

**DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DE RISCO CLIMÁTICO NO
CONSÓRCIO MILHO – FEIJÃO–CAUPI**

VALBER MENDES FERREIRA

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: Manejo de Água e Solo.

TERESINA
Estado do Piauí - Brasil
Agosto - 2007

**DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DE RISCO CLIMÁTICO NO
CONSÓRCIO MILHO – FEIJÃO–CAUPI**

VALBER MENDES FERREIRA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Dr. **Aderson Soares de Andrade Junior**

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: Manejo de Água e Solo.

TERESINA
Estado do Piauí – Brasil
Agosto - 2007

**DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DE RISCO CLIMÁTICO NO
CONSÓRCIO MILHO – FEIJÃO–CAUPI**

VALBER MENDES FERREIRA

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Dr. Aderson Soares de Andrade Junior (Orientador)
Embrapa Meio – Norte

Dr. Milton José Cardoso
Embrapa Meio-Norte

Dr. Cláudio Ricardo da Silva
UFPI – Campus de Bom Jesus

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio-Norte

F383 Ferreira, Valber Mendes.

Definição de Parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho x feijão-caupi / Valber Mendes Ferreira. – Teresina, 2007. 95 f.

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí.

1. Irrigação. 2. Balanço hídrico. I. Título.

CDD 631.587 (21. ed.)

*Aos meus amados pais, Antonia Mendes da Rocha e José Vicente
Filho; e aos meus amados irmãos:*

OFEREÇO.

Á minha amada sobrinha, Mariane Lais:

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais essa conquista;

À Universidade Federal do Piauí, pela honra de poder realizar o Curso de Mestrado e pela oportunidade de poder evoluir academicamente;

À FUNCAMP, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Doutor Aderson Soares de Andrade Júnior, pela amizade, apoio, incentivo e ensinamentos passados ao longo da minha formação, pela sua pessoa e seu profissionalismo como pesquisador, orientador e educador. Muito obrigado.

Ao Doutor Edson Alves Bastos, pela amizade, ensinamentos valiosos e incalculáveis, palavras que me aconselharam fortalecendo minha admiração pelo incentivo e profissionalismo. Muito obrigado;

Ao Engº Agrº Eddie L. C. Morais e ao Bolsista Rafael Maschio, pela amizade e suporte no campo enquanto prosseguia com minha pesquisa;

À Embrapa Meio-Norte, pela concessão do estágio para realização dos ensaios;

Aos funcionários da biblioteca da Embrapa, em especial à bibliotecária Orlane da Silva Maia pela amizade, presteza e correção das referências bibliográficas e a auxiliar Maria Gorete Ribeiro dos Santos, pela solicitação de trabalhos científicos;

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA), pelos ensinamentos transmitidos.

Ao secretário do PPGA, Vicente de Sousa Paulo pela presteza, e aos demais funcionários que direta ou indiretamente contribuíram com esse trabalho;

SUMÁRIO

RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO GERAL	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Consorciação de culturas	03
2.2. Balanço hídrico no solo	05
2.3. Performance produtiva de culturas solteiras e consorciadas a disponibilidade hídrica no solo	07
2.4. Estresse hídrico em culturas solteiras e consorciadas.....	10
2.5. Índice de satisfação das necessidades de água em culturas solteiras e consorciadas	14
2.6. Medidas de eficiência técnica e econômica em cultivos consorciados	15
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
4. CAPÍTULO I – Performance produtiva do consórcio milho – feijão-caupi a disponibilidade hídrica no solo	28
Resumo	28
Abstract	29
Introdução	30
Material e Métodos	31
Resultados e Discussão	40
Conclusões	59
Referências.....	59

Formatado: Esquerda: 2,87 cm, Direita: 1,5 cm, Superior: 3,5 cm, Inferior: 3,02 cm, Início da seção: Nova página, Largura: 21 cm, Altura: 29,7 cm, Distância do cabeçalho da margem: 1,27 cm, Distância do rodapé da margem: 1,27 cm, Não Diferente na primeira página

5. CAPÍTULO II – Índice de satisfação da necessidade de água do consórcio milho – feijão-caupi	62
Resumo	62
Abstract	63
Introdução	64
Material e Métodos	65
Resultados e Discussão	75
Conclusões	79
Referências.....	79

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 - Imagem aérea do Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI..	31
Figura 2 - Detalhe da área (A) e da parcela experimental (B).....	33
Figura 3 - Sistema de irrigação por aspersão convencional usado no ensaio.....	34
Figura 4 - Sistema de irrigação por aspersão no esquema “line source”	36
Figura 5 - Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI.	37
Figura 6 - Lâminas de irrigação acumuladas aplicadas nos tratamentos, no período que compreende a fase inicial, “line source” e fase final no sistema solteiro	41
Figura 7 - Lâminas de irrigação acumuladas aplicadas nos tratamentos, no período que compreende a fase inicial, “line source” e fase final no sistema consorciado.....	42
Figura 8 - Número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (COMPV), peso de cem grãos (PCGF), produtividade de vagem (PV), produtividade de grãos (PGF) e peso de grãos por vagem (PGV) do feijão-caupi em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação (L)	46
Figura 9 - Peso médio de espiga (PME), peso de grãos de milho (PGE), produção de grãos de milho (PGM), peso de cem grãos de milho (PCGM), altura da planta (AP), número de espiga por planta (NEP), comprimento de espiga (CE) e índice de grãos de milho (IDGM).....	49
Figura 10 - Número de vagens por planta (NVP), produtividade de grãos (PGF), número de grãos por vagem (NGV), produtividade de vagem (PV) e peso de cem grãos (PCGF) para o feijão-caupi em consórcio em função das lâminas de irrigação (L)	51
Figura 11 - Altura da planta (AP), comprimento de espiga (CE), peso médio de espiga (PME), peso de grãos de milho (PGE), produção de grãos de milho (PGM), em cultivo consorciado com o feijão-caupi, em função das lâminas de irrigação (L)	53
Figura 12 - Eficiência do uso da água (EUALTF) do feijão-caupi em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação (L)	55
Figura 13 - Eficiência do uso da água (EUALTM) do milho em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação (L)	55
Figura 14. Eficiência do uso da água (EUALTF) do feijão-caupi em cultivo consorciado em função das lâminas de irrigação (L).....	57

Figura 15. Eficiência do uso da água (EUALTM) do milho em cultivo consorciado em função das lâminas de irrigação (L).....	57
Figura 16. Produção equivalente em cultivo consorciado em função das lâminas de irrigação (L)	59

CAPÍTULO II

Figura 1 - Imagem aérea do Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI	65
Figura 2 - Detalhe da área (A) e da parcela experimental (B)	68
Figura 3 - Sistema de irrigação por aspersão convencional usado no ensaio	69
Figura 4 - Sistema de irrigação por aspersão no esquema “line source”.....	70
Figura 5 - Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI	71
Figura 6 - Detalhe do procedimento de leitura com o equipamento Diviner 2000®	75

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

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), insolação (Ins), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de 1980 a 1999	32
Tabela 2. Análise de fertilidade do solo da área experimental. Teresina, PI, 2006.....	32
Tabela 3. Capacidade de campo determinados em amostras de solo indeformadas em laboratório.....	32
Tabela 4. Informações granulométricas do solo da área experimental. Teresina, PI, 2006.....	33
Tabela 5. Lâminas de irrigação aplicadas nas culturas solteiras em função da aplicação dos tratamentos	40
Tabela 6. Lâminas de irrigação aplicadas nas culturas consorciadas em função da aplicação dos tratamentos	40
Tabela 7. Conteúdo de água no solo durante a aplicação do “line source”, nas culturas solteiras e consorciadas, em função da aplicação das lâminas de irrigação	43
Tabela 8. Médias de número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (cm) (COMPV), peso de cem grãos (g) (PCGF), produtividade de vagens (kg ha ⁻¹) (PV), produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) (PGF) e peso de grãos por vagem (g) (PGV) do feijão-caupi em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação aplicadas (L)	44
Tabela 9. Equações de regressão para número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (g) (PCGF), produtividade de vagem (kg ha ⁻¹) (PV), produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) (PGF) e peso de grãos de vagem(g) (PGV) do feijão-caupi em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação (L)	45
Tabela 10. Médias de peso de cem grãos de milho(g) (PCGM), peso de espiga (g) (PME), peso de grãos por espiga (g) (PGE), produtividade de grãos de milho(kg ha ⁻¹) (PGM), altura da planta(cm) (AP), número de espigas por planta (NEP), comprimento de espiga (cm) (CE) e índice de grãos de milho (IDGM) em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação aplicadas (L).	47

Tabela 11. Equações de regressão para peso médio de espiga (PME), peso de grãos de espiga (PGE), produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1}) (PGM), peso de cem grãos de milho(g) (PCGM), altura da planta (cm) (AP), numero de espiga por planta (NEP), comprimento de espiga (cm) (CE) e índice de grãos de milho (IDGM) em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação (L).....	48
Tabela 12. Médias de número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (g) (PCGF), produtividade de vagem (kg ha^{-1})(PV) e produtividade de grãos (kg.ha^{-1})(PGF) do feijão-caupi em cultivo consorciado em função das lâminas de irrigação aplicadas (L)	50
Tabela 13. Equações de regressão para número de vagens por planta (NVP), produtividade de vagem (kg ha^{-1}) (PV), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) (PGF), numero de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (g) (PCGF) do feijão-caupi em consórcio em função das lâminas de irrigação (L)	50
Tabela 14. Peso médio de espiga (g) (PME), peso de grãos de espiga (g) (PGE), produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1}) (PGM), altura da planta (cm) (AP), comprimento de espiga(cm) (CE) e índice de grãos de milho (IDGM) em cultivo consorciado em função das lâminas de irrigação aplicadas (L)	52
Tabela 15. Equações de regressão para a altura da planta (cm) (AP), comprimento de espiga (cm) (CE), peso médio de espiga (g) (PME), peso de grãos de espiga (g) (PGE) e produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1}) (PGM), em cultivo consorciado com o feijão-caupi, em função das lâminas de irrigação (L)	52
Tabela 16. Médias da eficiência do uso da água e de produção em função das lâminas totais e diferenciadas aplicadas nas culturas de feijão-caupi e milho em sistema de cultivo solteiro	54
Tabela 17. Médias da eficiência do uso da água e de produção em função das lâminas totais e diferenciadas aplicadas nas culturas de feijão-caupi e milho em sistema de consórcio	56
Tabela 18. Produção equivalente em milho baseada no preço mínimo médio (r_1), preço mínimo mais desvio padrão (r_2) e preço mínimo menos desvio padrão (r_3) em função das lâminas totais aplicadas nas culturas de feijão-caupi e milho em sistema de cultivo consorciado	58

CAPÍTULO II

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), insolação (Ins), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de 1980 a 1999	66
Tabela 2. Análise de fertilidade do solo da área experimental. Teresina, PI, 2006	66
Tabela 3. Informações granulométricas do solo da área experimental. Teresina, PI, 2006.....	67
Tabela 4. Equações obtidas para a calibração da sonda de capacitância Diviner 2000 [®] em diferentes camadas e para todo o perfil do solo da área experimental	74
Tabela 5. Rendimento médio de grãos de feijão-caupi e milho, em cultivo solteiro, em função dos valores de ISNA's definidos para as lâminas de irrigação aplicadas	76
Tabela 6. Rendimento médio de grãos de feijão-caupi e milho, em cultivo consorciado, em função dos valores de ISNA's definidos para as lâminas de irrigação aplicadas.	76

DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DE RISCO CLIMÁTICO NO CONSÓRCIO MILHO – FEIJÃO-CAUPI

Autor: Valber Mendes Ferreira

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

RESUMO

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, no Município de Teresina, PI (05°05' S; 42°48' W e 74,4m). Primeiramente, foi avaliada a performance produtiva do consórcio milho – feijão-caupi a disponibilidade hídrica no solo, bem como a eficiência do uso de água e medidas de eficiência técnica. As culturas de milho e feijão-caupi, em cultivo solteiro e consorciado, apresentaram comportamento diferenciado na produção de grãos, componentes de produção, eficiência do uso da água e produção equivalente de grãos. Para o feijão-caupi, no cultivo solteiro, o componente de produção com maior variabilidade positiva em resposta ao aumento da lâmina de irrigação e com impacto direto no aumento de produtividade de grãos foi o número de vagens por planta. Para o milho, em cultivo solteiro, a produtividade de grãos aumentou em aproximadamente 788% com aplicação da maior lâmina em relação a menor. O milho no cultivo consorciado apresentou um incremento de 298% na sua produtividade com aplicação da maior lâmina em relação a menor. No cultivo solteiro, a eficiência de uso de água, no feijão-caupi, alcançou um maior valor de $4,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ com aplicação de uma lâmina de irrigação de 390,1 mm. Para o milho a maior eficiência do uso da água foi de $24,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ com aplicação de uma lâmina de 501,5 mm. A produção equivalente de grãos de milho no cultivo consorciado apresentou incremento de 362% com aplicação da maior lâmina de irrigação em relação a menor. Foram definidos, também, os valores dos índices de satisfação das necessidades de água (ISNA's) do consórcio milho – feijão-caupi, sob condições de estresse hídrico, visando subsidiar os modelos de estimativa de risco climáticos. Houve tendência de redução dos valores de ISNA's e de rendimentos de grãos de milho e feijão-caupi, em cultivo solteiro e consorciado, à medida que os níveis de estresse hídrico foram crescentes nas parcelas. No cultivo solteiro, com as maiores lâminas de irrigação obtiveram-se os maiores valores de ISNA's de 0,614, para o feijão-caupi, e de 0,638 para o milho. No consórcio, o ISNA obtido sob a condição mais favorável foi de 0,773.

Palavras-chave – Irrigação, Balanço hídrico, Risco climático, Zoneamento.

CLIMATIC RISK PARAMETERS FOR THE MAIZE – COWPEA INTERCROPPED

Author: Valber Mendes Ferreira
Adviser: Dr. Aderson de Andrade Junior

ABSTRACT

The experiment was carried out in the Experimental Area of the Embrapa Mid-North, Teresina, Piauí State, Brazil (05°05' S; 42°48' W and 74.4m). At first, it was evaluated yield maize-cowpea intercropped to soil moisture availability, as well the water use efficiency and technical measurements. The maize and cowpea, mono and intercropping system, showed different responses to grain yield, yield components, water use efficiency and grain yield equivalent. For the cowpea monocropping, the yield component with higher positive variability in response to the increase of the irrigation depth and with direct impact to the increase of grain yield was the number of pod per plant. For the maize monocropped, the grain yield approximately increased in 788% with application of the higher depth comparing to the lower. The maize intercropped showed increase of 298% in its productivity with application of the higher depth in relation the lower. In cowpea monocropped, the higher value of water use efficiency was of 4.1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ with application of 390.1 mm. For the maize monocropped the higher value of water use efficiency was of 24.8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ with application of 501.5 mm. The grains production equivalent of maize monocropped showed an increase of 362% with application of the higher depth of irrigation in relation the lower. The values of the indices of satisfaction of the water necessities (ISNA's) of the maize – cowpea intercropped were defined, under water stress condition to provide climatic risk estimate models. There was reduction of when ISNA's values maize and cowpea yield and of were, in both crop systems water stress increased in the plots. In the monocropping, with the higher depth irrigation the higher values of ISNA's were 0.614, for the cowpea, and of 0.638 for the maize. In the intercropped cultivation, the ISNA obtained under the condition most favorable was of 0.773.

Key words – Irrigation, Water balance, Climatic risk, Zonation.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção agrícola de alimentos básicos é, em grande parte, oriunda de pequenas propriedades. Por isso, é importante a introdução de técnicas de baixo custo, objetivando o aumento da produtividade nessas áreas. Neste contexto, o consórcio de culturas torna-se uma prática de grande expressão para a agricultura de subsistência (RAPOSO et al., 1995).

O consórcio de culturas é prática generalizada entre os pequenos produtores no Brasil, que buscam, com o sistema, redução dos riscos de perdas, devido, notadamente, às irregularidades climáticas; maior aproveitamento da sua propriedade e maior retorno econômico; além de constituir alternativa altamente viável para aumentar a oferta de alimentos (ANDRADE et al., 2001).

Durante a última década, o nível de conscientização quanto às relações da agricultura com o ambiente, os recursos naturais e a qualidade dos alimentos cresceram substancialmente. Existe interesse entre os agricultores por sistemas alternativos de produção que aumentem a rentabilidade e melhorem a qualidade de vida no meio rural, além de preservar a capacidade produtiva do solo no longo prazo (EHLERS, 1999).

Dentre as práticas alternativas de produção enquadram-se os consórcios de culturas, que antes da modernização e da industrialização da agricultura eram comuns, sendo o monocultivo a exceção.

As vantagens dos cultivos consorciados, em relação ao monocultivo, são: o aumento da produção por unidade de área em determinado período de tempo, a melhor distribuição temporal de renda, o aproveitamento mais adequado dos recursos disponíveis, a diversificação da produção, o que significa maior variedade de alimentos para as comunidades rurais e o menor risco de insucesso, além de conferir maior proteção ao solo (FAGERIA, 1989; VANDERMEER, 1990).

Dentre as associações de espécies de culturas anuais em uso na região Nordeste brasileiro, destacam-se os seguintes consórcios: algodão – feijão-caupi, milho – feijão-caupi, sorgo – feijão-caupi, mamona – feijão-caupi e mandioca – feijão-caupi, os quais merecem atenção especial no sentido de se buscar estratégias para melhoria da eficiência desses sistemas de cultivo.

No cultivo consorciado, as espécies normalmente diferem em altura e em distribuição das folhas no espaço, entre outras características morfológicas, que podem levar as plantas a competir por energia luminosa, água e nutrientes. A divisão da radiação solar incidente sobre as plantas,

em um sistema consorciado, será determinada pela altura das plantas e pela eficiência de interceptação e absorção. O sombreamento causado pela cultura mais alta reduz tanto a quantidade de radiação solar à cultura mais baixa como a sua área foliar (FLESCH, 2002).

Por isso, dado as especificidades dos cultivos consorciados, é extremamente importante a realização de estudos com o objetivo de definirem-se as relações de competição por radiação solar e água, para determinar os parâmetros relativos aos coeficientes de cultivo (K_c), a evapotranspiração real (E_{Tr}), evapotranspiração máxima (E_{Tm}) e a relação E_{Tr} / E_{Tm} (Índice de Satisfação das Necessidades de Água – ISNA) sob condição de estresse hídrico. A determinação desses parâmetros é importante para subsidiar os modelos de estimativa de riscos climáticos, com as indicações das melhores épocas de semeadura nas diferentes regiões edafoclimáticas do Nordeste do Brasil, proporcionando aumento do desempenho dos sistemas e a maximização da produção por unidade de área.

Dentro desse contexto, desenvolveu-se esta pesquisa com os objetivos de: determinar a performance produtiva em resposta à disponibilidade hídrica no solo, bem como o índice de satisfação das necessidades de água, de forma integrada, para avaliar e quantificar os riscos climáticos por deficiência hídrica do consórcio milho – feijão-caupi.

Este estudo 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 risco climático de culturas consorciadas. É constituído de uma introdução geral, revisão de literatura e dois capítulos. No primeiro capítulo, determina-se a performance produtiva do consórcio milho – feijão-caupi em resposta a disponibilidade de água no solo e no segundo capítulo, determina-se o índice de satisfação da necessidade de água do consórcio milho – feijão-caupi. Ressalta-se que a adoção de irrigação no estudo foi unicamente no sentido de simular a chuva, bem como para controlar os níveis de déficits hídricos aplicados aos tratamentos no momento adequado. De forma alguma, pretende-se com este estudo recomendar a adoção de irrigação em culturas consorciadas, uma vez que se trata de um sistema de cultivo eminentemente de sequeiro.

Os capítulos representam artigos científicos e estão formatados conforme as normas da **Revista Ciência Agrônômica e Revista Brasileira de Agrometeorologia**, para posterior submissão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A literatura existente envolvendo estudos com culturas consorciadas, nas diferentes condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, é bastante ampla. Diferentes aspectos dos principais sistemas de cultivo consorciados em uso na região já foram abordados e encontram-se bem definidos, tais como: avaliação de genótipos (ALBUQUERQUE et al. 1984a, 1984b; REZENDE et al., 2001); épocas e intervalos de semeadura (CARDOSO et al. 1981a, 1981b; LIMA; NOGUEIRA, 1978; QUEIROGA, 1982); arranjos populacionais (AGUIAR FILHO, 1984; AZEVEDO et al. 1998a, 1998b; AZEVEDO et al. 1999a, 1999b; BEZERRA NETO et al., 1991; CARDOSO et al., 1992; FLESCHE, 2002; OLIVEIRA, 1993); respostas fisiológicas (LIMA FILHO, 2000); viabilidade técnica e econômica (ANTERO NETO; VIEIRA, 1984); manejo de solo e nutrientes (MOJICA, 1975) e de água no solo (JENA; MISRA, 1988; MOJICA, 1975; LOPES, 1987).

Entretanto, os aspectos hídricos ligados à associação de culturas não foram pesquisados, principalmente, levando-se em conta que esses sistemas agrícolas foram desenvolvidos para o cultivo durante o período de verão. Da mesma forma, a literatura não faz alusão a trabalhos de pesquisa com o objetivo de definir os parâmetros (K_c , ET_r , ET_m e $ISNA$) em sistemas agrícolas consorciados, fundamentais na aplicação de modelos de estimativa de risco climático. Atualmente, demandas para uma melhor tecnificação dos consórcios sugerem um melhor conhecimento dos aspectos hídricos das culturas associadas em cultivo.

2.1 Consorciação de culturas

A produção agrícola de alimentos básicos é, em grande parte, oriunda de pequenas propriedades. Por isso, é importante a introdução de técnicas de baixo custo, objetivando o aumento da produtividade. Neste contexto, o consórcio de culturas torna-se uma prática de grande expressão para a agricultura de subsistência (RAPOSO et al., 1995).

Segundo Portes e Silva (1996), entende-se por consórcio de culturas 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 conviva com a outra, em todo ou em pelo menos parte do seu ciclo. O consórcio de culturas é prática generalizada entre os pequenos produtores no Brasil, que buscam, com o sistema, redução dos riscos de perdas, devido, notadamente, às irregularidades climáticas; maior

aproveitamento da sua propriedade e maior retorno econômico; além de constituir alternativa altamente viável para aumentar a oferta de alimentos (ANDRADE et al., 2001).

Durante a última década, o nível de conscientização quanto às relações da agricultura com o ambiente, os recursos naturais e a qualidade dos alimentos cresceram substancialmente. Existe interesse entre os agricultores por sistemas alternativos de produção que aumentem a rentabilidade e melhorem a qualidade de vida no meio rural, além de preservar a capacidade produtiva do solo no longo prazo (EHLERS, 1999).

Dentre as práticas alternativas de produção enquadram-se os consórcios de culturas, que antes da modernização e da industrialização da agricultura eram comuns, sendo o monocultivo a exceção.

As vantagens dos cultivos consorciados, em relação ao monocultivo, são: o aumento da produção por unidade de área em determinado período de tempo, a melhor distribuição temporal de renda, o aproveitamento mais adequado dos recursos disponíveis, a diversificação da produção, o que significa maior variedade de alimentos para as comunidades rurais e menor risco de insucesso, além de conferir maior proteção ao solo (FAGERIA, 1989; VANDERMEER, 1990). Gonçalves (1981) ressaltou que os consórcios, por lidarem com diferentes ciclos de culturas, propiciam otimização da força de trabalho, safras mais elevada e conseqüentemente, maior rentabilidade para o produtor rural.

Dentre as associações de espécies de culturas anuais em uso na região Nordeste do Brasil, destacam-se os seguintes consórcios: algodão – feijão-caupi, milho – feijão-caupi, sorgo – feijão-caupi, mamona – feijão-caupi e mandioca – feijão-caupi, os quais merecem atenção especial no sentido de se buscar estratégias para melhoria da eficiência desses sistemas de cultivo.

No cultivo consorciado, as espécies normalmente diferem em altura e em distribuição das folhas no espaço, entre outras características morfológicas, que podem levar as plantas a competir por energia luminosa, água e nutrientes. A divisão da radiação solar incidente sobre as plantas, em um sistema consorciado, será determinada pela altura das plantas e pela eficiência de interceptação e absorção. O sombreamento causado pela cultura mais alta reduz tanto a quantidade de radiação solar à cultura mais baixa como a sua área foliar (FLESCH, 2002).

Por isso, dado as especificidades dos cultivos consorciados, é extremamente importante a realização de estudos com o objetivo de definirem-se as relações de competição por radiação solar e água, para determinar os parâmetros relativos aos coeficientes de cultivo (K_c), a evapotranspiração real (E_{Tr}), evapotranspiração máxima (E_{Tm}) e a relação E_{Tr} / E_{Tm} (Índice de

Satisfação das Necessidades de Água – ISNA) sob condição de estresse hídrico. A determinação desses parâmetros é importante para subsidiar os modelos de estimativa de riscos climáticos, com as indicações das melhores épocas de semeadura nas diferentes regiões edafoclimáticas do Nordeste, proporcionando aumento do desempenho dos sistemas e a maximização da produção por unidade de área.

2.2 Balanço hídrico no solo

O conteúdo de água no solo é um dos componentes do ciclo hidrológico que influencia diretamente a quantidade de água disponível para as culturas agrícolas, o que por sua vez afeta o seu desenvolvimento, crescimento, produtividade e a necessidade de irrigação.

Segundo Almeida (1993), de todos os elementos do clima, a precipitação é um dos que mais afeta a produção agrícola, em face de sua grande variabilidade tanto em duração e tempo de ocorrência. Porém, para prover as disponibilidades hídricas no solo necessárias à agricultura não basta considerar somente os dados pluviométricos do período. Estes correspondem apenas ao processo de suprimento de água no solo para uso das plantas. É necessário considerar, também, o processo oposto, ou seja, a perda de água do solo para a atmosfera devido à evapotranspiração, fazendo-se o balanço hídrico da água no solo.

O balanço hídrico pode ser entendido como a contabilização dos ganhos e perdas de água, em determinado volume de solo. Os ganhos são constituídos, basicamente, pela precipitação pluvial e a irrigação, enquanto as perdas são provenientes de evapotranspiração, percolação profunda, escoamento superficial e subsuperficial de saída. O volume de solo é definido pela profundidade efetiva do sistema radicular, onde se observa a absorção de água pelas raízes.

Como as culturas têm diferentes eficiências de uso da água disponível no solo, é importante o estudo do balanço hídrico do solo em agroecossistemas frente a diferentes cenários de mudanças climáticas. Esses estudos podem auxiliar no planejamento do agronegócio para lidar com este futuro desafio.

O conhecimento de como as plantas utilizam a água no solo e de como respondem aos níveis de armazenamento a partir do balanço hídrico, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando ao melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas. O movimento cíclico da água na lavoura começa com a sua penetração no solo por meio da infiltração, continua com seu armazenamento temporário na zona

do sistema radicular e termina com sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção pelas raízes.

O método do balanço hídrico do solo é satisfatório na determinação da evapotranspiração de culturas, visto que contabiliza as entradas e saídas de água no volume de controle e indica o volume de água que permanece no solo para atender às necessidades metabólicas das plantas (REICHARDT, 1985).

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário, portanto, computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio superficial num volume de solo, com base na configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo; se a quantidade de água que entra no tempo considerado for maior que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Os saldos positivos e negativos serão medidos pela variação de armazenamento de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 1995).

A importância do balanço hídrico, como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar) como, também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço.

Para se realizar o balanço hídrico do solo é necessário saber as características de retenção de água do solo, a quantidade de água disponível inicialmente ao longo do perfil do solo e também, qual a profundidade que as raízes da planta atingem. Com estes dados, pode-se estabelecer uma porcentagem do total de água que o solo pode armazenar a cada fase do ciclo da cultura como um limite para iniciar uma irrigação evitando o estresse hídrico da cultura.

Como o objetivo da irrigação é repor a água evapotranspirada pela cultura, inicia-se o balanço hídrico do solo no primeiro dia após uma chuva ou irrigação. Em seguida, acumula-se a evapotranspiração da cultura diariamente até que esta se iguale a lâmina que usualmente se aplica a cada irrigação. Desta maneira, mantêm-se o conteúdo de água no solo sempre próxima ao valor inicial favorável e sabe-se quando o solo está apto a receber a lâmina de irrigação a ser aplicada.

Utilizando o balanço hídrico no solo, Musande et al (1981) avaliaram a demanda hídrica, a eficiência e o padrão de extração de água no consórcio algodão com legumes locais submetidos

a diferentes densidades de plantio (0,6 m x 0,3 m; 0,75 m x 0,24 m e 0,9 m x 0,2 m) e níveis de adubação. Concluíram que a demanda hídrica foi influenciada pelas densidades populacionais, sendo maior nas maiores densidades de plantio. A maior eficiência de água no solo (39,6 kg cm⁻¹ de água) foi obtida com a densidade de plantio intermediária (0,75 m x 0,24 m). O padrão de extração de água no perfil do solo foi alterado, apenas, nas maiores densidades populacionais, notadamente, na camada de 0,6 m a 0,9 m, indicando que as raízes penetraram mais no perfil do solo sob elevadas densidades populacionais.

Jena e Misra (1988) avaliaram, usando o balanço hídrico diário, a extração, a percolação e a evapotranspiração das culturas (ETc) de arroz (A) e feijão guandu (G), em cultivo solteiro e consorciado e dois arranjos espaciais (1A:2G e 2A:5G), sob condições de sequeiro. A ETc média diária foi de 2,8 mm/dia (A); 7,9 mm/dia (G); 4,9 mm/dia (1A:2G) e 3,5 mm/dia (2A:5G), indicando haver diferenças sensíveis na demanda hídrica das culturas, em função do arranjo espacial adotado no consórcio.

O balanço hídrico é empregado em larga escala como ferramenta para estimativa do potencial climático regional quanto à disponibilidade de água as culturas, definindo melhores épocas de plantios, riscos de atendimento da demanda hídrica pelas plantas e, finalmente, possibilitando o zoneamento agroclimático (JACOMAZZI, 2004).

2.3 Performance produtiva de culturas solteiras e consorciadas a disponibilidade hídrica no solo

A produção de alimentos é essencial para a existência humana e demanda uma grande quantidade de água. Em condições naturais de ecossistemas cultivados, a produtividade das culturas depende diretamente do meio ambiente, sendo o regime hídrico o fator mais importante e, na falta de precipitações pluviais, há a necessidade de irrigação, de forma parcial ou integral, dependendo da região do país.

Do ponto de vista econômico, a eficiência de uso da água vem a ser o retorno financeiro em relação ao investimento no seu suprimento. Fisiologicamente, a eficiência do uso da água é o total de massa seca produzida pela planta por unidade de volume de água extraída do solo por essa planta.

Para uma planta completar satisfatoriamente o seu ciclo e expressar seu máximo potencial produtivo, ela requer um volume grande de água. A quantidade de água que as plantas necessitam

absorver para realizar os processos fisiológicos ligados à germinação, crescimento, desenvolvimento e produção de grãos depende da espécie vegetal, época e região de cultivo.

O controle da lâmina de água a ser aplicada é importante no manejo da agricultura irrigada, pois tanto o excesso como a falta, causa redução na produtividade de grãos das culturas.

Um dado importante para a estimativa da necessidade hídrica da cultura é a profundidade efetiva do sistema radicular (Z), ou seja, a profundidade onde se concentram 80% das raízes da cultura. Para o feijão-caupi, a literatura recomenda valores de Z iguais a 20 cm (IRRIGAÇÃO, 2002). Para o milho, segundo Resende et al. (1990a), embora se concentre até 60 cm de profundidade, recomenda-se considerar Z igual a 20 cm, nos primeiros 30 dias após o plantio, e 40 cm dessa fase até a maturação completa da cultura.

Na cultura do milho, a disponibilidade de água passa a ser fator decisivo no potencial de produção de grãos, no período compreendido entre os 3º e 5º estádios, ou seja, com 85 a 90% da área foliar e florescimento até o estágio de enchimento dos grãos (FANCELLI e DOURADO NETO, 1996).

Normalmente, a quantidade total de água necessária para a irrigação é calculada levando-se em consideração fatores agrometeorológicos, evapotranspiração real, capacidade de armazenamento de água do solo e profundidade efetiva do sistema radicular (BERNARDO, 1989; KLAR, 1991; MAROUELLI et al., 1994). Existem, também, diversos trabalhos que determinaram a lâmina total de irrigação para obter a maior produtividade física destacando-se, dentre eles, Silva et al. (1992) e Couto et al. (1986), que avaliaram os efeitos da aplicação de lâminas de irrigação na produtividade de grãos de milho. Silva et al. (1992) trabalharam com cinco níveis diferentes de lâmina de água, sendo que as lâminas totais (precipitação + lâmina média aplicada) variaram entre 109 até 753 mm, para o ciclo total da cultura, obtendo-se produtividades variando entre 1.638,3 até 8.543,2 kg ha⁻¹.

Segundo Couto et al. (1986), apesar da alta precipitação ocorrida durante a fase experimental (974 mm), sua distribuição foi irregular, causando estresse hídrico nas fases de polinização e enchimento dos grãos no milho. Com a aplicação de apenas 42 mm, distribuídos durante o ciclo da cultura, ocorreu acréscimo de 44,3% no rendimento dos grãos. No tratamento que recebeu uma lâmina total de água de irrigação de 104 mm, distribuídos durante todo o ciclo da cultura, o acréscimo no rendimento dos grãos foi de 93,7%.

Pesquisas desenvolvidas por Aguiar (1989), com o feijão-caupi irrigado por aspersão sob diferentes manejos de água e adubação, indicaram maiores rendimentos com uma lâmina de 226

mm e 181 kg ha⁻¹ de NPK, enquanto uma lâmina maior (315 mm) proporcionou produtividades menores, devido à redução na porosidade livre de água.

Rodrigues et al. (1999), avaliaram a resposta de duas cultivares de feijão-caupi (BR-10 Piauí e BR-14 Mulato) à aplicação de quatro lâminas de irrigação (392,1 mm; 335,9 mm; 207,4 mm e 113,8 mm), quanto à produtividade de grãos e vagens verdes, nas condições edafoclimáticas de Parnaíba – PI. Verificaram que, considerando a média das duas cultivares, as máximas produtividades de vagens (6.579 kg ha⁻¹) e de grãos verdes (4.272 kg ha⁻¹) foram obtidos com aplicação de uma lâmina de irrigação de 392,1 mm. Nas mesmas condições edafoclimáticas, Andrade et al. (1993) observaram valores de evapotranspiração da cultura variando de 5 mm dia⁻¹, no início do ciclo, a 9 mm dia⁻¹, aos 32 dias após o plantio, quando o cultivo alcançou seu pleno desenvolvimento vegetativo.

Lima et al. (1999), trabalhando com um solo Neossolo Flúvico, avaliaram o efeito de cinco lâminas de irrigação (291,8; 251,7; 219,0; 175,7; 141,2 mm) sobre a produtividade de grãos de três cultivares de feijão-caupi (João Paulo II, Pitiúba e Setentão). De acordo com a análise de regressão, os valores máximos de produtividade estimados e as respectivas lâminas de água aplicadas foram: 1.429,0 kg ha⁻¹/ 240,27 mm (cv. João Paulo II); 970,99 kg ha⁻¹/ 225,88 mm (cv. Pitiúba) e 1.271,12 kg ha⁻¹/ 250,64 mm (cv. Setentão).

Andrade Júnior et al. (2002) obtiveram produtividades de 2.809 kg ha⁻¹ e 2.103 kg h⁻¹ para as cultivares de feijão-caupi, BR-17 Gurguéia e BR-14 Mulato respectivamente, em experimento realizado no Litoral Piauiense. As referidas produtividades foram obtidos com o emprego de 449,1mm e 389,9mm de água, respectivamente.

Silva (1978) estudou o efeito de diferentes níveis de água sobre a produção e componentes de produtividade em feijão vigna. Concluiu que o número de grãos por vagem e o peso de cem grãos não foram influenciados pela variação da lâmina de água aplicada à cultura. Frizzone (1986) estudando o efeito da lâmina de água sobre a produtividade de grãos e componentes de produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) verificou que a máxima produtividade relativa de grãos foi obtida com a aplicação de uma lâmina de irrigação de 534mm, proporcionando uma tensão de água no solo de -19 kPa, correspondendo a uma frequência de irrigação de aproximadamente 6 dias.

Sing et al. (1975) encontraram que diferentes regimes de irrigação afetaram apreciavelmente a produtividade de grãos de feijão (*Vigna sinenses* (L.) Savi) e que a melhor produtividade da cultura foi obtido ao irriga-se em 35% de água disponível no solo.

Assim, quando do planejamento de um sistema de produção de milho e feijão-caupi, para a definição da lâmina de irrigação a ser aplicada, devem-se avaliar as expectativas de produtividade relacionadas com a disponibilidade.

2.4 Déficit hídrico em culturas solteiras e consorciadas

O uso da irrigação, a quantidade de água e o momento de aplicar inserem-se em uma decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera. É necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a elas fornecidas, as etapas de seu desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou excesso redundaria em quedas de produção (BERNARDO, 1989).

A deficiência de água normalmente é o fator mais limitante para a obtenção de produtividade elevada e produtos de boa qualidade, mas o excesso, também, pode ser prejudicial (SILVA e MAROUELLI, 1998).

A ocorrência de déficit hídrico em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas. O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, notadamente, sob cultivo de sequeiro, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR e SINCLAIR, 1996).

Em condições naturais e agricultáveis, as plantas estão freqüentemente expostas ao estresse ambiental. Alguns fatores dessa natureza, como a temperatura do ar, por exemplo, podem se tornar estressantes em poucos minutos, enquanto outras, com conteúdo de água no solo, podem levar dias ou até semanas. Além disso, o estresse desempenha um papel importante na determinação de como o solo limita a distribuição de espécies vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2004). Diante deste contexto, é de fundamental importância o conhecimento das condições agrometeorológicas durante o período de desenvolvimento das plantas, principalmente, quanto aos períodos de baixa precipitação e elevada demanda evapotranspirativa.

O estresse é, em geral, definido como um fator externo, que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta. O estresse é a aptidão da planta enfrentar um ambiente desfavorável. Um ambiente estressado para uma planta pode não o ser para outra, ou seja, a tolerância à seca varia de espécie para espécie (KERBAUY, 2004).

Os efeitos do déficit hídrico são iniciados quando a evapotranspiração supera a taxa de absorção de água do solo pela cultura, estando associada à redução progressiva da disponibilidade

de água no solo (SILVEIRA e STONE, 2001). O déficit hídrico na planta é caracterizado por uma redução do seu conteúdo de água e do seu potencial hídrico, resultando em perda de turgescência, fechamento dos estômatos e redução do crescimento, e conseqüentemente redução da produção final.

Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, freqüentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores.

A primeira estratégia da planta para se adaptar às condições de estresse hídrico é a redução da parte aérea em favor das raízes, limitando sua capacidade de competir por luz, pela diminuição da área foliar, com conseqüente redução na produtividade (NABINGER, 1997).

O estresse hídrico que se desenvolve em qualquer situação particular na planta é o resultado de uma completa combinação dos fatores do solo, da planta e da atmosfera, os quais interagem para controlar a taxa de absorção e a perda de água (VAADIA et al., 1961), ainda que, de acordo com Gavande (1976), a resposta das plantas ao fator "água" pareça estar relacionada mais estreitamente com o potencial total de água no solo.

À medida que o solo seca torna-se mais difícil às plantas absorverem água, porque aumenta a força de retenção e diminui a disponibilidade de água no solo às plantas (BERGAMASCHI, 1992). De acordo com Ludlow e Muchow (1990), a redução no conteúdo de água no solo causa significativa variação na distribuição e desenvolvimento radicular, podendo mudar o período de disponibilidade e a quantidade de água disponível para as plantas. Desta forma, nem toda a água que o solo armazena é disponível às plantas (CARLESSO, 1995).

Sob condições de déficit hídrico, o equilíbrio entre a produção de assimilados e a demanda para o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos é severamente afetado pela redução na área foliar fotossinteticamente ativa (GERIK et al., 1996).

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 e WATT, 1988).

Resultados de trabalhos realizados com feijão comum mostram que os estádios de floração e enchimento de grãos são os mais críticos ao déficit hídrico (ANDRADE et al. 1999; BRITO, 1993; FERREIRA et al. 1991; FIEGENBAUM et al. 1991; GUIMARÃES et al. 1996).

Freire (1990) encontrou maiores reduções na produção quando o déficit hídrico que foi aplicado no estágio de crescimento foi comparado ao déficit ocorrido na fase de frutificação. Entretanto, Pereira et al. (1998) encontraram quedas de 36,8%, 31,3% e 50,6% na produção de grãos de feijão comum para déficit hídrico nas fases de crescimento, floração e frutificação, respectivamente. Pode-se afirmar, então, que o déficit hídrico pode provocar quedas acentuadas de produção, independentemente da época de sua ocorrência, mas não à regionalização de sua intensidade.

Bezerra et al. (2003) analisaram a influência do déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos, sobre as características agrônomicas de produção do feijão-caupi. Verificaram que a aplicação de déficit hídrico em apenas um estágio fenológico causou redução maior na produtividade quando ocorrido no estágio de enchimento de grãos, sendo esta fase considerado o mais crítica ao déficit hídrico. O déficit em dois estádios fenológicos causou maior redução na produtividade, quando aplicado nos estádios vegetativo e de enchimento de grãos. Quando o déficit aplicado em três estádios, causou a maior redução na produtividade afetando significativamente a produtividade de grãos, número de vagem por planta e o número de grãos por vagem.

Segundo Fiegenbaun et al. (1991), o déficit hídrico imposto ao feijoeiro no período reprodutivo reduz significativamente o número de vagens por planta e o número de sementes por vagem, em função do aumento na abscisão de flores e vagens em formação.

Leite et al. (1999), em experimento com feijão-caupi submetido a diferentes níveis de estresse hídrico, constataram menor crescimento, com progressiva redução da área foliar e matéria seca total, principalmente para os níveis mais prolongados e ocorridos durante a fase reprodutiva, porém, com alta capacidade de recuperação após o final do período estressado.

Bastos et al. (2002), avaliando o crescimento e o desenvolvimento do feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação, constataram redução marcante na área foliar da cultura, à medida que se intensificou o estresse hídrico.

Em trabalhos realizados com milho, França et al. (1999) verificaram que a ocorrência de déficit hídrico durante o crescimento vegetativo ocasionou atraso nos estádios fisiológicos seguintes, afetando negativamente o índice de área foliar (IAF).

Na cultura do milho, condições de estresse durante o período vegetativo afetam a produção de matéria seca das plantas, com reflexo no rendimento de grãos (MAAS, 1993; SCHILD et al., 1999). No entanto, alguns estudos demonstram que as plantas de milho

apresentam capacidade de recuperação depois de determinados níveis de desfolha nas fases iniciais de desenvolvimento (HICKS et al., 1977; PIPER e WEISS, 1993; SHAPIRO et al., 1986).

Segundo Matzenauer et al. (2002) e Bergamaschi et al. (2004), o adequado suprimento hídrico, próximo ao pendoamento-espigamento do milho, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados.

Bergamaschi et al. (2004) constataram que pode haver redução de produtividade, mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos. O milho é extremamente sensível ao déficit hídrico, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (SHUSSLER e WESTGATE, 1991; ZINSELMEIER et al., 1995), além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada carga energética proveniente da radiação solar.

Távora et al. (1990) concluíram que a escassez de água exerce influencia negativa na produção do milho, principalmente quando imposta na fase reprodutiva, sendo o efeito mais acentuado nas condições de monocultivo do que de plantio consorciado.

Sob cultivo consorciado, Lopes (1987) estudaram o comportamento do consórcio milho – feijão-caupi e dos cultivos solteiros quando submetidos a dois níveis de estresse hídrico no solo (representado por faixas de tensões de água no solo de -0,3 MPa à -0,4 MPa e de -0,02 MPa à -0,03 MPa), em duas fases distintas do ciclo fenológico (vegetativa e reprodutiva), nas condições edafoclimáticas de Petrolina, PE Avaliaram a matéria seca (MS) e a taxa de crescimento da cultura (TCC) aos 30, 45 e 60 dias após o plantio (DAP), produção de grãos e componentes de produção. O milho mostrou-se muito sensível ao déficit de água no solo, sendo mais pronunciado na fase reprodutiva e em cultivo solteiro. A produção de grãos do feijão-caupi não foi afetada pelos níveis de déficit hídrico no solo, sendo seriamente prejudicada pelo sistema de cultivo consorciado, devido à elevada redução no número de vagens por planta.

Não existe uma variável fisiológica que por si só seja indicativa da tolerância ao estresse hídrico. Podem-se avaliar variáveis fisiológicas de fácil mensuração, como a área foliar e o acúmulo de matéria seca na parte aérea, considerados como variáveis mais sensíveis ao estresse (PIMENTEL, 2004).

Segundo Larcher (2000) podem ser utilizados vários critérios baseados em medidas de umidade do solo e na análise da distribuição da precipitação, para a avaliação do grau de estresse momentâneo a que a planta está submetida em seu ambiente.

Uma das muitas atuações da pesquisa está em se direcionar para um entendimento mais completo das respostas das plantas ao déficit hídrico. Para isto, necessita-se de um programa amplo, multidisciplinar, que aborde os elementos de meteorologia, física do solo, agronomia, fisiologia e o conhecimento do crescimento e desenvolvimento das plantas, para que esses elementos possam contribuir para uma solução comum no entendimento da resposta das plantas ao déficit hídrico.

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

A escassez de chuva durante longos períodos do ano faz parte do cenário climático do Nordeste brasileiro, resultando em risco da atividade agrícola associado a dificuldades de plantio em épocas adequadas. O zoneamento de risco climático constitui-se ferramenta fundamental no processo de tomada de decisão, permitindo, a partir das variabilidades climáticas locais e de sua espacialização por meio de sistemas de informação geográfica (SIG), a definição de regiões de aptidão climática, bem como épocas mais adequadas de semeadura como forma de diminuir os efeitos causados pela má distribuição de chuva (SILVA et al., 2004).

Estudos objetivando a definição de índices agrometeorológicos, visando minimizar os efeitos do déficit hídrico sobre as culturas, têm aumentado nos últimos anos, propiciando o aperfeiçoamento dos trabalhos de zoneamento agroclimático, com ênfase à redução de riscos na produção de grãos.

A quantidade de água consumida pela planta em condições naturais de disponibilidade hídrica (evapotranspiração real – E_{Tr}) relacionada ao consumo de água sem restrição hídrica no solo (evapotranspiração máxima – E_{Tm} ou evapotranspiração da cultura – E_{Tc}), fornece o consumo relativo de água, representado pelo índice E_{Tr}/E_{Tm} , ou seja, indica a quantidade de água que a planta consome, em relação à quantidade máxima de água que a planta consumiria, na ausência de restrição hídrica. É um índice, também denominado de índice de satisfação das necessidades de água (ISNA), de grande utilidade em estudos agrometeorológicos, sendo utilizado mais recentemente em trabalhos de zoneamento agroclimático, para a definição de áreas de menor risco à produção de grãos.

O consumo relativo de água para a cultura do milho foi determinado por Matzenauer et al. (1995), para vários locais e anos no Estado do Rio Grande do Sul. Houve alta associação entre a variável E_{Tr} / E_{Tc} e o rendimento de grãos. Concluíram que o consumo relativo de água é a

variável mais eficiente para indicar as variações de rendimento de grãos de milho entre épocas de semeadura.

O índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) do subperíodo III de desenvolvimento do feijoeiro comum – do início da floração até o início do enchimento de grãos – foi utilizado por Maluf et al. (2001) como principal índice de zoneamento de riscos climáticos para a cultura. Foram definidas três categorias para o índice: favorável ao cultivo ($ISNA > 0,60$); intermediária ($ISNA$ entre 0,50 e 0,60) e desfavorável ($ISNA < 0,50$).

Andrade Junior et al. (2001a), utilizando um modelo de balanço hídrico diário para estimar os riscos climáticos, por deficiência hídrica na cultura de feijão-caupi, em cultivo solteiro, estabeleceram três classes de ISNA, a saber: 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).

Segundo Andrade Junior et al. (2001b), os resultados de estudos com o zoneamento do milho no Piauí, mostram que os riscos climáticos apresentam diferenças em função da época de semeadura e do tipo de solo. Para caracterização do risco climático associado a cultura do milho, em cultivo solteiro, utilizou três classes de ISNA: i) $ISNA > 0,55$ – baixo risco climático (período favorável para semeadura); ii) $0,55 > ISNA > 0,45$ – médio risco climático) e iii) $ISNA < 0,45$ – alto risco climático (período desfavorável para semeadura).

É importante destacar que os valores de ISNA mencionados nos trabalhos de Maluf et al. (2001), Andrade Junior et al. (2001a, 2000b) foram obtidos de ajustes efetuados com base na literatura e experiência dos pesquisadores especialistas nas culturas em questão. Isso ocorre porque são raros os trabalhos de pesquisa com o intuito de definir os valores de ISNA em culturas solteiras e consorciadas, apresentando uma série de problemas que limitam a sua prática, sobretudo, devido à carência de dados básicos para o processamento do zoneamento de risco climático.

2.6 Medidas de eficiência técnica e econômica em cultivos consorciados

O consórcio propicia uma produção adicional, em comparação ao monocultivo, o que é concordante com os resultados de estudos de consórcio com várias culturas, reportados por Andrews e Kassam (1976), Carvalho e Leal (1991), Cruz et al. (1987), Gunatilake (1985), Hart

(1975), Padhi et al. (1992), Parbo et al. (1989), Rao e Morgado (1984), Souza Filho et al. (1986), Vyas et al. (1992) e Willey (1979).

A eficiência e as vantagens de um sistema consorciado fundamentam-se, principalmente, na complementaridade entre as culturas envolvidas, sendo que serão tanto maiores quanto menores forem o(s) efeito(s) negativo(s) estabelecido(s) de uma cultura sobre a outra (CERETTA, 1986).

Segundo Vieira (1998), há diferentes modos de se avaliar a eficiência dos consórcios culturais. Um deles, talvez o de maior interesse para os pequenos produtores – os principais usuários do sistema – é a quantidade de alimentos produzida por unidade de área. Outro método de avaliação é o lucro gerado pelo sistema, mediante análise econômica.

A análise econômica pode ratificar ou não o sucesso do cultivo consorciado constatado no índice de eficiência da terra. Segundo Zanatta et al., (1993), a análise econômica tem como objetivo auxiliar os agricultores na tomada de decisão, sobretudo no que se refere ao que plantar e como plantar.

Alguns indicadores agroeconômicos são usados para medir a eficiência dos sistemas consorciados (BELTRÃO et al. 1984): índice de uso eficiente da terra (UET), renda bruta (RB), renda líquida (RL), vantagem monetária (VM), vantagem monetária corrigida (VMc), taxa de retorno (TR) e índice de lucratividade (IL). Os pesquisadores, comumente, utilizam, para avaliar a eficiência dos consórcios em relação ao monocultivo, o índice de equivalência de área (IEA), também, denominado de índice de uso eficiente da terra (UET).

Em sistemas consorciados, o uso eficiente da terra (UET) é definido como sendo a área de terra requerida no monocultivo para se obter a mesma produção do sistema consorciado (CAETANO et al., 1999; GLIESSMAN, 2000; HIEBSCH e MCCOLLUM, 1987; VIEIRA, 1989; VIEIRA, 1999; RAMALHO et al., 1983).

O índice de equivalência de área (IEA) é obtido a partir da relação entre a produtividade na área cultivada em consórcio e aquela em monocultivo (FAGERIA, 1989; VANDERMEER, 1990). Para que o IEA seja válido, é necessário observar o seguinte: as produções das culturas, em monocultivo, devem ser obtidas com as populações ótimas de plantas para esse sistema cultural; o nível de manejo deve ser o mesmo para as monoculturas e para a associação cultural e os índices encontrados devem estar relacionados com os rendimentos culturais obtidos (GLIESSMAN, 2000).

De acordo com Vieira (1989), o IEA é uma característica importante a ser avaliada em cultivos consorciados, pois indica a soma das áreas necessárias a serem cultivadas em monocultivo com ambas as culturas, para alcançar-se a produtividade de um hectare no sistema consorciado. Quanto mais alto o valor do IEA, mais vantajoso é o sistema de cultivo. O consórcio é considerado eficiente quando o valor do IEA for superior a 1,00 (FAGERIA, 1989; VANDERMEER, 1990), desde que o padrão comercial das culturas seja atingido.

Nogueira (1978), estudando o consórcio milho – feijão-caupi, encontrou índices de UET iguais a 1,17 e 1,25, o que evidencia a superioridade desse sistema em relação ao monocultivo.

Lopes (1987) analisou o uso da eficiência da terra (UET) no consórcio milho – feijão-caupi e em cultivo solteiro submetidos ao efeito da deficiência hídrica. Observou que o consórcio de milho e feijão-caupi em condições de suprimento adequado de água ao longo do ciclo biológico das culturas mostrou-se menos eficiente que o cultivo isolado, devido à pressão de população nos dois sistemas não foi mantida fixa, sendo maior no sistema de consórcio. O consórcio milho – feijão-caupi foi mais eficiente no uso da terra (UET) em condições de deficiência hídrica.

Nos consórcios, especialmente os de milho com feijão, é prática comum a semeadura simultânea das espécies. No entanto, a leguminosa pode beneficiar-se do retardamento da semeadura do milho melhorando o seu estabelecimento, conseqüentemente, seu rendimento e o do sistema. Kranz e Gerade (1987) indicam que resultados mais expressivos têm sido obtidos quando se relaciona a época de semeadura do milho aos estádios de desenvolvimento do feijão comum.

Flesch (2002) estudando os efeitos temporais e espaciais no consórcio intercalar de milho e feijão verificou que à medida que a semeadura do milho foi atrasada em relação ao feijão comum, o (IEA) foi aumentando até alcançar 1,66, demonstrando uma superioridade média de até 66% dos sistemas consorciados sobre os cultivos solteiros. Estudos demonstram que o consórcio proporciona, também, um aumento na renda líquida dos cultivos (PAL e SING, 1991; GODE e BOBDE, 1993; DUBEY e KULVI, 1995; CATELAN et al., 2002).

Connolly et al. (2001) ressaltam que indicadores e métodos experimentais necessitam ser cuidadosamente adaptados aos objetivos específicos dos experimentos, pois alguns métodos amplamente usados podem conduzir as avaliações errôneas de aspectos de interação intra-específicas e de vantagem na consorciação.

Em síntese, há diferentes modos de se avaliar a eficiência dos consórcios culturais. Um deles, talvez o de maior interesse para os pequenos produtores – os principais usuários do sistema – é a quantidade de alimentos produzida por unidade de área. Outro método de avaliação é o lucro gerado pelo sistema, mediante análise econômica.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J.V. **Determinação do consumo de água e da função de produção do caupi irrigado no Município de Bragança, Pará.** 1989. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

AGUIAR FILHO, S. P. de. **Efeito do espaçamento do algodoeiro mocó em fileiras duplas em consórcio com caupi e sorgo.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1984. 17 p. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 22).

ALBUQUERQUE, M. M. de; SANTOS, M. X. dos; SILVA, W. S.; MENEZES, E. A. Estudo de diferentes genótipos de milho e feijão para consórcio. In: REUNIAO SOBRE CULTURAS CONSORCIADAS NO NORDESTE, 1., 1983, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA-UEPAE Teresina, 1984b. v. 1, p. 16.

ALBUQUERQUE, M. M. de; SANTOS FILHO, D. C. dos; SILVA NETO, J. P. da. **Cultivares de caupi em associação com o fumo, na região de Arapiraca-AL.** Maceió: EPEAL, 1984a. 6 p. (EPEAL. Comunicado Técnico, 4).

ALMEIDA, J. P. **Estimativa de déficits e excessos hídricos em regiões de clima úmido através de diferentes modelos de balanço hídrico.** 1993. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; CRUZ, M. G. M. Resposta da cultivar BR-1 de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), submetido a diferentes deficiências hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: SBEA, 1999. 1 CD-ROM.

ANDRADE, M. J. B.; MORAIS, A. R. de; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, M. V. da. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 242-250, 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; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B. Níveis de irrigação no cultivo do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 17-20, 2002.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G.; AGUIAR, M. de J. N.; LEITE, D. A. S. R. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 544 – 550, 2001b.

ANDREWS, D. J.; KASSAM, A. H. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. In: MULTIPLE Cropping. Madison: American Society of Agronomy, 1976. p. 1-10. (Special publication, 27).

ANTERO NETO, J. F.; VIEIRA, F. Z. G. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do consórcio milho e feijão**. Fortaleza: EPACE, 1984. 19 p. (EPACE. Boletim de Pesquisa, 5).

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

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W. dos; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; NOBREGA, L. B. da; VIEIRA, D. J.; PEREIRA, J. R. Efeito de população de plantas no consórcio mamoneira - sorgo. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 183-192, 1998a.

AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M.; SANTOS, J. W.; VIEIRA, D. J.; NOBREGA, L. B. de; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; PEREIRA, J. R. Efeito de população de plantas no rendimento do consórcio de mamoneira com culturas alimentares. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 193-202, 1998b.

AZEVEDO, D. M. P. de; LIMA, E. F.; SANTOS, J. W. dos; BATISTA, F. A. S.; NOBREGA, L. B. da; VIEIRA, D. J.; PEREIRA, J. R. População de plantas no consórcio mamoneira - caupi. I. produção e componentes da produção. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 13-20, 1999b.

AZEVEDO, D. M. P. de; SANTOS, J. W. dos; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; NOBREGA, L. B. da; PEREIRA, J. R. Efeito de população de plantas no consórcio mamoneira - caupi. II. Eficiência agrônômica. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 153-163, 1999a.

BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; CARDOSO, M. J. Parâmetro de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 43-50, jan. 2002.

BELTRAO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de; NOBREGA, L. B. da; VIEIRA, D. J.; CRISOSTOMO, J. R.; BANDERRA, C. T.; VIEIRA, R. de M. **Nova modalidade de consórcio para o nordeste do Brasil, envolvendo o algodoeiro herbáceo e o feijão caupi**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1984. 10 p. (EMBRAPA-CNPA. Comunicado Técnico, 25).

BERGAMASCHI H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p. 25-32.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989. 596 p.

BEZERRA, F. M. L. et al. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 13-18, 2003.

BEZERRA NETO, F.; TORRES FILHO, J.; HOLANDA, J. S. de; SANTOS, E. F.; ROSADO, C. A. de S. Efeito do sistema de cultivo e arranjo espacial no consórcio algodão herbáceo + caupi + sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 5, p. 715-727, 1991.

BRITO, J. A. P. de E. **Respostas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) a diferentes períodos de deficiência hídrica**. 1993. 125 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CAETANO, L. C. S.; FERREIRA, J. M.; ARAÚJO, M. L. de. Produtividade de cenoura e alface em sistema de consorciação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 2, p. 143-146, 1999.

CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. de; FROTA, A. B.; MELO, F. de B. **População de plantas no consórcio milho x feijão macassar sob regimes de sequeiro e irrigado**. Teresina: EMBRAPA-UEPAE Teresina, 1992. 27 p. (EMBRAPA-UEPAE Teresina. Boletim de Pesquisa, 14).

CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; SANTOS, A. A. dos; ARAUJO, A. G. de. **ConSORCIAÇÃO DE CULTURAS: intervalo de sementeira milho x feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), no Piauí**. Teresina: EMBRAPA-UEPAE Teresina, 1981a, 18 p. (EMBRAPA-UEPAE Teresina. Boletim de Pesquisa, 3).

CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; SANTOS, A. A. dos; ARAUJO, A. G. de. **Sementeira relativa no consórcio milho x feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Piauí**. Teresina: EMBRAPA-UEPAE Teresina, 1981b. 3 p. (EMBRAPA-UEPAE Teresina. Comunicado Técnico, 16).

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

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, DF, v. 26, n. 9, p. 1467-1473, set. 1991.

CATELAN, F.; CANATO, G. H. D.; ESPAGNOLI, M. I.; MARTINS, G.; CECÍLIO FILHO, A. B. Análise econômica das culturas de alface e rabanete, cultivadas em monocultivo e consórcio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 2, p. 1-4, jul. 2002. Suplemento 2.

CERETTA, C. A. **Sistema de cultivo de mandioca em fileiras simples e duplas em monocultivo e consorciada com girassol**. 1986. 122 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

CONNOLLY, J.; GOMA, H. C.; RAHIM, K. The information content of indicators in intercropping research. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 87, n. 2, p. 191-207, 2001.

COUTO, L.; COSTA, E. F.; VIANA, R. T. Avaliação e comportamento de cultivares de milho em diferentes condições de disponibilidade de água no solo. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1980-84**, Sete Lagoas, v. 2, p. 77-78, 1986.

CRUZ, J. C.; RAMALHO, M. A. P.; SALLES, L. T. G. de. Utilização de cultivares de milho prolífico no consórcio milho-feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 203-211, fev. 1987.

DUBEY, D. N.; KULVI, G. S. Performance of sorghum (*Sorghum bicolor*) as influence by intercropping and planting geometry. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 9, p. 353-356, 1995.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. 2. ed. rev. atual. Guaíba: Agropecuária, 1999. 157 p.

FAGERIA, N. K. Sistemas de cultivo consorciado. In: FAGERIA, N. K. (Ed.). **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília, DF: EMBRAPA-DPU, 1989. p. 185-196.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Milho: fisiologia da produção. In: SEMINÁRIO SOBRE FISILOGIA DA PRODUÇÃO E MANEJO DE ÁGUA E DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE, 1996, Piracicaba. [Anais...]. Piracicaba: ESALQ: USP: POTAFOS, 1996. p. 1-30.

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. de. Estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva de duas cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 7, p. 1049-55, 1991.

FIGENBAUM, V.; SANTOS, D. S. B. dos; MELLO, V. D. C.; SANTOS FILHO, B. G. dos; TILLMANN, M. A. A.; SILVA, J. B. Influência do déficit hídrico sobre os componentes do rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 2, p. 275-80, 1991.

- FLESCH, R. D. Efeitos temporais e espaciais no consórcio intercalar de milho e feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 1, p. 51-56, 2002.
- FRANÇA, S. BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.
- FREIRE, A. L. D. O. **Efeitos do déficit hídrico sobre alguns aspectos biofísicos, bioquímicos e no desenvolvimento do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1990. 86 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GAVANDE, S. A. **Física de suelos, principios e aplicaciones**. 2. ed. México: Limusa, 1976. 351 p.
- GERIK, T. J.; FAVER, K. L.; THAXTON, P. M. et al. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water uses, and yield. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 914-921, 1996.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 653 p.
- GODE, D.B.; BOBDE, G. N. Intercropping of soybean sorghum. **PKV Research Journal**, India, v. 17, n. 2, p. 128-129, 1993.
- GONÇALVES, S. R. **Consortiação de culturas: técnicas de análises e estudos da distribuição**. 1981. 217 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 7, p. 481-488, 1996.
- GUNATILAKE, H. A. J. Cacao as an intercrop in coconut lands. **Coconut Bulletin**, Kerala, v. 2, n. 2, p. 39-43, 1985.
- HART, R. D. A bean corn and manioc polyculture cropping systems. II - A comparison between the yield and economic return from monoculture and polyculture cropping systems. **Turrialba**, San José, v. 25, n. 4, p. 337-384, 1975.
- HICKS, D. R.; NELSON, W. W.; FORD, J. H. Defoliation effects on corn hybrids adapted to the northern corn belt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 3, p. 387-392, 1977.
- HIEBSCH, C. K.; MCCOLLUM, R. E. Area x time equivalency ratio: a method for evaluating the productivity of intercrops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 15-22, 1987.
- 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).

JACOMAZZI, A. M. **Programa pa rendimento das culturas pela simulação da irrigação por balanço hídrico seqüencial**. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

JENA, D.; MISRA, C. Effect of crop geometry (row proportions) on the water balance of the root zone of a pigeon pea and rice intercropping system. **Experimental Agriculture**, London, v. 24, n. 3, p. 385-391, 1988.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2004.

KLAR, A. E. **Frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

KRANZ, W. M.; GERAGE, A. C. Feijão e milho em cultivo consorciado. **Informe de Pesquisa**, Londrina, v. 11, n. 76, p. 1-13, set. 1987.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531 p.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 36, p. 331-335, 1996.

LEITE, M. J.; RODRIGUES, J. D.; MISCHAN, M. M.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeito do déficit hídrico sobre a cultura do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cv. EMAPA-821. II – Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, n. 3, p. 351 – 370, 1999.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: USP-ESALQ, Departamento de Física e Meteorologia, 1995. 497 p.

LIMA, G. P. B.; AGUIAR, J. V.; COSTA, R. N. T.; PAZ, V. P. S. Rendimento de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas à diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 4, n. 3, p. 205-212, 1999.

LIMA, J. M. P. de; QUEIROGA, V. de P. **Épocas de plantio no consórcio batata-doce com milho e feijão vigna a montante de açude**. Natal: EMPARN, 1982. 3 p. (EMPARN. Comunicado Técnico, 3).

LIMA FILHO, J. M. P. Physiological responses of maize and cowpea to intercropping. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 5, p. 915-921, 2000.

LOPES, L. H. de O. **Efeito da deficiência hídrica no consórcio milho x feijão vigna**. 1987. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advance in Agronomy**, São Diego, v. 43, p. 107-153, 1990.

MAAS, S. J. Parameterized model of gramineous crop growth. I. Leaf area and dry mass simulation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 2, p. 348-353, 1993.

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. R. da; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 468-476, dez. 2001. Número especial.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C. da; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994. 60 p.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MALUF, J. R. T.; BARNI, N. A.; BUENO, A. C.; DIDONÉ, I. A.; ANJOS, C. S.; MACHADO, F. A.; SAMPAIO, M. R. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105 p. (Boletim Fepagro, 10).

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 85-92, 1995.

MOJICA, E. S. de. Producción de biomasa, nutrición mineral y absorción de agua en la asociación fríjol - maíz cultivada en solución nutritiva. 1975. 63 p. Tese (Mestrado) - IICA, Turrialba.

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.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 13., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 15-95.

NOGUEIRA, O. L. **Época para semeadura de milho e feijão / sistema consorciado**. Manaus: EMBRAPA-UEPAE Manaus, 1978. 8 p. (EMBRAPA-UEPAE Manaus. Comunicado Técnico, 2).

OLIVEIRA, F. J. de. Combinações de espaçamentos e populações de plantas de caupi e de milho em monocultura e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 8, p. 931-945, 1993.

PADHI, A. K.; SAHOO, B. K.; DAS, K. C. Productivity of rained pigeon pea (*Cajanus cajan*) - based intercropping systems. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 62, n. 9, p. 594-598, 1992.

PAL, M. S.; SINGH, O. H. Effect of sorghum based intercropping systems on productivity, land equivalent ratio and economics in mollisols of maomotaça tarao (U.P.) **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 36, n. 1, p. 12-16, 1991.

PARBO JUNIOR, T. S.; TAMBUA, R. T.; TABUGADER, W. A.; JULIAN, F. P.; ROSARIO, M. R.; ORPIA JUNIOR, E. D.; CATEDRAL, I. G. Package of technology for garlic/cotton relay cropping. **Cotton Research Journal**, v. 2, n. 1/2, p. 51-67, 1989.

PEREIRA, G. M.; CARVALHO, J. A.; RODRIGUES, L. S.; DOBASHI, A. M. Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados em três fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) c.v. carioca-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...**, Poços de Caldas: SBEA, 1998. v. 1, p. 187-189.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191 p.

PIPER, E. L.; WEISS, A. Defoliation during vegetative growth of corn: the shoot: root ratio and yield implications. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 31, n. 1-2, p. 145-153, 1993.

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, M. A. P.; OLIVEIRA, A. C. de; GARCIA, J. C. **Recomendações para o planejamento e análise de experimentos com as culturas de milho e feijão consorciadas**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1983. 74 p. (EMBRAPA-CNPMS. Documentos, 2).

RAO, M. R.; MORGADO, L. B. A review of maize-beans and maize cowpea intercrop systems in the semiarid Northeast Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 2, p. 179-192, fev. 1984.

RAPOSO, J. A. A.; SCHUCH, L. O. B.; ASSIS, F. N. de; MACHADO, A. A. Consórcio de milho e feijão em Pelotas, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 5, p. 639-647, 1995.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1985, 445 p.

RESENDE, M.; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. C. **Considerações técnicas sobre a cultura do milho irrigado**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1990a. 24 p. (EMBRAPA-CNPMS. Documento, 7).

REZENDE, P. L.; SILVA, A. G. da; CORTE, E.; BOTREL, E. P. Consórcio sorgo-soja. V. Comportamento de híbridos de sorgo e cultivares de soja consorciados na entrelinha no rendimento de forragem. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 369-374, 2001.

RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; BASTOS, E. A. Níveis de irrigação sobre a produção de vagens e grãos verdes de feijão caupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: SBEA: UFPel, 1999. 1 CD-ROM.

SCHILD, L. N. et al. Comportamento do milho em Planossolo sob condições de excesso hídrico. I. Desempenho agrônômico. **Agropecuária. Clima Temperado**, v. 2, n. 1, p. 97-109, 1999.

SCHUSSLER, R. J.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low potential. I. Sensivity to reduce assimilates during early kernel growth. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 1189-1195, 1991.

- SHAPIRO, C. A.; PETERSON, T. A.; FLOWERDAY, A. D. Yield loss due to simulated hail damage on corn: a comparison of actual and predicted values. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 585-589, 1986.
- SILVA, A. A.; JAKELAITIS, A.; FERREIRA, L. R. Manejo de plantas daninhas no sistema Integrado Agricultura-Pecuária. In: MANEJO INTEGRADO: INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA, 1., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 117-170.
- SILVA, D. D. da; LOUREIRO, B. T.; BERNARDO, S.; GALVÃO, J. D. Efeitos de lâminas de água e doses de nitrogênio na cultura do milho irrigada por aspersão em linha. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 39, n. 222, p. 91-104, 1992.
- SILVA, M. A. da. **Efeito da lâmina de água e adubação nitrogenada sobre a produção de feijão de corda (*Vigna sinensis* (L.) Savi), utilizando o sistema de irrigação por aspersão em linha.** 1978. 53 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA, M. A. (Coord.). **Manejo de irrigação.** Lavras: UFLA: SBEA, 1998. p. 311-351.
- SILVEIRA, P. M. S.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 230 p.
- SING, S.; LAMBA, P. S.; SHARMA, H. C. Effect of varying levels of irrigation on the yield and water use of cowpea (*Vigna sinensis* L.). **Annals of Arid Zone**, Rajasthan-India, v. 14, n. 12, p. 100-108, 1975.
- SOUZA FILHO, B. F.; VIANA, A. R.; SANTOS, J. G. C. dos. **Viabilidade de produção de feijão em soqueiras de cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro: PESAGRO, 1986. 3 p. (PESAGRO. Comunicado Técnico, 155).
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 14. ed. Porto Alegre: Artmet, 2004. 719 p.
- TAVORA, F. J. A. F.; LOPES, L. H. de O. Deficiência hídrica no consórcio milho x caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 7, p. 1011-1022, jul. 1990.
- VAADIA, Y.; RANEY, F. C.; HAGAN, R. M. Plant water deficits and physiological process. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 12, p. 265-292, 1961.
- VANDERMEER, J. H. Intercropping. In: GLIESSMAN, S. R. (Ed.). **Agroecology: researching basis for sustainable agriculture.** New York: Springer Verlag, 1990. p. 481-516.
- VIEIRA, C. Cultivos consorciados. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais.** Viçosa: UFV, 1998. p. 523-558.
- VIEIRA, C. **Estudo monográfico do consórcio milho-feijão no Brasil.** Viçosa: UFV, 1999. 183 p.
- VIEIRA, C. **O feijão em cultivos consorciados.** Viçosa: UFV, 1989. 134 p.

VOLPE, C. A.; CHURATA-MASCA, M. G. C. **Manejo da irrigação em hortaliças: método do Tanque Classe A**. Jaboticabal: FUNEP, 1998. 19 p.

VYAS, M. D.; KHAN, R. A.; RAGHU, J. S. Economics on intercropping and mixed cropping of soybean with pigeonpea. **Indian Journal Pulses Research**, v. 5, n. 1, p. 114-116, 1992.

WILLEY, R. W. Intercropping: its importance and research needs. Part 1 - Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, Hurley, v. 32, n. 1, p. 1-10, 1979.

ZANATTA, J. C.; SCHIOCCHET, M. A.; NADAL, R. de. **Mandioca consorciada com milho, feijão ou arroz de sequeiro no Oeste Catarinense**. Florianópolis: EPAGRI, 1993. 37 p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 64).

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M. E.; JONES, R. J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 158-164, 1995.

4. CAPÍTULO I

Performance produtiva do consórcio milho – feijão-caupi a disponibilidade hídrica no solo

Valber Mendes Ferreira & Aderson Soares de Andrade Júnior^{II}

RESUMO

A disponibilidade de água no solo é essencial para o seu crescimento e desenvolvimento das plantas, notadamente, em cultivo de sequeiro, quando depende da distribuição espacial e temporal das chuvas. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a performance produtiva, a eficiência do uso de água e as medidas de eficiência técnica e econômica do consórcio milho – feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em resposta a disponibilidade hídrica no solo. O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, no Município de Teresina, PI (05°05'S; 42°48'W e 74,4m de altitude). Os níveis diferenciados de disponibilidade hídrica no solo foram impostos com a aplicação de diferentes lâminas de irrigação por meio de um sistema de aspersão em linha. O número de vagens por planta contribuiu para o aumento da produtividade de grãos no feijão-caupi, em cultivo solteiro e consorciado. No milho no cultivo solteiro e consorciado a produtividade de grãos aumentou em aproximadamente 788% e 298% com aplicação da maior lâmina em relação a menor respectivamente; no cultivo solteiro a eficiência de uso de água no feijão-caupi e milho alcançou um maior valor de 4,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e 24,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ com aplicação das maiores lâminas de irrigação; no cultivo consorciado a eficiência de uso de água no feijão-caupi e milho alcançou um maior valor de 2,33 kg ha⁻¹ mm⁻¹ e 3,72 kg ha⁻¹ mm⁻¹ respectivamente com aplicação das maiores lâminas de irrigação; a produção equivalente no consórcio sofre um incremento de 362% com aplicação da maior lâmina de irrigação em relação a menor e o consórcio milho – feijão-caupi mostrou-se mais vantajoso quando os níveis de disponibilidade hídrica no solo foram reduzidos (12,5%).

Palavras-chave: lâminas de irrigação, eficiência técnica, produção equivalente.

^I Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Petrônio Portela, Bairro Ininga, 64049-550, Teresina, Piauí - Brasil

^{II} Embrapa Meio-Norte. Av. Duque de Caxias, 5650, Cx. Postal 01, Bairro Buenos Aires, 64006-220, Teresina, Piauí – Brasil. E-mail: aderson@cpamn.embrapa.br. Autor para correspondência.

YIELD PERFORMANCE OF THE MAIZE-COWPEA INTERCROPPING SYSTEM TO THE SOIL MOISTURE AVAILABILITY

ABSTRACT

The soil moisture availability is essential to growth and development of the plants, mainly under non-irrigated cropping, when the crop yield depends on the spatial and temporal variability of the rain. The present work aimed to evaluate the yield, the water use efficiency and the technical and economical efficiency in a corn – cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) intercropping system at different soil water availability levels. The experiment was carried in the Embrapa Meio-Norte Experimental Area (05°05' S; 42°48' W and 74.4m), in Teresina, Piauí State, Brazil. The levels of soil moisture availability were obtained with the increment in the applied water depth, by using a line source irrigation sprinkler system. The number of pods per plant contributed to increase cowpea grain yield in mono and intercropping system. For maize, also in both crop, the grain yield increase, comparing the highest water depth with the lowest, was around 788% and 298%, respectively; in the monocropping system, the water use efficiency of cowpea and maize reached a higher value, being 4.1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ and 24.8 kg ha⁻¹ mm⁻¹, when the highest water depth were applied; in the intercropping system, the water use efficiency of cowpea and maize reached a higher value, being 2.33 kg ha⁻¹ mm⁻¹ and 3.72 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectively, when the highest water depth were applied; the intercropping equivalent grain yield increases by 362% when comparing the highest water depth with the lowest one and the maize–cowpea intercropping system showed higher advantage when the levels of soil available water were reduced (12.5%).

Key words: grain yield equivalent, irrigation depth, technical efficiency.

INTRODUÇÃO

Em condições naturais de ecossistemas cultivados, a produtividade das culturas depende diretamente do meio ambiente, sendo o regime hídrico o fator mais importante e, na falta de precipitações pluviais, há a necessidade de irrigação, de forma parcial ou integral, dependendo da região do país.

A disponibilidade de água no solo às plantas é essencial para o seu crescimento e desenvolvimento. Para uma planta completar satisfatoriamente o seu ciclo e expressar seu máximo potencial produtivo, ela requer um volume adequado de água. A quantidade de água que as plantas necessitam absorver para realizar os processos fisiológicos ligados à germinação, crescimento, desenvolvimento e produção de grãos depende da espécie vegetal, condições climáticas, solos, época e região de cultivo.

Normalmente, a quantidade total de água necessária para a irrigação é calculada levando-se em consideração os fatores agrometeorológicos, notadamente a evapotranspiração da cultura, a capacidade de armazenamento de água do solo e a profundidade efetiva do sistema radicular (Bernardo, 1989; Klar, 1991; Marouelli et al., 1994). Existem, também, diversos trabalhos que determinaram a lâmina total de irrigação para obter a maior produtividade física das culturas de milho e feijão-caupi destacando-se, dentre eles, Silva et al. (1992) e Couto et al. (1986), que avaliaram os efeitos do estresse hídrico na produtividade de grãos de milho. Aguiar (1989), Rodrigues et al. (1999) e Andrade Júnior et al. (2002) que trabalharam com níveis diferentes de lâmina de água na produtividade de grãos do feijão-caupi. Salienta-se que todos os trabalhos citados referem-se ao cultivo solteiro, havendo uma carência de informações na literatura em relação ao cultivo consorciado. É fundamental, portanto, o conhecimento das relações existentes entre a produtividade de grãos, níveis de manejo da água de irrigação e o uso consultivo da cultura consorciada para diferentes condições climáticas e edáficas.

Com base nesses fatos, conduziu-se esta pesquisa visando avaliar a performance produtiva, a eficiência do uso de água e as medidas de eficiência técnica e econômica do consórcio milho – feijão-caupi em resposta à disponibilidade hídrica no solo, nas condições edafoclimáticas de Teresina, PI.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características da área experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, no Município de Teresina, PI (05°05' S; 42°48'W e 74,4m) (Figura 1).



Figura 1. Imagem aérea do Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI.
Fonte: Google Earth Beta (v 4.0.2740) Release Notes – Fevereiro 2007.

O clima de Teresina, segundo a classificação de Köeppen, é do tipo Aw', ou seja, tropical quente e úmido, com estação chuvosa no verão. Os dados meteorológicos que caracterizam a região, apresentados no Tabela 1, adaptada de Bastos e Andrade Júnior (2000), foram obtidos a partir de estação meteorológica convencional instalada no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina – PI, abrangendo o período de 1980 a 1999.

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), insolação (Ins), evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith e precipitação pluviométrica (P), referentes ao período de 1980 a 1999.

MÊS	Elemento Climático							
	Tmax (° C)	Tmed (° C)	Tmin (° C)	UR (%)	Vv (m.s ⁻¹)	Ins (h)	ETo (mm.dia ⁻¹)	P (mm)
Jan	32,4	27,4	22,4	78,0	1,3	6,1	4,2	212
Fev	32,2	27,3	22,4	79,1	1,3	6,0	4,2	234
Mar	31,7	27,1	22,5	81,6	1,3	5,7	4,0	327
Abr	31,9	27,3	22,7	81,8	1,3	6,6	3,9	245
Mai	32,2	27,3	22,4	78,7	1,3	7,7	3,9	103
Jun	32,7	26,8	21,3	71,6	1,6	9,0	4,0	21
Jul	33,6	27,0	20,2	64,5	1,8	9,3	4,3	12
Ago	35,3	28,0	20,5	57,2	1,9	9,7	5,0	2
Set	36,6	29,2	21,8	53,8	1,9	9,4	5,6	14
Out	36,8	29,7	22,5	54,4	1,9	8,6	5,7	20
Nov	36,0	29,4	23,1	60,1	1,7	7,8	5,3	52
Dez	34,6	28,8	22,9	66,6	1,6	6,7	4,8	107
Ano	33,8	27,9	22,1	69,2	1,6	7,7	4,6	1299

Fonte: Adaptada de Bastos e Andrade Júnior (2000).

As características químicas do solo, obtidas através da realização de análise de fertilidade do solo, a partir de amostras deformadas de solo da área experimental, nas camadas de 0 a 0,15; 0,15 a 0,35, 0,35 a 0,65 e > 0,65m, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Análise de fertilidade do solo da área experimental. Teresina, PI, 2006.

Camada (m)	pH H ₂ O	P mg.dm ⁻³	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	CTC (T)	V (%)	MO dag.kg ⁻¹
0 – 0,15	5,95	4,70	0,07	1,78	0,98	0,02	1,83	4,71	61,12	25,26
0,15 – 0,35	5,38	3,10	0,04	1,54	0,70	0,30	2,95	5,28	44,09	15,60
0,35 – 0,65	4,96	12,0	0,11	1,48	0,13	0,35	2,85	4,59	37,87	12,52
> 0,65	5,03	5,30	0,08	1,40	0,42	0,50	2,00	3,93	49,15	12,63

Fonte: Laboratório de solos da Embrapa – Parnaíba –PI.

Tabela 3. Capacidade de campo determinados em amostras de solo indeformadas em laboratório

Horizonte (m)	Umidade (m ³ m ⁻³)		Horizonte (m)	Umidade (m ³ m ⁻³)	
	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
0,1	0,067	0,233	0,6	0,104	0,238
0,2	0,098	0,247	0,7	0,104	0,221
0,3	0,099	0,264	0,8	0,116	0,216
0,4	0,101	0,252	0,9	0,116	0,210
0,5	0,104	0,242	1,0	0,121	0,198

O solo foi classificado como um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (Embrapa, 1999), cujas Informações granulométricas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Informações granulométricas do solo da área experimental. Teresina, PI, 2006.

Profundidade (m)	Horizonte	Textura (g/kg)			Classificação Textural
		Areia	Silte	Argila	
0,00 – 0,15	A _p	785,8	78,5	136	Areia franca
0,15 – 0,35	A ₁₂	675,5	98,5	226	Franco argilo arenoso
0,35 – 0,65	Bt ₁₂	606,5	97,5	296	Franco argilo arenoso
> 0,65	Bt ₂₁	607,5	126,5	266	Franco argilo arenoso

Fonte: Laboratório de solos da Embrapa – Parnaíba -PI

Cultivares e práticas culturais

O trabalho foi implantado com as culturas de milho, cultivar CMS 47 e feijão-caupi, cultivar BRS-Guariba, cultivadas em sistema solteiro e consorciado. O arranjo espacial utilizado correspondeu a uma relação de uma fileira de milho para uma fileira de feijão-caupi (1:1) no sistema consorciado. A semeadura do milho foi feita no dia 24/08/2006, no espaçamento 0,80m x 0,25m (em cultivo solteiro) e de 1,0m x 0,25m (em cultivo consorciado). O feijão-caupi foi semeado no dia 31/08/2006, no espaçamento de 0,7m x 0,2m (em cultivo solteiro) e de 1,0m x 0,25m (em sistema consorciado) (Figura 2). O intervalo entre datas de semeadura foi necessário para que houvesse coincidência nas fases críticas das culturas ao déficit hídrico.

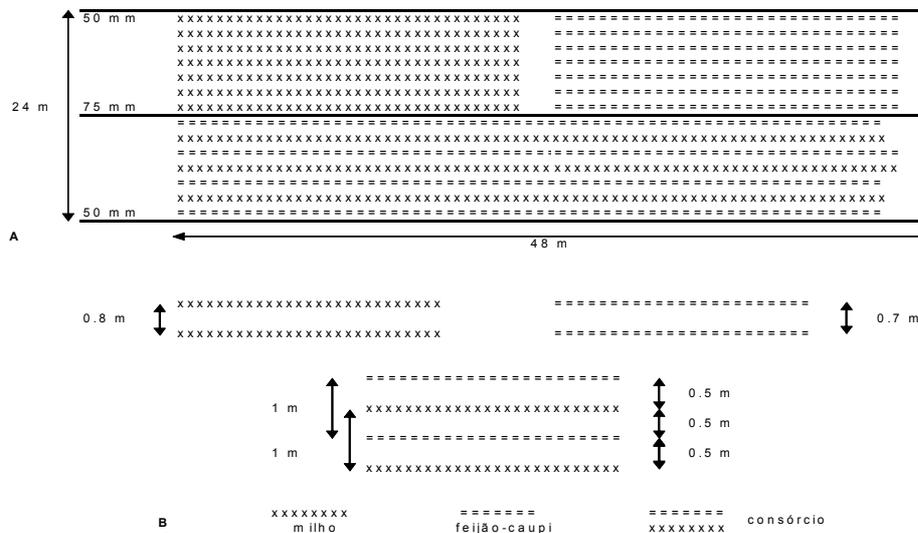


Figura 2. Detalhe da área (A) e da parcela experimental (B).

O preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens, o que suficiente para um adequado destorroamento do solo. Em seguida, instalou-se o sistema fixo de irrigação por aspersão convencional. Após duas irrigações semanais procedeu-se a semeadura das culturas através de matracas.

A adubação de fundação foi efetuada no milho com 30 kg ha⁻¹ de N (uréia), 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 5 kg ha⁻¹ de ZnSO₄ (sulfato de zinco). Procedeu-se à adubação de cobertura para a cultura do milho na base de 60 kg ha⁻¹ de N (uréia), em duas aplicações (oitava e décima segunda folhas). No feijão-caupi, a adubação de fundação foi efetuada com 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados conforme as recomendações dos sistemas de produção das culturas praticados na região (Cardoso, 1998; Cardoso, 2000).

Sistema de irrigação

A aplicação de água foi realizada por um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo composto por seis linhas laterais, as quais operaram sempre duas a duas. As linhas laterais possuíam diâmetro de 50 mm e comprimento de 60 m. Essas linhas eram conectadas a uma linha principal, com diâmetro de 75 mm, através de cavaletes e registros de gaveta (Figura 3).

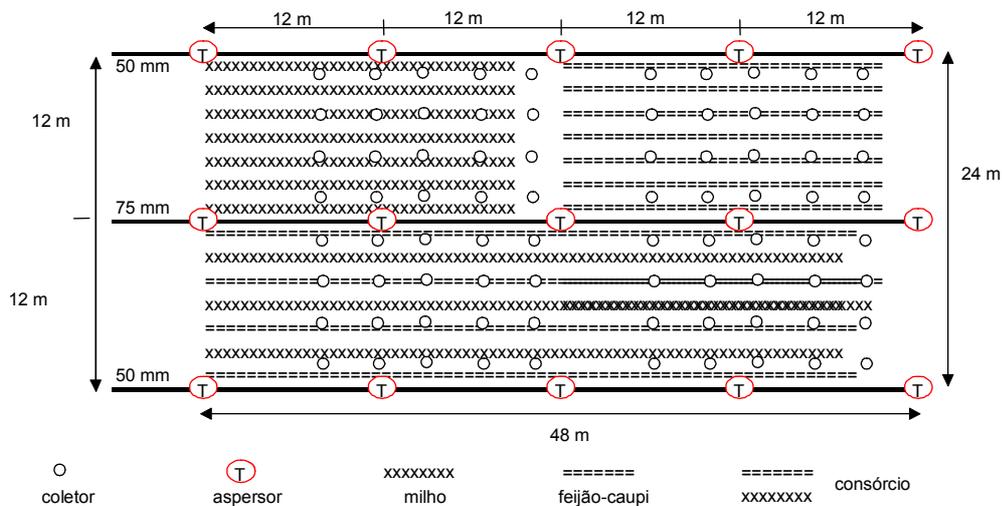


Figura 3. Sistema de irrigação por aspersão convencional usado no ensaio.

Cada linha lateral possuía seis aspersores, da marca Fabrimar, modelo ECO-232, com combinação de bocais de 4,4mm x 3,2mm, raio de alcance de 12m, vazão de 1,8 m³/h, espaçados de 12m x 12m e pressão de serviço de 2,5 kgf/cm². Posteriormente, durante a condução do experimento determinaram-se os valores médios das lâminas de irrigação em cada parcela, utilizando-se coletores (Figura 3) da marca Fabrimar, instalados dentro das parcelas, cujo conteúdo após cada irrigação, era medido através de uma proveta graduada em milímetros.

O sistema de irrigação operou, até os 38 dias após a semeadura no espaçamento de 12m x 12m. Após esse período, dado a necessidade da imposição dos níveis diferenciados de disponibilidade de água nas parcelas, o sistema passou a operar em um sistema de “aspersão em linha” (“line source sprinkler system”), de acordo com a metodologia proposta por Hanks et al. (1976). Este sistema tem sido utilizado em estudos sobre lâmina de irrigação e produtividade, tais como os de Faria (1981), Lauer (1983), Frizzone (1986), Filho et al. (2001), Andrade Júnior et al. (2002), Bastos et al. (2002), contribuindo grandemente para a determinação de funções de produção das culturas para o fator água. Após o período de imposição dos níveis diferenciados de disponibilidade de água até a colheita, o sistema de irrigação novamente voltou a operar no esquema tradicional, com as linhas laterais de 12m x 12m.

O sistema “line source” constitui-se de uma linha central com nove aspersores, espaçados a cada 6 m, sobre uma tubulação localizada no centro da área experimental. A sobreposição dos jatos de água dos aspersores promove uma maior precipitação junto à linha de aspersores e um gradiente decrescente ao longo da direção perpendicular à tubulação. A localização das parcelas experimentais ao longo da direção perpendicular à linha de aspersores permite a aplicação de diferentes lâminas de água e a conseqüente imposição de níveis diferenciados de disponibilidade de água no solo para as culturas (Figura 4).

A escolha desta metodologia foi baseada nas vantagens que a mesma oferece, representadas pela simplicidade de instalação, operação, economia de área, equipamento e mão-de-obra, permite a instalação de maior número de tratamentos em menor área e melhor visualização do efeito do déficit hídrico imposto às culturas. Como limitações, o método apresenta a impossibilidade de causalização das lâminas da água aplicadas, o efeito do vento no padrão de distribuição da água (em regiões com valores elevados de velocidade do vento), a utilização da irrigação com a mesma freqüência em todas as parcelas e a possibilidade de escoamento superficial, caso a seleção do aspersor não seja adequada.

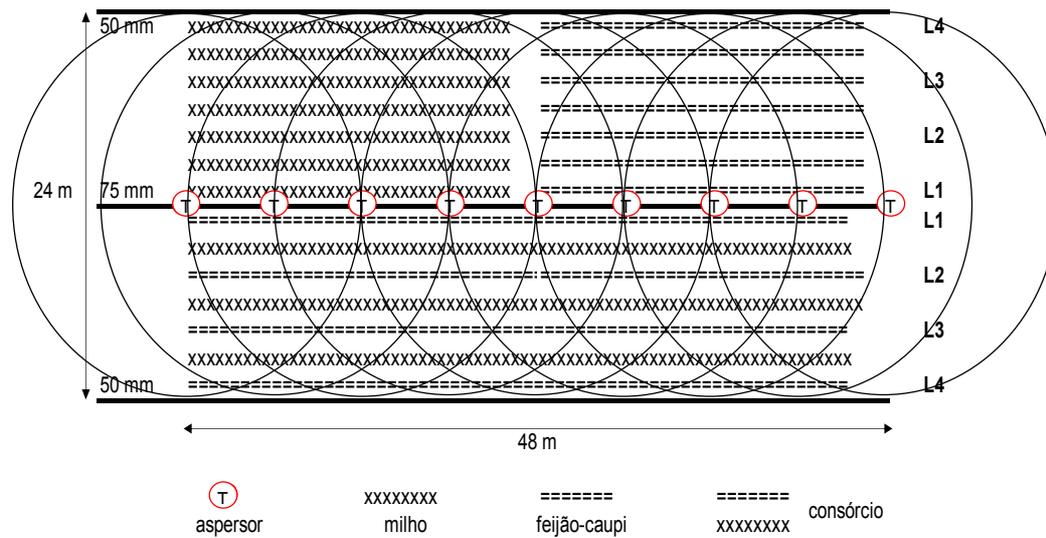


Figura 4. Sistema de irrigação por aspersão no esquema “line source”

Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos constaram de quatro lâminas de irrigação e duas cultivares (milho, cultivar CMS 47 e feijão-caupi, cultivar BRS-Guariba), cultivadas em sistemas solteiro e consorciado. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições.

Como durante o período de aplicação dos tratamentos, os níveis de irrigação não foram casualizados, não foi possível adotar-se a análise de variância formal. Mas, para ser possível uma base de comparação dos efeitos dos tratamentos aplicados, foi feito um ajuste de regressão para a avaliação de todas as variáveis em estudo e analisadas as tendências dos efeitos.

As análises de variância e regressão foram processadas usando-se programa SAS (SAS Institute, 1989). Para a análise de resíduos, utilizou-se os dados de todos os caracteres em cada sistema de cultivo, com a finalidade de avaliar a existência de dados discrepantes e heterocedestividade das variáveis, tratamento dos erros à distribuição normal, pressuposição da independência dos erros e aditividade no modelo matemático, segundo Garcia et al. (2002) e Parente (1984).

Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado diariamente pelo método do balanço de água no solo, em planilha Excel, com base nos valores diários dos elementos climáticos temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento, os quais foram obtidos da estação agrometeorológica automática (Figura 5).



Figura 5. Estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI.

Para facilitar a operacionalização do manejo de irrigação, as irrigações eram sempre efetuadas nos dias de terça-feira e sexta-feira. Com isso, nas irrigações efetuadas as terças-feiras fazia-se à reposição da evapotranspiração das culturas ocorrida durante as sextas-feiras, sábados, domingos e segundas-feiras. Da mesma forma, nas irrigações efetuadas as sextas-feiras fazia-se à reposição da evapotranspiração das culturas ocorrida durante as terças-feiras, quartas-feiras e quintas-feiras.

A sementeira do milho foi efetuada no dia 24/08/2006 e a do feijão-caupi em 31/08/2006. Após a sementeira do milho, todos os tratamentos receberam irrigação uniforme, com a aplicação de uma lâmina de água de 15,1 mm para garantir a germinação e o estabelecimento das culturas.

Em seguida, adotou-se o manejo conforme descrito acima. Em 02/10/06 iniciou-se a aplicação das lâminas diferenciadas de irrigação utilizando-se o sistema de aspersão em linha (“line source”). Essa fase foi concluída no dia 23/10/2006, perfazendo um total de sete irrigações diferenciadas.

Produção e componentes de produção

Para correlacionar as respostas das culturas de milho e feijão-caupi à disponibilidade hídrica no solo, em sistema de cultivo solteiro e consorciado, foram processadas medidas de produção de grãos e componentes de produção. Para o feijão-caupi, mediu-se o rendimento de grãos, o número de vagens por planta, o comprimento de vagem (cm), o número de grãos por vagem, a produção de grãos por planta (g), o peso de cem grãos (g) e a produtividade de grãos (kg ha^{-1}). No milho, determinou-se o comprimento de espiga com palha (cm), o comprimento de espiga sem palha (cm), o peso de espigas (g), o peso de cem grãos (g) e a produtividade de grãos (kg ha^{-1}).

Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso de água (EUA) ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) foi obtida através da relação entre a produtividade de grãos de feijão-caupi e milho, em cultivo solteiro e consorciado, e as respectivas lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos (Cardoso et al., 1996a; Andrade Júnior et al., 2002).

$$EUA = \left(\frac{PG}{L} \right) \quad (1)$$

em que:

EUA – eficiência do uso de água, $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$;

PG – produtividade de grãos de milho ou feijão-caupi, kg ha^{-1} ;

L – lâmina de irrigação aplicada, mm.

Medidas de eficiência técnica e econômica

Usou-se como medida de eficiência técnica e econômica o índice de produção equivalente. A produção equivalente (Y_e) foi considerada através de uma avaliação econômica, utilizando a relação de preços entre as culturas. Optou-se pela produção equivalente do milho, que é dada pela seguinte equação de transformação:

$$Y_e = Y_m + rY_f \quad (2)$$

em que:

Y_e – produção equivalente de milho, kg ha^{-1} ;

Y_m – produção de grãos de milho no cultivo consorciado, kg ha^{-1} ;

Y_f – produção de grãos de feijão-caupi no cultivo consorciado, kg ha^{-1} ;

r – relação entre os preços mínimos do feijão-caupi e do milho.

Para a estimativa de “ r ”, usou-se a média e o desvio padrão dos preços mínimos de feijão-caupi e milho praticados no período de 2001 a 2007 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 2006):

$$r_1 = \frac{P_f}{P_m} \quad (3)$$

em que:

P_f – média do preço mínimo do feijão-caupi, R\$;

P_m – média do preço mínimo do milho, R\$.

$$r_2 = \frac{P_{f_{\max}}}{P_{m_{\max}}} \quad (4)$$

em que:

$P_{f_{\max}}$ – média com desvio padrão do preço mínimo do feijão-caupi, R\$;

$P_{m_{\max}}$ – média com desvio padrão do preço mínimo do milho, R\$.

$$r_3 = \frac{P_{f_{\min}}}{P_{m_{\min}}} \quad (5)$$

em que:

$P_{f_{\min}}$ – média menos desvio padrão do preço mínimo do feijão-caupi, R\$;

$P_{m_{\min}}$ – média menos desvio padrão do preço mínimo do milho, R\$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Manejo e controle das irrigações

Os valores das lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos antes, durante e após a aplicação do sistema de aspersão em linha (“line source”), em todo o período experimental, são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5. Lâminas de irrigação aplicadas nas culturas solteiras em função da aplicação dos tratamentos.

Lâminas	Fase Inicial		Line Source	Fase Final		Chuva		Total (mm)	
	FC	M		FC	M	FC	M	FC	M
L1	165,0	225,0	170,0	16,5	42,5	38,6	64,0	390,1	501,5
L2	165,0	225,0	160,2	16,5	42,5	38,6	64,0	380,2	491,6
L3	165,0	225,0	108,5	16,5	42,5	38,6	64,0	328,6	440,0
L4	165,0	225,0	39,0	16,5	42,5	38,6	64,0	259,1	370,5

FC – feijão caupi e M – milho

Tabela 6. Lâminas de irrigação aplicadas nas culturas consorciadas em função da aplicação dos tratamentos.

Lâminas	Fase Inicial		Line Source	Fase Final		Chuva		Total (mm)	
	FC	M		FC	M	FC	M	FC	M
L1	165,0	225,0	165,7	16,5	42,5	38,6	64,0	385,8	497,2
L2	165,0	225,0	133,4	16,5	42,5	38,6	64,0	353,5	464,9
L3	165,0	225,0	117,6	16,5	42,5	38,6	64,0	337,7	449,1
L4	165,0	225,0	48,3	16,5	42,5	38,6	64,0	268,4	379,8

FC – feijão caupi e M – milho

As Figuras 6 e 7 mostram as lâminas acumuladas aplicadas nos tratamentos, no período que compreende a fase inicial, “line source” e fase final no sistema solteiro e em consórcio respectivamente. Salienta-se que nas Figuras 6 e 7, nas referidas lâminas de irrigação por tratamento, não estão computadas os 390 mm que foram aplicados durante a fase de estabelecimento da cultura. No entanto essa, lâmina adicional (390 mm) foi considerada para o cálculo da eficiência do uso de água.

Observa-se na Figura 6, que não houve uma variação acentuada entre as L1 e L2, no qual poderá ser observado na produtividade e componentes de produção. Na Figura 7, observa-se também o mesmo comportamento no qual não há uma diferença acentuada entre L2 e L3.

Com o termino da fase inicial, observa-se até a fase final uma diferenciação entre as lâminas de irrigação. Essa diferença foi mais acentuada no “line source” em que a lâmina L1 foi quatro vezes superior à lâmina L4, evidenciando ter ocorrido uma ampla variação no teor de água no solo para o desenvolvimento das culturas (Figura 6). Na Figura 7, a lâmina de irrigação tem o mesmo comportamento tendo uma diferença acentuada no “line source” em que a lâmina L1 é três vezes superior à lâmina L4. As diferenças entre as lâminas aplicadas no cultivo solteiro e consórcio foi resultante dos ventos durante as irrigações.

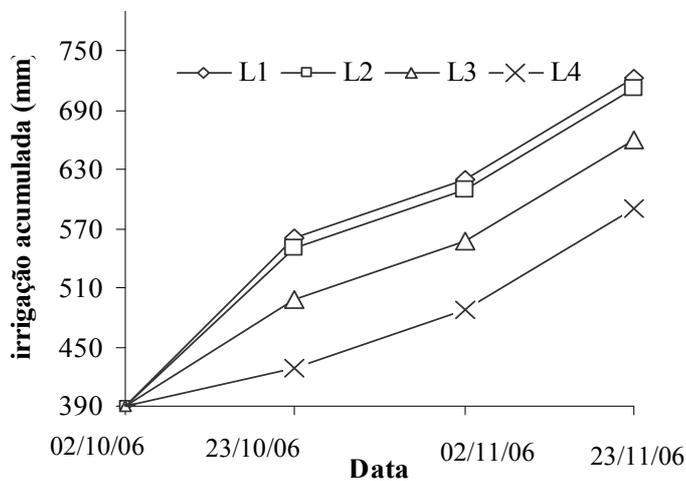


Figura 6. Lâmina de irrigação acumulada aplicada nos tratamentos, no período que compreende a fase, “line source” e fase final no sistema solteiro.

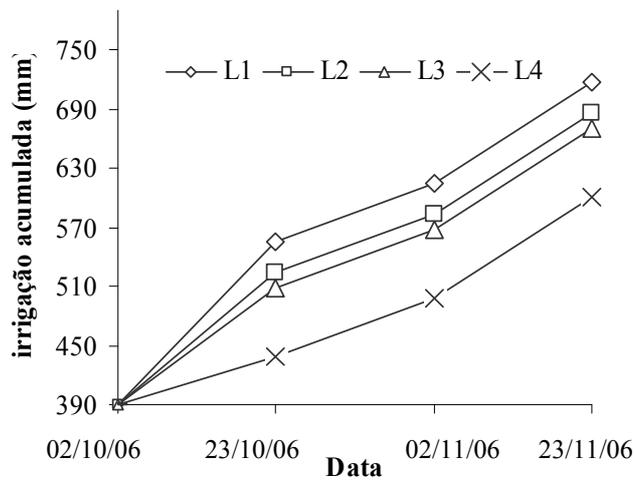


Figura 7. Lâmina de irrigação acumulada aplicada nos tratamentos, no período que compreende a fase, “line source” e fase final no sistema consórcio.

Disponibilidade de água no solo

Os valores do conteúdo de água no solo durante o período de aplicação do sistema “line source”, no cultivo solteiro e consorciado de milho – feijão-caupi, em consequência da aplicação das lâminas diferenciadas de irrigação, são apresentados nas Tabela 7.

Houve variação no conteúdo de água no solo nos cultivos ao longo do perfil do solo durante o período de aplicação do sistema “line source” (Tabela 7). Para o cultivo do feijão-caupi solteiro, o tratamento L1 foi o único em que o conteúdo médio de água no perfil do solo (0 – 50 cm) se aproximou dos valores de capacidade de campo determinados em amostras de solo indeformadas em laboratório (Tabela 3). Para o milho solteiro, o conteúdo de água no solo observado na lâmina L1 (18,6 %) foi superior a L4 (13,4 %) em 39%. No consórcio, ocorreu o mesmo comportamento, sendo que o maior conteúdo de água no solo observado na lâmina L2 (17,5 %) foi superior ao menor observado na lâmina L4 (12,5 %) em, aproximadamente, 56 %.

Tabela 7. Conteúdo de água no solo durante a aplicação do “line source”, nas culturas solteiras e consorciadas, em função da aplicação das lâminas de irrigação.

Lâminas	Profundidade (cm)					Média
	10	20	30	40	50	
Feijão-caupi solteiro						
L1	22,4	20,8	22,0	22,2	22,1	21,9
L2	20,6	17,5	19,6	20,2	21,8	19,9
L3	15,1	15,9	19,0	16,8	14,5	16,3
L4	10,3	16,5	20,1	18,6	18,5	16,8
Milho solteiro						
L1	19,1	17,5	20,3	19,5	16,6	18,6
L2	23,4	17,1	18,0	15,5	11,6	17,1
L3	21,5	16,5	16,2	16,5	18,6	17,9
L4	9,2	13,1	16,0	16,5	12,4	13,4
Consórcio milho – feijão-caupi						
L1	18,7	18,3	19,5	17,7	13,5	17,5
L2	24,0	18,2	19,8	18,7	17,0	19,5
L3	21,0	17,0	18,6	19,5	15,2	18,3
L4	6,2	12,2	14,6	15,3	14,3	12,5

Nos três sistemas de cultivo, não houve variação acentuada no conteúdo de água no solo entre os tratamentos L1 a L3 (média de 18,5 %). Porém, houve apenas destes para o conteúdo médio de água no solo obtido com a aplicação da lâmina L4 (média de 14,2 %). Essa variabilidade no conteúdo de água no solo foi responsável pelo comportamento produtivo diferenciado nos três sistemas de cultivo em resposta as lâminas de irrigação aplicadas.

Produção e componentes de produção

Os valores referentes às médias de número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (CV), peso de cem grãos (PCGF), produtividade de vagem (PV), produtividade de grãos (PGF) e peso de grãos por vagem do feijão-caupi em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Médias de número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (COMPV), peso de cem grãos (PCGF), produtividade de vagens (PV), produtividade de grãos (PGF) e peso de grãos por vagem (PGV) do feijão-caupi em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação aplicadas (L).

L (mm)	NVP	NGV	COMPV (cm)	PCGF (g)	PV kg ha⁻¹	PGF kg ha⁻¹	PGV (g)
390,1	4,08	3,64	19,40	20,55	1991,08	1599,03	2,72
380,2	4,35	3,56	19,25	21,13	1870,95	1448,83	2,66
328,6	3,83	3,46	18,78	21,60	1360,38	1055,23	2,57
259,1	2,71	2,96	16,85	23,85	585,23	470,78	2,09

Os valores das lâminas totais de irrigação aplicadas nas parcelas, foram de 390,1; 380,2; 328,6 e 259,1 mm, representando um gradiente de variação decrescente a partir da linha central de aspersores, característica inerente ao sistema de aspersão em linha. Observa-se, também, um comportamento decrescente nas variáveis de produtividade de vagem (PV), produtividade de grãos (PGF), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (COMPV) e peso de grãos por vagem em função das lâminas totais de irrigação. O componente de produção que apresentou maior variabilidade positiva em resposta ao aumento da lâmina de irrigação e com implicação direta no aumento de produtividade de grãos foi o número de vagens por planta (NVP). Apenas o PCGF apresentou acréscimo com a redução das lâminas de irrigação aplicadas, indicando tendência de redução do tamanho do grão com o acréscimo da lâmina. Porém, essa tendência é compensada pelo componente NGV, que apresenta comportamento inverso com o acréscimo das lâminas de irrigação. Esses resultados são concordantes daqueles obtidos por Andrade Júnior et al., (2002) que trabalhando com duas cultivares de feijão, BR 14 – Mulato e BR 17 – Gurguéia, observaram uma redução no peso de cem grãos com o aumento da lâmina de irrigação. De fato, devido ao aumento do número de grãos por vagem.

A produtividade de grãos aumentou em 339% com a maior lâmina em relação a menor, em consequência do aumento de vagens por planta. De fato pois no tratamento Lâmina L1 o solo possui um maior teor de umidade dando condições necessárias às plantas para o seu pleno desenvolvimento (Tabela. 7)

As equações de regressão para NVP, NGV, COMPV, PCGF, PV, PGF e PGV em função das lâminas de irrigação aplicadas mostrou que essas variáveis apresentaram comportamento linear segundo as equações descritas na Tabela 9.

Tabela 9. Equações de regressão para número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (PCGF), produtividade de vagem (PV), produtividade de grãos (PGF) e peso de grãos de vagem (PGV) do feijão-caupi em cultivo solteiro em função das lâminas de irrigação (L).

Caracteres	Equações de regressão**	R ²
NVP	$Y = - 0,1462 + 0,0115 L$	0,914
NGV	$Y = 1,7299 + 0,005 L$	0,941
COMPV	$Y = 12,1016 + 0,0190 L$	0,944
PCGF	$Y = 29,7459 - 0,0234 L$	0,950
PV	$Y = - 2163,6996 + 10,6498 L$	0,999
PGF	$Y = - 1702,2733 + 8,3821 L$	0,997
PGV	$Y = 0,9258 + 0,0047 L$	0,933

**L – Lâmina de irrigação, mm; os termos L e L² das equações apresentam significância estatística em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Avaliando a produção do feijão-comum, por meio da aplicação de diferentes lâminas totais de irrigação, Carvalho et al., (1992) observaram que as lâminas variaram de 272 a 416 mm com reflexo direto no rendimento médio de grãos de 1.538,87 a 2.106,38 kg ha⁻¹. Constatou-se, portanto, que os valores de lâminas de irrigação e produtividade de grãos obtidos no presente trabalho, estão situados dentro dessa faixa de variação de resultados. As diferenças observadas podem ser devido as cultivares utilizadas e à diversidade das condições edafoclimáticas dos locais onde os estudos foram conduzidos.

As curvas de respostas dos componentes de produção NVP, NGV, COMPV, PCGF, PV, PGF e PGV à aplicação das lâminas de irrigação são apresentadas na Figura 8. Todos os componentes apresentaram efeito linear para a aplicação das lâminas de irrigação. Para o peso de cem grãos (PCGF) foi observada tendência linear decrescente, indicando que a menor lâmina aplicada correspondeu ao maior PCGF. Efeito esse compensado pelo componente NGV, que aumentou com a aplicação das lâminas, de tal forma que o comportamento final em termos de produção de grãos foi positivo e crescente com a aplicação das lâminas de irrigação.

Para os componentes NVP, NGV, PV, COMPV, PGF, PGV foram obtidos os maiores valores com a maior lâmina de irrigação aplicada. Tal comportamento nos permite afirmar que a maior lâmina de irrigação aplicada ainda não foi suficiente o bastante para a obtenção dos valores máximos desses componentes.