déficit de pressão vapor d'água (kPa); Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor d'água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Para isso, foram utilizados dados diários da temperatura e da umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar incidente medidos na Estação Agrometeorológica Automática de Bebedouro, conforme citado anteriormente.

3.2.4.4. Coeficiente de cultura e balanço hídrico no solo

Foram utilizadas uma metodologia e duas equações de estimativa para obtenção dos valores de coeficiente de cultura (K_c): balanço hídrico no solo, utilização da equação proposta pela Food and Agriculture Organization (FAO) e ajuste da variável graus-dia aos valores de K_c .

Considerando a evapotranspiração da cultura determinada pelo método simplificado do balanço hídrico no solo, o coeficiente de cultura (K_c) foi obtido para o milho e o feijão-caupi, nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado. Para efeito do cálculo dos coeficientes de cultivo médios, o ciclo da cultura foi dividido em três fases fenológicas, definidas da seguinte forma: I) fase inicial; II) fase intermediária e III) fase final. Para isso, foi considerada a relação entre os valores de ET_c e ET_o , conforme Allen et al., (1998).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (4)$$

em que K_c é o coeficiente de cultura (adimensional).

3.2.4.5. Coeficiente de cultura em função dos graus-dia acumulados

Com os valores determinados de K_c , foi possível ajustar outras duas metodologias para sua estimativa, sendo que uma considerou a relação existente entre o K_c e os graus-dia acumulados (GDA), obtida por meio da realização de regressão não linear entre os valores destas duas variáveis. O GDA foi determinado considerando a ocorrência dos eventos fenológicos e os dados de temperatura do ar obtidos na estação agrometeorológica automática. Este procedimento foi realizado para cada uma das culturas, por meio da seguinte equação:

$$GDA = \sum (t_m - t_b) \quad (5)$$

em que, t_m é a temperatura média do ar (°C) e t_b é temperatura base da cultura, considerada 10°C, tanto para o milho como para o feijão-caupi (LOZADA & ANGELOCCI, 1999).

A outra metodologia usada para estimativa dos coeficientes de cultura das fases inicial, intermediária e final nos sistemas de plantio exclusivos, baseou-se na proposição da FAO, onde foram utilizadas as equações 6, 7 e 8, respectivamente. A primeira delas foi proposta por Albuquerque et al. (2001), enquanto as outras duas foram indicadas por Allen et al. (1998). Esta metodologia não foi aplicada aos

sistemas de plantio consorciados, uma vez que Kc 's médios para as culturas consorciadas não foram relatados a literatura.

$$Kc_i = 1,42 - 0,09 \times ETo - 0,11 \times IE + 0,004 \times ETo^2 + 0,003 \times IE^2 + 0,0003 \times ETo \times IE \quad (6)$$

$$Kc_m = Kc_m(\text{Padrão}) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \times \left(\frac{h_1}{3}\right)^{0,3} \quad (7)$$

$$Kc_f = Kc_f(\text{Padrão}) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \times \left(\frac{h_2}{3}\right)^{0,3} \quad (8)$$

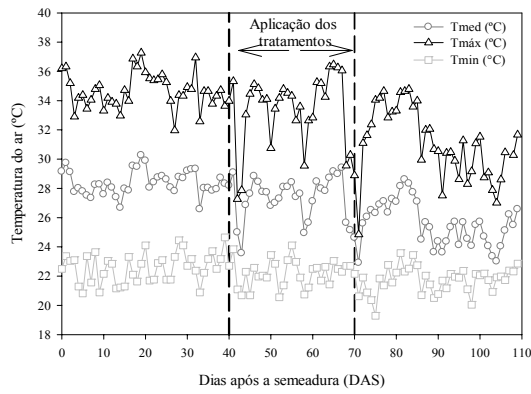
em que, Kc_m (Padrão) = coeficiente de cultura médio recomendado segundo Doorenbos & Pruitt (1977); Kc_f (Padrão) = coeficiente de cultura final recomendado segundo Doorenbos & Pruitt (1977); ETo = evapotranspiração de referência na Fase I (mm d^{-1}); IE = intervalo entre eventos de umedecimento do solo (chuva ou irrigação) = 2 dias neste caso; u_2 = velocidade do vento a 2m de altura; UR_{\min} = umidade relativa mínima (média diária do período); h_1 = altura média da planta na Fase II; h_2 = altura média da planta na Fase III.

3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

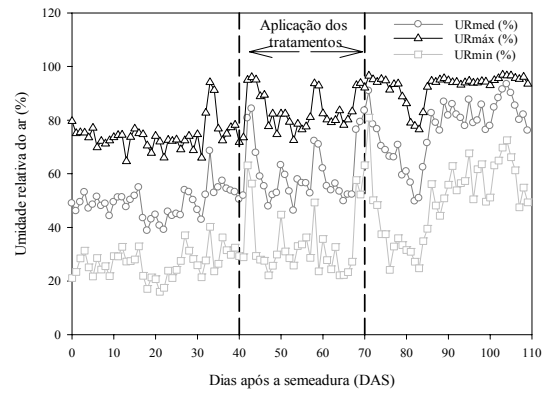
Com base nos dados meteorológicos observados durante o experimento (Figura 1) pode-se constatar que o período inicial do ciclo foi marcado pela ocorrência de temperaturas (T) elevadas, com valores médios da ordem de $33,4 \pm 2,5^\circ\text{C}$, $27,3 \pm 1,6^\circ\text{C}$ e $22,3 \pm 1,0^\circ\text{C}$ para as temperatura máxima (T_{\max}), média (T_{med}) e mínima (T_{\min}), respectivamente (Figura 1a), com tendência à redução ao

final do ciclo. No caso da umidade relativa do ar (UR) no início do ciclo foram registrados valores médios baixos, em torno de 50% e mínimos próximos aos 23,2 % (Figura 1b). A partir de fevereiro, com o início da ocorrência de precipitação, verificaram-se aumentos da UR e da nebulosidade na região. Devido a isto, observou-se uma tendência a redução da radiação solar (Figura 1d), contribuindo para a redução dos valores da evapotranspiração de referencia (ET_o), conforme a Figura 4c.

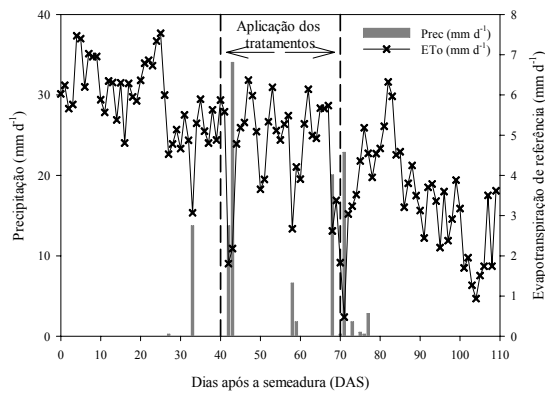
No ano de 2008, houve um atraso na ocorrência de chuvas e, embora alguns dias do ciclo das culturas tenham ocorrido no período chuvoso, observou-se que os eventos de precipitação não ocorreram durante a aplicação dos tratamentos (Figura 1c); sendo que a lâmina total precipitada durante o desenvolvimento das culturas foi igual a 118,6 mm. A velocidade do vento apresentou valores iniciais máximos da ordem de 2,5 m/s e ao final do ciclo atingiu valores mínimos iguais a 0,7 m/s (Figura 1e).



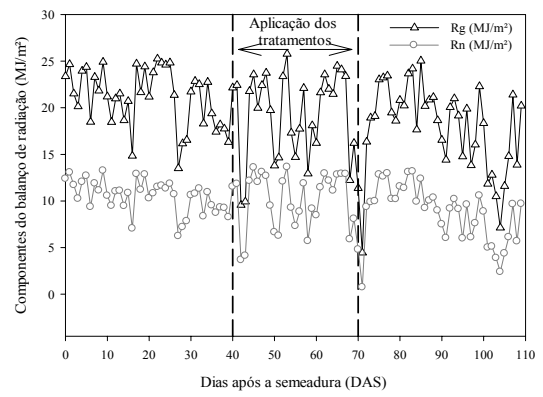
(a)



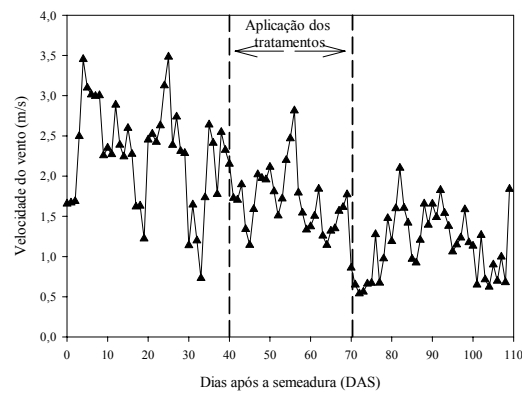
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 1. Dados meteorológicos médios diários ao longo do ciclo das culturas do milho e do feijão-caupi nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado, sob as condições climáticas do município de Petrolina - PE.

No sistema de plantio exclusivo (PE), as culturas do milho e do feijão-caupi receberam lâminas de água (P+I) iguais a 471,2 e 448,7 mm, respectivamente. Já no sistema de plantio consorciado (PC), nesta mesma ordem, esses valores foram de 529,8 e 491,7 mm. A necessidade de água para cada uma das fases de desenvolvimento das culturas do milho e do feijão-caupi sob os diferentes sistemas de plantio é apresentada nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

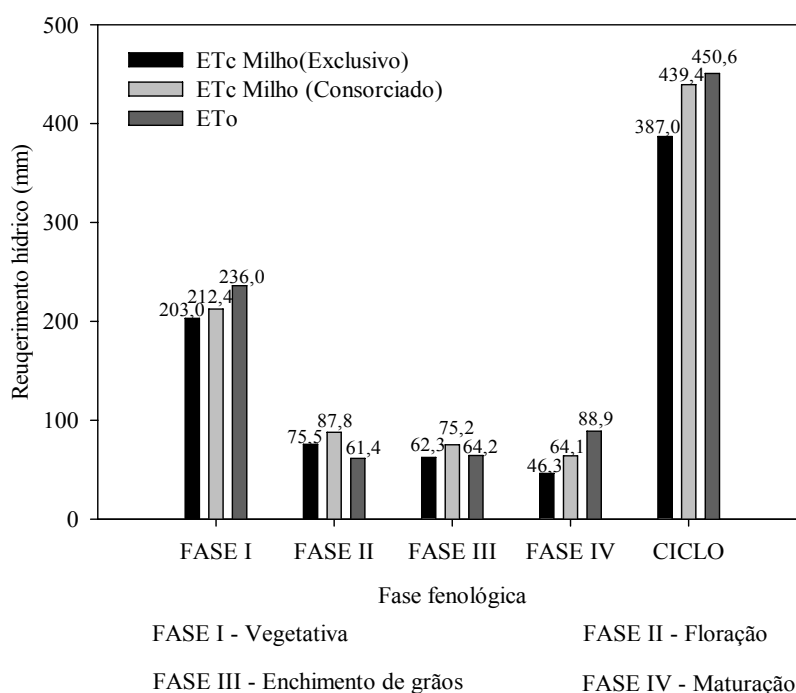


Figura 2. Requerimento de água do milho (*Zea mays* L) variedade Caatingueiro, para cada fase de desenvolvimento e para todo o ciclo, sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado nas condições climáticas do Semiárido brasileiro.

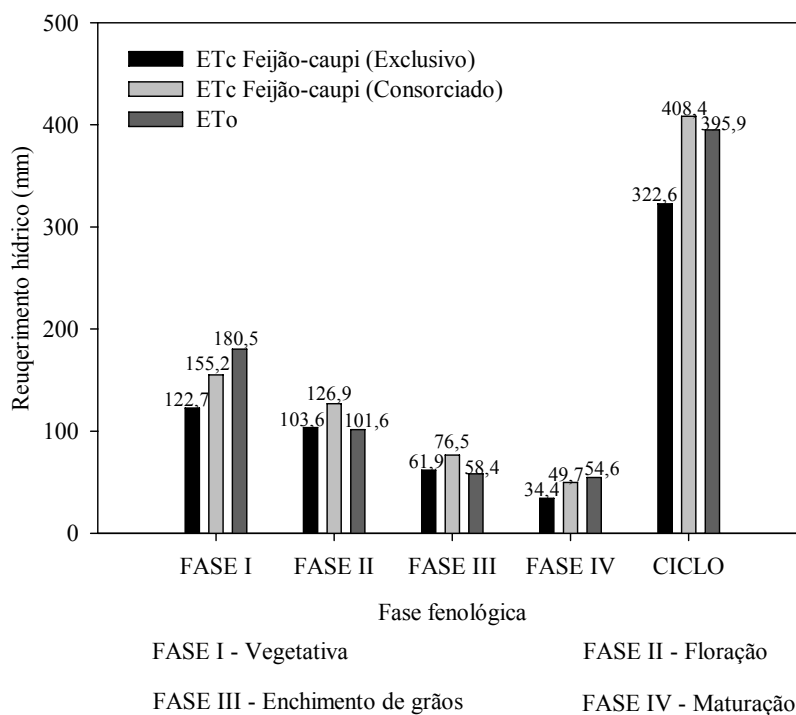


Figura 3. Requerimento de água do ciclo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp) variedade Pujante, para cada fase de desenvolvimento e para todo o ciclo, sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado nas condições climáticas do Semiárido brasileiro.

A evapotranspiração acumulada durante todo o ciclo do milho (ETc) em sistema PE foi de 387,1 mm. O sistema PC, por sua vez, apresentou uma necessidade de água superior, atingindo a ordem de 439,4 mm. Tais resultados são inferiores aos obtidos por Suyker & Verma (2009), que em trabalho realizado na região de Mead em Nebraska, para determinar a evapotranspiração acumulada da cultura do milho em sistema exclusivo, encontraram um valor de 683 mm.

Para o milho em ambos os sistemas de plantio, a ETc foi inferior a evapotranspiração de referência (ETo), que totalizou 450,6 mm. Quando se analisou a correspondência entre a ETc e a ETo ao longo do ciclo, percebeu-se, nos primeiros 30 dias depois da semeadura (DAS), que a ETc foi menor do que a ETo. Entre o 30º e o 62º DAS, essa tendência se inverteu, coincidindo com as fases de florescimento e

enchimento de grãos, quando a ET_c atingiu valores médios diários iguais a $5,3 \text{ mm d}^{-1}$ e $6,3 \text{ mm d}^{-1}$ nos sistemas exclusivo e consorciado, respectivamente, caracterizando-se o período de maior demanda hídrica da cultura do milho, em ambos os sistemas de plantio. Tendência semelhante, foi verificado para o feijão-caupi, quando observou-se que a evapotranspiração acumulada do sistema exclusivo foi de $322,6 \text{ mm}$, enquanto que no sistema consorciado, esse valor foi igual a $408,4 \text{ mm}$ (Figura 2).

No início do ciclo do feijão-caupi, a necessidade de água foi relativamente baixa, igual a $4,23 \text{ mm d}^{-1}$ para o feijão-caupi em sistema exclusivo e $5,35 \text{ mm d}^{-1}$ para o consórcio. Com o crescimento da cultura, o incremento da área foliar e o surgimento dos órgãos reprodutivos da cultura, houve um aumento na demanda hídrica, que alcançou valores máximos na fase de enchimento de grãos, com uma evapotranspiração média diária igual a $5,2 \text{ mm d}^{-1}$ e $6,4 \text{ mm d}^{-1}$ para os respectivos sistemas de plantios na ordem em que foram citados. Posteriormente, com o início da maturação e a senescência das folhas o consumo de água da cultura foi reduzido para $2,5 \text{ mm d}^{-1}$ e $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ para os sistemas PE e PC, respectivamente.

Os resultados encontrados para o feijão-caupi, no presente estudo, foram superiores aos observados por Bastos et al. (2008a) que, em trabalho realizado no Vale do Gurgéia - PI, encontraram a evapotranspiração acumulada para o sistema exclusivo de $288,5 \text{ mm}$, sendo o estágio reprodutivo, o de maior consumo de água com $5,4 \text{ mm d}^{-1}$. Por outro lado, foram inferiores aos obtidos por Lima et al. (2006) que, realizando o balanço hídrico para a cultura do feijão-caupi nas condições climáticas de Areia-PB, obtiveram um valor de evapotranspiração acumulada durante todo o ciclo da ordem de 383 mm .

A partir da relação entre a ET_c e a ET_o , foram calculados os valores diários e

médios para cada fase fenológica do coeficiente de cultura único (K_c) para as culturas do milho e feijão-caupi nos sistemas PE e PC, obtidos por meio do método do balanço de água no solo (Tabelas 1 a 4). Constatou-se que, para a cultura do milho em sistema consorciado, o K_c da Fase I oscilou em torno de 0,90. A partir dos 40 dias após o plantio (DAS), a cultura acelerou o seu crescimento, aumentando seu índice de área foliar ($2,09 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), sua transpiração e, conseqüentemente, o consumo de água, implicando, com isso, em um aumento do K_c médio para 1,3. A Fase II, caracterizou-se por apresentar o maior consumo de água, e coincidiu com o período do florescimento, corroborando com os resultados obtidos por vários autores (ALLEN et al., 1998; BEZERRA & OLIVEIRA, 1999; GUERRA E JACOMAZZI, 2001). Na Fase III, devido as modificações fisiológicas decorrentes do estágio de maturação (aos 67 DAS), como amarelamento e senescência das folhas, houve uma diminuição nos valores de K_c para 0,72. No caso do sistema exclusivo, esses valores foram iguais a 0,86; 1,10 e 0,52 para as fases I, II e III, respectivamente. Comparando-se os valores de K_c obtidos nos sistemas exclusivo e consorciado, constatou-se valores bastante próximos na fase inicial, porém, na fase crítica do crescimento da cultura, verificou-se um aumento nos valores de K_c no sistema consorciado, que permaneceram superiores aos do sistema exclusivo até o final do ciclo.

Bastos et al. (2008b), em trabalho realizado para determinar o coeficiente de cultura para o milho exclusivo irrigado por aspersão, por meio da utilização de lisímetros, encontraram valores de K_c oscilando entre 0,5-0,7; 1,1-1,3; 1,3-1,4 e 0,6 para as fases vegetativa, floração, enchimento dos grãos e maturidade fisiológica, respectivamente, sob as condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Litorâneos do Piauí. Bezerra et al. (1999) utilizaram o método do balanço de água e um sistema de

irrigação por gotejamento para determinar o K_c do milho sob o sistema de plantio exclusivo, em Fortaleza – CE e encontraram valores de 0,73; 1,11; 0,95 e 0,64 para referidas fases. As divergências relatadas, refletem a importância da determinação local do K_c , uma vez que as condições de solo e clima e o método de irrigação, influenciam diretamente os valores desse coeficiente. Para o milho, em sistema consorciado, Ferreira et al. (2007) encontraram valores de 0,90; 1,48 e 1,06 para as fases de semeadura-pendoamento, pendoamento-espigamento e espigamento-maturidade fisiológica, respectivamente.

No caso do feijão-caupi, em sistema PE, verificou-se que o K_c no estágio inicial foi de 0,68. Posteriormente, com a fase de máximo crescimento da cultura, o K_c alcançou valores máximos na Fase II de 1,04, para, em seguida, apresentar uma redução devido ao fato de atingir a fase de maturação ($K_c = 0,63$). Padrão semelhante foi observado para o feijão-caupi no sistema PC, neste caso, porém, os valores observados foram da ordem de 0,86; 1,30 e 0,91 para as fases I, II e III, respectivamente, sendo estes superiores quando comparados ao sistema PE. Os resultados obtidos para o sistema PE são superiores aos reportados por Maschio et al (2007), que em trabalho realizado para a cultura do feijão-caupi no município de Teresina – PI, encontraram valores iguais a 0,66; 0,82; 1,06 e 0,60, para as fases vegetativa, floração, enchimento dos grãos e maturidade fisiológica, respectivamente. Da mesma forma, estes valores foram inferiores aos obtidos por Bastos et al (2008), os quais conduziram um experimento com o feijão-caupi, em Alvorada do Gurgéia-PI, e encontraram valores de K_c iguais a 0,80; 0,95; 1,25 e 0,85 para as fases vegetativa, floração, enchimento dos grãos e maturidade fisiológica, nesta ordem.

Quando se estabeleceu uma comparação entre os valores de K_c para cada fase

fenológica de ambas as culturas, sob os sistemas PE e PC, obtidos pelo método do balanço de água no solo e os estimados pelo método dos graus-dia e FAO56, verificou-se que para a cultura do milho esses valores foram bastante próximos nas Fases I e III, contudo, na fase de maior requerimento hídrico (Fase II) houve uma diferença entre os valores estimados pelo ajuste dos graus-dia e FAO56 em relação aos obtidos por meio do balanço hídrico, os quais superestimaram esse último em 20 e 22% no sistema PE, sendo que no sistema PC essa superestimativa foi da ordem de 11%.

Para a cultura do milho, essa proximidade ocorreu principalmente para as Fases I e III (Tabelas 1 e 3). Na Fase III, houve uma diferença entre os valores estimados pelo ajuste dos graus-dia e FAO56 em relação aos obtidos por meio do balanço hídrico, os quais superestimaram esse último em 10 e 11% no sistema PE, sendo que no sistema PC essa superestimativa foi da ordem de 5%. Para o feijão-caupi, observou-se que a proximidade dos valores entre os diferentes métodos ocorreu praticamente em todas as fases fenológicas da cultura (Tabelas 2 e 4). Contudo, uma grande discrepância foi verificada na Fase III do PE, onde os valores obtidos pelo ajuste da FAO subestimaram os do método do balanço hídrico em, aproximadamente, 48%. Tal discrepância pode estar associada ao fato de que os valores estimados pelo método da FAO representam um Kc médio para um grande número de locais em diferentes regiões diferentes das verificadas no presente estudo.

Tabela 1. Valores médios dos coeficientes de cultura (Kc) do milho irrigado em sistema de plantio exclusivo nas diferentes fases fenológicas (I – inicial, II – intermediária, III – final), sob as condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Método	Fase Fenológica		
	I	II	III
Balanco hídrico no solo	0,86	1,10	0,52
FAO56	0,86	1,23	0,59
Ajustado graus-dia	0,87	1,21	0,61

Tabela 2. Valores médios dos coeficientes de cultura (Kc) do feijão-caupi irrigado em sistema de plantio exclusivo nas diferentes fases fenológicas (I – inicial, II – intermediária, III – final), sob as condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Método	Fase Fenológica		
	I	II	III
Balanco hídrico no solo	0,68	1,04	0,63
FAO56	0,88	1,08	0,33
Ajustado graus-dia	0,60	0,97	0,78

Tabela 3. Valores médios dos coeficientes de cultura (Kc) do milho irrigado em sistema de plantio consorciado nas diferentes fases fenológicas (I – inicial, II – intermediária, III – final), sob as condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Método	Fase Fenológica		
	I	II	III
Balanco hídrico no solo	0,90	1,30	0,72
Ajustado graus-dia	0,91	1,36	0,61

Tabela 4. Valores médios dos coeficientes de cultura (Kc) do feijão-caupi irrigado em sistema de plantio consorciado nas diferentes fases fenológicas (I – inicial, II – intermediária, III – final), sob as condições de Semiárido brasileiro, Petrolina-PE, 2008.

Método	Fase Fenológica		
	I	II	III
Balanco hídrico no solo	0,86	1,30	0,91
Ajustado graus-dia	0,80	1,21	1,06

3.2.6. CONCLUSÕES

- A demanda hídrica dos sistemas consorciados foi superior a dos sistemas exclusivos;
- Os valores de Kc no sistema de plantio consorciado foram iguais a 0,90, 1,43, 1,17 e 0,72 para o milho e 0,86, 1,25, 1,31 e 0,91 para o feijão-caupi, respectivamente para as fases vegetativa, floração, enchimento de grãos e maturidade fisiológica. No sistema exclusivo esses valores foram de, 0,86, 1,23, 0,97 e 0,52 para o milho e de 0,68, 1,02, 1,06 e 0,63 para o feijão-caupi, para as referidas fases na ordem que foram mencionadas;
- Devido as diferenças entre os valores do coeficiente de cultura (Kc) determinados por meio dos graus-dia acumulados e pelos métodos do balanço de água simplificado e da FAO, especialmente para a Fase II do milho e a Fase III do feijão-caupi sugere-se que os dados de Kc estimados à partir dos dados meteorológicos sejam utilizados com cautela no manejo de irrigação destas culturas na região em estudo.

3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SOUSA, F.; SEDIYAMA, G. C.; BEZERRA, J. R. C.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. **Revista ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n.52/53, p.49-57. 2001.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 279 p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de.; MELO, F. de. B.; MASCHIO, R.; RIBEIRO, V. Q.; MORAIS, E. L. da. Coeficientes de cultivo da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi. **III Congresso Brasileiro de Mamona Energia e Ricinoquímica**. 2008.

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. da.; ANDRADE JUNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do feijão-caupi no Vale do Gurgéia, Piauí. **Irriga. Botucatu**, v.13, n.2, p. 182-190, 2008a.

BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; MENDES, A. G.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SANTOS, F. J. S. Coeficiente de cultura do milho nos Tabuleiros Litorâneos do Piauí. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2008, Londrina-PR. **XXVII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Londrina-PR: Embrapa Milho e Sorgo/Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2008b. p. 1-5.

BEZERRA, F. M. L.; OLIVEIRA, C. H. C. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultura para o milho em Fortaleza, CE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n.1, p. 8-17, 1999.

BEZERRA, A. A. de. C.; TÁVORA, F. J. A. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Morfologia e produção de grãos em linhagens modernas de feijão-caupi submetidas a diferentes densidades populacionais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. V.8, n.1, p.85-93, 2008.

CARVALHO, D. F. de.; CRUZ, E. S. da.; SILVA, W. A. da.; SOUZA, W. de. J.; SOBRINHO, T. A. Demanda hídrica do milho de cultivo de inverno no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.1, p.112-118, 2006.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; ALVARENGA, R.C.; NETO, M.M.G.; VIANA, J.H.M.; OLIVEIRA, M.F.; SANTANA, D.P. In: **Manejo da cultura do milho**. EMBRAPA MILHO E SORGO, 2006. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/Circulares%20tecnicas/Circular%2087.pdf>. Acessado em 16/03/2007.

DETAR, W. R. Crop coefficients and water use for cowpea in the San Joaquin Valley of California. **Agricultural Water Management**. v. 96, p. 53-66, 2009.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999.412p.

EVANGELISTA, A. R.; ABREU, J. G. de; AMARAL, P. N. C. do; PEREIRA, R. C.; SALVADOR, F. M.; LOPES, J.; SOARES, L. Q. Composição bromatológica de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH) aditivadas com forragem de leucena (*Leucaena leucocephala* (LAM.) DEWIT). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 429-435, 2005.

FERNÁNDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPEZ, G. M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común**. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, 1982. 26p.

FERREIRA, V. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MASCHIO, R.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. R.; MORAIS, E. L. C. Coeficientes de cultivo do milho em sistemas monocultivo e consorciado com feijão-caupi. **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 2007.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Prefácio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnologia, 2005. p.17-18.

GAO, Y.; DUAN, A.; SUN, J.; LI, F.; LIU, Z.; LIU, H.; LIU, Z. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip Intercropping. **Field Crops Research**. v.111, p. 65-73, 2009.

GUERRA, A. F.; JACOMAZZI, M. A. Método do Tanque Classe A para Irrigação Suplementar do Milho no Cerrado, **Comunicado Técnico – Embrapa Cerrados**, Planaltina, n.59, p.1-2, 2001.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. de A.; SOUZA, E. S. de.; LIRA, C. A. B. de O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão-caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.1, n. único, p.89-95, 2006.

LOPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. de S.; MONTORO, A.; LOPEZ-FUSTER, P. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**. v. 96, p.1031–1036, 2009.

LOZADA, B.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura base e de graus-dia para estimativa da duração do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 31-36, 1999.

MASCHIO, R.; ANDRADE JUNIOR, A.S.; FERREIRA, V. M.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. R. da.; MORAIS, E. L. C. Coeficientes de cultivo do feijão-caupi em sistemas monocultivo e consorciado com o milho. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracajú - SE. **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia Efeito das mudanças climáticas na agricultura**. Piracicaba - SP : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007.

PAYERO, J. O.; TARKALSON, D. D.; IRMAK, S., DAVISON, D.; PETERSEN, J. L. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.8, p.895 -908, 2008.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. Engenharia **Agrícola**, Jaboticabal, v.16, n.4, p.118-143. 1997.

RIBEIRO, M. S.; SILVA, E. L. da.; MOURA, D. C. M. de.; DANTAS, A. A. A. Coeficiente de cultura (Kc) e crescimento vegetativo de acaia cerrado associados a graus-dia e desenvolvimento. **Irriga**. Botucatu, v.14, n.2, p. 220-232, 2009.

SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relação clima – água – planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998, p. 46-116.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S.A.; SINGH, B.B.; KORMAWA, P.M.; TAMO, M. (Ed.). **Challenge and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, 2002. p. 22-40.

SUYKER, A. E.; VERMA, S. B. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize–soybean cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149-3, n.4, p. 443-452, 2009.

3.3 CAPÍTULO III

Eficiência do uso da água das culturas do milho e feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro

3.3.1. RESUMO: O objetivo deste trabalho foi analisar a resposta produtiva, a eficiência do uso de água e a viabilidade econômica de cultivos de milho e de feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado em região Semiárida do Nordeste brasileiro. O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Semiárido, município de Petrolina, PE. As culturas do milho e do feijão-caupi foram submetidas a 15 tratamentos experimentais, combinando três configurações de sistema de plantio (milho exclusivo, caupi exclusivo e culturas consorciadas) e cinco lâminas de irrigação. Em ambos os sistemas de plantio, as culturas foram submetidas a cinco lâminas de irrigação (125% x ETo, 100% x ETo, 75% x ETo, 50% x ETo e 0% x ETo, onde ETo é a evapotranspiração de referência). As lâminas de irrigação foram aplicadas a partir dos 40 dias após a semeadura (DAS), período este coincidente com o pendoamento do milho e com a fase de florescimento do feijão-caupi. Foram utilizados indicadores que consideram a resposta produtiva da cultura e o desempenho de aplicação de água no sistema de produção. Os indicadores foram calculados por meio de dados de rendimento total, da relação entre os preços da produção comercial de grãos e a lâmina de água aplicada ao sistema. As produtividades de grãos das culturas do milho e feijão-caupi em resposta à disponibilidade hídrica no solo foram menores no plantio consorciado, em relação ao plantio exclusivo. Mesmo assim, em termos econômicos a adoção do consórcio mostrou-se mais vantajosa.

Palavras-chave: requerimento hídrico, *Zea mays*, *Vigna unguiculata* e consórcio.

Water use efficiency of cowpea and maize crops in sole and intercropping systems in the brazilian semiarid

3.3.2. ABSTRACT: The aim of this study was to analyze the productive response, efficiency of water use and economic viability of crops of maize and cowpea in sole cropping systems and intercropping in semiarid region of Northeast Brazil. The experiment was carried out at *Petrolina*, state of *Pernambuco*. The crops of maize and cowpea were subjected to 15 treatments, combining three settings cropping system (sole maize, sole cowpea and intercropping) and five irrigation water depths. In both cropping systems (sole and intercropping), the crops were subjected to five irrigation depths (125% x ETo, 100% x ETo, 75% x ETo, 50% x ETo and 0% x ETo, where ETo = reference evapotranspiration) applied from 40 days after sowing, which coincided with tasseling stage and the flowering of cowpea. Indices were used to study the crop yield response and performance of water application in the production system. The indices were calculated using data of total income, the relationship between the prices of commercial grain production and irrigation water applied to the system. Grain yield of corn and cowpea in response to soil water content were lower in intercropping stands, in relation to sole planting system. Even though, in economic terms the adoption of maize-cowpea intercropping proved to be more advantageous in all treatments.

Keywords: water need, *Zea mays*, *Vigna unguiculata* and intercropping.

3.3.3. INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é um segmento da atividade agrícola que apresenta ampla relevância, em âmbito nacional, na produção de alimentos básicos consumidos pela população brasileira, sendo responsável por 49% do milho (*Zea mays* L) e 67% do feijão (*Vigna unguiculata*) produzidos no País (LISITA, 2009). O milho é um dos principais cereais produzidos no mundo e o mais cultivado no Brasil, mas apresenta enorme contraste de produtividade entre as diferentes regiões do país, em decorrência das diferentes condições climáticas e de cultivo às quais a cultura é submetida. Por sua vez, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é a mais importante leguminosa de grãos do Semiárido brasileiro e exerce a função de suprir parte das necessidades protéicas das populações mais carentes dessa região (AGRIANUAL, 2009).

Diante deste contexto tem-se verificado uma ampla utilização dessas culturas em sistema de plantio consorciado, melhorando o aproveitamento das áreas de cultivo, incrementando o retorno econômico aos produtores e aumentando a oferta de alimentos para a população local (ANDRADE et al., 2001; MUSHAGALUSA et al., 2008). No Brasil, o consórcio entre as culturas do milho e do feijão é o de maior relevância, principalmente para os pequenos produtores da região semiárida do Nordeste brasileiro.

O milho e o feijão-caupi são culturas bem adaptadas às regiões tropicais e subtropicais com alta disponibilidade de água, nutrientes e radiação solar, onde produzem uma grande quantidade de biomassa. Contudo, no Nordeste brasileiro essas culturas são cultivadas principalmente em regime dependente de chuvas. Sendo assim, estão sujeitas a períodos de deficiência hídrica, devido à irregularidade da precipitação pluvial e ao manejo inadequado, que geralmente resultam em reduções

expressivas da produção de biomassa e em baixas produtividades. Sob condições de estresse, as respostas fisiológicas das plantas são modificadas, dependendo da duração, severidade e da fase fenológica de ocorrência (MOURA et al., 2006).

A utilização de indicadores da eficiência do uso de água (EUA) é uma das maneiras de se analisar a resposta dos cultivos às diferentes condições de disponibilidade de água, pois relaciona a produção de biomassa seca ou a produção comercial com a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura (LIU e STÜTZEL, 2004; PUPPALA et al., 2005). Estudos também têm sido realizados para analisar a eficiência dos cultivos consorciados, visando o conhecimento da viabilidade dos mesmos. Nesse sentido, as pesquisas devem ser direcionadas para alcançar altos valores do índice de produção equivalente e da EUA, sem redução acentuada da produtividade (GAO et al., 2009; DETAR, 2009; MURTAZA et al., 2006). Sendo assim, este estudo teve o objetivo de analisar a resposta produtiva, a eficiência do uso de água e a viabilidade econômica de cultivos de milho e de feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado nas condições climáticas do Semiárido brasileiro.

3.3.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.3.4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no município de Petrolina-PE, em um solo 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 clima da região,

segundo Köppen, é classificado como BSw^h' (Semiárido com temperaturas médias anuais elevadas, da ordem de 26,3°C, e precipitação média de 548,7 mm).

O preparo do solo consistiu na realização de uma aração e uma gradagem, suficientes para o completo destorroamento do solo. A adubação de base foi realizada a partir da interpretação da análise de solo, aplicando-se 90-70-50 kg ha⁻¹ e 0-50-50 kg ha⁻¹ de NPK, respectivamente para o milho e o feijão, por ocasião do plantio.

Utilizaram-se as cultivares Caatingueiro para o milho e Pujante para o feijão-caupi, ambas submetidas aos sistemas de plantio exclusivo (PE) e consorciado (PC), irrigados por gotejamento com emissores espaçados a cada 0,5m. Em ambos os casos, a semeadura foi realizada no dia 20 de dezembro de 2007.

O sistema de plantio exclusivo do feijão-caupi (PEF) foi implantado no espaçamento de 0,50 m entre fileiras e 0,50 m entre plantas, e duas plantas por cova com uma densidade média de 80.000 plantas ha⁻¹. Por outro lado, a cultura do milho (PEM) foi semeada no espaçamento de 1,0 m entre fileiras e 0,2 m entre plantas, totalizando uma densidade no plantio de 50.000 plantas ha⁻¹. No sistema consorciado com o milho e feijão-caupi (PCMF), o espaçamento entre as fileiras foi de 0,50 m, sendo a densidade de plantas na ordem de 50.000 e 40.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Durante o experimento, foram realizadas avaliações da fenologia 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, adotando-se o método proposto por Pereira Filho e Cruz (2006) e Fernández et al. (1982).

3.3.4.2 Tratamentos e delineamento experimental

As culturas nos diferentes sistemas de plantio foram submetidas a lâminas de irrigação correspondente a 100% x ETo até os 40 dias após a semeadura (que coincidiu com o pendoamento no milho e a fase de floração do feijão-caupi, uma vez que a semeadura de ambas as culturas foi realizada simultaneamente) quando foi iniciada a aplicação dos tratamentos que consistiram em cinco diferentes lâminas de irrigação. As lâminas de água foram baseadas nos valores da evapotranspiração de referência (ETo), tal como segue: L125 = 125% x ETo, L100 = 100% x ETo, L75 = 75% x ETo, L50 = 50% x ETo e L0 = 0% x ETo. A reposição de água no solo foi realizada por um sistema de gotejamento com turno de rega de 2 dias. Combinando as três configurações de sistema de cultivo (PCMF, PEF e PEM) e as cinco lâminas de irrigação, as culturas do milho e feijão-caupi foram submetidas a quinze 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, com três repetições para cada tratamento. Nos sistemas PEM e PEF, a parcela experimental foi composta por quatro fileiras de 16 m de comprimento, espaçadas de 1,0 m e 0,5 m, sendo as áreas úteis iguais a 16 m² e 8 m² para ambos os sistemas exclusivos na ordem em que foram citados. O sistema consorciado foi disposto no arranjo intercalar (1:1) com associação de uma fileira de milho e uma de feijão-caupi. A parcela foi constituída de seis linhas espaçadas de 0,5 m com 16 m de comprimento. A área útil de cada parcela constou das duas linhas centrais, desconsiderando-se 0,5 m de bordadura em cada extremidade da parcela, totalizando 40 m².

3.3.4.3 Dados de produção

A colheita da cultura do feijão-caupi foi realizada em 05 de março de 2008, e a do milho ocorreu no dia 07 de abril de 2008. O procedimento adotado para análise do rendimento das plantas foi o mesmo para ambas as culturas, compreendendo a coleta de todas as plantas da parcela útil de cada tratamento, que foi subdividida em três repetições, de onde foram retiradas as vagens do feijão-caupi e as espigas do milho. Esses materiais foram acondicionados em sacos de papel e posteriormente, foi feita a análise da produção total de grãos.

3.3.4.4. Indicadores de eficiência do uso da água e de produção equivalente

A eficiência do uso da água (EUA) ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) foi calculada relacionando a produtividade de grãos (PG) e a lâmina de água aplicada (LI). Para isto, utilizou-se a seguinte expressão (GEERTS e RAES, 2009; LACERDA et al., 2009):

$$\text{EUA} = \frac{\text{PG}}{\text{LI}} \quad (1)$$

em que, PG = produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e LI = lâmina de irrigação acumulada (mm).

O índice de produção equivalente (Y_e) foi determinado para o sistema de produção consorciado, por meio da relação entre os preços da produção comercial de grãos de ambas as culturas. Considerando, o milho como a cultura de referência, os valores de Y_e foram obtidos pela seguinte equação (FERREIRA, 2007):

$$Y_e = Y_m + r_{med} Y_f \quad (2)$$

em que, Y_e é expresso em kg ha^{-1} ; Y_m = produtividade de grãos de milho no cultivo consorciado (kg ha^{-1}); Y_f = produtividade de grãos de feijão-caupi no cultivo consorciado (kg ha^{-1}); e, r = relação entre os preços do feijão-caupi e do milho (adimensional).

Os valores de r_{med} foram estimados utilizando os dados médios e o desvio-padrão dos preços mínimos do milho e do feijão-caupi, obtidos junto ao MAPA (2009), no período de 2000 a 2007. Por meio destes dados, também foram calculados os valores de r_{max} e r_{min} .

$$r_{med} = \left(\frac{PMF_{med}}{PMM_{med}} \right) \quad (3)$$

em que, PMF_{med} = valor médio do preço mínimo do feijão-caupi (R\$); e, PMM_{med} = valor médio do preço mínimo do milho (R\$).

$$r_{max} = \left(\frac{PF_{max}}{PM_{max}} \right) \quad (4)$$

em que, PF_{max} = média mais o desvio padrão do preço mínimo do feijão-caupi, R\$;
 PM_{max} = média mais o desvio padrão do preço mínimo do milho, R\$.

$$r_{\min} = \left(\frac{PF_{\min}}{PM_{\min}} \right) \quad (5)$$

sendo, PF_{\min} = média menos o desvio padrão do preço mínimo do feijão-caupi, R\$;
 PM_{\min} = média menos o desvio padrão do preço mínimo do milho, R\$.

Os dados obtidos ao longo do período experimental foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância – ANOVA, sendo que os efeitos individuais dos tratamentos e as interações entre os fatores (lâmina de irrigação e sistema de plantio) foram comparados pelo teste de Tukey e análise de regressão, considerando todos os testes estatísticos ao nível de 5% de probabilidade. Para os parâmetros avaliados em que houve uma resposta expolinear na última avaliação, realizou-se a determinação da produtividade máxima por meio da derivada primeira da equação correspondente, obtendo-se o valor de lâmina d'água que iguala a função derivada a zero.

3.3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das lâminas totais de água aplicada (LI) nas culturas do milho e feijão-caupi para os diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 1 e 2. Analisando o rendimento do milho nos dois sistemas de plantio, observa-se que a maior lâmina de irrigação (125% x ETo) promoveu incrementos significativos na produção, da ordem de 3860 kg ha⁻¹ e de 3477 kg ha⁻¹ para as lâminas totais de 499,1 mm e 558,3 mm nos sistemas de plantios exclusivo e consorciado, respectivamente (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Lâmina de água aplicada, produtividade de grãos e eficiência do uso de água das culturas do milho e feijão-caupi em sistema de plantio exclusivo, submetidas a diferentes lâminas de água, no Semiárido brasileiro.

Tratamento	LI (mm)		Produção (kg ha ⁻¹)		EUA	
	Feijão-Caupi	Milho	Feijão-Caupi	Milho	Feijão-Caupi	Milho
125% x ETo	476,6a	499,1a	1320,7b	3860,0d	27,7a	77,3c
100% x ETo	448,7b	471,2b	1374,7b	3418,3cd	30,6a	72,5bc
75% x ETo	420,8c	443,3c	1316,5b	3005,0 bc	31,3a	67,8bc
50% x ETo	392,9d	415,4d	866,0ab	2433,3ab	22,0a	58,6ab
0% x ETo	337,1e	359,5e	571,4a	1655,0a	17,0a	46,3a
			1219,5	3179,2	27,9	69,1

Tabela 2. Lâmina de água aplicada, produtividade de grãos e eficiência do uso de água das culturas do milho e feijão-caupi em sistema de plantio consorciado, submetidas a diferentes lâminas de água, no Semiárido brasileiro.

Tratamento	LI (mm)		Produção (kg ha ⁻¹)		EUA	
	Feijão-Caupi	Milho	Feijão-Caupi	Milho	Feijão-Caupi	Milho
125% x ETo	520,2a	558,3a	622,3a	3476,7b	11,96a	62,28a
100% x ETo	491,7b	529,8b	556,0a	2865,8ab	11,30a	54,10a
75% x ETo	464,2c	502,3c	609,0a	2600,0ab	13,12a	51,76a
50% x ETo	436,3d	474,4d	373,7a	2098,3ab	8,56a	44,23a
0% x ETo	383,0e	421,1e	138,3a	1506,7a	3,61a	35,78a
			459,9	2509,5	9,7	49,6

* Valores seguidos de mesma letra não se diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade

Nas condições avaliadas em que a relação entre a produção de grãos da cultura do milho em função da lâmina de irrigação foi linear, conforme apresentado

na Figura 1. Esta tendência induz a suposição de que a cultura ainda poderia apresentar maiores valores de produção com o aumento da lâmina aplicada.

Os valores de produção obtidos no presente estudo foram inferiores aos reportados por CARVALHO et al. (2004), que estudando esta mesma variedade de milho, sob diferentes regiões do Semiárido do nordeste, obtiveram um rendimento médio de grãos em torno de 4.129 kg ha⁻¹. Porém, situam-se acima da média nacional, que é da ordem de 3250 kg ha⁻¹ (CRUZ et al., 2006). Estes resultados podem ser explicados devido ao Caatingueiro (desenvolvida no programa de melhoramento de milho no Brasil) ser uma variedade superprecoce adaptada às condições de semiaridez (PATERNIANI, 1993; VENCOVSKY e RAMALHO, 2000).

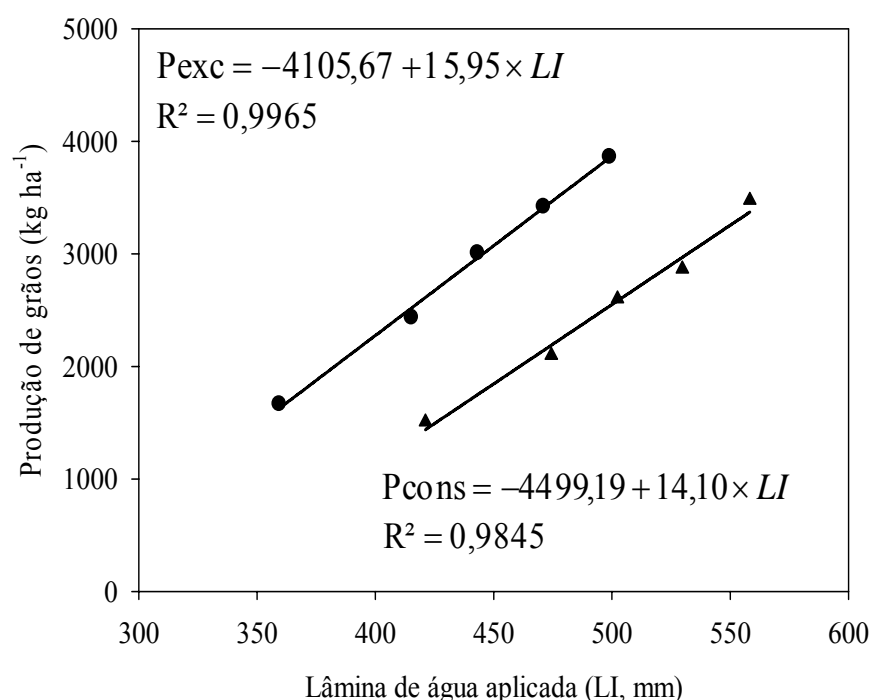


Figura 1. Produtividade de grãos do milho em função das lâminas de irrigação aplicadas (LI) nos sistemas de plantio exclusivo (● - PE) e consorciado (▲ - PC), nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina, PE, 2008. Cada símbolo representa o valor médio de 3 repetições.

Para o feijão-caupi, em sistema de plantio exclusivo, a aplicação da lâmina de 100% x ETo resultou em maior produtividade de grãos (PG), totalizando 1.374 kg ha⁻¹. A aplicação da lâmina de 125% x ETo apresentou produtividade de 1.320 kg ha⁻¹, indicando aplicação excessiva de água. No sistema consorciado, a produção foi crescente com o incremento de água e os maiores rendimentos foram obtidos com a lâmina de 125% x ETo, que apresentou uma produtividade média igual a 622 kg ha⁻¹ (Tabela 2). ANDRADE JÚNIOR et al. (2002) estudaram a resposta da cultura do feijão-caupi cv. Gurguéia a diferentes de lâminas de irrigação, nas condições do Piauí, e verificaram que o aumento da lâmina de irrigação além do valor considerado ótimo ocasionou um decréscimo da produção, sendo que a máxima produção foi obtida com aplicação da lâmina de 449 mm. JADOSKI et al. (2003) trabalharam com a cultura do feijoeiro em sistema exclusivo e constataram que, quando submetida ao excesso de umidade, a cultura teve seu rendimento reduzido em até 50%.

Em relação à produtividade máxima para o rendimento de grãos para o feijão-caupi, observou-se que o maior valor foi para a lâmina de 449 mm no sistema de plantio exclusivo, que resultou em um rendimento médio de 1.377 kg ha⁻¹ (Figura 2). Esse resultado está acima da média de produção nacional que é de 856 kg ha⁻¹. Para o sistema consorciado, a lâmina que promoveu a produtividade máxima foi de 501 mm, com um rendimento médio de 625 kg ha⁻¹ (Figura 2). Tais constatações demonstram a viabilidade da produção da variedade Pujante nas condições de Semiárido brasileiro, principalmente sob irrigação.

A produção média do milho, em consorciação com o feijão-caupi, teve um decréscimo de 13% em relação ao monocultivo. Para o feijão-caupi, essa redução foi da ordem de 66%. Essas diferenças foram significativas, em face a duas principais causas: a) o uso de menor número de plantas de feijão no sistema consorciado; e b) a

competição por água e radiação solar exercida pelo milho (MELO et al., 2003). Quando se estabeleceu uma comparação entre os rendimentos obtidos para as diferentes lâminas, constatou-se que na cultura do milho, em ambos os sistemas de plantios, houve uma redução na produção de grãos da ordem de 15%, 25%, 40% e 57% para os tratamentos de 100% x ETo, 75% x ETo, 50% x ETo e 0% x ETo, quando comparadas ao tratamento 125% x ETo. Para o feijão-caupi, essas diferenças foram respectivamente da ordem de 4%, 4%, 23% e 48%, quando comparadas à lâmina que forneceu a maior produção no sistema exclusivo (100%.ETo). No sistema consorciado, a diferença foi de 11%, 2%, 40% e 78% para os tratamentos de 100% x ETo, 75% x ETo, 50% x ETo e 0% x ETo, respectivamente, em relação à lâmina de 125% x ETo.

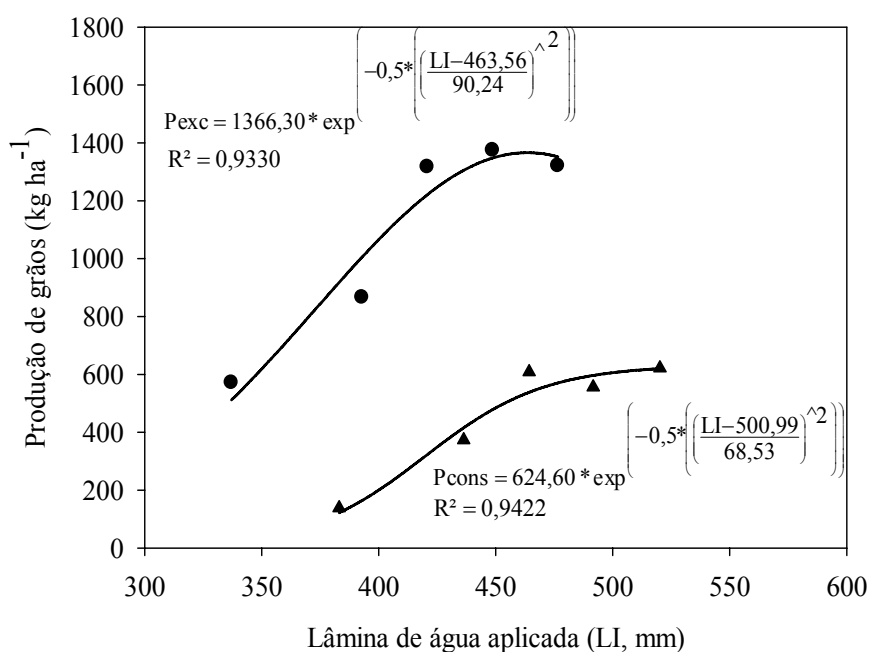


Figura 2. Produtividade de grãos do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas (LI) nos sistemas de plantio exclusivo (● - PE) e consorciado (▲ - PC), nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina, PE, 2008. Cada símbolo representa o valor médio de 3 repetições.

Na Tabela 1 são mostrados os dados referentes à eficiência do uso de água das culturas do milho e feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado, submetidas às diferentes lâminas de água. Observa-se que houve diferença significativa entre as lâminas aplicadas ($p < 0,05$). No caso do milho em sistema de plantio exclusivo, verificou-se que a eficiência do uso de água (EUA) aumentou com o incremento da lâmina de água aplicada, sendo que a maior EUA foi obtida com a lâmina de 125% x ETo (Figura 3). Tal resposta pode ser explicado pelo fato da cultura do milho apresentar maior resposta produtiva ao incremento da lâmina de água (Figura 1). Com relação ao feijão-caupi, em sistema de plantio exclusivo, verificou-se que a EUA tende a decrescer com o incremento da lâmina de água aplicada (Figura 4). Assim, vale ressaltar que, apesar de a lâmina 100% x ETo ter apresentado maior produção de grãos, a análise da eficiência de uso de água mostra que a lâmina 75% ETo foi mais eficiente, com 31,3 kg m⁻³ de água aplicada. O mesmo comportamento foi verificado para o sistema de plantio consorciado, em que a lâmina de 75% ETo apresentou os maiores valores de EUA (13,1 kg m⁻³) (Figura 4). Resultados semelhantes foram encontrados por ANDRADE JÚNIOR et al. (2002) em estudo realizado com a cultivar de feijão BR14 Mulato sob quatro diferentes lâminas de irrigação (449,1; 428,6; 317,1 e 194,4 mm), no qual os autores encontraram valores máximos de eficiência do uso da água para a lâmina de irrigação de 306,3mm.

Para a estimativa da medida de eficiência técnica e econômica do consórcio em comparação aos cultivos exclusivos de milho e feijão-caupi usou-se o índice de produção equivalente baseado na relação de preços das culturas, optando pela produção equivalente do milho. Segundo esse índice, admite-se como vantajosa a utilização do sistema consorciado quanto maior for a produção equivalente

comparada à produção do milho em sistema exclusivo. Os valores médios referentes às relações de preços baseadas no preço mínimo médio ($Y_{er_{med}}$), preço mínimo mais desvio padrão ($Y_{er_{max}}$) e preço mínimo menos desvio padrão ($Y_{er_{min}}$) em função das lâminas totais aplicadas nas culturas de feijão-caupi e milho em sistema de cultivo consorciado são apresentados na Tabela 3. A produção equivalente do milho ($Y_{er_{med}}$) oscilou de 4719 a 1783 kg ha⁻¹, as quais foram obtidas com as lâminas de irrigação de 558,3 e 421,1 mm, respectivamente. Não houve variação sensível na produção equivalente de milho quando foram utilizadas as diferentes relações de preços (r_{med} , r_{max} e r_{min}), motivo pelo qual se adotou a relação r_{med} para análise dos resultados.

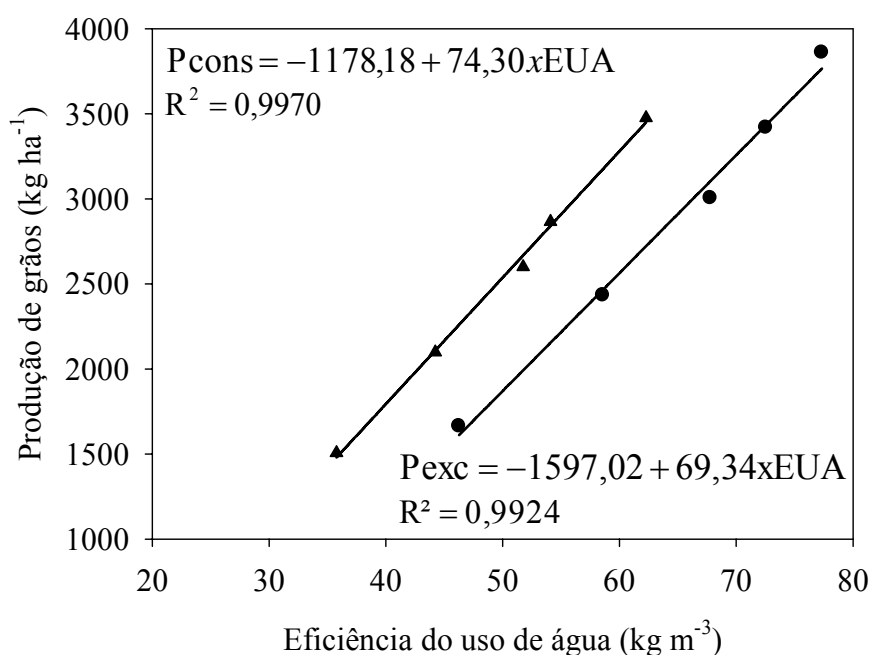


Figura 3. Produtividade de grãos do milho em função em função da eficiência do uso de água (EUA) nos sistemas de plantio exclusivo (● - PE) e consorciado (▲ - PC), nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina, PE, 2008. Cada símbolo representa o valor médio de três repetições.

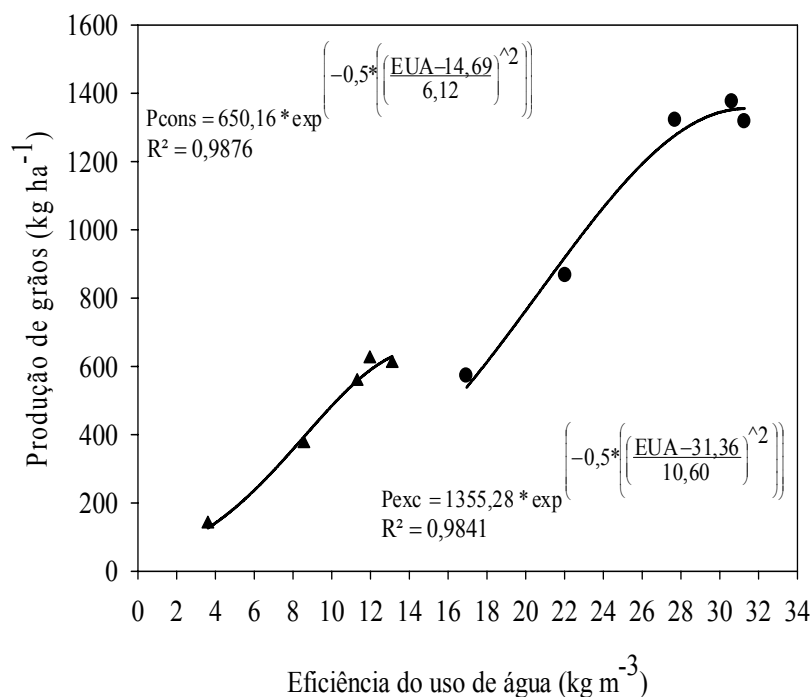


Figura 4. Produtividade de grãos do feijão-caupi em função em função da eficiência do uso de água (EUA) nos sistemas de plantio exclusivo (● - PE) e consorciado (▲ - PC), nas condições de Semiárido brasileiro, Petrolina, PE, 2008. Cada símbolo representa o valor médio de três repetições.

Tabela 3. Produtividade equivalente em milho baseada no preço mínimo médio (Y_e), preço mínimo mais desvio padrão ($Y_{e_{max}}$) e preço mínimo menos desvio padrão ($Y_{e_{min}}$) em função das lâminas totais aplicadas (LI) nas culturas de feijão-caupi e milho em sistema de cultivo consorciado.

LI (mm)		Produção milho exclusivo (kg ha ⁻¹)	Produção milho consórcio (kg ha ⁻¹)	Y_e	$Y_{e_{max}}$	$Y_{e_{min}}$
Feijão-Caupi	Milho					
520,2a	558,3a	3860,00	3476,67	4719,54	4668,58	4813,00
491,7b	529,8b	3418,33	2865,83	3976,23	3930,70	4059,73
464,2c	502,3c	3005,00	2600,00	3816,24	3766,37	3907,71
436,3d	474,4d	2433,33	2098,33	2844,59	2813,99	2900,71
383,0e	421,1e	1663,33	1506,67	1782,93	1771,61	1803,71
		2876,00	2509,50	3427,91	3390,25	3496,97

No presente estudo os valores do índice de produção equivalente (Y_e) do cultivo consorciado foram superiores aos valores de grãos produzidos em cultivo exclusivo (Tabela 3), indicando que o consórcio foi mais vantajoso que o cultivo

exclusivo. Estes resultados são discordantes aos reportados por FERREIRA et al. (2007), que avaliando a eficiência do consórcio em Teresina-PI, constataram que economicamente a utilização do consórcio (1053 kg ha^{-1}) só foi vantajosa com a utilização da menor lâmina de irrigação (379,8 mm). Os resultados obtidos no presente estudo sugerem que o consórcio deve ser estimulado, notadamente, junto aos pequenos produtores.

3.3.6. CONCLUSÕES

- A produtividade de grãos das culturas do milho e do feijão-caupi em resposta ao volume de água aplicado foi menor nos plantios consorciados em relação aos exclusivos;
- A eficiência de uso de água das culturas do milho e do feijão-caupi foi superior no plantio exclusivo em relação ao consorciado;
- Em termos econômicos, a adoção do consórcio mostrou-se mais vantajosa e, desta forma, sugere-se que o plantio consorciado deve ser estimulado;
- A aplicação da lâmina correspondente a 75% da evapotranspiração de referência, para o feijão-caupi durante a fase de floração, resultou na eficiência máxima do uso da água. O incremento de água acima desse valor para o aumento da produção só deve ser efetuado se a água não for um fator limitante na região;
- Para o milho, a eficiência do uso de água apresentou comportamento linear com o aumento da quantidade de água, não sendo atingida a máxima produtividade.

3.3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2009: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e comércio. 2009. P384.

ANDRADE, M. J. B.; MORAIS, A. R.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, M. V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, p. 242-250, 2001.

ANDRADE JUNIOR, A.S.; RODRIGUES, B.H.N.; FRIZZONE, J.A.; CARDOSO, M.J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de. B. Níveis de irrigação na cultura do feijão-caupi. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.17-20, 2002.
CARVALHO, H.W.L.; SANTOS, M.X.; SILVA, A.A.G.; CARDOSO, M.J.; SANTOS, D.M.; TABOSA, J.N.; FILHO, M.M.; LIRA, M.A.; BONFIM, M.H.C.; SOUZA, E.M.; SAMPAIO, G.V.; BRITO, A.R.M.B.; DOURADO, V.V.; TAVARES, J.A.; NETO, J.G.N.; NASCIMENTO, M.M.A.; FILHO, J.J.T.; JUNIOR, A.S.A.; CARVALHO, B.C.L. Caatingueiro – Uma variedade de milho para o Semi-árido Nordeste. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2004/cot-29.pdf. Acessado em: 11/03/2007.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; ALVARENGA, R.C.; NETO, M.M.G.; VIANA, J.H.M.; OLIVEIRA, M.F.; SANTANA, D.P. In: Manejo da cultura do milho. EMBRAPA MILHO E SORGO, 2006. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/Circulares%20tecnicas/Circular%2087.pdf>. Acessado em 16/03/2007.

DETAR, W.R. Crop coefficients and water use for cowpea in the San Joaquin Valley of California. **Agricultural Water Management**, v.96, p.53-66, 2009.

FERREIRA, V. M. Definição de Parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho x feijão-caupi. 2007. 95 f. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

GAO, Y.; DUAN, A.; SUN, J.; LI, F.; LIU, Z.; LIU, H.; LIU, Z. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip. Intercropping. **Field Crops Research**, v.111, p.65-73, 2009.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1275-1284, 2009.

JADOSKI, S. O.; CARLESSO, R.; MELO, G. L.; RODRIGUES, M.; FRIZZO, Z. Manejo de irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Irriga**, v. 8, p. 1-9, 2003.

LACERDA, C. F. de.; NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. V.; SILVA, F. L. B. da.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H.R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v.29, p. 221-230, 2009.

LISITA, F.O. Agricultura familiar. Disponível em: http://www.embrapa.gov.br/linhas_de_acao/desenvolvimento/agri_familiar/index_html/mostra_documento>. Acesso em: 19 abr.2009.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v.102, p.15-27, 2004.

MAPA. MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. Dados estatísticos, preços mínimos “feijão – caupi e Milho”. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/> Acesso em: 06 de agosto de 2009.

MELO, F. B.; BELTRÃO, N. E. de M; SILVA, P. H. S. Cultivo da mamona (*Ricinus communis* L.) consorciada com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) no Semi-Árido. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2003, 89 p. (**Embrapa Meio-Norte. Documentos, 74**).

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

MURTAZA, G.; GHAFOR, A.; QADIR, M. Irrigation and soil management strategies for using saline-sodic water in a cotton-wheat rotation. **Agricultural Water Management**, v.81, p.98-114, 2006.

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

PATERNIANI, E. Métodos tradicionais de melhoramento de milho. In: BULL, L. T.; CHANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 301 p.

PUPPALA, N.; FOWLER, J.L.; JONES, T.L.; GUTSCHICK, V.; MURRAY, L. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, v.21, p.33-47, 2005.

VENCOVSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Contribuição do melhoramento genético de plantas no Brasil. In: PATERNIANI, E. **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília: EMBRAPA, 2000. 194 p.

4. CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos, com as culturas do milho e do feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado submetidas às diferentes lâminas de irrigação no Semiárido brasileiro, foi possível concluir que o sistema exclusivo possui maior produção de fitomassa seca e de eficiência do uso de água quando comparado ao sistema consorciado, logo, neste último, além da sua resposta produtiva ao suprimento de água ser menor, a sua necessidade hídrica é superior ao cultivo exclusivo. Entretanto, a adoção do consórcio milho e feijão-caupi é mais vantajosa em termos econômicos mesmo quando no sistema de produção a disponibilidade hídrica do solo é reduzida.