

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO PRODUÇÃO VEGETAL

SIMONE RAQUEL MENDES DE OLIVEIRA

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DO RISCO
CLIMÁTICO NO CONSÓRCIO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-CAUPI**

TERESINA - PI

2010

SIMONE RAQUEL MENDES DE OLIVEIRA

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DO RISCO
CLIMÁTICO NO CONSÓRCIO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-CAUPI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior.

TERESINA - PI

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

O48d Oliveira, Simone Raquel Mendes de

Determinação de parâmetros para estimativa do risco climático no consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi / Simone Raquel Mendes de Oliveira. - 2010. 111f.: il.

Cópia de computador (printout).
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, PI, 2010.
Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

1. *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch. 2. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. 3. Balanço hídrico no solo. 4. Zoneamento de risco climático. 5. Coeficiente de cultura I. Título.

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DO RISCO
CLIMÁTICO NO CONSÓRCIO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-CAUPI**

SIMONE RAQUEL MENDES DE OLIVEIRA

Engenheira Agrônoma

Aprovada em **19/03/2010**

Comissão Julgadora:

Pesq. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior - Presidente
Embrapa Meio-Norte

Pesq. Dr. Edson Alves Bastos - Titular
Embrapa Meio-Norte

Prof. Dr. Milcíades Gadelha de Lima - Titular
DEAS/CCA/UFPI

Aos meus queridos pais, José Ribamar Rodrigues
de Oliveira e Cecília Maria Mendes de Oliveira

OFEREÇO

Ao meu amado esposo Fábio Soares da Paz

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, conquistas e presença constante em minha vida.

Aos meus pais José Ribamar Rodrigues de Oliveira e Cecília Maria Mendes de Oliveira, pelo apoio, compreensão e amor.

Ao meu esposo, Fábio Soares da Paz, por participar diretamente na realização deste trabalho, pelo amor incondicional, pela compreensão, companheirismo e por ser fonte da minha serenidade, coragem e força.

Ao meu tio Cícero Magalhães e meus primos pelo apoio.

Ao pesquisador Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pela orientação, paciência, compreensão, pelos ensinamentos, oportunidades, bons momentos durante o estágio e por ser um exemplo de pessoa a ser seguida, fonte inspiradora de competência e sabedoria.

Ao Dr. Edson Alves Bastos, pela colaboração, conhecimentos, oportunidades, companheirismo, incentivo, conselhos e amizade.

Aos pesquisadores da Embrapa Meio-Norte José Lopes Ribeiro, Valdenir Queiroz Ribeiro e Francisco Rodrigues Freire Filho pelos ensinamentos e colaboração na elaboração e execução deste trabalho.

Ao Sr. José Rodrigues, da Embrapa Algodão, pela disponibilidade, acompanhamento e colaboração nas análises das fibras do algodão.

Aos amigos do Mestrado em Agronomia especialmente a Ruty, Nadine, Eliana e Francisco Ferreira pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos de estágio da Embrapa Meio-Norte: Clescy Oliveira, Eddie Leal, Rafael Maschio, Michel Barros, Adilberto Lemos, Sebastião Pereira e Everaldo Moreira.

Ao técnico agrícola da Embrapa Meio-Norte, Anchieta Fontenele, pelo apoio na implantação do experimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí, pelo apoio e oportunidade.

À CAPES, pelo concessão da bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

<i>Lista de Figuras</i>	ix
<i>Lista de Tabelas</i>	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Algodão herbáceo	4
2.2. Feijão-caupi	6
2.3. Consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi.....	7
2.4. Balanço hídrico no solo	9
2.5. Variabilidade climática, produção agrícola e o zoneamento de risco climático	12
2.6. Efeitos do estresse hídrico no algodão herbáceo	14
2.7. Efeitos do estresse hídrico no feijão-caupi	17
2.8. Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e feijão-caupi em cultivos solteiro e consorciado	19
2.9. Índice de satisfação das necessidades de água em culturas solteiras e consorciadas	22
2.10. Produtividade do algodão em monocultivo e consorciado com feijão-caupi, em resposta à disponibilidade hídrica no solo	24
2.11. Indicadores de eficiência agrônômica de cultivos consorciados	26
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO 1 – COEFICIENTES DE CULTURA DO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-CAUPI EM CULTIVOS SOLTEIRO E CONSORCIADO EM TERESINA, PI	40
RESUMO	41
ABSTRACT	42
INTRODUÇÃO	42
MATERIAL E MÉTODOS	44
Estimativa da evapotranspiração de referência (ET _o)	45
Estimativa da evapotranspiração das culturas (ET _c)	45
Determinação dos componentes do balanço hídrico	46
Irrigação	46

Variação do armazenamento de água no solo	47
Estimativa dos coeficientes de cultura (Kc)	47
RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
Evapotranspiração das culturas	48
Coeficientes de cultura	50
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS	53
ANEXOS	55
CAPÍTULO 2 - ÍNDICE DE SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA DO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-CAUPI EM CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO	59
RESUMO	60
ABSTRACT	61
INTRODUÇÃO	61
MATERIAL E MÉTODOS	63
Localização e características da área experimental	63
Preparo do solo, semeadura e práticas culturais	63
Manejo da irrigação	64
Monitoramento do conteúdo de água do solo	65
Índice de satisfação das necessidades de água (ISNA)	66
Produção equivalente	67
Tratamentos e delineamento experimental	68
RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS	72
ANEXOS	75
CAPÍTULO 3 – PRODUTIVIDADE DO ALGODÃO EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO COM FEIJÃO-CAUPI, EM RESPOSTA À DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SOLO	77
RESUMO	78
ABSTRACT	79
INTRODUÇÃO	80
MATERIAL E MÉTODOS	81

Preparo do solo, semeadura e práticas culturais	82
Níveis de umidade no solo e manejo da irrigação	83
Monitoramento do conteúdo de água do solo	84
Tratamentos e delineamento experimental	85
Produção e componentes de produção	85
Medidas de eficiência técnica e econômica	86
RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
Disponibilidade de água no solo	87
Produção e componentes de produção	89
Medidas de eficiência técnica e econômica	93
CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS	97

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Valores decendiais de evapotranspiração do algodão herbáceo (ETc) comparados com a evapotranspiração de referência (ETo). Teresina, PI, 2008	55
Figura 2. Valores decendiais de evapotranspiração do consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi (ETc) comparados com a evapotranspiração de referência (ETo). Teresina, PI, 2008	55
Figura 3. Algodão herbáceo em monocultivo e consorciado com feijão-caupi, respectivamente	56
Figura 4. Valores decendiais de evapotranspiração do feijão-caupi (ETc) comparados com a evapotranspiração de referência (ETo). Teresina, PI, 2008.....	56
Figura 5. Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e do feijão-caupi em cultivos solteiro e consorciado. Teresina, PI, 2008	56

CAPÍTULO 3

Figura 1. Lâminas de irrigação diferenciadas aplicadas após os dias de semeadura do algodão herbáceo em cultivo solteiro e consorciado com feijão-caupi, Teresina, PI, 2008	87
Figura 2. Variação da umidade no solo no algodão herbáceo solteiro em função da aplicação das lâminas de irrigação diferenciadas	88
Figura 3. Variação da umidade no solo no algodão herbáceo consorciado com feijão-caupi em função da aplicação das lâminas de irrigação diferenciadas	88
Figura 4. Altura de plantas (ALTP), número de capulhos por planta (NCAP), peso de capulho (PCAP) e rendimento de algodão em caroço (RAC) do algodão herbáceo, em cultivo solteiro, em função da umidade no solo	90
Figura 5. Altura de plantas (ALTP) e peso de capulho (PCAP) do algodão herbáceo em cultivo consorciado com o feijão-caupi, em função da umidade no solo	92

Figura 6. Número de vagens por planta (NVP), peso de cem grãos (PCG), produtividade de vagens (PV) e produtividade de grãos (PG) do feijão-caupi, em cultivo consorciado, em função da umidade no solo	93
Figura 7. Produção equivalente do consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi em função da umidade no solo	95

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Valores médios mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (Vv), radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de agosto a novembro de 2008, Teresina, PI	57
Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental. Teresina, PI, 2008	58
Tabela 3. Equações de regressão para os coeficientes de cultura (Kc) do algodão herbáceo e feijão-caupi em cultivo solteiro e consorciado, Teresina, PI, 2008	57
Tabela 4. Valores de Kc's médios calculados para o algodão herbáceo e sugeridos pela FAO (DOORENBOS & KASSAM, 1994) e para o feijão-caupi em sistemas de cultivo solteiro e consorciado, Teresina, PI, 2008	57

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Valores médios mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (Vv), radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de agosto a novembro de 2008, Teresina, PI	75
Tabela 2. Rendimento médio de algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi, em cultivo solteiro, em função dos valores de ISNA's definidos para as lâminas de irrigação aplicadas. Teresina, PI, 2008	75
Tabela 3. Rendimento médio de algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi, em cultivo consorciado, em função dos valores de ISNA's definidos para as lâminas de irrigação aplicadas. Teresina, PI, 2008	76

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Valores médios mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (Vv), radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de agosto a novembro de 2008, Teresina, PI	81
Tabela 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental. Teresina, PI, 2007	82
Tabela 3. Conteúdo de água no solo durante a aplicação das lâminas de irrigação diferenciadas no algodão herbáceo solteiro e consorciado com feijão-caupi. Teresina, PI, 2008	89
Tabela 4. Níveis de umidade no solo (U) no cultivo consorciado, produção equivalente de algodão em caroço do consórcio algodão herbáceo - feijão-caupi (PE), rendimento de algodão em caroço (RAC), em cultivo solteiro e produtividade de grãos de feijão-caupi em cultivo solteiro (PG). Teresina, PI, 2008	94

Oliveira, Simone Raquel Mendes de. **Determinação de parâmetros para estimativa do risco climático no consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi**. Teresina-PI, 2010. 111 p. Dissertação (Trabalho de Pós-Graduação em Agronomia). Orientação: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior. Universidade Federal do Piauí.

Resumo: Desenvolveu-se esta pesquisa com os objetivos de: (i) determinar os coeficientes de cultura (Kc's) do algodão herbáceo em monocultivo e consorciado com feijão-caupi, (ii) definir o ISNA para o algodão herbáceo e o feijão-caupi, em sistemas monocultivo e consorciado, sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, de forma a subsidiar os modelos de estimativa de risco climático e (iii) avaliar o desempenho produtivo e as medidas de eficiência técnica e econômica do algodão herbáceo, em sistema monocultivo e consorciado com o feijão-caupi, em resposta aos níveis de disponibilidade de água no solo. O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí, durante o período de agosto a novembro de 2008. Os Kc's médios encontrados para o algodão herbáceo, em cultivo solteiro, apresentaram valores de 0,39 a 1,16, como valor máximo, aos 57 dias após a semeadura. O Kc do algodão, em consórcio com o feijão-caupi, apresentou o valor mínimo de 0,53 e máximo de 1,34, aos 55 dias após a semeadura. O feijão-caupi, em monocultivo, apresentou valor mínimo de Kc de 0,45 e máximo de 1,13, aos 50 dias após a semeadura. Houve redução dos valores do ISNA e do rendimento do algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi, em cultivo solteiro e consorciado, à medida que aumentaram os níveis de deficiência hídrica no solo. Com a imposição de níveis menores de água no solo, os valores do ISNA para o cultivo solteiro foram 0,381, para o feijão-caupi, e 0,579, para o algodão herbáceo. No cultivo consorciado, o ISNA foi 0,656, indicando maior exigência hídrica sob esta condição. Em monocultivo, o acréscimo na umidade no solo proporcionou incremento no rendimento de algodão em caroço até alcançar seu valor máximo de 3.510,03kg.ha⁻¹ com o nível máximo de umidade do solo de 19,88%. A produção equivalente de algodão em caroço (2.185,14kg.ha⁻¹), em cultivo consorciado, superou a produção em cultivo solteiro (1.910,94kg.ha⁻¹), apenas sob o menor nível de umidade do solo (12,87%), demonstrando que o consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi foi mais vantajoso que o cultivo solteiro apenas quando os níveis de umidade do solo foram reduzidos.

Palavras chave: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, Balanço hídrico no solo, Zoneamento de risco climático, Coeficiente de cultura.

Oliveira, Simone Raquel Mendes de. **Determination of parameters for estimation of climatic risk in the cotton and cowpea intercropped.** Teresina-PI, 2010. 111p. Dissertação (Trabalho de pós-graduação em agronomia). Orientação: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior. Universidade Federal do Piauí.

Abstract: Developed this research with the objectives of: (i) to determine the Kc of the herbaceous cotton plant in mono and intercropping systems with cowpea, (ii) determine WRSI for cotton and cowpea, in mono and intercropping systems, under soil different levels of water availability in soil, to base studies of climatic risk using models and (iii) evaluate the productive performance and the technical and economical efficiency of the herbaceous cotton in mono and intercropping systems with cowpea, in response on soil water availability levels. The experiment was carried out in the Embrapa Meio-Norte experimental area, in Teresina, Piauí State, from August to November, 2008. The Kc's found for the cotton, in monoculture system, ranged from 0.39 to 1.16 as maximum value, at 57 days after sowing. The Kc of the cotton intercropping system with cowpea presented minimum value of 0.53 and maximum of 1.34, at 55 days after sowing. The cowpea, in monocropping system, presented minimum value of Kc of 0.45 and maximum of 1.13 at 50 days after sowing. There was reduction of the WRSI values to the cotton and cowpea grain yield, in mono and intercropping systems, while increasing water stress levels in the soil. Under low soil water deficit in the mono cropping system, WRSI values were 0.381 for cowpea and 0.579 for cotton. For the cotton-cowpea intercropping system WRSI was 0.656, indicating higher water requirement than monocropping system. In monocropping system the increase in water in the soil moisture resulted in increase in the yield of cotton seed to reach its maximum value of 3,510.03kg.ha⁻¹ with the maximum level of moisture availability in the soil (19.88%). The equivalent production (2,185.14kg.ha⁻¹) of seed cotton, in the intercropping system was higher than production in the monocropping system (1,910.94 kg.ha⁻¹), just under the lowest level of soil moisture (12.87%), demonstrating that the cotton and cowpea intercropping system showed higher advantage than the monocropping system only when the levels of soil moisture were reduced.

Key words: *Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, Water balance of soil, Zonation climatic risk, Crop coefficient.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte dos alimentos básicos provém de pequenas propriedades, onde a família participa diretamente da produção. A agricultura familiar contribui significativamente para o desenvolvimento social e o crescimento equilibrado do Brasil.

A necessidade de suprir a demanda por alimentos por meio de recursos limitados pelas condições da agricultura familiar, aliada a uma preocupação no melhor aproveitamento das áreas de cultivo tem sido a razão de se praticar cultivos consorciados (CAVALCANTE, 2005).

Por apresentarem maior diversidade cultural, os agrossistemas consorciados podem representar, de certa forma, um retorno ao ambiente natural, tendo, portanto, estabilidade maior. Consórcios são também bastante utilizados de modo a beneficiar tanto a dieta quanto a receita econômica do produtor, que fica menos sujeito a perdas totais da produção por estresse hídrico, ataque de pragas ou prejuízos decorrentes da oscilação de preço no mercado (ARAÚJO et al., 2008). Cultivos consorciados tendem a ser mais sustentáveis que monocultivos, pois acumulam mais matéria orgânica no sistema e conservam a umidade do solo por mais tempo.

As culturas integrantes de uma associação geralmente diferem em altura, área foliar, volume radicular, dentre outras características morfológicas que as tornam competitivas por recursos naturais. A incidência da radiação solar, o sombreamento, o consumo hídrico e a absorção de nutrientes, em cultivos consorciados, são determinados pelos aspectos morfológicos característicos de cada cultura.

Várias espécies anuais são cultivadas em sistemas consorciados: algodão herbáceo - feijão-caupi, milho - feijão-caupi, sorgo - feijão-caupi, mamona - feijão-caupi, mandioca - feijão-caupi, milho - feijão comum, mandioca - feijão comum, café - feijão comum e café - milho.

Segundo Amorim Neto et al. (1997), para o sucesso de uma exploração agrícola as condições climáticas devem satisfazer às necessidades das culturas em seus diferentes estádios fenológicos, principalmente em relação às condições térmicas e hídricas.

Assad et al. (2008) identificaram a seca e a chuva excessiva na colheita como os principais fenômenos responsáveis pela redução das safras na agricultura brasileira. Sinônimos de eventos sinistros, ou seja, que proporcionam perdas agrícolas, influenciam significativamente tanto monocultivos quanto consorciações.

A região Nordeste é a de maior incidência de sinistros. Na safra 1991/92, 87% de suas lavouras tiveram taxas de sinistro entre 30,19% e 68,85%. Na safra de verão 1992/93, 77% de suas lavouras tiveram índices sinistralidade entre 31,98% e 86,79%. Até mesmo as lavouras consorciadas apresentaram sinistros elevados. Dessa forma, observa-se que a seguridade agrícola nessa região é uma atividade de alto risco (BIUDES, 2005).

Conforme Rosseti (2001), as culturas do feijão (comum e caupi) e algodão herbáceo, apresentaram, na mesma safra, as taxas de perdas de 41% e 81%, respectivamente. Resta, como principal alternativa, o aproveitamento das áreas com maior potencial agrícola, do ponto de vista da água e do solo, com a exploração racional dos recursos hídricos e edáficos disponíveis, por meio do cultivo das culturas economicamente mais rentáveis.

O conhecimento do regime de chuvas associado ao monitoramento da umidade do solo permite o estabelecimento do início, duração e término do período chuvoso de determinada região. Tal conhecimento permite, também, a determinação da estação de cultivo, época de plantio/semeadura com menor risco climático e a elaboração do calendário agrícola, tanto para a agricultura de sequeiro quanto para projetos de irrigação (AZEVEDO & SILVA, 2007).

Com o objetivo de reduzir o risco climático e, conseqüentemente, as perdas agrícolas, o zoneamento de risco climático foi desenvolvido para que as operações financeiras voltadas ao setor (financiamento ao produtor e seguro agrícola) fossem viáveis e se pusessem como um elemento a mais na melhoria das condições do produtor da região. A origem do zoneamento está na demanda dos agricultores que precisavam de um sistema de produção mais confiável para reduzir as perdas.

A determinação da evapotranspiração real (E_{Tr}), da evapotranspiração máxima (E_{Tm}), de sua relação E_{Tr}/E_{Tm} (Índice de satisfação das necessidades de água – ISNA), denominados de “índices integradores” e os coeficientes de cultivo (K_c), sob condição de estresse hídrico, são essenciais em sistemas consorciados e solteiros.

Eles fornecem subsídios para os modelos de estimativa de riscos climáticos, possibilitando indicações das melhores épocas de semeadura nas diferentes regiões edafoclimáticas do Meio-Norte do Brasil, proporcionando incremento no desempenho dos sistemas de cultivo e maximização da produção por unidade de área.

Neste sentido, desenvolveu-se esta pesquisa com os objetivos de: (i) determinar os coeficientes de cultivo (K_c 's) do algodão herbáceo em monocultivo e consorciado com feijão-caupi, (ii) definir o ISNA para o algodão herbáceo e o feijão-caupi, em sistemas monocultivo e consorciado, sob condição de estresse hídrico no solo e (iii) avaliar o

desempenho produtivo e as medidas de eficiência técnica e econômica do algodão herbáceo, em sistema monocultivo e consorciado com o feijão-caupi, em resposta aos níveis de umidade no solo.

Este trabalho faz parte de um projeto em rede do Sistema Embrapa de Gestão – SEG, com vistas à obtenção de parâmetros básicos para subsidiar o zoneamento de riscos climáticos de culturas consorciadas. É constituído por uma introdução, revisão de literatura e três capítulos. No primeiro capítulo, foram determinados os coeficientes de cultivo do algodão herbáceo e feijão-caupi em cultivo solteiro e consorciado. No segundo capítulo, determinou-se o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) do consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi. No terceiro capítulo, avaliou-se a produtividade do algodão, monocultivo e consorciado com feijão-caupi, em resposta à disponibilidade hídrica no solo. Vale ressaltar, que a irrigação foi adotada no intuito de simular a chuva, bem como obter os níveis de disponibilidade de água no solo aplicados como tratamentos no momento adequado. Destaca-se que não se pretende com esta pesquisa recomendar a adoção de irrigação em culturas consorciadas, haja vista que se trata de um sistema de cultivo de sequeiro.

Os artigos científicos apresentados nos capítulos I, II e III estão formatados de acordo com as normas da Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, Revista Ciência Rural e Revista Ciência Agronômica, respectivamente, para submissão posterior.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A agricultura no Nordeste do Brasil é praticada, em sua maioria, sob regime de sequeiro e a consorciação de culturas é amplamente utilizada pelos agricultores a fim de obter rendimentos maiores e melhor aproveitamento da área, frente a recursos limitados.

O consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi apresenta-se como um sistema extremamente positivo. O algodão herbáceo proporciona ganhos econômicos e geração de renda ao agricultor; o feijão-caupi, além de constituir uma das principais fontes protéicas e amplamente utilizado na dieta alimentar, também apresenta contribuição semelhante ao algodão herbáceo, na medida em que seu excedente é comercializado.

No intuito de melhorar o desempenho das culturas no consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi no Nordeste brasileiro, diversos aspectos relacionados a esta associação já foram avaliados, tais como: viabilidade agronômica em sistema orgânico (BELTRÃO et al., 2003); efeito de população de plantas, eficiência agronômica e qualidade da fibra (AZEVEDO et al., 2000); arranjo populacional (NÓBREGA et al., 1983); avaliação de cultivares de algodão herbáceo e de arranjos espaciais (SERPA & BARRETO et al., 1983) e influência competitiva do feijão-caupi no consórcio com o algodoeiro herbáceo (BELTRÃO et al., 1983).

Nessa revisão de literatura, são feitas algumas considerações sobre o algodão herbáceo e feijão-caupi, em seguida, tem-se aspectos do consórcio destas culturas e nos demais itens são descritos aspectos hídricos do algodão herbáceo e feijão-caupi diante de diversas situações de disponibilidade hídrica.

2.1 Algodão herbáceo

O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.) é uma dicotiledônea de elevada importância econômica e social, cultivada em mais de 100 países do mundo e sua fibra, seu produto principal, veste quase metade da humanidade, sendo utilizada como matéria-prima para a fabricação de tecidos em mais de 150 países dos 205 que, atualmente, existem no mundo (BELTRÃO et al., 2006).

O produto principal, obtido com a colheita do algodoeiro, é o algodão em caroço (fibras + sementes). A fibra é utilizada em mais de quatrocentas aplicações industriais, desde a confecção de fios para tecelagem de tecidos até a obtenção de celulose (CORRÊA, 1989). De acordo com Beltrão et al. (2008), o algodoeiro é uma planta de grande complexidade morfológica, produtora de fibra média, possui particularidades importantes usadas, inclusive,

na identificação da espécie dentro do gênero *Gossypium* e da família Malvaceae, da qual ele faz parte.

Na Região Nordeste, na safra de 2007/2008, foram cultivados 373,6 mil ha, os quais atingiriam produção de 537,7 mil toneladas de algodão em pluma e 3.666kg/ha de algodão em caroço. No Piauí, na safra 2005/2006, foram plantados cerca de 13,8 mil ha de algodão, ocupando o terceiro lugar na região nordestina, para uma produção média de 14 mil toneladas de pluma, a maior produção da região, e 2.820kg/ha de algodão em caroço. Apesar da diminuição da área plantada, o Piauí subiu para a segunda posição na região, com 13,2 mil ha de área plantada, na safra 2006/2007, uma produção de 9 mil toneladas de algodão em pluma e 1.900kg/ha de algodão em caroço. Na safra 2007/2008, foram cultivados 14,6 mil ha de algodão, os quais atingiram produção de 17,8 mil toneladas de algodão em pluma e 3.396kg/ha de algodão em caroço (CONAB, 2007). As oscilações de produção do algodão herbáceo, no Estado, estão associadas, dentre outros fatores, às condições climáticas (aumento na frequência das estiagens) e à ausência de práticas de manejo, que permitam a convivência com o bicudo do algodoeiro.

No Nordeste, em especial no Rio Grande do Norte, na Paraíba, em Pernambuco, no Ceará, no Piauí e na Bahia, pode-se produzir um dos melhores algodões do mundo, bastando apenas que o produtor siga as recomendações técnicas para a condução da cultura, para obter tipos superiores de algodão.

Ao contrário das demais regiões produtoras do Brasil e do mundo, em cuja maioria predominam algodões dos tipos 5 e 6, na região pode-se obter facilmente produto dos tipos 3 e 4, de bom para cima, pois o clima seco, quente e a alta luminosidade favorecem a produção de tipos melhores, mais procurados no mercado global do algodão (SEBRAE, 1995; MATOS, 1996; FERREIRA, 1997; BELTRÃO et al., 2008).

De acordo com Rosolem (2007), o algodoeiro tem tolerância relativamente alta à seca quando comparado a outras culturas, como por exemplo, a soja, arroz, milho, girassol e trigo, dentre outras. Esta característica vem de seus ajustes fisiológicos, assim como de sua capacidade de crescimento e plasticidade radicular. Uma planta de algodão submetida à seca, desde que não haja impedimento físico ou químico no solo, aprofundará seu sistema radicular, explorando melhor as camadas mais profundas e as reservas de água do solo.

Embora o algodão seja considerado uma cultura tolerante à seca, a quantidade de fibra produzida é proporcional ao volume de água fornecido durante o seu cultivo (BUCKS, 1988; MENESES, 2007). Além disto, deficiência de água no período de alongamento da fibra

compromete o comprimento desta proporcionando sua redução e, dependendo do grau de estresse, ocasiona imaturidade da fibra e baixo micronaire (BELTRÃO et al., 2008).

Os três períodos chaves para o crescimento do algodão herbáceo, nos quais deve haver uma umidade suplementar, ocorre durante o estabelecimento da cultura, a pré-floração e logo depois da abertura dos primeiros capulhos. Umidade no solo satisfatória no semente estabelecerá um número de plantas saudáveis e uniformes; para o processo de polinização é necessário o fornecimento de água suficiente antes das primeiras florações. A água é requerida também entre a abertura inicial dos capulhos e a abertura de 50% destes para que as fibras possam adquirir resistência e comprimento (McWILLIAMS, 2002; MENESES, 2007).

A exigência de água para altas produtividades é baixa até o aparecimento dos primeiros botões florais, normalmente menos que 2,0mm por dia. A partir daí há um rápido aumento, chegando a mais de 8,0mm por dia na fase de pleno florescimento. Esta fase de alta exigência demora de 60 a 100 dias (ROSOLEM, 2007).

Em relação às condições edafoclimáticas, para produzir satisfatoriamente, o algodoeiro requer clima com período de 140 a 160 dias predominantemente ensolarados, com média de temperatura superior a 20°C e solos medianamente profundos e de média a alta fertilidade (BELTRÃO et al., 1993).

2.2 Feijão – caupi

O feijão-caupi, também denominado de feijão-de-corda ou feijão macassar, é uma dicotiledônea pertencente à ordem Fabales, família Fabace, subfamília Faboideae, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (ONOFRE, 2008).

É uma leguminosa de ampla distribuição mundial, estando presente principalmente nas regiões tropicais do globo, pois estas têm características edafoclimáticas semelhantes ao seu provável berço de origem, a África (MOUSINHO, 2005). Esta leguminosa alcança 95% a 100% do total das áreas plantadas com feijão nos estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte (SANTOS, 2000).

O grão do feijão-caupi apresenta teores de proteínas variando de 20% a 26%, apresentando importantes frações de lipídeos, açúcares, cálcio, ferro, potássio, fósforo e aminoácidos essenciais como isoleucina, leucina, fenilalanina, tirosina, metionina, dentre outros, com destaque para a última por estar presente em quantidades bem superiores ao feijão do gênero *Phaseolus* (SALES, 1988; MOUSINHO, 2005).

O consumo de água do feijão-caupi aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001), podendo variar de 300 a 450mm/ciclo bem distribuídos nos diferentes estádios de desenvolvimento e é dependente da cultivar, do solo e das condições climáticas locais (NASCIMENTO, 2009).

O consumo hídrico diário raramente excede 3,0mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento. Bezerra (2003) & Freire Filho (1988), afirmam que seu consumo hídrico pode se elevar para 5,0 a 5,5mm diários, durante o período compreendido entre o pleno crescimento, florescimento e enchimento de vagens. Bastos et al. (2008), nas condições edafoclimáticas do Vale do Gurugúia, PI, observaram consumo hídrico do feijão-caupi de 4mm.dia⁻¹, sendo o estágio reprodutivo (florescimento e enchimento dos grãos) de maior demanda hídrica (5,4mm.dia⁻¹).

O feijão-caupi é classificado como planta sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo (NASCIMENTO, 2009). Segundo Cardoso et al. (2000), as deficiências hídricas iniciais podem afetar sensivelmente o processo germinativo, comprometendo dessa forma o estabelecimento da cultura. Deficiências posteriores poderão paralisar o crescimento, bem como retardar o desenvolvimento reprodutivo das plantas.

Pesquisas têm mostrado que a ocorrência de déficit hídrico no feijão-caupi, principalmente nas fases de florescimento e enchimento de grãos, pode provocar severas reduções na produtividade de grãos (CORDEIRO et al., 1998).

A temperatura mais adequada para o desenvolvimento do feijão-caupi encontra-se na faixa de 20°C a 30°C. Altas temperaturas durante o florescimento podem ser prejudiciais à cultura, além de diminuir a nodulação nas raízes. Por outro lado, temperaturas abaixo de 20°C podem causar a paralisação do desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA & CARVALHO, 1988).

2.3 Consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi

Consórcio de culturas é o sistema de cultivo em que a semeadura de duas ou mais espécies é realizada em uma mesma área, de modo que uma das culturas se desenvolva com a outra, em todo ou em pelo menos parte do seu ciclo (PORTES & SILVA, 1996).

O sistema de plantio consorciado é preferido pelos pequenos e médios agricultores responsáveis por mais de 60% da produção de grãos no Nordeste semi-árido brasileiro. A

tecnologia agrícola empregada pelo público usuário do plantio em consórcio é baseada numa elevada densidade de mão-de-obra e pequena quantidade de insumos modernos (TÁVORA, 1988).

A agricultura tradicional, praticada no Nordeste do Brasil por pequenos e médios agricultores, tem no consórcio o seu mais importante sistema de cultivo. Esta forma de exploração garante uma maior estabilidade à produção, conseqüentemente reduzindo os riscos do rurícola e permite uma utilização mais eficiente da terra em decorrência da melhor utilização da energia solar, nutrientes, água e CO₂ (PINHO et al., 1983).

A prática de consórcios, em especial, de oleaginosas com culturas alimentares como cereais e leguminosas é utilizada pelo pequeno produtor como maneira de solucionar problemas relacionados às irregularidades climáticas no semi-árido (BELTRÃO et al., 1984).

Segundo Araújo et al. (2008), associações culturais que utilizam leguminosas são bastante recomendadas, pois, estas plantas estabelecem uma relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio no solo, beneficiando a planta consorte que pode até mesmo dispensar a adubação nitrogenada.

O uso dos consórcios envolvendo esses tipos de espécie com culturas leguminosas é uma boa estratégia para melhorar a eficiência na utilização dos recursos naturais. As culturas leguminosas se beneficiam das reservas da estação chuvosa, enquanto as espécies de ciclo longo exploram as reservas da estação pós-chuvas. Espécies leguminosas, como o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) apresentam metabolismo fotossintético C₃, são fixadoras de nitrogênio atmosférico e produzem proteína vegetal (TARIAH & WAHUA, 1985), podendo ultrapassar a função alimentícia enriquecendo a dieta do produtor e de sua família, enquanto as espécies de ciclo um pouco mais longo que o feijão-caupi, como o algodão herbáceo, podem ser cultivadas como cultura comercial.

De acordo com Cardoso et al. (2000), o feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil é cultivado, em grande parte, em associação com outras culturas. Essa prática possibilita a subsistência do produtor, a utilização permanente de mão-de-obra, a alimentação variada e o melhor controle da erosão do solo e do balanço energético do sistema. Apesar do baixo nível tecnológico empregado pela maioria dos produtores que utilizam o consórcio de culturas, essa prática é considerada uma opção para o aproveitamento extensivo da terra, além de proporcionar renda familiar relativamente estável ao longo dos anos.

No Nordeste brasileiro, o feijão-caupi é normalmente cultivado em associação com o milho e o algodão, contribuindo para a elevação da renda nesse tipo de exploração (MAFRA, 1978; MAFRA et al., 1979; MIRANDA et al., 1979; MIRANDA et al., 1992).

O mesmo ocorre no algodão herbáceo, onde as culturas mais usadas no consórcio são milho, feijão-comum e o feijão-caupi. O feijão-comum é mais comum no Agreste, enquanto o feijão-caupi, na zona de transição entre o Agreste e o Sertão (RAO & MORGADO, 1983).

O consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi foi motivo para diferentes pesquisas e vários temas deste sistema encontram-se bem definidos: viabilidade agrônômica em sistema orgânico (BELTRÃO et al., 2003); efeito de população de plantas, eficiência agrônômica e qualidade da fibra (AZEVEDO et al., 2000); arranjo populacional (NÓBREGA et al., 1983); avaliação de cultivares algodão herbáceo e de arranjos espaciais (SERPA & BARRETO et al., 1983) e influência competitiva do feijão-caupi no consórcio com o algodoeiro herbáceo (BELTRÃO et al., 1983).

As informações em relação aos aspectos hídricos do consórcio ainda são mínimas na literatura, especialmente, considerando-se que consórcios entre culturas alimentares e oleaginosas foram desenvolvidos por pequenos produtores em regiões semi-áridas, onde as culturas alimentares de ciclo curto aproveitam as reservas da estação chuvosa e as culturas de ciclo mais longo, mas de valor comercial, exploram as reservas da estação pós-chuva. Constata-se, também, a necessidade de mais pesquisas cujos objetivos sejam definir os parâmetros (Kc, ETr, ETm e ISNA) em sistemas agrícolas consorciados, fundamentais na aplicação de estimativa de risco climático. Além disto, a tecnificação adequada dos consórcios requer conhecimentos aprofundados dos aspectos hídricos do sistema consorciado.

Rao (1983), ao analisar vários trabalhos sobre consórcio, verificou que este não foi vantajoso em relação ao plantio isolado, principalmente em anos secos e, de um modo geral, em região de baixos índices pluviométricos, identificou a necessidade de pesquisas básicas com aplicação de água controlada, para identificar em que regiões o consórcio é vantajoso.

2.4 Balanço hídrico no solo

A água é fator determinante da produção agrícola e, no seu planejamento, o conhecimento sobre o conteúdo de água no solo nas diversas condições hídricas é importante para a tomada de decisões que viabilizarão o sucesso agrícola e o retorno econômico esperado.

Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos nas plantas podem ser influenciados, como o fechamento estomático, o declínio na taxa de

crescimento, o acúmulo de solutos e antioxidantes e a expressão de genes específicos de estresse (SINGH-SANGWAN et al., 1994; SILVA & CASALI, 2000; SILVA et al., 2002).

A previsão da umidade no solo associado às necessidades hídricas das culturas torna-se, portanto, fator básico num processo de decisão que envolva a escolha de culturas e áreas para explorar, além de fornecer subsídios valiosos para o manejo adequado de áreas cultivadas (CARVALHO et al., 1988; VALNIR JÚNIOR et al., 2001).

O balanço hídrico é a contabilidade de todas as adições e retiradas de água que realmente ocorrem em dada área utilizada na produção agrícola. Este tipo de balanço hídrico mostra a situação hídrica pela qual uma cultura realmente passa e fornece subsídios para definir quando e quanto irrigar (REICHARDT, 1990; ANDRADE JÚNIOR, 2000).

Segundo Andrade Júnior (2000), a metodologia de balanço hídrico tem sido aplicada com intuito de quantificar as deficiências hídricas e as necessidades de irrigação total e suplementar, informações estas fundamentais para o planejamento da irrigação a nível de propriedades ou em escala regional.

O balanço hídrico contabiliza a precipitação em relação à evapotranspiração de referência, levando em consideração a capacidade de armazenamento de água no solo. Esta é a máxima quantidade de água, utilizável pelas plantas, que pode ser armazenada na zona radicular das mesmas. Os valores positivos de balanço hídrico indicam excedentes hídricos e os negativos, deficiência hídrica ou falta de água. Ocorre excedente de água sempre que a precipitação for superior à quantidade necessária para atender a evapotranspiração potencial, e completar o armazenamento de água no volume de solo delimitado pela profundidade efetiva das raízes da cultura em questão. A deficiência aparece sempre que o solo não conseguir suplementar a demanda atmosférica (TUBELIS & NASCIMENTO, 1992; CARVALHO, 2008).

No solo, o balanço hídrico, além de ser importante para o planejamento agrícola constitui-se como ferramenta de economia de água no manejo de irrigação. Andrade et al. (2007) ao realizar estudo comparativo entre o manejo de irrigação por reposição da evapotranspiração e por balanço hídrico no solo, por meio da análise estatística das lâminas de irrigação aplicadas em uma cultura do feijão-caupi, concluíram que o método de manejo da irrigação por meio do balanço hídrico é mais econômico em termos de aplicação de água de que o manejo por reposição da evapotranspiração.

Constitui-se uma ferramenta importante que pode ser aplicada na comparação do clima de diferentes localidades e caracterização dos períodos secos e úmidos. Essas informações são de grande importância para a tomada de decisões e nos permitem saber o que

ocorreu em termos de disponibilidade hídrica no solo, deficiência e excedentes hídricos em períodos específicos e, com isso, identificar a variabilidade dessas variáveis (GOUVÊA, 2008).

Lima et al. (2006), ao estimar a evapotranspiração e os demais componentes (drenagem profunda, ascensão capilar, variação do armazenamento de água, precipitação pluvial) do balanço hídrico, em solo cultivado com feijão-caupi na microrregião do Brejo Paraibano, encontraram valores de evapotranspiração total e média do feijão-caupi (383,02mm e 4,12mm.dia⁻¹), respectivamente, além do maior consumo hídrico pelo feijão-caupi (3,65mm.dia⁻¹) na fase reprodutiva. Quanto aos outros componentes do balanço hídrico, verificaram a ocorrência de uma subestimativa da drenagem profunda e que as variações do armazenamento de água no perfil de solo seguiram as variações da precipitação pluvial.

Nas condições edafoclimáticas de Parnaíba, PI, e utilizando o método do balanço hídrico, Andrade et al. (1993) obtiveram para a cultura do feijão-caupi uma evapotranspiração de 5mm.dia⁻¹, no início do ciclo, até atingir um pico de 9mm.dia⁻¹, aos 32 dias após o plantio (DAP), quando a cultura alcançou pleno desenvolvimento vegetativo. O consumo de água em todo o ciclo foi de 380 mm, correspondendo a um consumo médio de 6,3mm.dia⁻¹.

Musande et al. (1981) apud Ferreira (2007), utilizando balanço hídrico no solo, avaliaram a demanda hídrica, a eficiência e o padrão de extração de água no consórcio algodão herbáceo com legumes locais submetidos a diferentes densidades de plantio (0,6m x 0,3m; 0,75m x 0,24m e 0,9m x 0,2m) e níveis de adubação. Concluíram que a demanda hídrica foi influenciada pelas densidades populacionais, sendo maior nas maiores densidades de plantio.

Estudos visando garantir a sustentabilidade econômica da atividade agrícola, também podem ser realizados utilizando o balanço hídrico, a exemplo da avaliação da viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi, no estado do Piauí, realizada por Mousinho et al. (2008). Nele, os balanços hídricos de cultivo em escala diária foram realizados durante o ciclo do feijão-caupi em cada local e forneceram os valores diários de evapotranspiração real (ETr) e evapotranspiração máxima da cultura (ETm), para as diversas combinações de data de semeadura e capacidade de água disponível no solo (CAD), além dos valores de lâmina bruta de irrigação necessária.

Estes dados foram essenciais para os cálculos de produtividade real e custo da água, o que permitiram auferir as receitas líquidas em função da época de semeadura e da capacidade de água disponível no solo, assim como definir a data de semeadura mais favorável.

2.5 Variabilidade climática, produção agrícola e o zoneamento de risco climático

A variabilidade climática é uma característica intrínseca do Brasil que distingue as regiões que o constituem, influencia diretamente a disponibilidade hídrica no solo e é um dos fatores responsáveis pelo desempenho produtivo das culturas.

Segundo Gopfert et al. (1993), a redução da produção agrícola está relacionada à disponibilidade hídrica e ao clima, sendo que, dentre os principais eventos relacionados (safra de verão e inverno) destacam-se a seca (12,02% e 10,32%), a chuva excessiva (3,18% e 5,48%) e a geada (0,22% e 2,27%).

A produção agrícola da região Nordeste do Brasil tem sido fortemente afetada pelos efeitos das frequentes e longas estiagens ocorridas, principalmente no chamado “Polígono das Secas”, tornando a atividade agrícola nessa região primordialmente de subsistência (AZEVEDO et al., 2007).

Segundo levantamento mais recente efetuado por Biudes (2005), e cujos dados motivaram a realização do zoneamento agrícola, a região Nordeste é a de maior incidência de sinistros. Na safra 1991/92, 87% de suas lavouras tiveram taxas de risco entre 30,19% e 68,85%. Na safra de verão 1992/93, 77% de duas lavouras tiveram os índices entre 31,98% e 86,79%. Até mesmo lavouras consorciadas apresentaram sinistros elevados.

Culturas como feijão-caupi são de elevado padrão de risco, devido à grande sensibilidade tanto ao déficit hídrico quanto ao excesso de água. Em relação ao algodoeiro herbáceo, Beltrão et al. (2007) afirmam que no sucesso de sua exploração devem prevalecer as condições climáticas que permitam à planta, em seus diferentes estádios fenológicos, crescer e se desenvolver, principalmente com relação às condições térmicas e hídricas.

No estado do Piauí, o algodão herbáceo ainda é cultivado, em sua maioria, sob regime de sequeiro e um dos principais entraves ao desenvolvimento da agricultura sob esse regime está relacionado ao clima. Dentre os elementos climáticos, a chuva é o de maior importância, provoca maiores prejuízos, não só pela quantidade insuficiente, mas principalmente pela sua má distribuição espacial e temporal. Fato que torna a atividade de altíssimo risco (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006).

Para a redução dos efeitos adversos proporcionados pelas instabilidades climáticas característicos da região Nordeste, deve-se ajustar a época de semeadura dentro da estação chuvosa, de tal forma que haja umidade no solo suficiente para a germinação, evitando-se excesso de umidade nos sub-períodos de abertura dos capulhos e da colheita do algodão em caroço, o que poderá aumentar substancialmente a produtividade do algodoeiro (FALLIERI & SILVA, 1968; LACA-BUENDIA et al., 1997; AZEVEDO et al., 2007).

Neste contexto, o zoneamento agrícola de riscos climáticos assume importância por identificar áreas com condições edafoclimáticas que permitem às culturas melhor aproveitamento das suas potencialidades genéticas, apresentando ganhos de produtividade aliado à reduções de perdas. As técnicas do zoneamento de riscos climáticos, com base em informações do solo, da planta e do clima, possibilitam a definição dos ambientes mais favoráveis para que as culturas/cultivares potencializem suas características agrônômicas. O zoneamento agrícola atual foi reformulado a partir dos riscos climáticos que foram levantados em um estudo do IPEA (Instituto de Pesquisas Econômicas Agrícolas), de 1993, onde foi constatado que os principais eventos que causam perdas agrícolas estavam ligados à seca e à chuva excessiva (BIUDES, 2005). Além disso, a semeadura nos períodos em que as condições climáticas são adequadas às necessidades da cultura reduz os riscos de perdas por excesso ou déficit de chuvas nos estádios críticos e contribui para otimizar o controle das infestações de pragas e doenças (AMORIM NETO et al., 2001).

O zoneamento agrícola de riscos climáticos é atualmente um dos mais importantes instrumentos de política agrícola do país. Estudos de zoneamento de aptidão climática e de risco climático possibilitam uma redução sensível dos riscos da atividade agrícola, permitindo o adequado ordenamento territorial, planejamento e execução de políticas públicas e de seguridade agrícola, possibilitando um desenvolvimento sustentável regional (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006).

Apesar de na literatura existirem estudos de zoneamento de risco climático no estado do Piauí para o algodoeiro herbáceo e feijão-caupi, conduzidos por Andrade Júnior et al. (2006; 2001a), cultivados em regime de monocultivo, ainda são mínimas as pesquisas do gênero considerando o consórcio destas culturas. Por isso, esse trabalho assume importância por definir os parâmetros básicos necessários à execução do zoneamento de risco climático do consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi.

2.6 Efeitos do estresse hídrico no algodão herbáceo

Estresse é um conjunto de reações de um organismo e agressões de ordem física, fisiológica, ou de outra natureza, capaz de interferir em seu estado normal de equilíbrio, ou seja, na sua homeostase. Em função da natureza do agente estressante pode-se qualificar o tipo de estresse como biótico (patógenos, insetos-praga, homem, além de outros) e abiótico (água, luz, temperatura, nutrientes, além de outros) (LARCHER, 2000; FANCELLI, 2003; BALDO, 2007).

O estresse determina um desvio significativo das condições ótimas para a vida, induzindo às mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais podem ser reversíveis, em princípio, mas podem se tornar permanentes em situações drásticas. (LARCHER, 2000; TAIZ & ZEIGER, 2004; BALDO, 2007).

Os efeitos de déficits hídricos nas plantas são de interesse considerável devido sua ocorrência ocasionar efeitos dramáticos sobre a germinação de sementes, o desenvolvimento de plântulas, a sobrevivência das plantas, o vigor, a habilidade competitiva, a reprodução e, principalmente, a produtividade (BROWN, 1995; ARAÚJO, 2006). Na maioria das culturas, seus efeitos variam de acordo com sua duração, intensidade e período de ocorrência no ciclo da cultura. O déficit hídrico ocorre quando a quantidade de água absorvida pela planta for menor que a quantidade de água transpirada, de forma que os tecidos da planta não fiquem totalmente túrgidos (KRAMER, 1995; PEREIRA et al., 2008).

As plantas estão sujeitas a uma grande variedade de estresses ambientais, incluindo temperaturas anormais, condições químicas e físicas do solo desfavoráveis e a várias doenças e pragas, contudo, pode-se dizer que o déficit hídrico reduz o crescimento e a produtividade vegetal mais que todos os outros estresses combinados, pois ocorre em qualquer local, mesmo nas regiões consideradas úmidas (WANG et al., 2003; CUSHMAN & BOHNERT, 2000; MENESES, 2006).

No algodão herbáceo, quando ocorre um estresse, a primeira reação da planta do algodão é paralisar o crescimento, ou reduzir a sua taxa. Já o desenvolvimento é qualitativo, representando as mudanças de fases (estádios) da planta na sua fenologia e uma fase somente se inicia, quando a anterior termina. Como a planta do algodoeiro tem crescimento do tipo indeterminado, pode ocorrer uma relação negativa entre o crescimento e o desenvolvimento, porém, para produzir bem, necessita-se que ocorram os dois processos em equilíbrio (BELTRÃO et al., 2007).

Rosolem (2007) afirma que a exigência de água para altas produtividades é baixa até o aparecimento dos primeiros botões florais. A partir daí há um rápido aumento, na fase de pleno florescimento. Porém, alguns registros na literatura dão a impressão que a frutificação em algodão pode ser estimulada por um déficit hídrico (GUINN & MAUNEY, 1984; ARAÚJO, 2006).

De fato, Beltrão & Souza (2001) confirmam estes registros na literatura ao afirmarem que estresse hídrico é desejado no período de maturação dos frutos e que caso ocorram precipitações pluviais frequentes no período de maturação dos frutos, com muita nebulosidade e queda da temperatura ambiente, os frutos demorar-se-ão a abrir ou, mesmo, não se abrirão, apodrecendo na planta ou, em caso de abertos, as sementes podem germinar, prejudicando enormemente a qualidade, e até comprometer, parcial ou totalmente, a produção.

Bezerra et al. (2002), avaliando o desempenho da cultivar BRS 201, submetida à déficit hídrico, observaram que o déficit hídrico em fases distintas de desenvolvimento da cultura afetou a maioria das características tecnológicas e agrônômicas da fibra da cultivar, com exceção da finura, sendo que a variação ocorreu dentro do padrão exigido pela indústria têxtil para cultivares de fibra média e que a irrigação, independentemente dos tratamentos, favoreceu a maioria das características tecnológicas da fibra da cultivar BRS 201.

Pereira et al. (1988) constataram maior sensibilidade ao estresse hídrico na fase de frutificação, observando uma redução na produtividade em torno de 44% ao estudar o comportamento de uma cultivar de algodão herbáceo submetido ao estresse hídrico inicial (ARAÚJO, 2006).

Ao avaliar algumas características fisiológicas em três cultivares de algodoeiro (CNPA 7MH, BRS CEDRO e CNPA 7H) quando submetidas a tratamentos com déficit hídrico em casa de vegetação, com possível seleção de cultivares tolerantes à seca, Sousa (2008) observou que o estresse hídrico aplicado às plantas de algodoeiro provocou reduções significativas na altura da planta, no número de folhas, no diâmetro do caule e na área foliar e ainda o déficit hídrico no solo provocou reduções significativas na produção de matéria seca para os diversos órgãos da planta nas três cultivares estudadas.

O efeito do estresse hídrico em duas cultivares do algodoeiro também foi objeto de estudo de Marur (1991). O autor observou que o estresse não afetou significativamente o comprimento da fibra das cultivares, entretanto elas apresentaram diferenças significativas em relação a resistência da mesma. No tocante ao número de capulhos por metro quadrado e à produtividade, estas foram afetadas de maneira significativa pelo estresse hídrico.

Araújo (2006), ao avaliar o efeito do regime hídrico (com e sem estresse) e de doses de nitrogênio no crescimento, na produção e nas características intrínsecas da fibra do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), da cultivar BRS Rubi, observou que houve um aumento linear com as doses de nitrogênio para as plantas que receberam adubo químico, tanto na presença como na ausência do estresse hídrico. Em relação ao número de capulhos por planta, verificou-se que as plantas submetidas ao estresse hídrico obtiveram maior número de capulhos com o adubo químico na dose máxima de nitrogênio. Concluindo que o estresse, dependendo de sua magnitude pode promover uma melhor diferenciação celular e assim maior desenvolvimento e reflexo na produção.

Avaliando o efeito de diferentes níveis de água disponível no solo – AD (75, 50 e 25% da AD) e de adubação nitrogenada sobre alguns componentes de crescimento e desenvolvimento do algodão herbáceo em um galpão coberto com telha de fibra de vidro transparente, Souza et al., (1999) verificaram que o nível de 25% de água disponível no solo, de maior déficit hídrico, causou efeito depressivo sobre o diâmetro caulinar, altura de plantas, área foliar, evapotranspiração e produção de matéria seca.

Situação semelhante também foi observada por Arruda (1999), estudando o efeito do estresse hídrico provocado a partir da irrigação com quatro níveis de água disponível no solo (20, 40, 60 e 80%), em casa de vegetação. A autora constatou haver uma relação direta e positiva entre a evapotranspiração acumulada (ETc) e as variáveis altura de plantas, área foliar, biomassa da parte aérea e rendimento do algodoeiro, em função dos níveis de água disponíveis no solo. Verificou ainda que a ETc aumentou com o nível de água disponível e que o tratamento com 60% superou os demais em todas as variáveis estudadas (ARAÚJO, 2006).

Os efeitos do estresse hídrico sobre a fenologia e algumas características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo, também foram objetos de estudos em condições de clima semi-árido no Vale do Açu, RN. Silva et al. (1998) submetendo a cultivar CNPA 6H ao estresse, ou seja, à supressão de água a partir dos 48 dias após a semeadura e ao não estresse, onde a cultivar foi mantida em boas condições de suprimento de água, recebendo duas irrigações semanais com lâmina calculada segundo a evapotranspiração estimada pelo método do Tanque Classe A, observaram que o algodão herbáceo, cultivado no tratamento não estressado, apresentou superioridade em altura de planta, área foliar, fitomassa e rendimento, em relação aos valores obtidos no tratamento estressado. Porém, os déficits de água ocorridos não alteraram a maturidade, comprimento, finura nem resistência das fibras.

2.7 Efeitos do estresse hídrico no feijão-caupi

O feijão-caupi é considerado uma espécie altamente resistente à seca, principalmente as cultivares enramadoras, embora varie, de cultivar para cultivar, o número de dias que a planta tolera um estresse de água (SUMMERFIELD et al., 1985; OLIVEIRA et al., 1988).

O feijão-caupi apresenta tolerância excelente para as condições de baixa disponibilidade de água nos solos e altas temperaturas, características da região Semi-Árida. Porém, não se pode deixar faltar água para o feijão-caupi em dois períodos críticos: o período que antecede a floração e o período de enchimento dos grãos (ARAÚJO & WATT, 1988; FERREIRA, 2007).

Razoavelmente tolerante à umidade excessiva no solo, contudo, é muito importante certo grau da umidade na época da floração e frutificação. A qualidade dos grãos é bastante melhorada quando a colheita é realizada em dias secos e sem excessos de umidade no solo (OLIVEIRA et al., 1988).

Cordeiro et al. (1998) comprovam estes fatos em estudos sobre o fator de rendimento do feijão-caupi, cultivar Epace 11, quando submetida ao regime de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos. Os autores observaram que a sensibilidade do feijão-caupi ao déficit hídrico em cada estágio variou na seguinte ordem decrescente: enchimento de grãos, vegetativo e floração, para déficit aplicado em apenas um estágio fenológico. A redução relativa do rendimento do feijão-caupi foi mais acentuada no estágio de enchimento de grãos. O déficit hídrico nos estádios de floração e vegetativo teve pouco efeito sobre o rendimento da cultura.

Ao verificar o efeito do estresse hídrico em duas cultivares contrastantes de feijão-caupi, sob condições de campo, a fim de identificar e selecionar cultivares com melhor nível de adaptação às condições desfavoráveis típicas das regiões semi-áridas, Gomes Filho (2002) observou que o fechamento dos estômatos e uma diminuição na atividade fotossintética, durante a acentuada deficiência de água no solo, proporcionou a manutenção de valores de potencial hídrico relativamente altos. Os resultados indicaram que uma acentuada deficiência hídrica no solo afetou o sistema assimilador e translocador de fotoassimilados das cultivares de feijão-caupi.

Nascimento (2009), ao analisar o efeito do déficit hídrico aplicado no estágio reprodutivo sobre as características fisiológicas e produtivas do feijão-caupi, nas condições de solo e clima de Teresina, PI, com vistas a selecionar genótipos com características de

tolerância à seca, observou que o rendimento médio de grãos sofreu forte influência da supressão hídrica em todos os genótipos estudados. A produtividade de grãos média dos genótipos sob irrigação plena alcançou $1.167\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, enquanto no experimento sob deficiência hídrica a produtividade de grãos foi de $466\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, resultando em uma redução de 60%, quando se compara as duas condições. Para o regime de irrigação plena, os genótipos apresentaram uma variação de 150% entre a menor e a maior produtividade, revelando que o mesmo sob condições de suprimento adequado de água durante todo o ciclo da cultura, é possível selecionar genótipos mais produtivos.

O mesmo ao avaliar o efeito do déficit hídrico em 20 genótipos de feijão-caupi durante a fase reprodutiva baseado em determinações do índice de área foliar, teor de clorofila, componentes de produção e rendimento de grãos, nas mesmas condições edafoclimáticas, constatou que o déficit hídrico reduziu o índice de área foliar, o teor de clorofila, o número de vagens por planta e a produção de grãos. Identificou três genótipos (BRS-Paraguaçu, Pingo-de-ouro-1-2 e Pingo-de-ouro-1) com comportamento para tolerância à seca e dois genótipos (Santo Inácio e Tracuateua-192) com alta sensibilidade ao déficit de água no solo, marcante redução na área foliar, teor de clorofila e rendimento de grãos.

Carvalho et al. (2000), ao determinar os efeitos de diferentes níveis de déficits hídricos (reposição de 100, 80, 60, 40 e 20% da água consumida diariamente) na cultura do feijão-caupi nas etapas fenológicas de crescimento, floração e frutificação, obtiveram reduções nos rendimentos de grãos e de vagens por planta com o aumento do déficit hídrico independentemente da fase fenológica. As reduções de rendimentos variaram de acordo com a intensidade do déficit hídrico e com a etapa fenológica, sendo a etapa de crescimento mais sensível ao déficit hídrico, seguida das etapas de floração e frutificação.

A fixação simbiótica do feijão-caupi também é afetada pelo estresse hídrico. Ferreira et al. (1994), ao determinarem a influência do estresse hídrico e elevadas temperaturas do solo no desenvolvimento das plantas, na capacidade de nodulação e fixação do N atmosférico, constataram que o estresse hídrico induziu reduções progressivas no número de nódulos, mas só houve aumento na percentagem dos nódulos ineficientes quando o estresse foi muito severo.

2.8 Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e feijão-caupi em cultivos solteiro e consorciado

A água é importante para a vida das plantas porque se constitui na matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida. A estrutura e as propriedades da água influenciam profundamente a estrutura e as propriedades das proteínas, das membranas, dos ácidos nucléicos e de outros constituintes celulares (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Araújo (2006) afirma que, como planta originária de regiões semi-áridas, o algodoeiro suporta bem períodos secos de várias semanas em determinadas fases de seu ciclo, mas há fases em que a necessidade de água é elevada. As fases de maior consumo de água são o primeiro mês de desenvolvimento e de florescimento. Nessas épocas a falta de água reflete-se diretamente no desenvolvimento e na produção.

No período de maturação dos frutos é desejável um período sem precipitações. Caso ocorram precipitações frequentes, com muita nebulosidade e queda da temperatura ambiente, os frutos demorar-se-ão a abrir ou, mesmo, não se abrirão apodrecendo na planta ou, em caso de abertos, as sementes podem germinar, prejudicando enormemente a qualidade, e até comprometer, parcial ou totalmente, a produção (BELTRÃO & SOUZA, 2001).

Segundo Barreto et al. (2003), nas regiões produtoras de algodão no Brasil, normalmente não se encontram condições naturais de precipitação pluviométrica com frequência e distribuição suficientes para atender plenamente às suas necessidades hídricas. Nesse caso, a irrigação como prática agrícola possibilita melhores rendimentos da cultura.

No manejo da irrigação, a evapotranspiração da cultura e os coeficientes de cultivo, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, são de fundamental importância para um planejamento racional da irrigação, a fim de alcançar um alto controle de água e de utilização dos insumos, tão necessários no mercado globalizado (FREITAS & BEZERRA, 2004). A quantificação da água de irrigação diferenciada por fase fenológica do algodoeiro possibilita a economia de água, energia elétrica e mão-de-obra em cada estação de cultivo do algodoeiro irrigado, reduzindo os custos de produção e contribuindo com a sustentabilidade hidroambiental (BARRETO et al., 2003).

De acordo com Andrade Júnior et al. (2002), a demanda hídrica das culturas pode ser estimada pelas alterações no conteúdo de água no solo usando-se instrumentos tais como: tensiômetros, sonda de neutrons e TDR's ou por gravimetria. Desde que, em condições de cultivo comercial, esses métodos tornam-se difíceis e onerosos para o produtor, o

consumo de água pode ser estimado pela utilização do coeficiente de cultura (K_c), o qual determina o quanto da E_{To} a cultura utiliza em seu processo evapotranspirativo (E_{Tc}). Os valores de K_c para uma cultura particular variam com o tempo e constituem uma curva denominada “curva de K_c ”.

Barreto et al. (2005) afirmam que valores de K_c , em conjunto com a E_{To} , são alternativas para economizar água no cultivo do algodoeiro, pois são bastantes úteis para o manejo e a programação de irrigação. Os autores, ao aplicarem a metodologia com base na evapotranspiração de referência (E_{To}) e no coeficiente da cultura (K_c) diferenciado para quatro fases de desenvolvimento do algodão herbáceo como parâmetros de cálculo da sua necessidade hídrica, observaram que os resultados quantificaram, também, as oscilações na demanda temporal e por fase de desenvolvimento da cultura, uma vez que no ambiente atmosférico a dinâmica de fluxo de água é função conjunta dos fatores atmosféricos da região. Com base na demanda climática e no ciclo de 100 dias de irrigação, o período de julho a outubro pode ser considerado como época propícia para a irrigação do algodoeiro, na Região Meio-Norte do Brasil, iniciando no primeiro dia de julho.

As recomendações de K_c para as culturas do algodão herbáceo e feijão-caupi são várias e em diferentes regiões do Brasil. Barreto et al. (2003a), ao estabelecerem a curva de K_c para as fases fenológicas do algodoeiro herbáceo, considerando um período da estação de 100 dias de irrigação, encontraram um intervalo de 0,53 a 0,93. Doorenbos e Kassam (1994) apud Barreto et al. (2003b), utilizando a metodologia sugerida pela FAO e considerando um período de cultivo de 100 dias sob irrigação, segmentaram o K_c para as fases fenológicas do algodoeiro herbáceo irrigado, dentro de um intervalo de 0,45 a 1,15. Doorenbos et al. (1979) estabeleceram coeficientes de cultivo para cada fase de desenvolvimento do algodoeiro sendo: 0,4 no período inicial (15 a 25 dias), 0,7 durante o desenvolvimento vegetativo, 1,05 na fase formação das gemas e floração, 0,8 na maturação de frutos e 0,5 no final de ciclo e colheita.

Em relação ao feijão-caupi, Bastos et al. (2008), trabalhando com a cultivar BR-17 Gurguéia e utilizando lisímetros de pesagem, encontraram um intervalo de 0,8 a 1,4 para o K_c , nos quatro estádios fenológicos do feijão-caupi, nas condições edafoclimáticas do Vale do Gurguéia, PI. Na mesma região, em estudos para determinação de K_c do feijão-caupi em seus estádios de desenvolvimento, em sistema de cultivo solteiro e consorciado com a cultura da mamona, Andrade Júnior et al. (2001) obtiveram para o feijão-caupi, em cultivo solteiro, valores de K_c de 0,50 a 1,10. Nas condições edafoclimáticas de Teresina, Andrade et al. (1993) encontraram valores de K_c entre 0,5 e 1,05.

Souza e Borges (1986), utilizando o feijão-de-corda variedade Pitiúba, realizaram estudo com o objetivo de obter informações sobre as necessidades de água nas diferentes fases de ciclo vegetativo da cultura de feijão-Vigna. A estimativa da evapotranspiração foi obtida pelos métodos de Penman, Hargreaves, tanque “Classe A” e radiação. A partir destes métodos, os autores mediram e compararam os coeficientes de cultivo (K_c) para as diferentes fases do ciclo vegetativo. Os resultados demonstraram valores decendiais de K_c que oscilaram entre 0,98 e 1,31 (método Hargreaves), 0,86 e 1,13 (método do Tanque Classe A), 1,26 e 1,66 (método Penman) e 1,02 e 1,29 (método da Radiação) superiores aos sugeridos por Doorenbos e Kassam (1979) (0,62 a 1,02).

Duarte et al. (2009) em estudo para determinar o K_c do feijão-caupi, cv BRS-Guariba, em seus diversos estádios de desenvolvimento nas condições edafoclimáticas de Teresina-PI encontraram valores entre 0,50 (após a germinação) a 1,30 (aos 45 dias após o plantio). Ferreira et al. (2008), trabalhando com a cultivar BR– 17 Gurguéia, em Teresina, PI observaram valores entre 0,66 a 1,06.

Em sistema de cultivo consorciado, no município de Alvorada do Gurguéia, PI, Andrade Júnior et al. (2001), em estudos para determinação de K_c do feijão-caupi em seus estádios de desenvolvimento, em sistema de cultivo consorciado com a cultura da mamona, determinaram os valores de K_c do feijão-caupi, encontrando um intervalo de 0,40 a 1,35.

Nas condições edafoclimáticas de Fortaleza, CE, e utilizando o método do balanço hídrico em lisímetro de drenagem, Souza et al. (2005) determinaram os coeficientes de cultura do feijão-caupi em função da sua evapotranspiração. Observaram valores de K_c para a E_{To} de Penman-Monteith de 0,78, no estádio vegetativo, 1,27 para o estádio da floração, 1,02, para o estádio de enchimento de vagem e 0,69, para o estádio de maturação. Os valores de K_c para a E_{To} do tanque de Classe A foram de 0,81, para o estádio vegetativo, 1,36, para o estádio de floração, 1,19, para o estádio de enchimento das vagens e 0,77, para o estádio de maturação. Concluíram que o pico de consumo de água para o feijão-caupi ocorreu no estádio de floração.

Com a finalidade de determinar o consumo hídrico do caupi, em regime de irrigação, para todo o ciclo da cultura no estado do Pará, Aguiar et al. (1992) obtiveram valores de K_c para a profundidade de 0 a 20cm e de 0 a 40cm, sendo que os valores de K_c variaram de 0,35 a 0,79 e de 0,50 a 1,10, respectivamente. Os autores concluíram que os períodos de maior demanda hídrica ocorreram entre o 47° e 53° dia e 53° e 59° dia após a semeadura, época da floração e da frutificação, alcançando valores de E_{Tc} de 6,6 e 6,2 mm, respectivamente. O

coeficiente de cultura (K_c) médio para todo o ciclo foi de 0,84, sendo que, nos períodos de floração e frutificação, o K_c alcançou 1,10 e 1,04, respectivamente.

2.9 Índice de satisfação das necessidades de água em culturas solteiras e consorciadas

As altas taxas de sinistralidade dos principais produtos agrícolas do Nordeste brasileiro estão principalmente relacionadas à escassez de chuvas que ocorrem durante longos períodos do ano. Este cenário climático da região dificulta o plantio em quaisquer épocas acarretando em perdas agrícolas e econômicas.

Dentro deste contexto, surgiu o zoneamento agrícola de riscos climáticos que, segundo Rosseti (2001), tinha como objetivo inicial o desenvolvimento de estudos de regionalização dos sinistros climáticos no Brasil, visando minimizar as perdas na produção agrícola, disponibilizando ao produtor rural técnicas que permitiriam fugir de riscos climáticos oriundos do regime de chuva.

O zoneamento de riscos climáticos, com a indicação das épocas de semeadura com menores riscos climáticos à cultura, é efetuado no sentido de estabelecer as áreas e períodos mais convenientes à utilização econômica dessa cultura, visando propiciar condições ambientais favoráveis às cultivares em uso. Além disso, a semeadura nos períodos em que as condições climáticas são adequadas às necessidades da cultura reduz os riscos de perda por excesso ou déficit de chuvas nos estádios críticos e contribui para aperfeiçoar o controle das infestações de pragas e doenças (AMORIM NETO et al., 2001; BELONHEZI et al., 1997; ANDRADE JÚNIOR et al., 2006).

Para o zoneamento de riscos climáticos, não importa apenas a época nas quais as condições ambientais são mais favoráveis ao desenvolvimento dos cultivos ou as tradições de cada local, mas sim as épocas de semeaduras que apresentam os menores riscos de perdas de produtividade, por causa de fenômenos climáticos adversos, como secas, geadas e chuvas na colheita (BELTRÃO et al., 2007).

O aperfeiçoamento de estudos agroclimáticos visando a diminuição de riscos para produção de grãos e de outros produtos agrícolas estão ocorrendo em várias regiões do Brasil por meio de pesquisas para definição de índices agrometeorológicos, objetivando minimizar os efeitos dos principais eventos sinistros sobre as culturas.

Um dos índices agrometeorológicos utilizados no zoneamento de riscos climáticos é o ISNA que relaciona a quantidade de água consumida pela planta, em condições naturais de disponibilidade hídrica (evapotranspiração real - E_{Tr}), com o consumo de água sem restrição

hídrica no solo (evapotranspiração máxima da cultura – ET_m), fornecendo o consumo relativo de água e indicando a quantidade de água que a planta consome, em relação à quantidade máxima de água que ela consumiria, na ausência de restrição hídrica.

Andrade Júnior et al. (2006), utilizando um modelo de balanço hídrico diário para estimar os riscos climáticos por deficiência hídrica na cultura do algodão herbáceo, em cultivo solteiro, estabeleceram três classes de ISNA: i) $ISNA \geq 0,55$ – baixo risco climático (período favorável para semeadura); ii) $0,35 < ISNA < 0,55$ – médio risco climático (período intermediário para semeadura) e iii) $ISNA < 0,50$ – alto risco climático (período desfavorável para plantio).

Para a cultura do feijão-caupi em cultivo solteiro, Andrade Júnior et al. (2001a) estabeleceram três classes de ISNA: i) $ISNA \geq 0,60$ – baixo risco climático (período favorável para plantio); ii) $0,60 > ISNA \geq 0,50$ – médio risco climático (período intermediário para plantio) e iii) $ISNA < 0,50$ – alto risco climático (período desfavorável para plantio).

Ferreira & Andrade Júnior (2008) determinaram o consumo relativo de água pelo milho e feijão-caupi, em sistemas de cultivo solteiro e consorciado para Teresina, PI, por meio da aplicação de quatro lâminas de irrigação. Os resultados demonstraram que houve redução dos valores de ISNA e de rendimentos de grãos de milho e feijão-caupi, nos cultivos solteiro e consorciado, à medida que as lâminas de irrigação aplicadas decresceram. O resultado refletiu o balanço hídrico no solo, resultante da utilização de diferentes níveis de estresse hídrico às culturas. Em cultivo solteiro, o feijão-caupi apresentou $0,252 \leq ISNA \leq 0,614$ e o milho $0,237 \leq ISNA \leq 0,638$. Em cultivo consorciado, a variabilidade dos valores de ISNA ($0,330 \leq ISNA \leq 0,773$) em função das lâminas de irrigação aplicadas foi semelhante à observada para as mesmas culturas em cultivo solteiro.

Andrade Júnior et al. (2002), visando subsidiar modelos de estimativa de riscos climáticos, determinaram o ISNA para o consórcio mamona x feijão-caupi, sob condição de estresse hídrico. Em cultivo solteiro, o feijão-caupi apresentou $0,156 \leq ISNA \leq 0,660$. Em cultivo consorciado, os valores de ISNA's foram superiores aos obtidos para os cultivos solteiros ($0,437 \leq ISNA \leq 0,728$) para todas as lâminas de irrigação. Os autores concluíram que houve tendência de redução dos valores de ISNA's e de rendimentos de grãos de feijão-caupi e de bagas de mamona, em cultivo solteiro e consorciado, à medida que aumentou os níveis de deficiência hídrica no solo. No consórcio houve maior demanda evapotranspirativa em relação ao cultivo solteiro.

2.10 Produtividade do algodão em monocultivo e consorciado com feijão-caupi, em resposta à disponibilidade hídrica no solo.

A disponibilidade de água é um fator de relevância no que concerne à maximização dos ganhos de produtividade agrícola. O controle da umidade do solo durante todo o ciclo da cultura é crítico para o sucesso da agricultura.

Em situações de excesso de umidade no solo em que se constata a ocorrência de estresse anoxítico, o algodão herbáceo destaca-se entre as plantas cultivadas, como uma das mais sensíveis a essa condição, neste caso ele pode sofrer profundas alterações no metabolismo, com potencial de redução do crescimento e do desenvolvimento e, conseqüentemente, do rendimento econômico da planta (sementes + fibras) (BELTRÃO et al., 1997). O feijão-caupi é razoavelmente tolerante à umidade excessiva no solo, entretanto a qualidade dos grãos é bastante melhorada quando a colheita é realizada em dias secos e sem excessos de umidade no solo (OLIVEIRA et al., 1988).

Por outro lado, apesar do algodão herbáceo ser uma cultura relativamente tolerante à seca, em situações de déficit severo de umidade no solo seu rendimento pode ser sensivelmente reduzido (MARANI & AMIRAV, 1971; KRANTZ et al., 1976; LACERDA et al., 2003).

A quantidade de água disponível no solo é um fator importante no crescimento do algodoeiro. Um amplo suprimento hídrico pode resultar num crescimento vegetativo rápido, enquanto a insuficiência de água o deterá. Um suprimento adequado de água, em equilíbrio com os demais fatores de produção, também estimula o crescimento dos ramos frutíferos, mas a escassez ou o excesso de água, associada a temperaturas mais baixas que as normais, muitos dias nublados ou excesso de nitrogênio, geralmente resultam em atraso do desenvolvimento dos ramos frutíferos (BROWN & WARE, 1961).

Arruda (1999) estudou o efeito do estresse hídrico provocado a partir da irrigação com quatro níveis de água disponível no solo (20, 40, 60 e 80%), em casa de vegetação e constatou haver uma relação direta e positiva entre a evapotranspiração acumulada (ETc) e as variáveis altura de plantas, área foliar, biomassa da parte aérea e rendimento do algodoeiro, em função dos níveis de água disponíveis no solo. Verificou ainda que a ETc aumentou com o nível de água disponível e que o tratamento com 60% superou os demais em todas as variáveis estudadas (ARAÚJO, 2006).

Jackson & Tilt (1968) no Arizona, manejando as irrigações quando o consumo havia atingido, em média, 95, 80, 65 e 50% da água disponível no solo, constataram que o rendimento do algodão cresceu com os níveis de água disponível no solo.

Resultado semelhante foi encontrado por Luz et al. (1999) ao observar o efeito de diferentes níveis de água disponível no solo e de densidades de plantio sobre a fenologia de três cultivares de algodoeiro, os autores verificaram que o crescimento vegetativo e o desenvolvimento frutífero da planta foram afetados pelo nível de umidade disponível no solo, sendo o maior número de ramos vegetativos e frutíferos emitidos no maior nível de água disponível no solo.

Quanto ao excesso hídrico no solo, Almeida (1987) ao verificar os efeitos causados pelo encharcamento no crescimento e produção de duas cultivares de algodão herbáceo (CNPA – 3H e CNPA – Precoce 1), concluiu que as cultivares estudadas foram sensíveis às condições impostas, principalmente ao encharcamento na fase de botão floral.

O rendimento do feijão-caupi também é bastante afetado pela disponibilidade de água no solo. Deficiências ou excessos de água nas suas diferentes fases de desenvolvimento causam redução no seu rendimento em proporções distintas (BLUM, 1996; YORDANOV et al., 2003; NASCIMENTO, 2009).

Nascimento et al. (2004) ao avaliar o efeito das variações de níveis de água disponível no solo (40; 60; 80 e 100% AD) sobre o crescimento e produção de feijão-caupi, vagens e grãos verdes, perceberam que o nível crescente de déficit hídrico afetou drasticamente o desempenho da cultura em comparação à testemunha (100% AD). As maiores reduções estimadas foram constatadas no comprimento da haste principal, 26 e 48%, no número de folha por planta, 23 e 35%, no número de vagens por planta, 32 e 49%, e na massa de vagens por planta, 23 e 30%, respectivamente, para os níveis de 60 e 40% de água disponível do solo.

É importante a manutenção do nível de umidade no solo na zona efetiva do sistema radicular (Z), ou seja, na profundidade onde se concentram 80% das raízes da cultura. Para o feijão-caupi, a literatura recomenda valores de Z iguais a 20cm (IRRIGAÇÃO, 2002). Em relação ao algodão herbáceo, Rosolem (2007) afirma que a raiz principal pode atingir até 25 ou 30cm de profundidade quando afina bruscamente, podendo atingir mais de 2,0m de profundidade, se não houver camadas de impedimento químico ou físico.

2.11 Indicadores de eficiência agroeconômica de cultivos consorciados

O uso da consorciação de culturas tornou-se um fator essencial para o melhor aproveitamento econômico da área de cultivo e para redução dos gastos de implantação da cultura principal.

Na avaliação dos agrossistemas consorciados devem-se envolver indicadores econômicos e agroeconômicos, tais como: índice de uso eficiente da terra (UET), coeficiente relativo populacional, vantagem monetária e renda líquida, que parece ser a variável econômica mais indicada para a avaliação de consórcios comparando-os ao monocultivo (BELTRÃO, 2001a; ARAÚJO, 2008).

Segundo Silva et al. (1983), outro importante instrumento de avaliação de sistemas consorciados é o método de análise em “produção equivalente”. Tem sido usual considerar-se a produção equivalente por meio de uma análise econômica, utilizando-se a relação de preços entre as culturas. Para o cálculo da produção equivalente de uma cultura utiliza-se a relação de preços, baseada no preço mínimo das duas culturas do consórcio. As vantagens deste processo é que, como os preços mínimos normalmente são definidos antes do início das safras, os agricultores teriam condições de fazer o julgamento das tecnologias alternativas visando a adoção do sistema mais apropriado às suas condições, antes do início do plantio.

Outra vantagem do método de análise em “produção equivalente” é que não há necessidade de avaliar as respectivas culturas solteiras. Além disso, qualquer que seja a variável utilizada, uma análise univariada de variância pode ser aplicada e a análise conjunta, envolvendo o consórcio e o cultivo solteiro, pode ser feita sem maiores problemas (RAMALHO et al., 1983).

No entanto, a principal crítica a essa alternativa decorre do fato que as relações de preços de uma cultura para outra têm apresentado variações em função da oferta dos dois produtos a cada ano, nas diferentes regiões produtoras. Para superar essa dificuldade deve-se obter a produção equivalente de cada tratamento, por usar diferentes relações de preços representativas das situações de ocorrência comum em uma determinada região. Assim procedendo, é possível comparar os sistemas consorciados em uma amplitude maior de condições, por meio de uma análise de variância univariada dos valores das produções equivalentes (BEZERRA NETO et al., 2007).

Em uma análise comparativa de sistemas de consórcio com as culturas algodão herbáceo e milho, Silva et al. (1983) avaliaram arranjos populacionais, utilizando como método de investigação de sistemas consorciados a produção equivalente. Os autores, com

este método, procuraram quantificar a margem bruta esperada e seu respectivo desvio padrão, para cada sistema de produção e determinar o(s) sistema(s) mais eficiente(s), do ponto de vista de rentabilidade e risco.

Carvalho & Leal (1991), ao verificarem o comportamento de novas cultivares de milho e feijão, nos sistemas monocultivo e consorciado, transformando a produção de feijão-caupi em produção equivalente de milho, concluíram que o consórcio permitiu pequenas vantagens em relação aos monocultivos.

Ferreira (2007), em pesquisa sobre definição de parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho e feijão-caupi, utilizou o índice de produção equivalente como medida para a avaliação da eficiência técnica e econômica do consórcio milho e feijão-caupi em resposta à disponibilidade hídrica no solo, nas condições edafoclimáticas de Teresina, PI. A utilização do índice permitiu concluir que em termos econômicos, a utilização do consórcio em comparação do cultivo solteiro de milho e feijão-caupi foi vantajosa apenas com a menor disponibilidade de água no solo.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. V. de; LEÃO, M. C. S.; SAUNDERS, L. C. U. Determinação do consumo de água pelo caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) irrigado em Bragança – Pará. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, 23 (1/2), p. 33-37 – Junho/Dezembro, 1992.

ALMEIDA, O. A. de. **Efeito de encharcamento do solo no crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo**. 1987. Resumo de Dissertação. Campina Grande, PB. Universidade Federal da Paraíba.

AMORIM NETO, M. da S.; BELTRÃO, N. E. de M.; MEDEIROS, J. da C. Indicadores edafoclimáticos para o zoneamento do algodoeiro arbóreo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.369-371.

AMORIM NETO, M. da S.; ARAÚJO, A. E. de; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGE, M. S.; LAZZAROTTO, C.; LAMAS, F. M.; SANS, L. M. A. Zoneamento agroecológico e definição da época de semeadura do algodoeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Passo Fundo, v.9, n.3, p.422-428, 2001 (nº especial: Zoneamento Agrícola).

ANDRADE, C. L. T.; SILVA, A. A.G.; SOUZA, I. R. P.; CONCEIÇÃO, M A. F. **Coefficientes de cultivo e de irrigação para o caupi**. Parnaíba: EMBRAPA-CNPAL, 1993. 6p. (EMBRAPA-CNPAL. Comunicado Técnico, 9).

ANDRADE, F. C. M. de; GODINHO, A. N.; SILVA, R. M. da; LIMA, Y. C. P. Estudo comparativo entre os manejos de irrigação por reposição da evapotranspiração e por balanço hídrico no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 36, **Anais...**, Bonito, MS, 2007.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RODRIGUES, B. H. N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n.2, p.301-305, fev., 2001.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; MELO, F. de B.; BASTOS, E. A. Zoneamento de risco climático para o feijão caupi no Piauí. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5., 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão-caupi: **Anais...**Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001a., p.3-7 (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense**. 2000. 586p. Tese (Doutorado), Piracicaba, Universidade de São Paulo.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, F. A. de M.; RIBEIRO, J. L.; LIMA, M. G. de; AMARAL, J. A. B. do. **Zoneamento de risco climático para a cultura do algodão herbáceo no estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio –Norte. 2006. 45p. (Documentos/Embrapa Meio–Norte).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N. Coeficientes de cultivo para o melão associados a graus dias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42, **Painel**, 2002.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; MELO, F. de B.; MASCHIO, R.; RIBEIRO, V. Q.; MORAIS, E. L. da C. **Coeficientes de cultivo da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3. 2001. Disponível em: www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/cbm3/trabalhos. Acesso em: 03 de junho de 2009.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; MELO, F. de B.; MASCHIO, R.; RIBEIRO, V. Q.; MORAIS, E. L. da C. **Índice de satisfação da necessidade de água da mamoneira em monocultivo e consorciada com feijão-caupi**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3. 2002. Disponível em: www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes. Acesso em: 03 de junho de 2009.

ARAÚJO, A. C. de; BELTRÃO, N. E. de M.; MORAIS, M. dos S.; ARAÚJO, J. de L. O.; CUNHA, J. L. X. L.; PAIXÃO, S. L. Indicadores agroecômicos na avaliação do consórcio algodão herbáceo + amendoim. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v.32, n.5, p. 1467-1472, set./out., 2008.

ARAÚJO, L. R. de. **Resposta do algodoeiro herbáceo cultivar BRS Rubi a adubação nitrogenada e alteração do regime hídrico no solo**. 2006. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia). Areia, PB. Universidade Federal da Paraíba.

ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1988. 722p.

ARRUDA, F. P. de. **Emissão/abscisão de estruturas reprodutivas de algodoeiro herbáceo cv. CNPA-7H, em função do sistema de manejo e dos estresses hídrico e salino**. 1999. 133f. Dissertação de Mestrado. Areia, PB. Universidade Federal da Paraíba.

ASSAD, E. D.; JÚNIOR, J. Z.; PINTO, H. S. Zoneamento agrícola de riscos climáticos. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, v.1, p. 235-250.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, F. D. dos S. Risco climático para o cultivo do algodoeiro na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.22, n.3, p. 408-416, 2007.

AZEVEDO, D. M. P. de, SANTOS, J. W. dos; VIEIRA, D. J.; BELTRÃO, N. E. de M. NÓBREGA, L. B. da; PEREIRA, J. R. Efeito de população de plantas na produção, eficiência agrônoma e qualidade da fibra do algodoeiro perene consorciado com o caupi. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande, v.4, n.3, p. 169-179, ago,-dez. 2000.

BALDO, M. N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agrônômico do milho (*Zea mays* L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos**. 2007. 91p. Dissertação de Mestrado. Piracicaba. Universidade de São Paulo.

BARRETO, A. N.; BORDINI, J. A. do A.; LIRA, V. M. de . Estimativa da demanda de água do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET_o) e no coeficiente de cultura (K_c) para Parnaíba, PI. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 2005, Teresina. **Anais... XV CONIRD**, 2005. CD-ROM.

BARRETO, A.N.; BEZERRA, J.R.C.; SILVA, A.A.G. Cálculo da necessidade hídrica do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET_o) e no coeficiente da cultura (K_c) para Barreiras – BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., 2003. Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Embrapa Algodão. 2003a, CD-ROM.

BARRETO, A. N.; BORDINI, J. A. do A.; SOUSA, E. F. **Avaliação da demanda hídrica das culturas irrigadas: estudo de caso – algodão herbáceo, amendoim, girassol e coco.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003b. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 73).

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

BELONHEZI, D.; ATHAYDE, M. L. F.; BELONHEZI, A. C.; FUZATO, M. G.; BORTOLETO, N.; CASTRO, J. L.; DE SORDI, G. Características agronômicas de três variedades de algodoeiro semeadas em diferentes épocas e condições edafoclimáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1., 1997, Fortaleza. **Anais...** Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1997, P. 44-47.

BELTRÃO, N. E. de M.; NÓBREGA, L. B. da; AZEVEDO, D. M. P. de; VIEIRA, D. J. **Comparação entre indicadores agroecômicos de avaliação de agroecossistemas consorciados e solteiros envolvendo algodão "upland" e feijão "caupi".** Campina Grande: EMBRAPA - CNPA, 1984, 36p. Boletim de Pesquisa.

BELTRÃO, N. E. de M.; PEREIRA, J. R.; OLIVEIRA, J. N. de. Consorciação algodoeiro herbáceo e gergelim: efeitos dos fatores cultivares, configurações de plantio e épocas relativas de plantio III: indicadores econômicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., 2001, Mato Grosso do Sul. **Anais...** Campina Grande: Embrapa-CNPA, 2001a. p. 615-617.

BELTRÃO, N. E. de M. **Fisiologia da produção do algodoeiro.** Embrapa Algodão. Campina Grande, PB. 2006. (Circular Técnica).

BELTRÃO, N. E. de M., J. R. C. BEZERRA & A. N. BARRETO. 1993. **Recomendações técnicas para cultivo do algodoeiro herbáceo de sequeiro e irrigado nas regiões Nordeste e Norte do Brasil.** Embrapa/CNPA, Campina Grande, PB. 72 p. (Circular técnica 17).

BELTRÃO, N. E. de M. ; SILVA, M. N. B. ; DANTAS, E. S. B. ; CARDOSO, G. D. ; PEREIRA, J. R.; GONDIM, T. M. S. Avaliação do consórcio algodão colorido + feijão macassar em sistema orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4, 2003, Goiânia, GO. **Anais...** Algodão: um mercado em evolução. Goiânia, GO: Embrapa Algodão/Fundação GO, 2003. v. 4.

BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J.; AZEVEDO, D. M. P. De; NÓBREGA, L. B. da. Influência competitiva do feijoeiro Vigna no consórcio com o algodoeiro herbáceo. In: I

REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, TERESINA, PI.
Anais... EMBRAPA/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

BELTRÃO, N. E. de; SOUZA, J. G. de. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Algodão: tecnologia de produção**. Embrapa Agropecuária Oeste; Embrapa Algodão. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001.296p.

BELTRÃO, N. E. de M. FIDELES FILHO, J.; VALE, L. S. do. Zoneamento agroclimático do algodoeiro no cerrado brasileiro. In: FREIRE, E. C. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no cerrado do Brasil** - ABRAPA. Brasília. 2007. 918p.

BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. do.; ALBUQUERQUE, W. G. de. Ecofisiologia do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2 v. 2008. 1.309p.

BELTRÃO, N. E. de M.; LIMA, R. de L. S.; LEÃO, A. B.; ALBUQUERQUE, W. G. de. Algodão brasileiro em relação ao mundo. Situação e perspectivas. In: BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2 v. 2008. 1.309p.

BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVÊDO, D. M. P. de; NÓBREGA, L. B. da; SANTOS, J. W. dos. Modificações no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo sob saturação hídrica do substrato em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n.4, p.391-397, abr. 1997.

BEZERRA, J. R. C.; LUZ, M. J. da S. e; SANTANA, J. C. F. de; DIAS, J. M. Campina Grande, PB. 2002. Desempenho do algodoeiro herbáceo, CV. BRS 201, submetido a déficit hídrico: I. qualidade da fibra. In: EMBRAPA ALGODÃO (Campina Grande, PB). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 50. Campina Grande, 2002. 12p.

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

BEZERRA NETO F; GOMES EG; NUNES G. H. S.; OLIVEIRA E. Q. Desempenho de sistemas consorciados de cenoura e alface avaliados através de métodos uni e multivariados. **Horticultura Brasileira**. 25: p. 514-520. 2007.

BIUDES, F. **Tecnologias de informação e novos usos do território brasileiro: uma análise a partir do zoneamento agrícola de riscos climáticos para a soja**. 2005. 174p. Dissertação de Mestrado. Campinas. UNICAMP.

BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.20 , n.2, p.135-148, 1996.

BROWN, R. W. The water relations of range plants: adaptations to water deficit. In: BEDUNAH, D. J.; SOSEBEE, R. E. (Ed.) *Wildland plants: physiological ecology and morphology*. Denver: **Society for Range Management**, 1995. 710p.

BROWN, H.B.; WARE, J.O. Cotton. **New York: Mc Graw-Hill Book**, 1961.623p.

BUCKS, D.A.; ALLEN, S.G.; ROTH, R.L.; GARDNER, B.R. Short staple cotton under micro and level basin irrigation methods. **Irrigation Science**, v.9, p. 161-176, 1988.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de BRITO; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; LIMA, M. G. de. Clima e aspectos de plantio. In: CARDOSO, M. J. (Org.) **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Embrapa/Meio-Norte. Teresina, PI. 2000. 264 p. (Circular técnica, 28).

CARDOSO, M. J. (Org.) **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Embrapa/Meio-Norte. Teresina, PI. 2000. 264 p. (Circular técnica, 28).

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. de B.; Cultivos consorciados. In: CARDOSO, M. J. (Org.) **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Embrapa/Meio-Norte. Teresina, PI. 2000. 264 p. (Circular técnica, 28).

CARVALHO, S. M. A.; SEDIYAMA, G. C.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P. A. Balanço hídrico dinâmico em solo sem vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 35, p.433-48, 1988.

CARVALHO, H. de P. **Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café**. 2008. 173p. Tese (Doutorado). Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ.

CARVALHO, J. de A.; PEREIRA, G. M.; ANDRADE, M. J. B. de; ROQUE, M. W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.3, p.710-717, jul./set. 2000.

CARVALHO, H. W. L. de; LEAL, M. de L. da S. Cultivares de milho e de feijão em monocultivo e em consórcio. II. Ensaios de rendimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 26(9):1467-1473,1991.

CAVALCANTE, F. S. **Consortiação de mandioca e feijão comum: viabilidade da exploração em agricultura familiar na microrregião do brejo paraibano**. 2005. 93p. Dissertação de Mestrado. Areia, PB. Universidade Federal da Paraíba.

CONAB. **Série Histórica**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2009.

CORDEIRO, L. G.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, J. J. A. dos; MIRANDA, E. P. de. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.153-157, 1998. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

CORRÊA, J.R.V. Algodoeiro: informações básicas para seu cultivo. Belém: EMBRAPA-UEPAE Belém, 1989. 29p. (EMBRAPA-UEPAE Belém. Documentos,11).

CUSHMAN, J. C.; BOHNERT, H. J. Genomic approaches to plant stress tolerance. **Current Opinion in Plant Biology**, v.3, p.117-124, 2000.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; BENTVELSEN, C. L. M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJÉ, J. M. G. A.; SMIT, M.; UITTENBOAGAARD, G. O.; VAN DER VAL, H. K. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p. (FAO, Riego y Drenaje).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DUARTE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; MASCHIO, R.; SILVA, N. S. Coeficiente de cultivo do feijão-caupi, cv BRS guariba, em Teresina, Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38. Juazeiro (BA)/Petrolina (PE). 2009. **Anais...** Juazeiro: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009. 1 CD-ROM.

FALLIERI, J.; SILVA, A. **Ensaio de épocas de plantio do algodoeiro na Estação Experimental de Sete Lagoas**, MG. IPEACO. 9p. 1968.

FANCELLI, A. L. Milho: ambiente e produtividade. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba. LVP; ESALQ. Departamento de Produção Vegetal, 2003. p. 174-197.

FERREIRA, I. C. Estatística do mercado físico de algodão: janeiro de 1990 a agosto de 1997. São Paulo: Bolsa de Mercadorias e Futuro, 1997, 62 p. In: BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2 v. 2008. 1.309p.

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

FERREIRA, L. G. R.; MENDES FILHO, P. F.; ALBUQUERQUE, I. M. de. Fixação simbiótica em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) em função do déficit hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, 25 (112): pág. 16-23 – Junho/Dezembro, 1994.

FERREIRA, V.M.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MASCHIO, R.; SILVA, E.M. Coeficiente de cultivo do feijão-caupi em Teresina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37. Foz do Iguaçu, 2008. **Anais...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2008. 1 CD-ROM.

FERREIRA, V M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, C. R. da; MASCHIO, R. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos solteiro e consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 16, n.1, p. 96-106, abril. 2008.

FREIRE-FILHO, F. R. Cowpea taxonomy and introduction to Brazil. In: WATT, E. E.; ARAÚJO, J. P. P. **Cowpea research in Brazil**. IITA, EMBRAPA, Brasília, p.3-10, 1988.

FREITAS, A. A. de; BEZERRA, F. M. L. Coeficientes de cultivo da melancia nas suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, vol. 35, n.2, jul.-dez. p: 319-325. 2004.

GOMES FILHO, R. R.; TAHIN, J. F. Respostas fisiológicas de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata*, L.) eretos e decumbentes a diferentes níveis de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.10, n.1-4, jan/dez, 2002.

GÖPFERT, H. **Eventos generalizados e seguridade agrícola**. Sumário executivo. Brasília, 1993.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 2008. 98p. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo.

GUINN, G.; MAUNEY, J. R.; FRY, K. E. Frutigin of cotton: I. Effects of plant moisture status and active boll load on boll retention. **Agronomy Journal**, Madison, v. 76, n. 59, p. 94-98. 1984.

IRRIGAÇÃO. In: RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. p. 34-41. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2).

JACKSON, L. E. B.; TILT, P. A effects of irrigation intensity and nitrogen level on the performance of eight varieties of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. **Agronomy Journal**, v.60, n.1, p.13-17, 1968.

KRAMER, P. J. **Plant and soil water relationships**. A modern synthesis. New Delhi: McGraw-hill, 1995. 482p.

KRANTZ, B. A.; SWANSON, N. P.; STOCRINGER, K. R.; CARREKER, J. R. Irrigation cotton to insure yields. **Yarbook Agric.**, p. 381-388, 1976.

LACA-BUENDIA, J. P.; OLIVEIRA, P. De; PIRES, G. A. D.; SILVA FILHO, P. V. Estudo de época de plantio x cultivares de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. Var. Latifolium Hutch) nas principais regiões algodoeiras de Minas Gerais. In: EPAMIG (Belo Horizonte, MG). **Projeto Algodão, Relatório 1980/92**. p. 594-596, 1997.

LACERDA, N. B. de; OLIVEIRA, F. A. de; CAVALCANTE, L. F., SOUZA, C. C. de; SANTIAGO, R. D. Manejo da água disponível no solo e da adubação nitrogenada sobre a cultura do algodoeiro herbáceo. **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v.24, n.1, p. 31-38, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima-Artes & Textos, 2000. 531p.

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

LUZ, M. J. da S. e; BREZERRA, J. R. C.; CAVALCANTE, F. B.; SAUNDERS, L. C. U.; HOLANDN, A. F. de. Efeito da umidade do solo e da densidade de plantio sobre a fenologia e o crescimento de três genótipos de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v.3, n.2, p.77-82, maio-ago. 1999.

MAFRA, R.C. O feijoeiro Caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Componente do sistema da agricultura do trópico semi-árido. **Pesquisa Agropecuária Pernambuco**, Recife. 2(2):176-186,1978.

MAFRA, R.C.; LIRA, M.A.; ARCOVERDE, A.S.S.; LIMA, G.R.A.; FARIAS, M.A. Consórcio de sorgo e milho com feijão de "Arranca" e "Macassar" no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Pernambuco**, Recife. 3(1):93-104,1979.

MARANI, A.; AMIRAV, A.; Effects on soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. The coastal plain region. **Expl. Agric.**, v.7, n.3, p.213-223, 1971.

MARUR, C. J.; Comparação das taxas de fotossíntese líquida, resistência estomática e produtividade de duas cultivares de algodoeiro submetidas ao estresse hídrico. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. Brasília - DF, v.26, n.2, p.153-161, 1991.

MATOS, J. C. V. de. Classificação do algodão em Mato Grosso. In: SEMINÁRIO ESTADUAL COM A CULTURA DO ALGODÃO EM MATO GROSSO, 3., 1996, Cuiabá. Anais...Cuiabá: EMPAER-MT, 1996. p. 133-139. In: BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2 v. 2008. 1.309p.

McWILLIAMS, D.A. Producing quality cotton using irrigation management. In: First **Irrigation Efficiency Conference**, 2002, New Mexico.

MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. de M.; LIMA, M. M. de A.; VIDAL, M. S.; Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande, v.10, n1/2/, p.1039-1072, jan/-ago. 2006.

MENESES, C. H. S. G. **Qualidade fisiológica de sementes de algodão submetidas a estresse hídrico induzido por polietilenoglicol-6000**. Areia: UFPB, 2007. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba.

MIRANDA, P.; CORREIA, E.B.; CALDAS, G.C.; REIS, O.V. dos; FARIAS, I.; PEREIRA, J.T. Capacidade produtiva das cultivares de caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. I Produção de grãos Secos e Vagem Verde. **Pesquisa Agropecuária Pernambuco**, Recife, 3(1) :51-59, 1979.

MIRANDA, P.; COSTA, A. F. da; OLIVEIRA, L. R.; TAVARES, J. A.; PIMENTEL, M. L.; LINS, G. M. L.; Comportamento de cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp, nos sistemas solteiro e consorciado. I. Tipo ramador. **Ciência Agrônômica**. Fortaleza, 23 (1/2): pág. 9-19 junho/dezembro. 1992.

MOUSINHO, F. E. P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí. 2005**. 125p. Tese (Doutorado). Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringa, v. 30, n. 1, p. 139-145, 2008.

MUSANDE, V. G.; CHAVAN, B. N.; SONDGE, V. D. Consumptive use of water, moisture use efficiency and moisture extraction pattern in cotton intercropping. **Madras agricultural journal**. July 1981. v. 68 (7), p. 431-435.

NASCIMENTO, S. P. do. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 112p. Dissertação de Mestrado. Teresina, PI. Universidade Federal do Piauí.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; SOBRINHO, T.; Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão-caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n.2, p. 174-177, abr/jun, 2004.

NÓBREGA, L. B. da; BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de; Avaliação agro-econômica de sistemas de consórcio com as culturas algodão herbáceo e feijões *Phaseolus* e *Vigna*. In: I REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, TERESINA, PI. **Anais...** EMBRAPA/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.437-443, 2001.

OLIVEIRA, I. P. de; CARVALHO, A.M. de. A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmido e semi-árido do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Org). **O caupi no Brasil**. IITA/ EMBRAPA. Brasília, DF. 1988. 722p.

ONOFRE, A. V. C. **Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão-caupi contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF e ISSR**. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, 2008.

PEREIRA, O.J.; ANDRADE, E.M. de.; PEREIRA, J.W.L. Comportamento do cultivar Precoce 1 do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) submetido a estresse hídrico inicial. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 19, n. 1, p. 167-171,1988.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; RODRIGUES A. C. P.; SILVA, M. R. da. Influência de solos de diferentes texturas no desenvolvimento de plantas de *Eucalyptus urograndis* submetidas a déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.2, p. 249-260, abril-junho, 2008.

PINHO, J. L. N.; VIDAL, J. C.; PINTO, C. A. de S.; QUEIROZ, G. M.; FROTA, P. C. E. In: I REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, TERESINA, PI. **Anais...** EMBRAPA/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

PORTES, T. A.; SILVA, C. C. Cultivo consorciado. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 619-638.

RAMALHO MAP; OLIVEIRA AC; GARCIA JC.1983. **Recomendações para o planejamento e análise de experimentos com as culturas de milho e feijão consorciadas**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. 1983. 74p. (Documentos, 2).

RAO, M. R. Pesquisa com consorciação de culturas no nordeste – o que fizemos e o que poderíamos fazer. In: I REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, TERESINA, PI. **Anais...** EMBRAPA/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

RAO, M. R.; MORGADO, L. B. Consorciação com as culturas de algodão e mandioca no nordeste do Brasil - resultados atuais e perspectivas para futuras pesquisas. In: I REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, TERESINA, PI. **Anais...** EMBRAPA/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícola**. São Paulo: Editora Manole, 1990. Cap. 9, p. 113-126: Balanço Hídrico.

ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no cerrado do Brasil**. ABRAPA. Brasília. 2007. 918p.

ROSSETTI, L. A.; Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e seguridade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p. 386-399, 2001.

SALES, M.G.; RODRIGUES, M. A. C.; Consumo, qualidade nutricional e métodos de preparo do Caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de ; WATT, E. E. (Org). **O caupi no Brasil**. IITA/ EMBRAPA. Brasília, DF. cap. 24. 1988. P. 697-722p.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P. de; Produtividade e morfologia de genótipos de caupi em diferentes densidades populacionais nos sistemas irrigado e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p. 1977-1984, out, 2000.

SEBRAE (João Pessoa, PB) Estudo de oportunidade de beneficiamento do algodão no Estado da Paraíba. João Pessoa, 1995. 91 p. (SEBRAE. Série Estudos). In: BELTRÃO, N. E. de M. AZEVEDO, D. M. P. de. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2 v. 2008. 1.309p.

SERPA, J. E. S.; BARRETO, A. C. Avaliação de cultivares de algodão herbáceo e de arranjos espaciais, na consorciação milho e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: I REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, TERESINA, PI. **Anais...** EMBRAPA/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

SILVA, V. V. da; RIBEIRO, V. Q.; RIBEIRO, J. L.; Análise comparativa de sistemas de consórcio com as culturas algodão herbáceo e milho. In: I REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, TERESINA, PI. **Anais...** EMBRAPA/UEPAE de Teresina, v.2, 1983.

SILVA, B. B. da; SOUZA, C. B. de; RAO, T. V. R.; AZEVEDO, P. V. de; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Efeitos do déficit hídrico sobre a fenometria e a tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.42-46, 1998.

SILVA, F.; CASALI, V.W.D. **Plantas medicinais e aromáticas: Pós colheita e óleos essenciais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 2000.

SILVA, S. R. S.; DEMUNER, A. J.; BARBOSA, L. C. de A.; CASALI, V. W. D.; NASCIMENTO, E. A.; PINHEIRO, A. L. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Maringá**, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.

SINGH-SANGWAN, N. et al. Effect of drought stress on growth and essential oil metabolism in lemongrasses. **New Phytol.**, Cambridge, v. 128, p. 173-179, 1994.

SOUSA, E. B. de M. **Indicadores físico-químicos para seleção de plantas de algodão herbáceo tolerantes à seca**. 2008. 93f. Dissertação de Mestrado. Recife, PE. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SOUZA, M. do S. M. de; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.3, p. 241-248, ago-out, 2005.

SOUZA, J. L. de; BORGES, E. A. Evapotranspiração medida e estimada em feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Agropecuária técnica**, Areia, v. 7, n. 1/1, 1986.

SOUZA, C. C. de; OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, I. de F. da; ANDRADE, A. P. de. Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada na cultura do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.125-130, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

SUMMERFIELD, R. J.; PATE, J. S.; ROBERTS, E. H.; WIEN, H. C. The physiology of cowpea. In: SINGH, S. R. & RACHIE, K. O., Eds. **Cowpea research, production and utilization**. Chichester, John Wiley, 1985. P.66-101.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. - Porto Alegre: Artmed. 2004. p. 139-145.

TARIAH, N. M.; WAHUA, T. S. T.; Effects of component populations on yields and land equivalent ratios of intercropped maize and cowpea. **Field Crops Research**, v.12, p. 81-89, 1985.

TÁVORA, F. J. A. F.; MELO, F. I. O.; SILVA, F. P. da; BARBOSA FILHO, M. Consorciação da mamona com culturas anuais de ciclo curto. **Ciência Agrônômica**. Fortaleza, 19 (2): pág. 85-94 - dezembro. 1988.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

VALNIR JÚNIOR, M.; COSTA, R. N. T.; AGUIAR, J. V. de.; Análise de componentes do balanço hídrico em cultura de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), sob condições de recarga hídrica natural. **Irriga**, v. 6, n. 3, p. 1-13. 2001.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, n.1, p. 1-14, 2003.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, p.187-206, 2003.

CAPÍTULO 1

COEFICIENTES DE CULTURA DO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-CAUPI EM CULTIVOS SOLTEIRO E CONSORCIADO EM TERESINA, PI*

* *Manuscrito a ser enviado à Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas - RBOF*

1 **COEFICIENTES DE CULTURA DO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-**
2 **CAUPI EM CULTIVOS SOLTEIRO E CONSORCIADO EM TERESINA, PI.**

3
4 SIMONE RAQUEL MENDES DE OLIVEIRA^{1*}, ADERSON SOARES DE
5 ANDRADE JÚNIOR², JOSÉ LOPES RIBEIRO³ e MICHEL ALVES BARROS⁴

6
7 RESUMO: O conhecimento sobre a demanda hídrica das culturas é essencial para que
8 se mantenham os níveis de água no solo em condições de atendimento às necessidades
9 hídricas das culturas, cultivadas em sistema monocultivo e/ou consorciado. O trabalho
10 teve por objetivo determinar o Kc do algodão herbáceo, cultivar BRS Camaçari, em
11 sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, em seus
12 diversos estádios de desenvolvimento, visando o manejo racional da irrigação, quando
13 em cultivo solteiro, e a definição de parâmetros para o zoneamento de risco climático
14 deste consórcio. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio-
15 Norte, em Teresina, PI. Os Kc's médios encontrados para o algodão herbáceo, em
16 cultivo solteiro, apresentaram valores de 0,39 a 1,16, como valor máximo, aos 57 dias
17 após a semeadura. O Kc do algodão, em consórcio com o feijão-caupi, apresentou o
18 valor mínimo de 0,53 e máximo de 1,34, aos 55 dias após a semeadura. O feijão-caupi,
19 em monocultivo, apresentou valor mínimo de Kc igual a 0,45 e máximo de 1,13, aos 50
20 dias após a semeadura.

21 Termos para Indexação: *Gossypium hirsutum*.L., *Vigna unguiculata*., risco climático.

22

^{1*}Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, CEP: 64.049-550. Teresina, PI e-mail: simoneraquel@cpamn.embrapa.br.

²Pesquisador, Embrapa Meio Norte, CEP: 64006-220, Teresina-PI. e-mail: aderson@cpamn.embrapa.br.

³Pesquisador, Embrapa Meio Norte, CEP: 64006-220, Teresina-PI. e-mail:jlopes@cpamn.embrapa.br

⁴Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, CEP: 64.049-550. Teresina, PI e-mail: michel_barros@cpamn.embrapa.br

1 Nos cultivos consorciados, as culturas integrantes da associação geralmente
2 diferem em altura, área foliar, volume radicular, dentre outras características
3 morfológicas o que as tornam competitivas por recursos naturais (radiação solar,
4 nutrientes e água).

5 Considerando esses aspectos, estudos sobre Kc são importantes, pois
6 proporcionam o conhecimento sobre a demanda hídrica das culturas possibilitando a
7 manutenção hídrica no solo em condições de atendimento às culturas em associação.

8 A demanda hídrica pode ser estimada pela utilização do coeficiente de cultura
9 (Kc), o qual determina o quanto da ETo a cultura utiliza em seu processo
10 evapotranspirativo (ETc) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). O coeficiente de cultura
11 (Kc) é variável de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, as condições de
12 solo, clima e a irrigação.

13 Variações na demanda temporal e por fase de desenvolvimento da cultura
14 ocorrem porque no ambiente atmosférico a dinâmica de fluxo de água é função conjunta
15 dos fatores atmosféricos da região (BARRETO et al., 2005).

16 As recomendações de Kc para as culturas do algodão herbáceo e feijão-caupi
17 variam de região para região. Barreto et al. (2003a), ao estabelecerem a curva de Kc
18 para as fases fenológicas do algodoeiro herbáceo para o município de Barreiras, BA,
19 encontraram um intervalo de 0,53 a 0,93. Doorenbos e Kassam (1994) apud Barreto et
20 al. (2003b), utilizando a metodologia sugerida pela FAO e considerando um período de
21 cultivo de 100 dias sob irrigação, segmentaram o Kc para as fases fenológicas do
22 algodoeiro herbáceo irrigado, dentro de um intervalo de 0,45 a 1,15.

23 No feijão-caupi, Bastos et al. (2008), trabalhando com a cultivar BR-17
24 Gurguéia, encontraram um intervalo de 0,8 a 1,4 para o Kc, nos quatro estádios

1 fenológicos do feijão-caupi, nas condições edafoclimáticas do Vale do Gurguéia, PI.
2 Duarte et al. (2009) em estudo para determinar o Kc do feijão-caupi, cv BRS-Guariba,
3 em seus diversos estádios de desenvolvimento nas condições edafoclimáticas de
4 Teresina-PI encontraram valores entre 0,50 (após a germinação) a 1,30 (aos 45 dias
5 após o plantio).

6 Objetivou-se com esta pesquisa determinar o Kc da cultura do algodão
7 herbáceo, em sistema monocultivo e consorciado com feijão-caupi, em seus diversos
8 estádios de desenvolvimento, em cultivo solteiro, e a definição de parâmetros para o
9 zoneamento de risco climático, quando em sistema consorciado.

10 MATERIAL E MÉTODOS

11 O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Meio-Norte,
12 município de Teresina – PI (05°05'S; 42°48'W e 74,4m) durante o período de agosto a
13 novembro de 2008. O clima local, segundo Thornthwaite e Mather (1955), é sub-úmido
14 seco (C1) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004). Os valores médios mensais dos dados
15 climáticos estão apresentados na Tabela 1.

16 O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico de
17 textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2006), cujas características químicas são
18 apresentadas na Tabela 2.

19 O preparo do solo consistiu de duas arações e uma gradagem niveladora
20 cruzada. A semeadura do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS Camaçari, foi realizada
21 manualmente, no dia 07/08/2008, em um espaçamento de 1,20 x 0,20m, em ambos os
22 sistemas de cultivo (solteiro e consorciado). O feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, foi
23 semeado, com o uso de matracas, em 21/08/2008, em um espaçamento de 0,60 x
24 0,20m, em cultivo solteiro, e de 1,20 x 0,20m, em cultivo consorciado. O feijão-caupi

1 foi semeado 13 dias após a semeadura do algodoeiro herbáceo para que houvesse
2 coincidência das fases críticas das duas culturas. As cultivares em monocultivo e
3 consorciadas foram dispostas em um bloco experimental com 12 metros de largura por
4 20 metros de comprimento. O arranjo espacial utilizado no sistema consorciado
5 correspondeu a uma relação fixa de 1:1 (uma fileira de algodão herbáceo para uma de
6 feijão-caupi).

7 Na adubação de fundação do algodão herbáceo, foram aplicados 30kg/ha de N
8 (uréia), 50kg/ha de P_2O_5 (superfosfato simples) e 40kg/ha de K_2O (cloreto de potássio)
9 e na adubação de cobertura, realizadas em duas etapas, aos 35 e 55 dias após o plantio
10 do algodoeiro, foram aplicados 50kg/ha de N (uréia) e 30kg/ha de K_2O (cloreto de
11 potássio), em ambas. Não foi feita adubação no feijão-caupi. O controle de plantas
12 daninhas foi realizado por meio de capinas manuais sempre que necessário.

13 As colheitas do feijão-caupi e algodão herbáceo foram realizadas em
14 24/10/2008 (64 dias após a semeadura) e 28/11/2008 (113 dias após a semeadura),
15 respectivamente.

16 **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**

17 Na estimativa dos valores de evapotranspiração de referência diária (ET_o),
18 foram utilizados os dados médios climáticos diários (temperatura, do ar, umidade
19 relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento) da estação agrometeorológica
20 automática da Embrapa Meio-Norte. Os dados foram aplicados na equação de Penman –
21 Monteith FAO (ALLEN et al.,1998).

22 **Estimativa da evapotranspiração das culturas (ET_c)**

23 A evapotranspiração das culturas foi estimada utilizando-se o método do balanço
24

1 de água no solo, realizado de acordo com a metodologia apresentada por Reichardt
2 (1987) (Equação 1).

$$3 \quad E_{Tc} = P + I - D - (\pm \Delta h) \dots\dots\dots(1)$$

4 Em que: P - precipitação natural em mm; I- irrigação em mm; D - drenagem
5 profunda em mm; E_{Tc} - evapotranspiração da cultura, em mm.dia^{-1} e Δh – variação de
6 armazenagem da água do solo em mm, da camada de 0 – 0,50m, para o intervalo de
7 tempo considerado do balanço hídrico.

8 No cálculo do balanço hídrico, admitiu-se a drenagem como nula. Os fluxos
9 ascendentes e descendentes no solo não foram admitidos, uma vez que não houve
10 variação nos valores diários de umidade no solo abaixo da camada controle do solo
11 (50cm).

12 **Determinação dos componentes do balanço hídrico**

13 **Irrigação**

14 As irrigações foram realizadas sempre pela manhã, nas segundas e quintas-
15 feiras, baseadas nas leituras do conteúdo de água no perfil do solo por meio de um
16 sistema de aspersão convencional fixo composto por oito linhas laterais, instalado em
17 um espaçamento de 12m x 12m e operando sempre duas a duas. Cada linha lateral
18 possuía seis aspersores, com bocais de 4,4mm x 3,2mm, raio de alcance de 12m, vazão
19 de $1,45\text{m}^3/\text{h}$. O bloco experimental era coberto por quatro aspersores, dois de cada
20 linha.

21 O tempo das irrigações foi calculado com o auxílio de uma planilha eletrônica
22 em Excel, onde eram registrados os valores diários da evapotranspiração de referência
23 (E_{To}) e precipitação, obtidos na estação agrometeorológica automática da Embrapa
24 Meio-Norte, Teresina, PI. Como o experimento foi conduzido durante a estação seca,

1 não houve registros de precipitação pluviométrica durante o período do ensaio. Por isso,
2 esse componente não foi considerado no balanço hídrico diário realizado.

3 **Variação do armazenamento de água no solo**

4 A variação do armazenamento (Δh) da água no solo foi obtida utilizando-se uma
5 sonda de capacitância (FDR), modelo Diviner 2000[®], nas camadas de 0,10 a 0,50m de
6 profundidade. Para tanto, foram instalados 36 tubos de acesso em PVC, com 1,5m de
7 comprimento, sendo três em cada sistema de cultivo, distantes 2,0m entre si e dispostos
8 em linhas paralelas ao sistema de irrigação convencional e entre as fileiras centrais da
9 parcela experimental dos cultivos solteiro e consorciado.

10 As leituras de frequência relativa (FR) foram realizadas diariamente, sempre
11 antes e aproximadamente 24 horas após as irrigações inclusive aos sábados e domingos.
12 O conteúdo médio de água no solo, em cada camada, foi calculado pela média dos
13 valores de umidade medidos nos três tubos de acesso. As profundidades das leituras
14 foram de 10, 20, 30, 40, 50 cm, com base na concentração de 80% do sistema radicular
15 do feijão-caupi e algodão herbáceo (ANDRADE JÚNIOR et al., 1998).

16 **Estimativa dos coeficientes de cultura (Kc)**

17 Os valores dos coeficientes de cultura (Kc) foram obtidos utilizando-se os
18 valores diários de E_{To} e E_{Tc} , nos dois sistemas de cultivo e determinados pela equação
19 (2).

$$20 \quad Kc = E_{Tc}/E_{To} \dots\dots\dots(2)$$

21 Em que:

22 E_{Tc} – evapotranspiração da cultura ($mm.dia^{-1}$);

23 E_{To} – evapotranspiração de referência ($mm.dia^{-1}$).

1 6,1mm/dia. As diferenças na evapotranspiração do algodão herbáceo podem estar
2 associadas à cultivar utilizada e/ou às condições edafoclimáticas locais.

3 No consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi, a ETc acumulada ascendeu de
4 18,82mm para 45,88mm (média de 1,88 a 4,58mm.dia⁻¹) (Figura 2). Entre 50° e 70° o
5 consumo hídrico do consórcio apresentou seu valor máximo (62,31mm ou
6 6,23mm.dia⁻¹) coincidindo com as fases de florescimento do algodão herbáceo e
7 enchimento de vagens do feijão-caupi. Observa-se, portanto, que a ETc do consórcio foi
8 superior à obtida em monocultivo o que pode estar associado ao aumento do
9 enfolhamento observado no consórcio (Figura 3).

10 A maior ETc do consórcio concorda com Ferreira et al. (2008), que em estudo
11 sobre o consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistemas de cultivo
12 solteiro e consorciado, também observaram que no consórcio, houve maior demanda
13 evapotranspirativa em relação ao cultivo solteiro.

14 Em relação ao feijão-caupi (Figura 4), a ETc ascendeu de 30,09mm para
15 42,82mm (média de 3,49 a 4,28mm.dia⁻¹) nos primeiros 40 DAS, durante seu
16 crescimento e desenvolvimento. Entre 40° e 55° DAS, o comportamento se inverteu, na
17 fase de florescimento e enchimento de vagens, alcançando o valor máximo aos 53 DAS,
18 50,64mm (5,64mm.dia⁻¹). A partir do 55° DAS até a colheita aos 64 DAS a ETc
19 decresceu para 4,52mm.dia⁻¹.

20 Bezerra & Freire Filho (1984), afirmam que o consumo hídrico do feijão-caupi
21 pode se elevar para 5,0 a 5,5mm diários, durante o período compreendido entre o pleno
22 crescimento, florescimento e enchimento de vagens. Os resultados foram semelhantes
23 aos de Bastos et al. (2008), que ao determinarem a evapotranspiração e o coeficiente de

1 cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, PI, encontraram o maior valor de ETc
2 (5,4mm.dia⁻¹) durante o florescimento e enchimento dos grãos.

3 Os valores de ETc do feijão-caupi em monocultivo foram superiores aos valores
4 obtidos para o algodão herbáceo, sob mesmo sistema de cultivo, o que é justificável pela
5 menor exigência hídrica do algodão herbáceo. De fato, segundo Rosolem (2007), o
6 algodoeiro tem tolerância relativamente alta à seca quando comparado a outras culturas,
7 como por exemplo, a soja, arroz, milho, girassol, trigo, dentre outras. Esta característica
8 vem de seus ajustes fisiológicos, assim como de sua capacidade de crescimento e
9 plasticidade radicular.

10 Por outro lado, segundo Nascimento (2009), o feijão-caupi é classificado como
11 planta sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo.

12 **Coefficientes de cultura**

13 Na Figura 4 e Tabela 3 encontram-se a variação do coeficiente de cultivo (Kc) do
14 algodão herbáceo em sistema monocultivo e consorciado com o feijão-caupi e o
15 comportamento Gaussiano dos Kc's em função dos dias após a semeadura (DAS),
16 respectivamente.

17 O coeficiente de cultura do algodoeiro medido em cultivo solteiro apresentou o
18 valor mínimo de 0,39, nos primeiros 20 DAS, correspondendo à fase de semeadura ao
19 aparecimento das primeiras folhas verdadeiras. A partir dos 20 DAS, com o
20 crescimento da cultura, o Kc se elevou, alcançando 0,65 aos 40 DAS, do aparecimento
21 das primeiras folhas verdadeiras ao primeiro botão floral.

22 Entre 40 e 70 DAS, o Kc se levou substancialmente alcançando o valor máximo
23 de 1,16 aos 57 DAS coincidindo com o período de floração e formação inicial das
24 maçãs. A partir desse pico, ocorreu um decréscimo, característico da fisiologia do

1 algodoeiro, apresentando valores de 0,79 a 0,38, dos 71 aos 110 DAS, período que
2 compreende a maturação dos frutos à colheita.

3 Estes resultados diferenciam-se dos encontrados por Barreto et al. (2003a), que
4 ao considerarem um período da estação de cultivo de 100 dias de irrigação no algodão
5 herbáceo, observaram valores de Kc inferiores em sistema monocultivo no município
6 de Barreiras, BA (0,53, aos 20 dias, 0,69 aos 40 dias, 0,93 aos 80 dias e 0,67 aos 100
7 dias após a semeadura).

8 Situação semelhante foi constatada ao comparar os Kc's encontrados com os
9 atualmente sugeridos para o algodão herbáceo pela FAO (DOORENBOS; KASSAM,
10 1994) e expostos por Barreto et al (2003b), cujos valores foram segmentados
11 apresentando-se da seguinte forma: 0,45 aos 20 dias; 0,75 aos 40 dias; 1,15 aos 80 dias
12 e 0,85 aos 100 dias (Tabela 4).

13 As diferenças de Kc observadas podem estar associadas à metodologia
14 empregada para determinação da ETc, às características distintas das cultivares e às
15 diferentes condições edafoclimáticas dos locais (solos, radiação solar, umidade relativa
16 do ar e temperatura do ar).

17 Em relação ao feijão-caupi, o coeficiente de cultivo medido, em cultivo solteiro,
18 apresentou o valor mínimo de 0,45, nos primeiros 20 DAS, na fase inicial. Durante o
19 crescimento, entre 20 e 40 DAS, o Kc se elevou para 0,76, alcançando o valor máximo
20 (1,13) entre 40 e 60 DAS (aos 53 DAS aproximadamente) na fase de florescimento e
21 enchimento de vagens, decrescendo para 0,51, período de maturação à colheita.

22 Os resultados estão próximos aos valores encontrados por Duarte et al. (2009) em
23 estudo para determinar o Kc do feijão-caupi, cultivar BRS-Guariba, em seus diversos
24 estádios de desenvolvimento, nas condições edafoclimáticas de Teresina-PI. Esses

1 autores encontraram valores entre 0,50 (após a germinação) a 1,30 (aos 45 dias após o
2 plantio).

3 No consórcio, o Kc medido apresentou valor mínimo de 0,53, nos primeiros 20
4 DAS, da semeadura ao aparecimento das primeiras folhas do algodão herbáceo e feijão-
5 caupi. A partir dos 20 DAS, com o crescimento das culturas, o Kc aumentou alcançando
6 o valor de 0,81, aos 40 DAS e máximo de 1,34, aos 55 DAS, coincidindo com o período
7 de florescimento e formação inicial das maçãs do algodão herbáceo e formação e
8 enchimento de vagens do feijão-caupi. A partir deste máximo, os valores de Kc's
9 decresceram da fase de maturidade fisiológica dos frutos à colheita do feijão-caupi,
10 onde se finalizou o consórcio, atingindo o valor de 0,62, aos 77 DAS.

11 Os valores dos Kc's do algodão herbáceo, em sistema consorciado, foram
12 superiores aos Kc's do algodão herbáceo, em monocultivo. Isso ocorreu devido ao
13 aumento da demanda hídrica do consórcio para atender as exigências hídricas do feijão-
14 caupi, bem como ao acréscimo no enfolhamento, ocasionando uma maior
15 evapotranspiração das culturas em consórcio.

16 CONCLUSÕES

- 17 1. O algodão herbáceo, em monocultivo, apresentou Kc variando de 0,39, da
18 semeadura ao aparecimento das folhas verdadeiras a 1,16, durante a floração e
19 formação inicial das maçãs;
- 20 2. Os valores de Kc's do algodão herbáceo, no consórcio, foram superiores ao
21 monocultivo;
- 22 3. Os Kc's do algodão herbáceo em cultivo consorciado com o feijão-caupi
23 apresentaram valores de 0,53, no estágio inicial a 1,34 (valor máximo) na fase
24 reprodutiva das culturas;

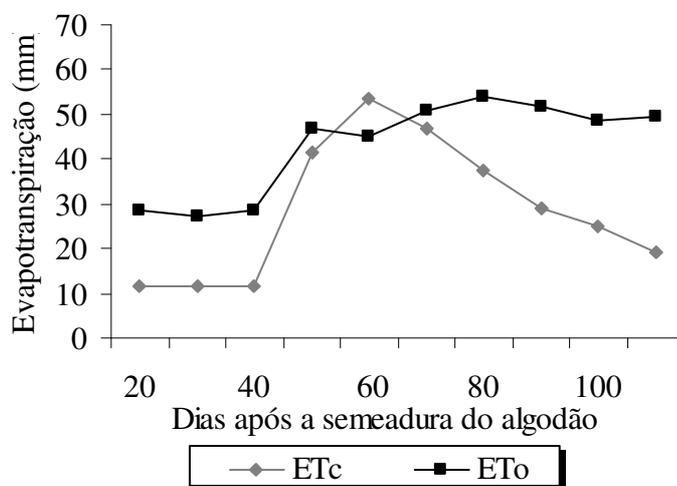
- 1 4. No feijão-caupi, em monocultivo, o valor mínimo de Kc foi de 0,45 na fase inicial,
 2 durante o crescimento, alcançando o valor máximo (1,13) na fase de florescimento e
 3 enchimento de vagens.

4 REFERÊNCIAS

- 5
 6 ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAIS D. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO,
 7 297p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.
 8
 9 ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; RODRIGUES, B. H.
 10 N.; ATHAYDE SOBRINHO, C. Níveis de irrigação e produtividade de grãos secos de
 11 feijão caupi. In: XXII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO
 12 DO SOLO E DA ÁGUA, 1998, Fortaleza, **Resumos**, Fortaleza: SBCC/UFCE, 1998. p.
 13 83-84.
 14
 15 ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.
 16 Coeficientes de cultivo para melão associados a graus dias. In: CONGRESSO
 17 BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42, **Painel**, 2002.
 18
 19 ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C.O.;
 20 GOMES, A.A.N. **Classificação climática do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa
 21 Meio-Norte, 2004, 86 p. (Embrapa Meio-Norte).
 22
 23 BARRETO, A. N.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, A. A. G. da. Cálculo da necessidade
 24 hídrica do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET_o) e no
 25 coeficiente da cultura (kc) para Barreiras – BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE
 26 ALGODÃO, 4., 2003a. Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Embrapa Algodão. 2003a, CD-
 27 ROM.
 28
 29 BARRETO, A. N.; BORDINI, J. A. do A.; SOUSA, E. F. **Avaliação da demanda**
 30 **hídrica das culturas irrigadas: estudo de caso - algodão herbáceo, amendoim,**
 31 **girassol e coco**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2003b. (Embrapa Algodão.
 32 Circular Técnica, 73).
 33
 34 BARRETO, A. N.; BORDINI, J. A. do A.; LIRA, V. M. de . Estimativa da demanda de
 35 água do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET_o) e no coeficiente
 36 de cultura (kc) para Parnaíba, PI. In: XI CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO
 37 E DRENAGEM, 2005, Teresina. **Anais: XV CONIRD**, 2005. CD-ROM.
 38
 39 BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de.
 40 Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurgueia, Piauí.
 41 **Irriga**, Botucatu, v.13, n.2, p.182-190, abril-junho, 2008.
 42
 43 BEZERRA, J. R. C., FREIRE FILHO, F. R. Evapotranspiração da cultura do feijão
 44 macassar (*Vigna unguiculata* (L) Walp) no município de Teresina – Piauí. In:

- 1 SEMINÁRIO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PIAUÍ, 3, 1982, Teresina.
2 **Anais...** Teresina: EMBRAPA-UEPAE de Teresina, p. 304-324 1984.
3
- 4 DOORENBOS, J.; KASSAM, A. M. **Efeito da água no rendimento das culturas.**
5 **Campina Grande:** UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
6
- 7 DUARTE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; MASCHIO, R.;
8 SILVA, N. S. Coeficiente de cultivo do feijão-caupi, cv BRS guariba, em Teresina,
9 Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38. Juazeiro
10 (BA)/Petrolina (PE). 2009. **Anais...** Juazeiro: Associação Brasileira de Engenharia
11 Agrícola, 2009. 1 CD-ROM.
12
- 13 EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2ª Ed. Rio de Janeiro:
14 Embrapa Solos, 2006. 306p.
15
- 16 FERREIRA, V M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, C. R. da; MASCHIO, R.
17 Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos
18 solteiro e consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, n.1, p. 96-106,
19 abril. 2008.
20
- 21 NASCIMENTO, S. P. do. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para**
22 **identificação de genótipos com tolerância à seca.** 2009. 112p. Dissertação de
23 Mestrado. Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.
24
- 25 REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1987. 181 p.
26
- 27 ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodoeiro. In: FREIRE, E.
28 C. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no cerrado do Brasil.**
29 ABRAPA. Brasília. 2007. 918p.
30
- 31 THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Publications in
32 Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48

ANEXOS

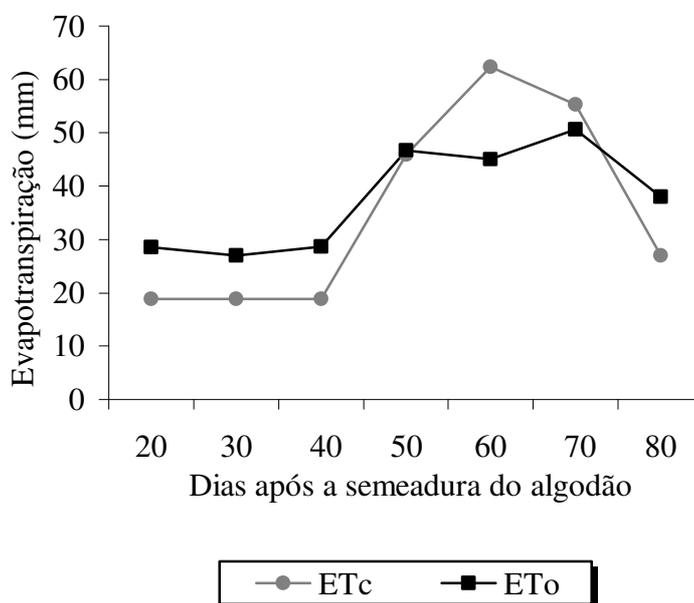


3

4 **FIGURA 1.** Valores decendiais de evapotranspiração do algodão herbáceo (ETc)

5 comparados com a evapotranspiração de referência (ETo). Teresina, PI, 2008.

6



7

8 **FIGURA 2.** Valores decendiais de evapotranspiração do consórcio algodão herbáceo e

9 feijão-caupi (ETc) comparados com a evapotranspiração de referência (ETo). Teresina,

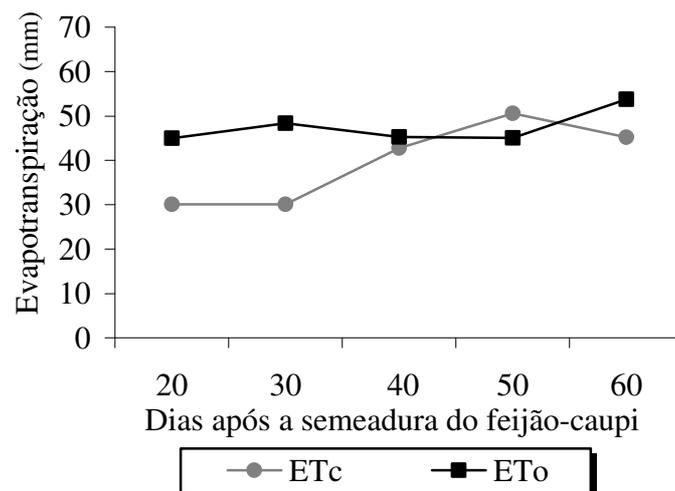
10 PI, 2008.



1 **FIGURA 3.** Algodão herbáceo em monocultivo e consorciado com feijão-caupi,
 2 respectivamente.

3

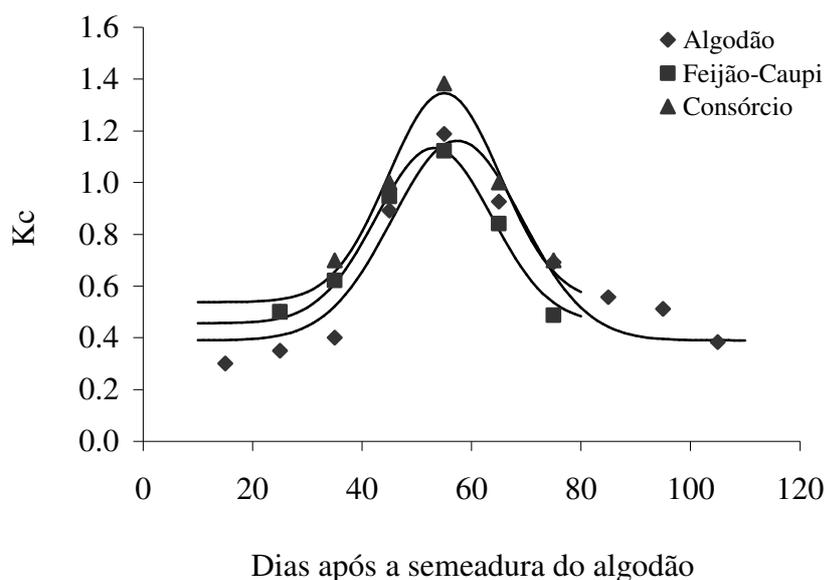
4



5

6 **FIGURA 4.** Valores decendiais de evapotranspiração do feijão-caupi (ETc)
 7 comparados com a evapotranspiração de referência (ETo). Teresina, PI, 2008.

8



1

2

3 **FIGURA 5.** Coeficientes de cultura do algodão herbáceo e do feijão-caupi em cultivo
4 solteiro e consorciado. Teresina, PI, 2008.

5

6 **TABELA 1** - Valores médios mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média
7 (Tmed) e mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de
8 altura (Vv), radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimada
9 pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao
10 período de agosto a novembro de 2008, Teresina, PI.

MÊS	Elemento Climático							
	Tmax (° C)	Tmed (° C)	Tmin (° C)	UR (%)	WS (m.s ⁻¹)	Rs (MJ/m ²)	ETo (mm.dia ⁻¹)	P (mm)
Agosto	35,19	27,38	20,38	64,25	0,86	19,22	4,39	0
Setembro	36,82	28,84	21,58	60,56	0,91	19,86	4,65	0
Outubro	37,94	30,22	22,99	53,34	1,06	18,39	4,56	0
Novembro	37,50	30,36	23,21	55,88	1,07	17,90	4,41	0
Ano	36,86	29,20	22,04	58,51	0,98	18,84	4,50	0

11 Fonte: Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte.

12

1 **TABELA 2** - Características químicas do solo da área experimental. Teresina, PI, 2008.

Prof (m)	Resultados											
	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H + Al	S	CTC	V
	g/kg	H ₂ O	mg/dm ³	----- cmolc/dm ³ -----								%
0,0-0,2	2,90	5,81	18,40	0,22	1,56	0,74	0,04	0,00	2,31	2,56	4,87	52,57
0,2-0,4	3,97	4,86	2,60	0,08	0,89	0,49	0,03	0,54	4,11	1,49	5,60	26,61

2 Fonte: Laboratório de Solos, Embrapa Meio-Norte, Parnaíba - PI, 2008.

3

4 **TABELA 3.** Equações de regressão para os coeficientes de cultura (Kc) do algodão

5 herbáceo e feijão-caupi em cultivo solteiro e consorciado, Teresina, PI, 2008.

Culturas	Equações	R ²	Kc máx	DAS
Algodão	$Kc = 0,390 + 0,773\exp(-0,5((x-57,373)/11,890)^2)$	0,91	1,16	57
Feijão-caupi	$Kc = 0,456 + 0,678\exp(-0,5((x-43,179)/10,558)^2)$	0,98	1,13	53
Algodão - Feijão-caupi	$Kc = 0,537 + 0,809\exp(-0,5((x-45,026)/10,200)^2)$	0,97	1,34	55

6

7

8 **TABELA 4.** Valores de Kc's médios calculados para o algodão herbáceo e sugeridos

9 pela FAO (DOORENBOS & KASSAM, 1994) e para o feijão-caupi em sistemas de

10 cultivo solteiro e consorciado, Teresina, PI, 2008.

Estádios fenológicos	Algodão herbáceo	Algodão herbáceo FAO (1994)	Consórcio	Feijão-caupi
Inicial	0,39	0,45	0,53	0,45
Crescimento	0,39 a 0,65	0,45 a 0,75	0,53 a 0,81	0,45 a 0,76
Reprodutivo	0,65 a 1,16	0,75 a 1,15	0,81 a 1,34	0,76 a 1,13
Final	1,16 a 0,38	1,15 a 0,85	1,34 a 0,57	1,13 a 0,48

CAPÍTULO 2

ÍNDICE DE SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA DO ALGODÃO HERBÁCEO E FEIJÃO-CAUPI EM CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADO*

* *Manuscrito a ser enviado à Revista Ciência Rural*

1 **Índice de satisfação das necessidades de água do algodão herbáceo e feijão-caupi em**
2 **cultivo solteiro e consorciado**

3
4 **Water requirements satisfaction index to the cotton and cowpea in mono and**
5 **intercropping systems**

6
7 **Simone Raquel Mendes de Oliveira^{*}, Aderson Soares de Andrade Júnior^{II}, Valdenir**
8 **Queiroz Ribeiro^{III}, Rafael Maschio^{IV}**

9 **RESUMO**

10
11 O ISNA (Índice de Satisfação das Necessidades de Água) indica a quantidade de
12 água que a planta consome, em relação à quantidade máxima de água que a planta
13 consumiria, na ausência de restrição hídrica. O presente trabalho teve por objetivo determinar
14 o ISNA para o algodão herbáceo e o feijão-caupi, em sistemas monocultivo e consorciado,
15 sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, de forma a subsidiar os modelos de
16 estimativa de riscos climáticos. O experimento foi conduzido no campo experimental da
17 Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, durante o período de agosto a novembro de 2008.
18 Para a imposição dos diferentes níveis de estresse hídrico no solo, foi utilizado um sistema de
19 irrigação por aspersão convencional. Houve redução dos valores do ISNA e dos rendimentos
20 do algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi, em cultivo solteiro e consorciado, à medida
21 que aumentaram os níveis de deficiência hídrica no solo. Com a imposição de menores níveis
22 de água no solo, os valores do ISNA para o cultivo solteiro foram 0,381, para o feijão-caupi,

^{*}Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, CEP: 64.049-550. Teresina, PI e-mail: simoneraquel@cpamn.embrapa.br. Autora para correspondência.

^{II}Pesquisador, Embrapa Meio Norte, CEP: 64006-220, Teresina-PI. e-mail: aderson@cpamn.embrapa.br.

^{III}Pesquisador, Embrapa Meio Norte, CEP: 64006-220, Teresina-PI. e-mail: valdenir@cpamn.embrapa.br

^{IV}Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, CEP: 64.049-550. Teresina, PI e-mail: rafael.maschio@cpamn.embrapa.br

1 e 0,579, para o algodão herbáceo. No cultivo consorciado, o ISNA foi 0,656, indicando maior
2 exigência hídrica sob esta condição.

3 **Palavras-chave:** ISNA, déficit hídrico, zoneamento de riscos climáticos.

4
5

6 **ABSTRACT**

7

8 The WRSI (water requirement satisfaction index) indicates the ratio of plant
9 consumptive use under water deficit to the consumptive amount under optimum water
10 supply. The present work aimed to determine WRSI for cotton and cowpea, in mono and
11 intercropping systems, under different levels of water availability in soil, to base studies of
12 climatic risk using models. The experiment was carried out in the Embrapa Middle-North
13 experimental area, in Teresina County, Piauí State, during the period from August to
14 November, 2008. For the imposition of the different water stress levels in the soil, a sprinkler
15 irrigation conventional system was used. There was reduction of the WRSI values to the
16 cotton and cowpea grain yield, in mono and intercropping systems, while increasing water
17 stress levels in the soil. Under low soil water deficit in the mono cropping system, WRSI
18 values were 0.381 for cowpea and 0.579 for cotton. For the intercropping system WRSI was
19 0.656, indicating higher water requirement than monocropping system.

20 **Key words:** WRSI, water deficit, climatic risk zoning.

21

22

23 **INTRODUÇÃO**

24

25 O zoneamento agrícola de riscos climáticos é a identificação de áreas com condições
26 climáticas que permitem às culturas melhor aproveitamento das suas potencialidades

1 genéticas, apresentando ganhos de produtividade aliado às reduções de perdas (BIUDES,
2 2005).

3 O aperfeiçoamento de estudos agroclimáticos, como o zoneamento agrícola de riscos
4 climáticos, que visam à diminuição de riscos para produção de grãos e de outros produtos
5 agrícolas, estão ocorrendo em várias regiões do Brasil através de pesquisas para a definição de
6 índices agrometeorológicos, objetivando minimizar os efeitos dos principais eventos sinistros
7 sobre as culturas (ANDRADE JÚNIOR et al. 2001; 2001a; 2006; FERREIRA & ANDRADE
8 JÚNIOR, 2008).

9 Um dos índices agrometeorológicos utilizados no zoneamento agrícola de riscos
10 climáticos é o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA), que relaciona a
11 quantidade de água consumida pela planta, em condições naturais de disponibilidade hídrica
12 (evapotranspiração real - ETr), com o consumo de água sem restrição hídrica no solo
13 (evapotranspiração máxima da cultura – ETc). Estudos de zoneamento de riscos climáticos
14 para as culturas do algodão herbáceo (SILVA, 2005; ANDRADE JÚNIOR, et al., 2006) e
15 feijão-caupi (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001a; FERREIRA et al., 2008) já foram feitos no
16 estado do Piauí. Porém, trabalhos sobre zoneamento de riscos climáticos em culturas
17 consorciadas ainda são raros na literatura.

18 Diante do exposto, objetivou-se, com esta pesquisa, determinar o ISNA para o
19 algodão herbáceo e o feijão-caupi, em sistemas monocultivo e consorciado, sob diferentes
20 níveis de disponibilidade de água no solo, de forma a subsidiar modelos de estimativa de
21 riscos climáticos para as duas culturas no estado do Piauí.

22

23

24

25

1 MATERIAL E MÉTODOS

2

3 **Localização e características da área experimental**

4 O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Meio-Norte,
5 município de Teresina, PI (05°05'S; 42°48'W e 74,4 m), durante o período de agosto a
6 novembro de 2008.

7 O clima local, segundo THORNTHWAITE E MATHER (1955), é sub-úmido seco
8 (C1) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004). As médias de temperatura máxima, média e mínima
9 do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global, evapotranspiração
10 de referência e precipitação pluviométrica, obtidas a partir de estação agrometeorológica
11 automática instalada a aproximadamente 500 m da área experimental, durante o período de
12 execução do experimento, são apresentadas na Tabela 1. O solo da área experimental é um
13 Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2006). As
14 análises químicas e físico-hídricas foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa
15 Meio-Norte, em Parnaíba, PI. As análises químicas realizadas em abril de 2008 apresentaram,
16 na profundidade de 0-20cm: pH em água = 5,81; P = 18,40mg.dm⁻³; K⁺ = 0,22cmol_c.dm⁻³;
17 Ca²⁺ = 1,56cmol_c.dm⁻³; Mg²⁺ = 0,74cmol_c.dm⁻³; Na⁺ = 0,04cmol_c.dm⁻³; Al³⁺ = 0,0cmol_c.dm⁻³;
18 H⁺ + Al³⁺ = 2,31cmol_c.dm⁻³; CTC = 4,87cmol_c.dm⁻³ e V = 52,57%. As análises físico-hídricas
19 do solo, para a mesma profundidade, apresentaram: areia grossa = 296,2g/kg; areia fina =
20 437,0g/kg; silte = 105,7g/kg; argila = 161,1g/kg; densidade do solo = 1,70Mg/m³; CC =
21 22,03% (definida a – 10 kPa) e PMP = 9,86%.

22 **Preparo do solo, semeadura e práticas culturais**

23 As cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba) e algodão herbáceo (BRS Camaçari),
24 em monocultivo e consorciadas, foram dispostas em um bloco experimental com 12 metros
25 de largura por 20 metros de comprimento. O arranjo espacial utilizado no sistema

1 consorciado correspondeu a uma relação fixa de 1:1 (uma fileira de algodão herbáceo para
2 uma de feijão-caupi).

3 O preparo do solo consistiu de duas arações e uma gradagem niveladora cruzada. A
4 semeadura do algodão herbáceo foi realizada, manualmente, no dia 07/08/2008, em um
5 espaçamento de 1,20 x 0,20m, nos dois sistemas de cultivo (solteiro e consorciado). O feijão-
6 caupi foi semeado com o uso de matracas, em 21/08/2008, ou seja, 13 dias após a semeadura
7 (DAS) do algodão herbáceo para que houvesse coincidência das fases críticas das duas
8 culturas, em um espaçamento de 0,60 x 0,20m, em cultivo solteiro, e de 1,20 x 0,20m, em
9 cultivo consorciado. As colheitas do feijão-caupi e algodão herbáceo foram realizadas em
10 24/10/2008 (64 dias após a semeadura) e 28/11/2008 (113 dias após a semeadura),
11 respectivamente. Na adubação de fundação do algodoeiro herbáceo, foram aplicados
12 30kg.ha⁻¹ de N (uréia), 50kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 40kg.ha⁻¹ de K₂O (cloreto
13 de potássio) e na adubação de cobertura, realizadas em duas etapas, aos 35 e 55 dias após o
14 plantio do algodoeiro, foram aplicados 50kg.ha⁻¹ de nitrogênio (uréia) e 30kg.ha⁻¹ de potássio
15 (cloreto de potássio), em ambas. Não foi realizada adubação no feijão-caupi. O controle de
16 plantas daninhas foi realizado através de capinas manuais sempre que necessário.

17 **Manejo da irrigação**

18 As irrigações foram efetuadas por um sistema de aspersão convencional fixo,
19 instalado em um espaçamento de 12m x 12m e operando sempre duas a duas, de modo a
20 permitir a aplicação das lâminas de irrigação em faixas distintas. Cada linha lateral possuía
21 seis aspersores, com combinação de bocais de 4,4mm x 3,2mm, raio de alcance de 12m,
22 vazão de 1,45m³/h e pressão de serviço de 2,5kgf/cm². O bloco experimental era coberto por
23 quatro aspersores, dois em cada linha lateral.

24 O manejo das irrigações foi realizado pelo método do balanço de água no solo e foi
25 dividido em três etapas: i) da semeadura aos 25 dias após a semeadura (DAS) do feijão-caupi

1 e até os 39 DAS do algodão herbáceo, foram aplicadas lâminas uniformes de irrigação,
2 repondo-se a ETo acumulada no período anterior, não provocando com isso estresse hídrico
3 às plantas e garantindo a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas; ii) dos 25 DAS
4 aos 56 DAS do feijão-caupi e dos 39 aos 70 DAS do algodão herbáceo, foram aplicadas
5 lâminas diferenciadas de irrigação (125% ETo, 100% ETo, 75% ETo, 50% ETo), às
6 segundas e quintas-feiras, repondo-se a ETo acumulada no período anterior; iii) a partir dos
7 70 DAS aos 95 DAS do algodão herbáceo, quando da abertura dos primeiros capulhos e dos
8 56 DAS aos 64 DAS do feijão-caupi, foram aplicadas novamente lâminas uniformes de
9 irrigação, repondo-se a ETo acumulada, não provocando estresse hídrico às plantas.

10 Durante a condução do experimento, foram determinados os valores médios das
11 lâminas de irrigação utilizando-se nove coletores instalados em cada parcela da faixa,
12 perfazendo um total de 27 por faixa e distribuídos em três linhas centrais paralelas aos
13 aspersores. O conteúdo após cada irrigação foi medido através de uma proveta graduada em
14 milímetros. O tempo das irrigações foi calculado com o auxílio de uma planilha eletrônica
15 em Excel, onde eram registrados os valores diários da precipitação pluviométrica e
16 evapotranspiração de referência (ETo), obtidos na estação agrometeorológica automática da
17 Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

18 **Monitoramento do conteúdo de água do solo**

19 Para o monitoramento do conteúdo de água do solo, foram instalados, aos 20 dias
20 após a semeadura do algodão herbáceo, 36 tubos de acesso de PVC, com 1,5m de
21 comprimento, sendo nove em cada faixa, com os três sistemas de cultivo, e três em cada
22 sistema de cultivo dispostos em linhas paralelas ao sistema de irrigação convencional e
23 distantes 2,0m entre si, situando-se entre as fileiras centrais da parcela experimental dos
24 cultivos solteiro e consorciado.

1 Os tubos de acesso foram instalados para a introdução de uma sonda de capacitância
 2 (FDR) modelo Diviner 2000[®]. As leituras de frequência relativa (FR) foram realizadas
 3 diariamente, sempre antes e aproximadamente 24 horas após as irrigações, inclusive aos
 4 sábados e domingos. O conteúdo médio de água no solo, em cada camada, foi calculado pela
 5 média dos valores de umidade medidos nos três tubos de acesso. As profundidades das
 6 leituras foram de 10, 20, 30, 40, 50cm, com base na concentração de 80% do sistema
 7 radicular do feijão-caupi e algodão herbáceo (ANDRADE JÚNIOR et al., 1998).

8 **Índice de satisfação das necessidades de água do algodão herbáceo e feijão-caupi (ISNA)**

9 Para o cálculo da evapotranspiração real (ETr) do algodão herbáceo e feijão-caupi,
 10 em sistema de cultivo solteiro e consorciado, utilizou-se o método do balanço de água no
 11 solo. Definida a ETr das culturas, nas diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo,
 12 estimou-se o ISNA, nos sistemas de cultivo solteiros e consorciados.

13 O ISNA foi definido pela relação entre a ETr obtida em cada lâmina de irrigação e a
 14 ETr da lâmina onde se fez a reposição de 100% da ETo acumulada no período, admitida
 15 como sendo a ETc. Os ISNA's diários, durante o período de aplicação dos níveis de estresse
 16 hídrico, foram obtidos pelas das equações (1) e (2).

$$17 \quad ISNA_{(ij)} = \left(\frac{ETr_{ij}}{ETc_{ij}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$18 \quad ETr_{ij} = \sum_{z=10}^{50} \theta_{(ij)} - \sum_{z=10}^{50} \theta_{(i+1)j} \dots \dots \dots (2)$$

19 Em que:

20 ISNA_(ij) – Índice de satisfação das necessidades de água da cultura, no dia i, lâmina j;

21 ETr_{ij} – Evapotranspiração real da cultura, no dia i, lâmina j (mm);

22 ETc_{ij} – Evapotranspiração da cultura, no dia i, lâmina j (mm);

23 $\theta_{(ij)}$ – Conteúdo de água no solo (% em volume), no dia i, lâmina j;

1 $\theta_{(i+1)j}$ – Conteúdo de água no solo (% em volume) no dia seguinte (i+1), lâmina j.

2 Z – profundidade do solo na zona de raízes, para a cultura do algodão e feijão – caupi
3 (50cm).

4 No cálculo do balanço hídrico, admitiu-se o escoamento superficial como nulo. Os
5 fluxos ascendentes e descendentes no solo não foram admitidos, uma vez que não houve
6 variação nos valores diários de umidade do solo abaixo da camada controle do solo (50cm).

7 **Produção Equivalente**

8 Utilizou-se o índice de produção equivalente como medida de eficiência técnica e
9 econômica. A produção equivalente (Y_e) foi considerada com base em uma avaliação
10 econômica, utilizando a relação de preços entre as culturas. Optou-se pela produção
11 equivalente do algodão herbáceo, calculada pela equação (3), descrita por Ramalho et al.
12 (1983).

$$13 \quad Y_e = Y_a + rY_f \dots\dots\dots(3)$$

14 Onde:

15 Y_e – Produção equivalente em algodão, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;

16 Y_a – Produção de algodão em caroço no cultivo consorciado, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;

17 Y_f – Produção de grãos de feijão-caupi no cultivo consorciado, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;

18 r – Relação entre os preços mínimos do algodão e do feijão-caupi.

19 Para a estimativa do $r = 0,628$, usou-se a média dos preços mínimos do feijão-caupi
20 e do algodão herbáceo praticados no período de 2001 a 2009 (CONAB, 2007), segundo
21 equação (4):

$$22 \quad r = P_a / P_f \dots\dots\dots(4)$$

23 Em que:

24 P_a – Média do preço mínimo do algodão herbáceo, em R\$;

25 P_f – Média do preço mínimo do feijão-caupi, em R\$.

26

1 **Tratamentos e delineamento experimental**

2 Os diferentes níveis de disponibilidade de água no solo (% , em volume) foram
3 proporcionados pela aplicação de quatro lâminas de irrigação (L4=125% ETo, L3=100%
4 ETo, L2=75% ETo e L1=50% ETo) obtidos com base na reposição de evapotranspiração
5 local, aplicados no período crítico de cada cultura. O delineamento experimental utilizado foi
6 em blocos casualizados, com quatro repetições e as lâminas de irrigação arranjadas em
7 faixas.

8

9 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

10

11 Os maiores rendimentos de algodão em caroço ($3.337,0\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e de grãos secos de
12 feijão-caupi ($1.606,9\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), em cultivo solteiro, foram alcançados com a aplicação das
13 lâminas de irrigação L4 (474,7mm) e L3 (307,3mm), respectivamente. O monitoramento de
14 água no solo mostrou que estas lâminas de irrigação proporcionaram níveis adequados de
15 umidade do solo, 22,70% e 20,30%, respectivamente, sempre próximas à capacidade de
16 campo, condição essencial para assumirem os valores de ETr medidos nessa faixa como ETc,
17 o que permitiu o alcance de níveis de produção adequados para as duas culturas (Tabela 2).

18 No caso do feijão-caupi, a melhor resposta produtiva não foi obtida com a aplicação
19 da maior lâmina de irrigação, demonstrando que, em termos produtivos, a cultura foi mais
20 eficiente na utilização da água. A aplicação da lâmina de irrigação de 474,7mm, para o
21 algodão herbáceo, e de 307,3mm, para o feijão-caupi, proporcionou a obtenção de valores de
22 ISNA de 0,780, para o algodoeiro, e de 1,000, para o feijão-caupi. Isso significa que, em
23 cultivo solteiro, a maior produtividade de grãos do feijão-caupi foi obtida com uma taxa de
24 ETr de 100% em relação à ETc; enquanto para o algodão herbáceo, a taxa de ETr que
25 proporcionou a maior produtividade foi 78% em relação à ETc. A menor produtividade de

1 algodão em caroço, em cultivo solteiro, de $1.910,9\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, foi obtida com o menor valor de
2 ISNA (0,579), a qual ainda foi bastante superior às produtividades obtidas, nas safras de
3 1996/97 a 2004/05, cujas produtividades médias não ultrapassaram $840\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no Estado do
4 Piauí (CONAB, 2007). Esse comportamento indica que as áreas de cultivo de algodão no
5 Piauí estão submetidas a elevados níveis de estresse hídrico no solo, provavelmente, devido a
6 não adoção dos períodos de semeadura considerados como de baixo risco climático
7 recomendados para o Estado (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006).

8 Esse resultado indica que, para o algodão herbáceo, o $\text{ISNA} \geq 0,579$ é um pouco
9 mais restritivo para a indicação dos períodos favoráveis para a semeadura do algodoeiro
10 (áreas de baixo risco climático), superando o valor estimado por ANDRADE JÚNIOR et al.
11 (2006), que para estimar os riscos climáticos, por deficiência hídrica na cultura do algodão
12 herbáceo, em cultivo solteiro, utilizaram valor de $\text{ISNA} \geq 0,55$, para a indicação dos períodos
13 favoráveis para a semeadura (áreas de baixo risco climático).

14 Em cultivo solteiro, a menor produtividade de grãos de feijão-caupi ($1.046,5\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
15 foi obtida com um ISNA de 0,381 (Tabela 2). Como essa produtividade é bastante superior à
16 média das safras de 1996/97 a 2006/07, para o feijão-caupi, no Piauí ($252\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (CONAB,
17 2007), constata-se que há necessidade de ajustes no valor do ISNA de corte, para a indicação
18 de áreas com baixo risco climático ao feijão-caupi no Piauí, atualmente, praticados pelo
19 MAPA (2009) ($\geq 0,50$). Essa diferença de produção indica também que outros fatores do
20 sistema produtivo estão influenciando o desempenho da cultura, que não somente a
21 disponibilidade hídrica no solo, nas épocas de semeadura recomendadas como de baixo risco
22 no Piauí.

23 ANDRADE JÚNIOR et al. (2001a), para a cultura do feijão-caupi em cultivo
24 solteiro, utilizaram um modelo de balanço hídrico diário para estimar os riscos climáticos,
25 adotando valor de $\text{ISNA} \geq 0,60$, bastante restritivo para a indicação das áreas com baixo risco

1 climático (período favorável para semeadura). O alcance de níveis de produtividade bastante
2 superiores com a adoção de valores de ISNA mais reduzidos obtidos no estudo, indica a
3 possibilidade da ampliação das áreas de baixo risco para o cultivo de feijão-caupi no Piauí,
4 desde que os demais fatores de produção da cultura sejam otimizados, tais como a adoção de
5 cultivares mais produtivas e adaptadas aos diferentes ambientes de produção, manejo
6 adequado do solo (correção do solo e adubação) e tratos fitossanitários.

7 Em cultivo consorciado, como esperado, as produtividades médias de algodão em
8 caroço e de grãos secos de feijão-caupi (Tabela 3), foram inferiores aos obtidos em cultivo
9 solteiro (Tabela 2), conforme constatado também por NÓBREGA et al. (1983) e FERREIRA
10 & ANDRADE JÚNIOR (2008), no consórcio milho e feijão-caupi.

11 Quando submetido a elevado nível de disponibilidade de água no solo (22,68%)
12 (Tabela 3), percebe-se que o valor de ISNA do consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi foi
13 inferior ao ISNA do feijão-caupi em cultivo solteiro (Tabela 2), indicando menor demanda
14 evapotranspirativa do consórcio em virtude do intenso sombreamento proporcionado pela
15 estrutura do dossel do algodão herbáceo. Alia-se a esta explicação a hipótese da existência de
16 um microclima originado da consorciação que manteve a temperatura do ar e a umidade do
17 solo em níveis adequados à cultura. Porém, quando se compara com o valor de ISNA do
18 algodão herbáceo, em cultivo solteiro, o ISNA do consórcio apresenta-se superior o que pode
19 estar associado a maior demanda evapotranspirativa pelo aumento da área foliar e pelo fato
20 das conseqüências do intenso sombreamento serem menores no algodão herbáceo quando
21 comparadas com o feijão-caupi. Salienta-se que a produtividade de grãos do feijão-caupi em
22 consórcio foi significativamente inferior ao cultivo solteiro, reflexo da menor disponibilidade
23 de nutrientes e radiação solar, notadamente, para o feijão-caupi provocada pelo intenso
24 sombreamento proporcionado pelo dossel do algodoeiro.

1 No geral, houve redução dos valores de ISNA, nos cultivos solteiro e consorciado, à
2 medida que a disponibilidade de água no solo decresceu nas parcelas. O mesmo
3 comportamento foi observado por FERREIRA & ANDRADE JÚNIOR (2008) ao
4 determinarem o consumo relativo de água pelo milho e feijão-caupi, em sistemas de cultivo
5 solteiro e consorciado. Nas mesmas condições edafoclimáticas deste estudo, os autores
6 obtiveram para o feijão-caupi, em cultivo solteiro, $0,252 \leq \text{ISNA} \leq 0,614$. ANDRADE
7 JÚNIOR et al. (2001), visando subsidiar modelos de estimativa de risco climático,
8 determinaram o ISNA para o consórcio mamona e feijão-caupi, sob condição de estresse
9 hídrico, e constataram que o feijão-caupi apresentou $0,156 \leq \text{ISNA} \leq 0,660$. Em cultivo
10 consorciado, os valores do ISNA foram superiores aos obtidos para os cultivos solteiros
11 ($0,437 \leq \text{ISNA} \leq 0,728$) em todas as lâminas de irrigação avaliadas. Os autores concluíram
12 que houve tendência de redução dos valores do ISNA e de rendimentos de grãos de feijão-
13 caupi e de bagas de mamona, em cultivos solteiro e consorciado, à medida que aumentaram os
14 níveis de deficiência hídrica no solo. No consórcio, houve maior demanda evapotranspirativa
15 em relação ao cultivo solteiro.

16 Em termos de produção equivalente de algodão em caroço (Tabela 3), para baixa
17 disponibilidade hídrica no solo, proporcionada pela aplicação da lâmina L1, o consórcio
18 mostrou-se mais vantajoso que a cultura em monocultivo (Tabela 2). Para $\text{ISNA} \leq 0,656$, a
19 produção equivalente apresentou valor de $2.185,1\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 3) superior aos
20 $1.910,9\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 2) obtido em cultivo solteiro, para a mesma disponibilidade hídrica no
21 solo. Esse comportamento é muito importante, pois sinaliza a possibilidade de emprego do
22 cultivo consorciado em áreas com baixa disponibilidade hídrica no solo. Porém, há
23 necessidade de estudos de viabilidade econômica do consórcio, para definição do ISNA de
24 corte, já que ocorre uma redução na produtividade de ambas as culturas nessa condição.

25

1 CONCLUSÕES

2

3 1. Houve redução dos valores de ISNA's e de rendimentos do algodão em caroço
4 e de grãos de feijão-caupi, em cultivo solteiro e consorciado, à medida que aumentaram os
5 níveis de deficiência hídrica no solo;

6 2. No cultivo solteiro, com a manutenção adequada dos níveis de conteúdo de
7 água no solo, obtiveram-se valores do ISNA iguais a 0,977, para o feijão-caupi, e 0,780 para o
8 algodão herbáceo;

9 3. Com a imposição de menores níveis de água no solo, os valores do ISNA para o
10 cultivo solteiro, foram 0,381, para o feijão-caupi, e 0,579, para o algodão herbáceo. No
11 cultivo consorciado, o ISNA foi 0,656, indicando maior exigência hídrica sob esta condição;

12 4. O cultivo consorciado é mais vantajoso sob condições de baixa disponibilidade
13 hídrica no solo, permitindo a possibilidade de indicação de cultivo para um maior número de
14 municípios no zoneamento de risco climático.

15

16 REFERÊNCIAS

17

18 ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; RODRIGUES, B. H. N.;

19 ATHAYDE SOBRINHO, C. Níveis de irrigação e produtividade de grãos secos de feijão

20 caupi. In: XXII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E

21 DA ÁGUA, 1998, Fortaleza, **Resumos Expandidos**, Fortaleza: SBCC/UFCE, 1998. p. 83-

22 84.

23 ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MELO, F. de B.; MASCHIO, R.; RIBEIRO, V. Q.; MORAIS,

24 E. L. da C. **Coefficientes de cultivo da mamoneira em sistema monocultivo e consorciado**

25 **com feijão-caupi**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3. 2001.

- 1 Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/cbm3/trabalhos/I>
2 [RRIGACAO/IS%](http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/cbm3/trabalhos/I)>. Acesso em: 03 junho 2009
- 3 ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; BARROS, A.H.C.; SILVA, C.O.; GOMES,
4 A.A.N. **Classificação climática do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004,
5 86 p. (Embrapa Meio-Norte).
- 6 ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MELO, F. de B.; BASTOS, E. A. Zoneamento de risco climático
7 para o feijão caupi no Piauí. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5.,
8 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão-caupi: **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-
9 Norte, 2001a., p.3-7 (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).
- 10 ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, F. A. de M.; RIBEIRO, J. L.; LIMA, M. G. de;
11 AMARAL, J. A. B. do. **Zoneamento de risco climático para a cultura do algodão**
12 **herbáceo no estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio –Norte. 2006. 45p.
13 (Documentos/Embrapa Meio–Norte).
- 14 BIUDES, F. **Tecnologias de informação e novos usos do território brasileiro: uma**
15 **análise a partir do zoneamento agrícola de riscos climáticos para a soja**. 2005. 174p.
16 Dissertação de Mestrado. Campinas, SP. UNICAMP.
- 17 CONAB. **Preços Mínimos em Vigor**. Brasília, 2007. Disponível em: [http://www.](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/precos_minimos/emvigor)
18 [conab.gov.br/conabweb/download/precos_minimos/emvigor](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/precos_minimos/emvigor). Acesso em: 10 de fevereiro de
19 2009.
- 20 CONAB. **Série Histórica**. Brasília, 2007. Disponível em:
21 <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>. Acesso em: 10 de fevereiro de
22 2009.
- 23 FERREIRA, V M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, C. R. da; MASCHIO, R.
24 Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos solteiro e
25 consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, n.1, p. 96-106, abril. 2008.

- 1 MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria N° 143 de 11 de**
2 **julho de 2009.** Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-](http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=18922)
3 [consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=18922](http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=18922)>. Acesso em: 14 de abril de
4 2009.
- 5 NÓBREGA, L.B.; BELTRÃO, N.E.M.; AZEVEDO, D.M.P. Avaliação agro-econômica de
6 sistemas de consórcio com as culturas algodão herbáceo e feijões *Phaseolus* e *Vigna*. In: I
7 REUNIÃO SOBRE CULTURAS CONSORCIDAS NO NORDESTE TERESINA, PI, v. II,
8 1983, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA/UEPAE, 1983.
- 9 RAMALHO, M.A.P.; OLIVEIRA, A.C.; CARGIA, J.C. **Recomendações para o**
10 **planejamento e análise de experimento com as culturas do milho e feijão consorciados.**
11 Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 1983.24 p.(documento, 2)
- 12 SILVA, F. A de M. **Zoneamento de aptidão e de risco climático para o algodoeiro**
13 **herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) no Estado do Piauí.** 2005. 89f. Dissertação de
14 Mestrado. Teresina, PI. Universidade Federal do Piauí
- 15 THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Publications in Climatology.
16 New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.
- 17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

ANEXOS

1
2
3
4
5
6
7
8

Tabela 1 - Valores médios mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (WS), radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de agosto a novembro 2008.

Mês	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin (°C)	UR (%)	WS (m s ⁻¹)	Rs (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	ETo (mm dia ⁻¹)	P (mm)
Agosto	35,2	27,4	20,4	64,2	0,9	19,2	4,4	0,00
Setembro	36,8	28,8	21,6	60,6	0,9	19,9	4,6	0,00
Outubro	37,9	30,2	23,0	53,3	1,1	18,4	4,6	0,00
Novembro	37,5	30,3	23,2	55,9	1,1	17,9	4,4	0,00
Ano	36,9	29,2	22,0	58,5	1,0	18,8	4,5	0,00

9 Fonte: Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte.

10
11
12
13

Tabela 2 - Rendimento médio de algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi, em cultivo solteiro, em função dos valores do ISNA definidos para as lâminas de irrigação aplicadas. Teresina, PI, 2008.

LT (mm)		LD (mm)	Da (%)		ISNA'S		PROD. (kg.ha ⁻¹)	
FC	A		FC	A	FC	A	FC	A
L4 - 376,8	474,7	254,8	24,37	22,70	0,977	0,780	1.323,4	3.337,0
L3 - 307,3	405,2	185,3	20,30	19,64	1,000	1,000	1.606,9	3.273,5
L2 - 262,3	360,2	140,2	15,27	15,94	0,701	0,763	1.122,0	3.245,5
L1 - 217,3	315,2	95,2	12,22	13,12	0,381	0,579	1.046,5	1.910,9
*****	*****	*****	*****		0,765	0,780	1.274,7	2.941,8

14 FC – feijão-caupi; A – algodão herbáceo; LT – lâmina total de irrigação; LD – lâmina
15 diferenciada de irrigação; Da – disponibilidade de água no solo; PROD. – produtividades de
16 algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi.

17
18

1 Tabela 3 - Rendimento médio de algodão em caroço e de grãos de feijão-caupi, em cultivo
 2 consorciado, em função dos valores do ISNA definidos para as lâminas de irrigação
 3 aplicadas. Teresina, PI, 2008.

LT (mm)		LD	Da (%)	ISNA	PROD. (kg.ha ⁻¹)		
FC	A	(mm)	C	C	FC	A	EQ (A)
L4 - 376,8	474,7	254,8	22,68	0,861	620,2	2.509,6	2.899,1
L3 - 307,3	405,2	185,3	19,89	1,000	364,5	2.438,2	2.667,1
L2 - 262,3	360,2	140,2	16,24	0,715	396,0	2.216,7	2.465,4
L1 - 217,3	315,2	95,2	12,87	0,656	292,8	2.001,3	2.185,1
*****		*****	*****	0,808	418,4	2.291,4	2.554,2

4 FC – feijão-caupi; A – algodão herbáceo; C – consórcio; LT – lâmina total de irrigação; Da –
 5 disponibilidade de água no solo; LD – lâmina diferenciada de irrigação; ISNA_C – ISNA
 6 consórcio; PROD. - produtividades de grãos de feijão-caupi e algodão em caroço; EQ (A) –
 7 produção equivalente de algodão em caroço.

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

CAPÍTULO 3

PRODUTIVIDADE DO ALGODÃO EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO COM FEIJÃO-CAUPI, EM RESPOSTA À DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SOLO*

* *Manuscrito a ser enviado à Revista Ciência Agronômica*

1 **Produtividade do algodão em monocultivo e consorciado com feijão-caupi, em resposta**
2 **à disponibilidade hídrica no solo¹**

3 Cotton yield in mono and intercropping systems with cowpea, in response on soil water
4 availability levels

5 **Simone Raquel Mendes de Oliveira^{2*}, Aderson Soares de Andrade Júnior³ e Valdenir**
6 **Queiroz Ribeiro⁴**

7 **Resumo** - A disponibilidade hídrica no solo afeta diretamente a distribuição e a atividade do
8 sistema radicular das plantas, influenciando com isso a produtividade das culturas.
9 Objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e as medidas de eficiência técnica e econômica
10 do algodão herbáceo, em sistemas monocultivo e consorciado com o feijão-caupi, em
11 resposta aos níveis de umidade no solo. O experimento foi conduzido no campo experimental
12 da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, durante o período de agosto a novembro de 2008. Os
13 níveis diferenciados de umidade no solo foram impostos com a aplicação de diferentes
14 lâminas de irrigação por meio de um sistema de aspersão convencional, calculadas com base
15 na evapotranspiração de referência (ET_o) local. O delineamento experimental utilizado foi de
16 blocos casualizados, com quatro repetições, com as lâminas de irrigação dispostas em faixas.
17 Em monocultivo, o acréscimo na umidade no solo proporcionou incremento no rendimento
18 de algodão em caroço até alcançar seu valor máximo de 3.510,03kg.ha⁻¹ com o nível máximo
19 de umidade no solo de 19,88%. A produção equivalente de algodão em caroço, em cultivo
20 consorciado (2.185,14kg.ha⁻¹), superou a produção em cultivo solteiro (1.910,94kg.ha⁻¹),
21 apenas sob o menor nível de umidade no solo (12,87%), demonstrando que o consórcio

*Autora para correspondência. Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentada à UFPI, Teresina-PI.

²Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, CEP: 64.049-550, Teresina, PI e-mail: simoneraquel@cpamn.embrapa.br.

³Pesquisador, Embrapa Meio Norte, CEP: 64006-220, Teresina-PI. e-mail: aderson@cpamn.embrapa.br.

⁴Pesquisador, Embrapa Meio Norte, CEP: 64006-220, Teresina-PI. e-mail:valdenir@cpamn.embrapa.br

1 algodão herbáceo e feijão-caupi mostrou-se mais vantajoso que o cultivo solteiro apenas
2 quando os níveis de umidade no solo foram reduzidos.

3 **Palavras-chave** - Lâminas de irrigação. Consórcio. Produção equivalente

4 **Abstract** - The water availability in the soil affects directly the distribution and activity of
5 the root system of plants, influencing also plants in productivity. The objective of this
6 research was to evaluate the productive performance and the technical and economical
7 efficiency of the herbaceous cotton in mono and intercropping systems with cowpea, in
8 response on soil water availability levels. The experiment was carried out in the Embrapa
9 Middle-North experimental area, in Teresina County, Piauí State, during the period from
10 August to November, 2008. The levels of soil moisture availability were obtained with the
11 increment in the applied water depth, by using a sprinkler irrigation system. The
12 experimental design was a randomized blocks, with four repetitions and irrigation depths
13 arranged into slots. In monocropping system the increase in soil moisture resulted in increase
14 in the yield of cotton seed to reach its maximum value of 3,510.03kg.ha⁻¹ with the maximum
15 level of moisture in soil (19.88%). The equivalent production of seed cotton in the
16 intercropping system (2,185.14kg.ha⁻¹) was higher than production in the monocropping
17 system (1,910.94kg.ha⁻¹), just under the lowest level of moisture in the soil (12.87%),
18 demonstrating that the cotton and cowpea intercropping system showed higher advantage
19 than the monocropping system only when the levels of moisture in soil were reduced.

20 **Key words** - Irrigation depth. Intercropping system. Grain yield equivalent.

21
22
23
24
25
26
27

1 **Introdução**

2 O algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.), na região do
3 Nordeste brasileiro, é cultivado, na maioria das áreas, em regime de sequeiro e consórcio. Sob
4 regime de sequeiro, tanto cultivos solteiros quanto consórcios são suscetíveis a perdas
5 proporcionadas pelas irregularidades das chuvas características da região.

6 É preciso que ocorra um ajuste da época de semeadura dentro da estação chuvosa, de tal
7 forma que haja disponibilidade de água no solo suficiente para a germinação e que se
8 mantenha em níveis adequados nos períodos críticos das culturas.

9 A disponibilidade de água às plantas não está ligada de forma direta à capacidade de
10 armazenamento de água do solo. A armazenagem depende de aspectos como o espaço poroso
11 e a profundidade do solo, enquanto a disponibilidade às plantas depende de fatores intrínsecos
12 do solo e da capacidade das plantas em extrair água nos diferentes teores de umidade e níveis
13 de energia de retenção (PETRY et al., 2007).

14 O suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao
15 longo do sistema solo-planta-atmosfera. As influências recíprocas entre esses componentes
16 básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição
17 hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos (SANTOS &
18 CARLESSO, 1998).

19 Diversos trabalhos estudaram o efeito de níveis de água disponível no solo sobre o
20 desenvolvimento e produtividade do algodão herbáceo (LACERDA et al, 2003; PEREIRA et
21 al., 1997; SOUZA et al., 1999; ARRUDA, 1999). Seus resultados demonstram que a
22 manutenção dos níveis adequados de umidade do solo durante todo o ciclo das culturas é
23 essencial para o seu pleno desenvolvimento em qualquer sistema de cultivo (monocultivo
24 e/ou consorciado).

1 Nesse sentido, este trabalho visou avaliar o desempenho produtivo e as medidas de
2 eficiência técnica e econômica do consórcio algodão herbáceo e feijão-caupi em resposta à
3 níveis de umidade do solo, nas condições edafoclimáticas de Teresina, PI.

4 **Material e métodos**

5 O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Meio-Norte,
6 município de Teresina, PI (05° 05' de latitude sul e 42° 48' de longitude oeste e altitude de
7 74,4 m), durante o período de agosto a novembro de 2008.

8 O clima local, segundo Thornthwaite e Mather (1955), é sub-úmido seco (C1)
9 (ANDRADE JÚNIOR et al., 2004). As médias de temperatura máxima, média e mínima do
10 ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global, evapotranspiração de
11 referência e precipitação pluviométrica obtidas a partir de estação agrometeorológica
12 automática instalada a aproximadamente 500 m da área experimental da Embrapa Meio
13 Norte, são apresentadas na Tabela 1.

14 **Tabela 1** - Valores médios mensais de temperatura do ar – máxima (Tmax), média (Tmed) e
15 mínima (Tmin) – umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 2 m de altura (WS),
16 radiação solar global (Rs), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de
17 Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de agosto a
18 novembro 2008.

Mês	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin (°C)	UR (%)	WS (m s ⁻¹)	Rs (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	ETo (mm dia ⁻¹)	P (mm)
Agosto	35,2	27,4	20,4	64,2	0,9	19,2	4,4	0,0
Setembro	36,8	28,8	21,6	60,6	0,9	19,9	4,6	0,0
Outubro	37,9	30,2	23,0	53,3	1,1	18,4	4,6	0,0
Novembro	37,5	30,3	23,2	55,9	1,1	17,9	4,4	0,0
Ano	36,9	29,2	22,0	58,5	1,0	18,8	4,5	0,0

19
20 O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (EMBRAPA,
21 2006). As análises químicas e físico-hídricas foram realizadas no laboratório de solos da
22 Embrapa Meio-Norte em Parnaíba, PI. As análises químicas realizadas em abril de 2008
23 apresentaram na profundidade de 0-20 cm: pH em água = 5,81; P = 18,40mg.dm⁻³; K⁺ = 0,22
24 cmol_c.dm⁻³; Ca²⁺ = 1,56 cmol_c.dm⁻³; Mg²⁺ = 0,74 cmol_c.dm⁻³; Na⁺ = 0,04 cmol_c.dm⁻³; Al⁺³ =

1 0,0 cmol_c.dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 2,31 cmol_c.dm⁻³; CTC = 4,87 cmol_c.dm⁻³ e V = 52,57%. Na
 2 Tabela 2, encontram-se as análises físico-hídricas da área experimental.

3 **Tabela 2** - Características físico-hídricas do solo da área experimental. Teresina, PI, 2007.

Prof. (m)	Granulometria (g/kg)				Ds (Mg/m ³)	CC* (% em volume)	PMP	Classificação Textural
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				
0,0 – 0,2	296,2	437,0	105,7	161,1	1,70	22,03	9,86	Franco Arenoso
0,2 – 0,4	232,5	424,7	116,7	226,1	1,80	21,58	13,45	F. Argilo-arenoso

4 Fonte: Laboratório de Solos - Embrapa Meio-Norte. Parnaíba - PI, 2007. * CC: capacidade de
 5 campo definida a – 10 kPa. PMP: ponto de murcha permanente; Ds: densidade do solo.

7 Preparo do solo, semeadura e práticas culturais

8 O preparo do solo consistiu de duas arações e uma gradagem niveladora cruzada. A
 9 semeadura do algodão herbáceo, cultivar BRS Camaçari foi realizada manualmente no dia
 10 07/08/2008, em um espaçamento de 1,20 x 0,20m, em ambos os sistemas de cultivo (solteiro
 11 e consorciado). O feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, foi semeado com o uso de matracas,
 12 em 21/08/2008, em um espaçamento de 0,60 x 0,20m, em cultivo solteiro, e de
 13 1,20 x 0,20m, em cultivo consorciado, 13 dias após a semeadura do algodão herbáceo, para
 14 que houvesse coincidência das fases críticas das duas culturas por ocasião do estresse hídrico.
 15 As cultivares em monocultivo e consorciadas foram dispostas em uma parcela experimental
 16 com 12 metros de largura por 20 metros de comprimento e o arranjo espacial utilizado no
 17 sistema consorciado correspondeu a uma relação fixa de 1:1 (uma fileira de algodão herbáceo
 18 para uma de feijão-caupi).

19 Na adubação de fundação do algodão herbáceo, foram aplicados 30kg.ha⁻¹ de N (uréia),
 20 50kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 40kg.ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e na
 21 adubação de cobertura, realizadas em duas etapas, aos 35 e 55 dias após o plantio do algodão
 22 herbáceo, foram aplicados 50kg.ha⁻¹ de N (uréia) e 30kg.ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), em
 23 ambas. Não foi realizada adubação no feijão-caupi, considerando-se o efeito residual da
 24 adubação do algodão herbáceo. O controle de plantas daninhas foi realizado através de

1 capinas manuais sempre que necessário. As colheitas do feijão-caupi e algodão herbáceo
2 foram realizadas em 24/10/2008 (64 dias após a semeadura) e 28/11/2008 (113 dias após a
3 semeadura), respectivamente.

4 **Níveis de umidade no solo e manejo da irrigação**

5 Para obtenção dos diferentes níveis de umidade no solo, foram realizadas irrigações por
6 meio de um sistema de aspersão convencional fixo composto por oito linhas laterais, instalado
7 em um espaçamento de 12m x 12m e operando sempre duas a duas. As linhas laterais
8 possuíam diâmetro de 50mm e comprimento de 60m. Cada linha lateral possuía seis
9 aspersores, com bocais de 4,4mm x 3,2mm, raio de alcance de 12m, vazão de 1,45m³/h,
10 espaçados de 12m x 12m e pressão de serviço de 2,5kgf/cm². O bloco experimental era
11 coberto por quatro aspersores, dois em cada linha lateral.

12 O manejo das irrigações foi realizado pelo método do balanço de água no solo e foi
13 dividido em três etapas: i) da semeadura aos 25 dias após a semeadura (DAS) do feijão-caupi
14 e até os 39 DAS do algodão herbáceo, foram aplicadas lâminas uniformes de irrigação,
15 repondo-se a ETo acumulada no período anterior, não provocando com isso estresse hídrico
16 às plantas e garantindo a germinação, o desenvolvimento inicial das plantas e níveis de
17 umidade no solo semelhantes; ii) dos 25 DAS aos 56 DAS do feijão-caupi e dos 39 aos 70
18 DAS do algodão herbáceo, foram aplicadas lâminas diferenciadas de irrigação obtidas com
19 base na reposição de evapotranspiração de referência (ETo) (50%, 75%, 100% e 125%),
20 estimadas pelo método Penman-Monteith, impondo níveis diferentes de umidade no solo; iii)
21 a partir dos 70 DAS aos 95 DAS do algodão herbáceo, quando da abertura dos primeiros
22 capulhos em todas as lâminas, e dos 56 DAS aos 64 DAS do feijão-caupi foram aplicadas
23 novamente lâminas uniformes de irrigação, repondo-se a ETo acumulada, não provocando
24 estresse hídrico às plantas. As irrigações eram realizadas nas segundas e quintas-feiras.
25 Assim, as irrigações efetuadas nas segundas-feiras repunham a evapotranspiração das culturas

1 ocorrida durante as sextas-feiras, sábados e domingos. Igualmente nas irrigações efetuadas às
2 quintas-feiras, repunha-se a evapotranspiração ocorrida durante as terças e quartas-feiras.

3 Durante a condução do experimento foram determinados os valores médios das lâminas
4 de irrigação utilizando-se nove coletores, instalados em cada parcela experimental da faixa,
5 perfazendo um total de 27 por faixa e distribuídos em três linhas centrais paralelas aos
6 aspersores. O tempo das irrigações foi calculado com o auxílio de uma planilha eletrônica em
7 Excel, onde eram registrados os valores diários da precipitação pluviométrica e
8 evapotranspiração de referência (ET_o). Para tanto, obteve-se os dados na estação
9 agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

10 **Monitoramento do conteúdo de água no solo**

11 Aos 20 dias após a semeadura do algodão herbáceo, foram instalados 36 tubos de
12 acesso de PVC, com 1,5m de comprimento, sendo nove em cada faixa com os três sistemas
13 de cultivo e três em cada sistema de cultivo dispostos em linhas paralelas ao sistema de
14 irrigação convencional e distantes 2,0m entre si, situando-se entre as fileiras centrais da
15 parcela experimental dos cultivos solteiro e consorciado.

16 Os tubos de acesso foram instalados para o monitoramento do conteúdo de água no
17 perfil do solo por meio de uma sonda de capacitância (FDR) modelo Diviner 2000[®], da
18 Sentek Pty Ltda, Austrália. Essa sonda consiste de um display coletor de dados (datalogger)
19 acoplado via cabo a um sensor que, ao ser inserido em um tubo de PVC (tubo de acesso)
20 instalado no solo, provê leituras automáticas do conteúdo de água, com base na medida da
21 constante dielétrica ou capacitância da matriz do solo (solo, água, ar), obtida por meio da
22 frequência de ondas eletromagnéticas que atravessam o volume de solo. O sensor usa a
23 capacitância elétrica para medir a disponibilidade de água no solo e a frequência medida é
24 função da quantidade de água existente no solo (FRANCO, 2009).

1 As leituras de frequência relativa (FR) foram realizadas diariamente, sempre antes e
2 aproximadamente 24 horas após as irrigações, inclusive aos sábados e domingos. O conteúdo
3 médio de água no solo, em cada camada, foi calculado pela média dos valores de umidade
4 medidos nos três tubos de acesso. As profundidades das leituras foram 10, 20, 30, 40,
5 50cm, em virtude de neste intervalo concentrar 80% do sistema radicular do feijão-caupi e
6 algodão herbáceo (ANDRADE JÚNIOR et al., 1998).

7 **Tratamentos e delineamento experimental**

8 Os tratamentos constaram de níveis de umidade no solo (% , em volume) resultantes da
9 aplicação de quatro lâminas de irrigação (L4=125% ETo, L3=100% ETo, L2=75% ETo e
10 L1=50% ETo), aplicados no período crítico de cada cultura. O delineamento experimental
11 utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e as lâminas de irrigação
12 arranjadas em faixas. Os dados foram submetidos à regressão e análise de variância pelo teste
13 F a nível de 5% de probabilidade, processadas usando-se o programa SAS (SAS Institute,
14 1989). Os valores das variáveis número de capulhos por planta do algodão herbáceo em
15 cultivo solteiro, número de vagens por planta e número de grãos por vagem do feijão-caupi
16 em cultivo consorciado com algodão herbáceo foram previamente transformados antes da
17 análise de variância pela função $Y = \sqrt{X}$, com finalidade de homogeneizar as variâncias e
18 normalidade dos erros.

19 **Produção e componentes de produção**

20 Para a coleta do material a ser avaliado, dividiu-se a parcela experimental em seis
21 repetições (áreas úteis) de $12m^2$ (5,0 x 2,4m) cada, a partir das quais foram colhidos os
22 componentes de produção do feijão-caupi e do algodão herbáceo. Foram analisadas as
23 medidas de PG - produtividade de grãos ($kg.ha^{-1}$), NVP - número de vagens por planta,
24 COMPV - comprimento de vagem (cm), NGV - número de grãos por vagem, PV –
25 produtividade de vagens ($kg.ha^{-1}$) e PCG - peso de cem grãos (g) do feijão-caupi em cultivo

1 consorciado e de REND - rendimento de algodão em caroço ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), PCAP - peso médio de
 2 um capulho (g), NCAP - número de capulhos por planta e ALTP - altura das plantas (cm) do
 3 algodão herbáceo em cultivos solteiro e consorciado. O peso de grãos do feijão-caupi foi
 4 corrigido para umidade de 13%. O peso do capulho se referiu ao peso das sementes mais
 5 fibras, sem se considerar o exocarpo do fruto, e correspondeu ao peso médio de 20 capulhos
 6 obtidos de cada área útil.

7 **Medidas de eficiência técnica e econômica**

8 Usou-se como medida de eficiência técnica e econômica o índice de produção
 9 equivalente. A produção equivalente (Y_e) foi calculada com base em uma avaliação
 10 econômica, utilizando a relação de preços entre as culturas. Optou-se pela produção
 11 equivalente do algodão herbáceo, calculada através da Equação (1) descrita por Ramalho et
 12 al. (1983).

$$13 \quad Y_e = Y_a + rY_f \dots\dots\dots (1)$$

14 Onde:

15 Y_e – Produção equivalente do algodão, kg ha^{-1} ;

16 Y_a – Produção de algodão em caroço no cultivo consorciado, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;

17 Y_f – Produção de grãos de feijão-caupi no cultivo consorciado, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;

18 r – Relação entre os preços mínimos do feijão-caupi e do algodão.

19 Para a estimativa do $r = 0,628$, usou-se a média dos preços mínimos do feijão-caupi e
 20 do algodão herbáceo praticados no período de 2001 a 2009 (CONAB, 2007), segundo
 21 Equação (2).

$$22 \quad r = P_a / P_f \dots\dots\dots (2)$$

23 Em que:

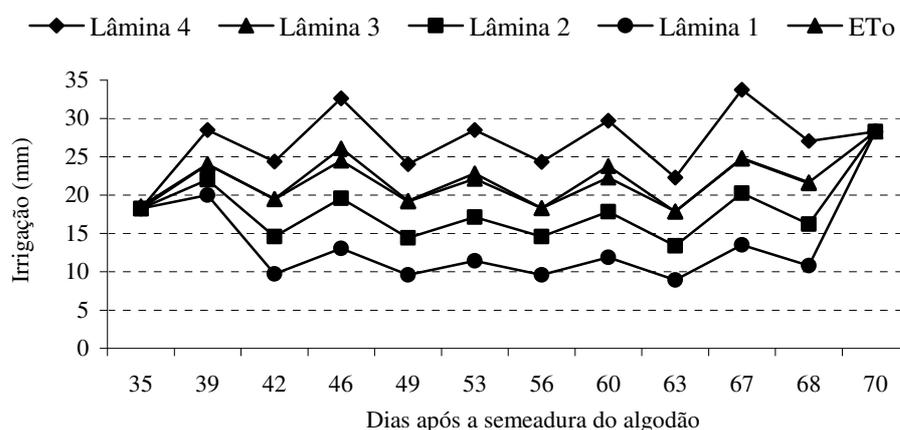
24 P_a – Média do preço mínimo do algodão herbáceo, em R\$;

25 P_f – Média do preço mínimo do feijão-caupi, em R\$.

1 Resultados e discussão

2 Disponibilidade de água no solo

3 As lâminas de irrigação partem de um mesmo ponto, demonstrando que, antes da
 4 imposição dos tratamentos, não houve variação na aplicação de água no algodão herbáceo
 5 solteiro e consorciado com feijão-caupi, confirmando a uniformidade das lâminas de irrigação
 6 (Figura 1). A partir dos 39 DAS do algodão herbáceo e dos 25 DAS do feijão-caupi,
 7 visualiza-se a notória diferença na aplicação de água entre as lâminas L4 e L1, sendo que a
 8 lâmina L3 coincidiu com a ETo, haja vista que esta lâmina representa 100% da ETo. A partir
 9 dos 70 DAS do algodão herbáceo foram aplicadas novamente lâminas de irrigação uniformes.



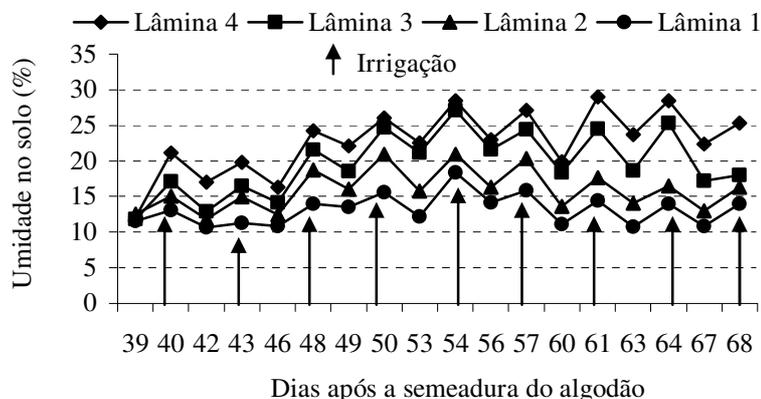
10

11 **Figura 1.** Lâminas de irrigação diferenciadas aplicadas após os dias de semeadura do
 12 algodão herbáceo em cultivo solteiro e consorciado com feijão-caupi, Teresina, PI, 2008.

13 As lâminas de irrigação partiram do mesmo nível de umidade no solo no algodão
 14 herbáceo solteiro e consorciado com feijão-caupi, conforme Figuras 2 e 3, respectivamente.

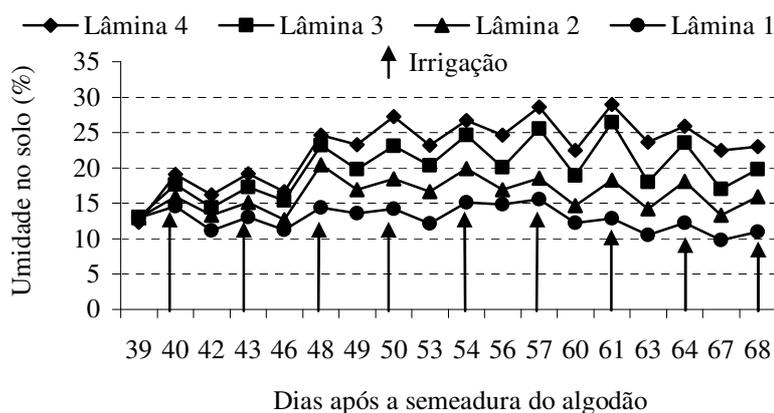
15 Na Figura 2, percebe-se que houve um acréscimo gradual nos níveis de umidade no solo
 16 nas lâminas L4 e L3. Isso ocorreu em consequência da aplicação continuada das lâminas de
 17 irrigação. Nas lâminas L2 e L1, esse comportamento foi menos evidente.

1 No consórcio (Figura 3), também obteve-se um acréscimo gradual nos níveis de
 2 umidade no solo nas maiores lâminas (L4 e L3), sendo também menos evidente nas menores
 3 lâminas L2 e L1.



4
 5 **Figura 2.** Variação da umidade no solo no algodão herbáceo solteiro em função da aplicação
 6 das lâminas de irrigação diferenciadas.

7 Constata-se na Tabela 3, que os níveis de umidade no solo seguiram o gradiente
 8 decrescente das lâminas de irrigação aplicadas (L4=125%ET_o, L3=100%ET_o, L2= 75%ET_o e
 9 L1=50%ET_o) dispostas nas faixas e que houve variação no conteúdo de água no solo ao
 10 longo do perfil do solo, nos dois sistemas de cultivo, durante o período de aplicação das
 11 lâminas diferenciadas.



12
 13 **Figura 3.** Variação da umidade no solo no algodão herbáceo consorciado com feijão-caupi
 14 em função da aplicação das lâminas de irrigação diferenciadas.

1 **Tabela 3.** Conteúdo de água no solo (%) durante a aplicação das lâminas de irrigação
 2 diferenciadas no algodão herbáceo solteiro e consorciado com feijão-caupi. Teresina, PI,
 3 2008.

Lâminas	Profundidade (m)					Média
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Algodão herbáceo solteiro						
L4	29,73	22,89	21,27	20,75	18,83	22,70
L3	26,48	20,20	18,40	16,63	16,49	19,64
L2	17,59	16,34	16,26	14,63	14,86	15,94
L1	12,49	12,64	14,72	13,39	12,35	13,12
Consórcio algodão herbáceo – feijão-caupi						
L4	33,25	22,63	20,14	19,11	18,30	22,68
L3	26,39	19,52	18,76	17,98	16,82	19,89
L2	17,63	15,16	17,21	16,34	14,86	16,24
L1	11,52	12,53	13,58	13,88	12,84	12,87

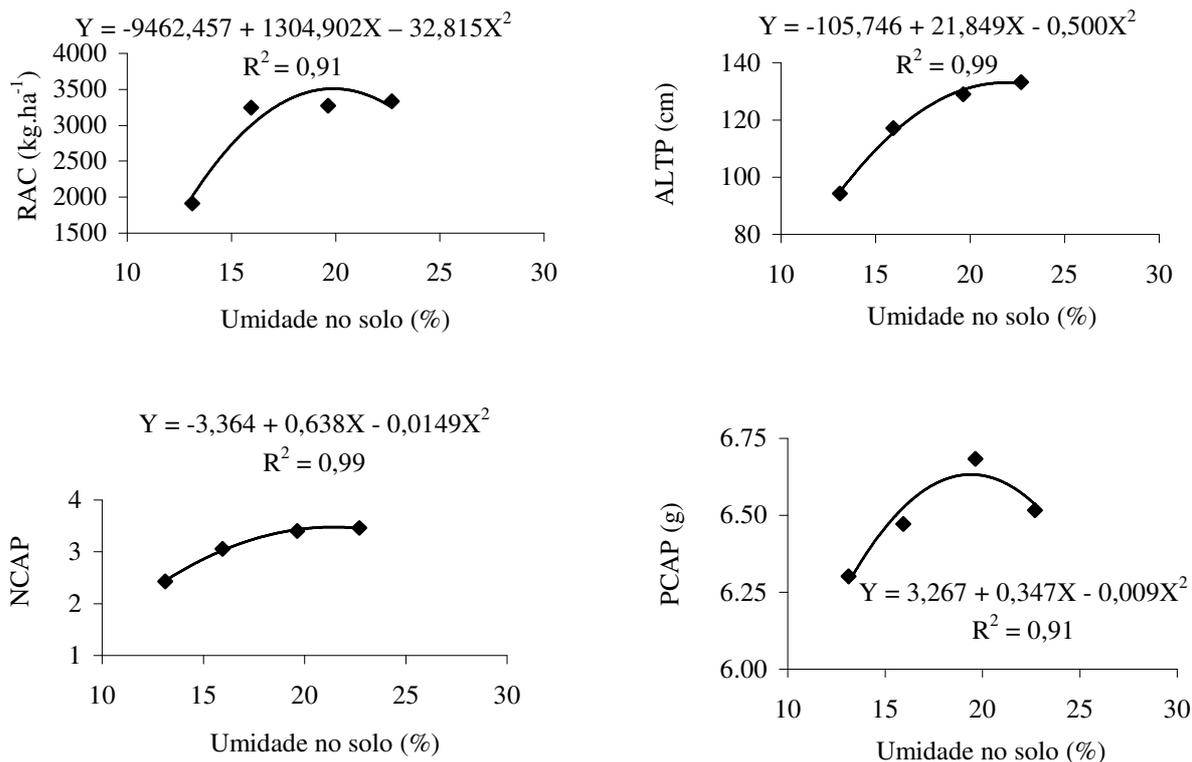
4
 5 A lâmina L4 que proporcionou conteúdos de água no solo de 22,70% e 22,68% no
 6 algodão herbáceo, solteiro e consorciado com feijão-caupi, respectivamente, foi a única cujo
 7 conteúdo médio de água no perfil do solo (0,0-0,5m) aproximou-se dos valores da capacidade
 8 de campo (Tabela 3).

9 Os níveis de umidade no solo nas lâminas L4 e L3 foram bem maiores que nas lâminas
 10 L2 e L1, notadamente até a profundidade de 0,3m. Nessa mesma profundidade, nos dois
 11 sistemas de cultivo, quando submetidos à menor lâmina (L1), constata-se elevação no
 12 conteúdo de água o que pode estar associado ao não alcance das raízes como consequência do
 13 elevado estresse hídrico que ocorreu nesta lâmina.

14 **Produção e componentes de produção**

15 Para o cultivo solteiro, as equações de regressão mostram que o acréscimo na umidade
 16 no solo proporcionou incrementos na altura das plantas (ALTP), número de capulhos por

1 planta (NCAP), peso de capulho (PCAP) e rendimento de algodão em caroço (RAC) até
 2 alcançarem seus valores máximos, 133,00cm, 3,47, 6,62g e 3.510,03kg.ha⁻¹, respectivamente,
 3 com os níveis de umidade no solo de 21,85%, 21,41%, 19,28% e 19,88%, respectivamente, a
 4 partir dos quais, com seus acréscimos, houve redução nos valores destes componentes de
 5 produção (Figura 4).



6
 7 **Figura 4.** Rendimento de algodão em caroço (RAC), altura de plantas (ALTP), número de
 8 capulhos por planta (NCAP) e peso de capulho (PCAP) e do algodão herbáceo, em cultivo
 9 solteiro, em função da umidade no solo.

10 A existência de uma lâmina que proporciona uma disponibilidade máxima de água no
 11 solo, a partir da qual ocorrem reduções nos valores dos componentes de produção e no
 12 rendimento de algodão em caroço, indica que excesso hídrico sempre prejudica acarretando
 13 em reduções na produção do algodão herbáceo solteiro. Segundo Rosolem (2007), quanto
 14 mais água disponível, maior o crescimento vegetativo, porém o crescimento excessivo da

1 planta causa maior auto-sombreamento, dificultando a penetração da luz na copa da planta e a
2 realização da fotossíntese, ocasionando prejuízos, como queda das estruturas reprodutivas,
3 refletindo-se na produtividade.

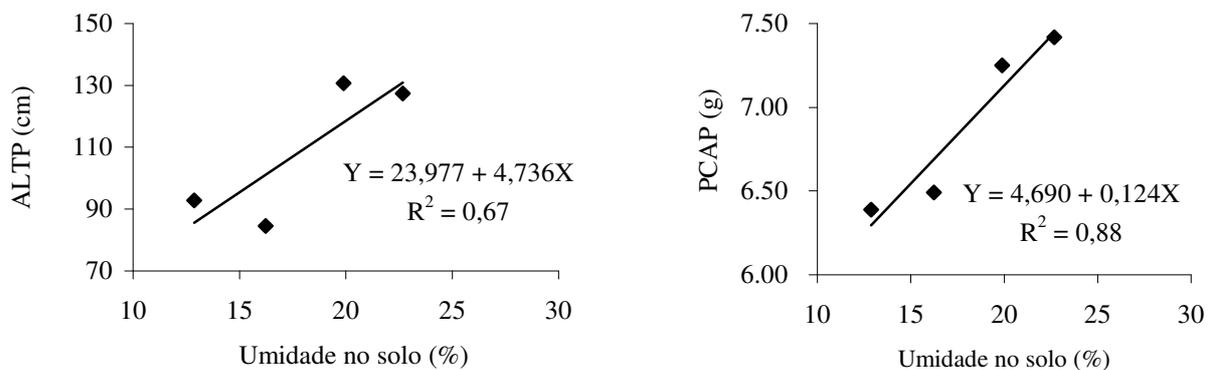
4 Os resultados estão de acordo com Pereira et al. (1997) que ao estudar a sensibilidade
5 de duas cultivares de algodoeiro herbáceo (CNPA Precoce e CNPA 7H), em baixo conteúdo
6 de água, também obteve modelos de regressão quadráticos para as variáveis altura de plantas
7 (cm), número de frutos por planta e fitomassa de frutos por planta (g).

8 No algodão herbáceo em cultivo consorciado com feijão-caupi, apesar da variação de
9 umidade no solo, que ocorreu em função da aplicação de lâminas de irrigação, ter sido
10 suficiente para influenciar linearmente a ALT e o PCAP (Figura 5), não influenciou de
11 maneira significativa o RAC, o que pode estar associado à tolerância do algodão ao déficit
12 hídrico e ao fato do NCAP também não ter sido influenciado pelos níveis de umidade no
13 solo. Segundo Rosolem (2007), o rendimento de algodão em caroço do algodoeiro é uma
14 função direta do número de capulhos produzidos por área.

15 A influência da umidade no solo na ALTP e no PCAP pode estar associada ao aumento
16 na demanda hídrica em virtude do aumento da área foliar do consórcio e da competição inter
17 e intra-específica por água.

18 O modelo de regressão linear indica que o maior nível de umidade no solo não foi
19 suficiente para obter os valores máximos de ALTP e PCAP, indicando que provavelmente
20 seriam necessárias lâminas de irrigação maiores capazes de aumentar os níveis de umidade
21 no solo, porém a não influência significativa destes níveis no rendimento do algodão
22 herbáceo torna este aumento desnecessário, pois demonstra a manutenção adequada das
23 condições hídricas no solo, sob este sistema de cultivo, o que economicamente é importante
24 para agricultura familiar.

1 Araújo (2006), ao avaliar o efeito do regime hídrico (com e sem estresse) e de doses de
 2 nitrogênio no crescimento, na produção e nas características intrínsecas da fibra do algodão
 3 herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), da cultivar BRS Rubi, também obteve modelo linear para
 4 altura de plantas, porém em cultivo solteiro.

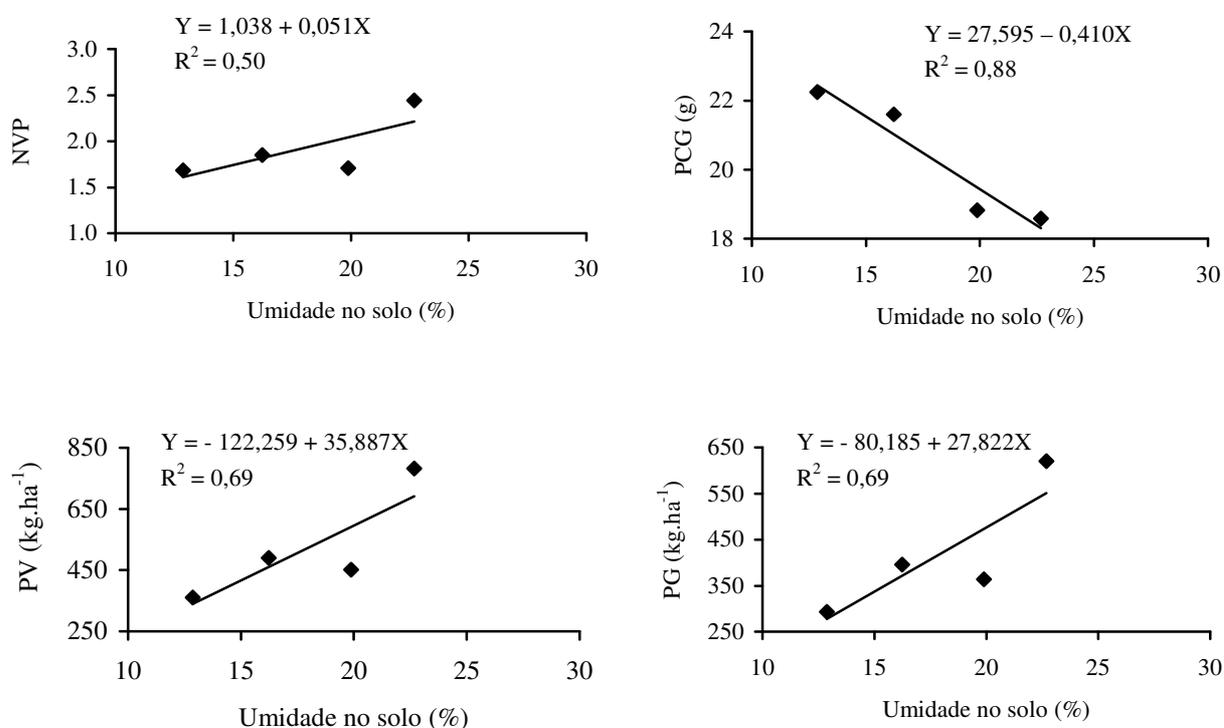


5 **Figura 5.** Altura de plantas (ALTP) e peso de capulho (PCAP) do algodão herbáceo em
 6 cultivo consorciado com o feijão-caupi, em função da umidade no solo.

7 Em relação ao feijão-caupi, as variações de umidade no solo que ocorreram em função
 8 da aplicação de lâminas de irrigação não foram suficientes para influenciarem
 9 significativamente o NGV e o COMPV, podendo-se inferir que não houve situações de
 10 estresse hídrico no feijão-caupi em cultivo consorciado com algodão herbáceo, que afetassem
 11 esses dois componentes de produção. Situação semelhante foi observada por Coelho et al.
 12 (2002), para o componente PGV, no consórcio feijão-caupi e cana-de-açúcar em trabalho
 13 sobre aproveitamento das entrelinhas de cana-de-açúcar para produção de grãos de caupi
 14 (*Vigna unguiculata* L. Walp).

15 O comportamento das variáveis NVP, PCG, PV e PG (Figura 6) está de acordo com
 16 Ferreira (2007) que ao submeter o consórcio feijão-caupi e milho a diferentes níveis de
 17 umidade no solo (17,5%; 19,5%; 18,3%; e 12,5%) também constatou efeito linear destes
 18 componentes em resposta à umidade no solo. Este efeito pode ser explicado pelo aumento na
 19 demanda evapotranspirativa do consórcio ocasionado pelo aumento na área foliar.

- 1 Apenas o PCG apresentou acréscimo com a redução dos níveis umidade no solo, o que
 2 indica redução do tamanho do grão com o acréscimo da umidade que pode estar associado ao
 3 fato de existir no cultivo consorciado competição inter e intra-específica nas culturas.



- 4 **Figura 6.** Número de vagens por planta (NVP), peso de cem grãos (PCG), produtividade de
 5 vagens (PV) e produtividade de grãos (PG) do feijão-caupi, em cultivo consorciado, em
 6 função da umidade no solo.

7 Medidas de eficiência técnica e econômica

- 8 Na Tabela 4, observa-se um incremento de 14,35% do consórcio em relação ao cultivo
 9 solteiro, no menor nível de umidade no solo. Nos demais níveis, o valor negativo da
 10 porcentagem indica que o cultivo solteiro foi superior ao consórcio.

- 11 A produção equivalente (PE) em algodão herbáceo variou de 2185,14 a
 12 2899,12 kg.ha⁻¹, as quais foram obtidas com os níveis de umidade no solo de 12,87% a
 13 22,68%, respectivamente, representando um acréscimo de 32,7% em relação ao menor nível
 14 de umidade no solo.

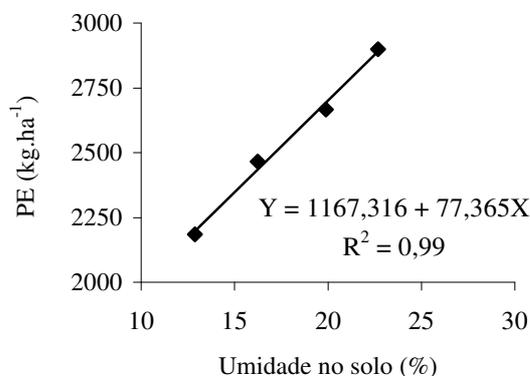
1 **Tabela 4.** Níveis de umidade no solo (U) no cultivo consorciado, produção equivalente de
 2 algodão em caroço do consórcio algodão herbáceo - feijão-caupi (PE), rendimento de algodão
 3 em caroço (RAC), em cultivo solteiro e produtividade de grãos de feijão-caupi em cultivo
 4 solteiro (PG). Teresina, PI, 2008.

U (%)	PE (kg ha ⁻¹)	RAC (kg ha ⁻¹)	Variação (%)
22,68	2899,12	3337,04	-13,12
19,89	2667,08	3273,48	-18,52
16,24	2465,45	3245,54	-24,03
12,87	2185,14	1910,94	14,35

5
 6 Em termos econômicos, a utilização do consórcio (2185,14kg.ha⁻¹) em relação ao
 7 cultivo solteiro de algodão herbáceo (1910,94kg.ha⁻¹) foi vantajosa apenas quando submetido
 8 ao menor nível de umidade no solo, demonstrando ter havido acréscimo de 14,35% na
 9 produção do sistema consorciado, em relação ao monocultivo. Isto significa que em condições
 10 de déficit hídrico no solo o consórcio tem melhor adaptabilidade e resposta produtiva
 11 (LOPES, 1987; FERREIRA, 2007). Do ponto de vista da agricultura familiar, principalmente
 12 do Nordeste brasileiro, onde se cultiva em condições de sequeiro, esse comportamento é
 13 muito importante, pois sinaliza a possibilidade de emprego do cultivo consorciado em áreas
 14 com baixa disponibilidade hídrica no solo.

15 A equação de regressão para a produção equivalente do sistema consorciado mostrou
 16 comportamento linear (Figura 7). Estes resultados estão de acordo com Ferreira (2007) que
 17 com o mesmo objetivo deste trabalho e avaliando o consórcio milho e feijão-caupi observou
 18 que com a utilização do consórcio obteve produção equivalente de milho de 1.052,69kg.ha⁻¹

1 em comparação com o cultivo solteiro de milho ($534,38\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) sendo vantajosa apenas com o
 2 menor nível de umidade no solo (12,5%).



3
 4 **Figura 7.** Produção equivalente do consórcio algodão herbáceo - feijão-caupi em função da
 5 umidade no solo.

6 Conclusões

7 1. Os valores máximos dos componentes de produção do algodão herbáceo em cultivo
 8 solteiro: altura de plantas (133,00 cm), número de capulhos por planta (3,47), peso de capulho
 9 (6,62 g) e rendimento de algodão em caroço ($3.510,03\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foram obtidos com os níveis
 10 de umidade no solo de 21,85%, 21,41%, 19,28% e 19,88%, respectivamente.

11 2. No algodão herbáceo em cultivo consorciado com feijão-caupi, a variação de
 12 umidade no solo não influenciou significativamente o REND e o NCAP, o contrário ocorreu
 13 com a ALT e o PCAP, que foram influenciados seguindo um modelo de regressão linear.

14 3. A adoção do consórcio algodão herbáceo - feijão-caupi mostrou-se mais vantajosa
 15 apenas quando a disponibilidade hídrica do solo é reduzida.

16

17

18

19

20

1 Referências

- 2 ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação e produtividade de grãos secos de feijão
3 caupi. In: XXII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E
4 DA ÁGUA, 1998, Fortaleza, **Resumos...** Fortaleza: SBCC/UFCE, 1998. p. 83-84.
5
- 6 ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. **Classificação climática do Estado do Piauí**. Teresina:
7 Embrapa Meio-Norte, 2004, 86 p. (Embrapa Meio-Norte).
8
- 9 ARAÚJO, L. R. de. **Resposta do algodão herbáceo cultivar BRS Rubi a adubação**
10 **nitrogenada e alteração do regime hídrico no solo**. 2006. 70f. Tese (Doutorado em
11 Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, Areia.
12
- 13 ARRUDA, F. P. de. **Emissão/abscisão de estruturas reprodutivas de algodoeiro herbáceo**
14 **cv. CNPA-7H, em função do sistema de manejo e dos estresses hídrico e salino**. 1999.
15 133f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Areia.
16
- 17 COELHO, R. G. et al. **Aproveitamento das entrelinhas de cana-de-açúcar para**
18 **produção de grãos de Caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp)**. Seropédica, RJ: Embrapa
19 Agrobiologia, out. 2002. 11p. (Embrapa Agrobiologia, Documentos, 150).
20
- 21 CONAB. **Preços Mínimos em Vigor**. Brasília, 2007. Disponível em: [http://www.](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/precos_minimos/emvigor)
22 [conab.gov.br/conabweb/download/precos_minimos/emvigor](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/precos_minimos/emvigor). Acesso em: 10 de fevereiro de
23 2009.
24
- 25 EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa
26 Solos, 2006. 306p.
27
- 28 FERREIRA, V. M. **Definição de parâmetros para estimativa de risco climático no**
29 **consórcio milho x feijão-caupi**. 2007. 95 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal
30 do Piauí, Teresina.
31
- 32 FRANCO, E. M. **Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob**
33 **sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratores**
34 **de solução**. 2009. 85 f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de
35 Queiroz, Piracicaba.
36
- 37 LACERDA, N. B. de. et al. Manejo da água disponível no solo e da adubação nitrogenada
38 sobre a cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch).
39 **Agropecuária Técnica**, v.24, n.1, p.31-38, 2003.
- 40 LOPES, L.H. de O. **Efeito da deficiência hídrica no consórcio milho x feijão vigna**. 1987.
41 75p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
42
- 43 PEREIRA, M. do N. B. et al. Crescimento e desenvolvimento de duas cultivares de algodão
44 herbáceo em baixos níveis de disponibilidade de água no solo, em casa de vegetação. **Revista**
45 **Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.1, p.1-7, 1997.
46
- 47 PETRY, M. T. et al. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de
48 semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31,
49 p.531-539,2007.

- 1
- 2 ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodão herbáceo. In: FREIRE, E.
- 3 C. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no cerrado do Brasil**.
- 4 ABRAPA. Brasília. 2007. 918p.
- 5
- 6 SAS INTITUTE. SAS/STAT. **User's guide version 6**. 4 ed. 1989, 2v.
- 7
- 8 SOUZA, C. C. de et al. Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada na cultura do algodão
- 9 herbáceo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2,
p.125-130, 1999.