

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MANEJO DO SOLO E DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO
FEIJOEIRO SOB PIVÔ CENTRAL**

Adriano da Silva Lopes

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2006

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MANEJO DO SOLO E DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO
FEIJOEIRO SOB PIVÔ CENTRAL**

Adriano da Silva Lopes

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Dezembro – 2006



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MANEJO DO BOLO E DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO FEIJÃOIRO
SOB PIVÔ CENTRAL

AUTOR: ADRIANO DA SILVA LOPES

ORIENTADOR: Dr. LUIZ CARLOS PAVANI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:

Dr. LUIZ CARLOS PAVANI

Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ

Dr. JAFES HONORIO DE MIRANDA

Dr. JOSE EDUARDO CORA

Dr. LEANDRO BORGES LEMOS

Data da realização: 15 de dezembro de 2006.

Presidente da Comissão Examinadora

Dr. LUIZ CARLOS PAVANI

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ADRIANO DA SILVA LOPES, nascido em 24 de junho de 1976, na cidade de Americana-SP, obteve o título de Mecânico Geral em 1992 pela escola SENAI “João Baptista Salles da Silva”. Em 1996 ingressou no curso de Agronomia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), recebendo o título de Engenheiro Agrônomo em 2000. Iniciou o curso de Mestrado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal (FCAV/UNESP), obtendo o título de “Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)” em 2003. Em agosto de 2003 prosseguiu os estudos em nível de Doutorado no mesmo programa. Foi aprovado em concurso público para a função de Professor Assistente da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana, exercendo esta atividade desde fevereiro de 2004. Concluiu o curso de Doutorado em dezembro de 2006, com a obtenção do título de “Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)”.

Já aprendi a contentar-me com o que tenho. Sei estar abatido, e sei também ter abundância; em toda a maneira, e em todas as coisas estou instruído, tanto a ter fartura, como a ter fome; tanto a ter abundância, como a padecer necessidade.

Posso todas as coisas naquele que me fortalece...

A Deus Pai todo poderoso toda honra e toda glória. Obrigado Senhor Jesus pela oportunidade de mais uma conquista e por todas as bênçãos que tem colocado em minha vida...

À minha esposa Lídia e ao meu filho Alessandro Lucas. Essa não é minha, mas nossa conquista. Com todo meu amor...

Dedico

Ofereço

Aos meus Pais Luiz (in memoriam) e Maria por tudo que fizeram em minha vida e por toda dedicação aos seus filhos. Renunciaram, muitas vezes, aos seus sonhos em favor dos nossos...

Agradecimentos Especiais

Ao Professor e Amigo Luiz Carlos Pavani, brilhante orientador, por toda dedicação, competência e compreensão. Espero levar para sempre os seus ensinamentos...

A toda minha família, em especial aos meus avós que sempre serão eternos e queridos, aos meus irmãos Elcio, Andressa e André pela presença em todos os momentos, aos meus sogros Manoel e Marieta pela confiança em mim depositada e a todos os meus cunhados, tios, sobrinhos, primos e amigos que se fizeram presentes em minha caminhada...

AGRADECIMENTOS

À banca examinadora da Qualificação: Prof. Dr. José Renato Zanini, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, Prof. Dr. Clóvis Alberto Volpe e Prof. Dr. Domingos Fornasieri Filho, pela amizade e competência. Sinto-me privilegiado em ter sido aluno destes professores, que são verdadeiras fontes de inspiração.

À banca examinadora da tese de doutorado: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez, meu orientador de iniciação científica, a quem tenho admiração e profunda gratidão, por ter depositado toda confiança em mim e ter me encaminhado na vida profissional; Ao Prof. Dr. Jarbas Honório de Miranda e Prof. Dr. Leandro Borges Lemos, pela presteza, dedicação, profissionalismo e pelos ensinamentos transmitidos; ao Prof. Dr. José Eduardo Corá, pela presteza, dedicação e amizade, com quem tive a honra de ser aluno na pós-graduação.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Rural, em especial Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior, Roberto Alves de Oliveira e Jairo Augusto Campos de Araújo pela amizade, pelas oportunidades e pelos ensinamentos.

Aos amigos da pós-graduação, em especial: Hector, China, Thiago, Ana Karina, Adriana e Rose e aos amigos de Jaboticabal Sílvio e Aparecida, e seus filhos Paula e Raumer, pela amizade e acolhida nas vindas a Jaboticabal.

Aos funcionários do Depto. de Engenharia Rural pela amizade e dedicação, em especial: Miriam, Davi, Clarice, Sílvia, Marquinho, Carlão, Cido, Edivaldo, Luís Cláudio, Donizete, João, Adílson, Luizinho, Irmãos “Fiapo”, “Torto”, “Primo” e “Seu Zé”.

Aos amigos e irmãos da Primeira Igreja Batista de Aquidauana e, em especial, ao Pastor Mário e sua esposa Nazir e ao Gérson e sua esposa Elisângela pela inestimável e constante amizade e oração.

Aos professores, amigos e funcionários da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul e à Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, pela oportunidade de conclusão do curso de doutorado e, também, à FCAV/UNESP pela oportunidade de realização deste curso.

A todos, meu muito obrigado...

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
SUMMARY	ix
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
Necessidades hídricas do feijoeiro	3
Sistemas de manejo do solo e irrigação.....	6
III. MATERIAL E MÉTODOS	13
Local, clima e solo	13
Sistema de irrigação, delineamento experimental e tratamentos empregados	15
Histórico da área, instalação e condução da cultura e tratamento fitossanitário	20
Manejo da irrigação	23
Parâmetros avaliados	27
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
Água recebida pela cultura	38
Variação da umidade do solo	40
Índice de área foliar (IAF)	57
Massa seca de folha, caule, flor, vagem e total e número de folha, flor e vagem por planta	66
Número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos	89
Estimativa da Evapotranspiração Real (<i>ET_r</i>) pelo método do balanço hídrico do solo e eficiência de uso da água da cultura (EUAC)	100
V. CONCLUSÕES	117
VI. REFERÊNCIAS	119
APÊNDICE	133

MANEJO DO SOLO E DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO FEIJOEIRO SOB PIVÔ CENTRAL

RESUMO: A cultura do feijoeiro apresenta relevada importância no contexto agrícola nacional, sendo cultivado em três épocas do ano, com a de inverno apresentando as maiores produtividades. O objetivo deste trabalho foi avaliar dois métodos de manejo de irrigação, um por tensiometria (Tens) e outro pelo tanque Classe “A” (TCA), em uma área irrigada com pivô central conjugados com os sistemas plantio direto (PD) e convencional (PC) de manejo do solo, em Jaboticabal-SP, com a cultura do feijoeiro. O delineamento experimental utilizado foi semelhante aos blocos casualizados, em um esquema fatorial 2x2. Foram avaliados o índice de área foliar (IAF), número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos, massa seca e número de folha, caule, flor e vagem, variação da umidade do solo e evapotranspiração real (*ET_r*) estimada pelo método do balanço hídrico do solo. Conclui-se que: para número de grãos por vagem, vagens produtivas por planta, massa de 1000 grãos e produtividade, os melhores resultados foram encontrados para as combinações PC-TCA e PD-Tens; o manejo de irrigação TCA proporcionou maior lâmina total de irrigação, maior umidade do solo e maior *ET_r*; não houve diferença entre sistemas de manejo do solo para lâmina de irrigação aplicada; os dois manejos de irrigação aplicados (Tens e TCA) se mostraram bons métodos para o manejo da irrigação na cultura do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, plantio convencional, plantio direto, tanque Classe “A”, tensiômetro

SOIL AND IRRIGATION MANAGEMENT IN DRY BEAN CROP UNDER CENTER PIVOT

SUMMARY: The dry bean crop presents raised importance in the national agricultural context, being cultivated at three times of the year, being that of winter it comes presenting the biggest yield. The objective of this study was to compare two methods of management irrigation under center pivot, one by soil (tensiometry) and another by climate (Class A pan), in conventional and no-tillage systems, on the dry bean crop. A similar randomized blocks design, with a 2x2 factorial arrangement was applied. They were evaluated the leaf area index (IAF), average number of leaves, pods, grains per pods; weight of 1000 grains and grain yield; dry mass production of the leaves, stems, flowers and pods; variation of the soil moisture and real evapotranspiration (ET_r) estimated by soil water balance method. It concluded, for the average of two years analyzed: for grains number per pod, yield pods for plant, weight of 1000 grains and grains yield, the best ones results had been found for the combinations conventional tillage and Class A pan and no-tillage and tensiometry systems combinations; the irrigation management Class A pan resulted in bigger irrigation water, soil water storage and ET_r ; it did not have difference between systems tillage for irrigation water; the two applied irrigation management (tensiometry and Class A pan) had shown good methods for the irrigation management in dry bean crop.

keywords: *Phaseolus vulgaris*, conventional tillage, no-tillage system, Class A pan, tensiometer

I. INTRODUÇÃO

Presente diariamente na mesa dos brasileiros, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais importantes do país e, de acordo com a CONAB (2006), ocupa, atualmente, cerca de 8,9% de toda área cultivada no Brasil, sendo a terceira cultura em área plantada, correspondendo a 4,2 milhões de hectares.

No Brasil, na região dos cerrados, o feijão é a principal cultura explorada no outono-inverno com irrigação, obtendo produtividades acima de 3000 kg ha⁻¹. No Estado de São Paulo, destaca-se sua exploração com maior intensidade, principalmente na região sudeste, com o seu cultivo em grande parte iniciado a partir de agosto e setembro, sendo denominado de feijão das águas antecipado com o uso de irrigação.

O feijoeiro vem sendo explorado em diversos sistemas de produção agrícola, porém com grande destaque no plantio direto por apresentar características interessantes como ciclo curto, fotoperíodo neutro, grande potencial produtivo sendo, ainda, uma planta fixadora de N. Nesse sistema, preconiza-se o não revolvimento do solo, a rotação e sucessão de culturas e a formação de cobertura vegetal. Diante de tal situação, mudanças físicas no solo, principalmente em sua camada mais superficial, podem influenciar no desenvolvimento da cultura, no armazenamento e distribuição da água no solo.

No entanto, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não utiliza, ainda, qualquer tipo de estratégia de uso e manejo racional da água na irrigação. Neste contexto, a adoção da prática de irrigação deve ser estudada no sentido de maximizar a produtividade, evitando déficits e excesso de água que, por consequência, poderiam trazer um menor retorno econômico ao produtor e danos à sustentabilidade desses sistemas agrícolas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos métodos de manejo de irrigação por tensiometria e tanque Classe A na cultura do feijoeiro, no segundo e terceiro ano com sistemas plantio direto e convencional de manejo do solo.

II. REVISÃO DE LITERATURA

Necessidades hídricas do feijoeiro

O feijoeiro teve origem no continente americano, porém existem controvérsias quanto ao seu exato centro de origem (ZIMMERMANN & TEIXEIRA, 1988). De acordo com MARIOT (1989), apresenta uma ampla distribuição geográfica, sendo cultivado em regiões onde a temperatura oscila entre 10 °C e 35 °C. Na maioria das regiões de cultivo, a época de semeadura é determinada para que a floração ocorra quando a temperatura esteja entre 19 °C e 23 °C e quando existir um adequado suprimento de água para o seu desenvolvimento. Temperaturas superiores a 30 °C durante o dia e 25 °C durante a noite aumentam a taxa de abscisão dos órgãos reprodutivos.

A cultura do feijoeiro vem mantendo há muitos anos um importante lugar na agricultura brasileira, tendo em vista, principalmente, grande uso na alimentação, com consumo médio de 2.950 mil t ano⁻¹ ou 18 kg por habitante ano⁻¹ (RAPASSI et al., 2003).

Segundo DOURADO NETO & ITO (2006), o feijão cultivado no Brasil representa 24% da produção mundial passando, em 2004, a ocupar a posição mais alta do “ranking”. De acordo com o AGRIANUAL (2003), a produção mundial de feijão está estimada em torno de 18 milhões de toneladas, cuja produção brasileira, segundo a CONAB (2006) chega a 3,5 milhões de toneladas. Ainda segundo ela, a cultura do feijoeiro encontra-se tradicionalmente estabelecida no Estado de São Paulo, apresentando a quarta maior produtividade, sendo superado por Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso e a quarta maior produção ficando atrás de Paraná, Minas Gerais e Bahia. Cultivado em todas as regiões do Estado, ocupa uma área de aproximadamente 191,1 mil hectares – considerando as três épocas de semeadura (águas, seca e inverno), com produtividade média, na safra 2005/2006 ao redor de 1502 kg ha⁻¹, onde

a média nacional gira em torno de 844 kg ha⁻¹.

A maior parte da produção de feijão irrigado no cerrado do Brasil central ocorre de maio a setembro, período caracterizado pela ausência de chuvas e por condições reduzidas de umidade relativa (ROCHA et al., 2003).

Na maioria das regiões produtoras, o problema tem sido a baixa produtividade, que provavelmente tem as suas causas na tecnologia rudimentar utilizada, nas variações climáticas, principalmente a deficiência hídrica, em problemas fitossanitários e no esgotamento progressivo da fertilidade do solo (VIEIRA et al., 1989; PESSOA et al., 1996), bem como uso de sementes de qualidade imprópria, adubação inadequada e controle deficiente de pragas e doenças (CRUCIANI et al., 1998). GUERRA et al. (2000) relatam que o feijoeiro é, normalmente, a cultura anual de maior valor econômico e que, nas áreas irrigadas, tem condições de ser cultivado com alto nível tecnológico, pois a irrigação permite que o plantio seja feito em épocas adequadas e garante o fornecimento de água para que as plantas demonstrem o seu potencial produtivo, que segundo eles, pode ultrapassar os 4.000 kg ha⁻¹.

Para o Estado de Goiás, MEIRELES et al. (2003a), relatam que a semeadura "das águas" apresenta um inconveniente - o risco de ocorrência de chuvas no período da colheita, que pode comprometer a produção. Na semeadura "da seca", o risco da falta ou distribuição irregular das chuvas é maior, afetando sensivelmente o rendimento. O feijão "de inverno", cultivado no período seco, sob irrigação, vem atraindo médios e grandes produtores, geralmente, usuários de melhor tecnologia.

De acordo com DEL PELOSO et al. (1997), o incremento na área de plantio, nos últimos dez anos foi de 71%, 166% em produção e 55% em produtividade, graças à utilização de tecnologias adequadas por parte dos agricultores, que incluem a utilização da irrigação como forma de garantir a produtividade esperada e, segundo CARDOSO (1998), o feijoeiro vem sendo cultivado em larga escala com adoção de tecnologias, sobretudo após a introdução do pivô central sendo que, nos últimos anos, o atendimento à demanda interna de feijão foi quase alcançado e, segundo STONE et al. (1994) pratica-se uma agricultura intensiva sob sistemas de pivô central, com a utilização de um alto nível de tecnologia.

Para VIEIRA et al. (1989) e GUIMARÃES et al. (1996), as variações de disponibilidade hídrica contribuem de maneira significativa para a redução do rendimento na cultura do feijoeiro, dado o aparecimento de deficiência hídrica bem como todas as variantes climáticas (AGRIANUAL, 2003). STONE & MOEREIRA (2001) encontraram redução da produtividade quando ocorreu estresse hídrico na fase vegetativa, uma vez que, segundo GUIMARÃES et al. (1996), a deficiência hídrica na fase vegetativa do feijoeiro tem efeito indireto na produtividade, pela redução da área assimilatória durante a fase de enchimento de grãos.

MIRANDA et al. (2000) também encontraram maior produtividade do feijoeiro, cultivar IAC Carioca, cultivado em Latossolo Vermelho-Escuro, quando oferecido condições adequadas de irrigação. Segundo SILVA et al. (2006), o feijoeiro não tolera excesso de água e deficiência hídrica durante o florescimento, fatores que podem provocar perdas de até 60 % na produção de grãos.

O consumo de água pela cultura do feijoeiro é variável com o estágio de desenvolvimento, a variedade, o local, as condições de solo e a época de plantio (MOREIRA et al., 1988). Numa mesma condição de solo e de acordo com o número de dias do ciclo, o requerimento de água para a máxima produção pode variar entre 300 e 500 mm, dependendo do clima (DOORENBOS & KASSAN, 1979; AZEVEDO & CAIXETA, 1986).

FRIZZONE (1986), em estudos realizados com a cultura do feijoeiro, verificou um aumento de 23,4% no rendimento de grãos, quando a lâmina de água aplicada aumentou de 350 para 530 mm, verificando um aumento linear da produção com o aumento da lâmina de água neste intervalo sendo que, resultados semelhantes foram encontrados por LOUREIRO et al. (1990) e PAZZETTI et al. (1993), que verificaram aumento da produtividade de grãos com o aumento da lâmina de água de irrigação aplicada. Em situação parecida, CARVALHO et al. (1998) verificaram redução da produtividade com a redução da lâmina de irrigação aplicada.

De acordo com SILVEIRA et al. (2001), o cultivo do feijão de inverno permite aumento de produtividade da ordem de três a cinco vezes mais em relação a épocas convencionais e concluem que o feijoeiro irrigado por aspersão é economicamente

viável, apresentando taxas de retorno superiores a 70%. MEIRA et al. (2005) obtiveram produtividades não inferiores a 3000 kg ha⁻¹ com o feijão irrigado de inverno no município de Selvíria-MS.

O feijoeiro também é uma planta relativamente sensível ao excesso de água, o qual prejudica o seu desenvolvimento vegetativo e sua produção. Portanto, é necessário que as áreas irrigadas tenham um bom sistema de drenagem superficial e subsuperficial para proporcionar adequado arejamento do solo. Em solos com excesso de água ocorre deficiência de oxigênio, o que provoca, entre outros danos, concentração inadequada de oxigênio na planta e redução da atividade microbiana. Em locais chuvosos e em áreas irrigadas, o encharcamento é função da quantidade e da intensidade de precipitação pluvial, da velocidade de infiltração de água no solo e da uniformidade de nivelamento do solo. Em regime de irrigação, o excesso de água poderá advir de uma aplicação excessiva e/ou de uma drenagem imperfeita (AZEVEDO & CAIXETA, 1986; MOREIRA et al., 1988).

De acordo com STONE & SILVEIRA (1999), a semeadura direta do feijoeiro irrigado por aspersão na resteva da cultura anterior vem tendo aceitação cada vez maior na região central do Brasil, que é uma alternativa de manejo correto e sustentável de sistemas agrícolas intensivos.

Sistemas de manejo do solo e irrigação

O solo constitui-se em um dos principais fatores de produção, seja pela sua função como suporte para as plantas, ou pelo fornecimento de condições indispensáveis ao seu desenvolvimento, envolvendo água, nutrientes e calor; entretanto, a demanda por maiores produtividades tem levado, eventualmente, a uma considerável degradação deste recurso natural, em decorrência do manejo inadequado (OLIVEIRA et al., 2005).

O sistema plantio direto na agricultura completamente mecanizada é definido como um sistema de plantio no qual a semente é depositada diretamente no solo não preparado, (SILVEIRA et al., 2001), onde os resíduos da cultura anterior permanecem na superfície e as plantas invasoras são controladas por meio de herbicidas (COSTA &

JUCKSCH, 1991, DERPSCH, 1991). Segundo o último autor, o plantio direto é, em comparação com os outros métodos de preparo do solo, o único em que a energia de impacto das gotas de chuva é amortecida pela camada de cobertura morta e em que a erosão do solo é controlada eficazmente, razão essa que faz, segundo TORMENA et al. (1998), o sistema plantio direto (juntamente com outras vantagens que o sistema oferece), ser adotado por um número cada vez maior de agricultores.

MEIRELES et al. (2003b) relataram que, na região dos cerrados, os agricultores têm adotado o sistema plantio direto como forma de proteger o ambiente e dar sustentabilidade à exploração agrícola. Com base na ausência de movimentação do solo e na manutenção de resíduos orgânicos na sua superfície, o sistema plantio direto provoca alterações na dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica modificando principalmente os processos intrínsecos do solo, provocando alterações na sua estrutura e na dinâmica físico-hídrica.

Sistemas de manejo com menor revolvimento, como o cultivo mínimo ou o sistema plantio direto, em virtude da maior proteção que conferem ao solo, da restrita mobilização da camada arável e da maior diversificação de espécies, têm sido mais viáveis sob as condições agroecológicas do cerrado, conciliando produtividade satisfatória, economicidade e equilíbrio ambiental (URCHEI et al., 2000).

Para PRUSKI et al. (2006), a cobertura e os tipos de uso do solo, além de seus efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação. Quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, menor o escoamento superficial.

De acordo com CURY (2000), a filosofia do plantio direto tem em sua essência o equilíbrio do ecossistema, já que possibilita a auto-sustentação em termos econômicos, sociais e ecológicos. Segundo ele, o solo é o recurso natural mais precioso e importante dentro da propriedade agrícola e, mesmo sabendo dessa importância, muitos produtores não lhe dão a devida atenção, o que faz com que ao longo dos anos ele se torne menos produtivo. Nesse contexto, segundo SILVA et al. (1992), conservar o solo é primordial para manter a produção e garantir a preservação dele para as gerações futuras, resultando, conseqüentemente, em uma maior rentabilidade agrícola (WUTKE

et al., 2000).

Nesse sentido, GUADAGNIN et al. (2005) verificaram que os sistemas conservacionistas de manejo do solo mostraram-se mais eficazes do que o preparo convencional na redução das perdas de solo e água, em relação ao solo sem cultivo; em relação ao preparo convencional, a semeadura direta foi mais eficaz do que o cultivo mínimo na redução das perdas de solo e água; as perdas de solo foram mais influenciadas do que as perdas de água pelos sistemas de manejo do solo.

Trabalhos de pesquisa, realizados em diferentes locais, têm indicado superioridade comparativa do sistema de plantio direto sobre outros sistemas de manejo do solo em relação à produtividade das culturas. Em regiões onde o estresse hídrico é menor, os efeitos positivos sobre os rendimentos podem demorar um pouco mais, cerca de três ou quatro anos (CALEGARI et al., 1998) e, para a cultura do feijoeiro, STONE & MOREIRA (2001) relataram que a produtividade aumenta com o tempo.

Ainda assim, alguns autores relatam à necessidade de mais pesquisas relacionadas à cultura do feijoeiro manejada em sistema plantio direto, ao longo dos anos. Neste contexto, SILVEIRA et al. (2001) em trabalho conduzido por seis anos consecutivos, concluíram que o rendimento do feijoeiro diminui quando se utiliza continuamente o sistema plantio direto e, RAPASSI et al. (2003) relataram, ainda, que sob plantio convencional foram encontrados os melhores resultados financeiros para a cultura quando comparado com o sistema plantio direto, em um ano de cultivo.

CURY (2000) relatou que a cobertura morta existente atua como agente isolante, impedindo oscilações bruscas da temperatura do solo, contribuindo para a menor evaporação da água armazenada, permitindo melhor aproveitamento da umidade, suportando os veranicos com mais segurança e estabilidade de produção, proporcionando, segundo CANALLI & ROLOFF (1997), conteúdo médio de água no solo significativamente mais baixo no plantio convencional. Entretanto, STONE et al. (2006) relatam que a formação e manutenção de cobertura morta é um dos principais entraves ao estabelecimento do plantio direto nos trópicos, onde as altas temperaturas, associadas à umidade adequada, promovem a decomposição rápida dos resíduos

vegetais.

De acordo com WUKTE & MARIA (2006), a duração de ciclo da grande maioria das cultivares de feijoeiro utilizadas pelos agricultores pode ser considerada curta - entre 100 e 110 dias - o que não é suficiente para acúmulo de quantidade adequada de material residual nessa leguminosa, em média, de 2 t ha⁻¹; esse valor é reduzido em relação às outras espécies consideradas mais adequadas, como milheto, milho, aveias, além de conter menor relação C/N. Além disso, em sua colheita predomina, ainda, o arranquio das plantas e enleiramento para trilhagem.

Para CALEGARI et al. (1998), todas as culturas são, de uma forma ou outra, beneficiadas pelo sistema de plantio direto, cujos fatores que contribuem para o aumento na produtividade das culturas em sistema de plantio direto estão relacionados à melhoria física, química e biológica do solo, sendo que as culturas conduzidas em sistemas de plantio direto, normalmente apresentam melhor qualidade. As vagens do feijão cultivado em sistema de plantio direto, por exemplo, não tocam o solo, produzindo grãos sem manchas, de melhor qualidade.

SILVA et al. (2004b), estudando a cultura do feijoeiro de inverno por três anos consecutivos, em sistemas de plantio direto, convencional e cultivo mínimo, concluíram que os sistemas de preparo de solo não influenciaram na produtividade de grãos. OLIVEIRA et al. (2002) relataram que o rendimento de grãos da cultura do feijoeiro no sistema de plantio direto é influenciado pelas diferentes palhadas das plantas de cobertura, sendo mais afetado pela espécie produtora de palha que pela sua forma de cultivo.

Entre os fatores de produção de uma cultura, a disponibilidade de água é responsável pelo aumento da produção e, segundo DOPPLER (1983), a irrigação é a base do desenvolvimento das culturas, pois permite regular o fator água da produção e que, de acordo com PIRES et al. (1991), com o advento do equipamento de irrigação por pivô central, um novo sistema de produção de grãos se tornou viável em grandes áreas, com incremento de áreas cultivadas neste sistema a cada ano (STONE et al. 1994).

No conceito antigo, a irrigação era vista como uma técnica que visava

basicamente a luta contra a seca. Em uma visão mais atual, dentro do foco empresarial do agronegócio, a irrigação é uma estratégia para elevar a rentabilidade da propriedade agrícola por meio do aumento da produção e da produtividade, de forma sustentável e com maior geração de emprego e renda, com enfoque nas cadeias produtivas (BERNARDO et al., 2005).

Segundo MANTOVANI et al. (2006), mesmo considerando a melhoria dos sistemas modernos de irrigação, com maior eficiência de distribuição da água nas mais diversas situações, a falta de um programa de manejo pode levar tudo a perder, seja pela aplicação de água em excesso (mais comum) ou pela sua falta, antes ou depois do momento adequado em cada fase da cultura, nas situações vigentes.

O emprego da irrigação na estação seca, a menor incidência de doenças e pragas, e o fato de não haver limitações de temperatura nessa época, fazem com que os solos na área de cerrado, em geral latossolos, sejam explorados de forma intensiva e contínua (BARBOSA FILHO & SILVA, 2000). Para a cultura do feijoeiro, produtividades acima de 3.000 kg ha⁻¹ podem ser alcançadas em lavouras irrigadas e com alto nível tecnológico (SILVA et al., 2006).

A utilização de irrigação por pivô central é a que mais cresce, tendo este sistema sido o grande responsável pela expansão da área irrigada no Brasil. Sua evolução técnica permitiu que ele se adaptasse aos mais distintos sistemas de produção, tanto de culturas anuais quanto perenes (MANTOVANI et al., 2006).

GARCIA (2000) ainda relata que, considerando-se os custos de um sistema de irrigação, tanto no que diz respeito ao projeto, à mão-de-obra qualificada, aos equipamentos, quanto à energia despendida e à água consumida, há necessidade de uma otimização da irrigação, através da aplicação adequada da água fornecida à cultura, uma vez que, segundo RODRIGUES et al. (1997), até recentemente não existia grande preocupação em racionalizar o seu uso em projetos de irrigação. Todavia, o aumento da demanda, aliado à pequena disponibilidade de água em algumas regiões, vem acentuando a necessidade de manejá-la eficientemente.

De acordo com SENTELHAS (2001), a irrigação é a atividade agrícola cujo objetivo é o fornecimento de água às culturas, de modo a atender suas exigências

hídricas nas diferentes fases de seu desenvolvimento, sendo que tais exigências irão depender fundamentalmente das condições climáticas vigentes e da disponibilidade de água no solo e, para BRANDÃO et al. (2006), a utilização desordenada e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram prejuízos de tal magnitude que, atualmente, problemas sociais e ambientais de grande relevância advêm de aspectos relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água.

Segundo PEREIRA et al. (1997), o estresse hídrico, é caracterizado quando o solo não contém água disponível às plantas, ou seja, a taxa de evapotranspiração fica mais dependente das características físico-hídricas do solo do que da demanda atmosférica (ANDRADE et al., 1991) e, numa segunda situação, quando o solo contém água disponível, mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender à demanda atmosférica (poder evaporante do ar).

Para GUIMARÃES et al. (1996), a deficiência hídrica atua na maioria dos processos fisiológicos e morfológicos das plantas, sendo que os danos econômicos resultantes da deficiência hídrica dependem da duração, intensidade, freqüência e época em que ocorrem.

MUSTAFA (1995), citado por PEITER et al. (1999) relataram que existem três aspectos que devem ser considerados na programação das estratégias de irrigação: o momento apropriado da aplicação, a quantidade necessária em cada aplicação e o consumo total de água da cultura durante o seu ciclo vital. No entanto, atualmente, para o estudo da eficiência do manejo da irrigação, deve-se priorizar o retorno econômico ao irrigante, cuja quantidade de água e a época de aplicação são de grande importância para se obter a máxima produção econômica (PAZ et al., 1997), principalmente em regiões que tem a água como fator limitante (CALHEIROS, et al. 1996).

Dentre os métodos de manejo de irrigação, OLIVEIRA et al. (2000) ressaltaram que existe diferença na quantidade de água aplicada entre os métodos da tensiometria e do tanque Classe A; diferença também encontrada entre os sistemas de plantio convencional e direto. Para RODRIGUES et al. (1997), dentre os diversos métodos de manejo da irrigação, têm-se destacado, pela sua operacionalidade, aqueles que estimam o consumo de água pelas culturas, ou seja, a evapotranspiração.

A determinação da umidade do solo constitui uma importante ferramenta nos estudos relacionados com movimento de água no solo e manejo de irrigação (MIRANDA et al., 2001) e o controle de irrigação associado a sistemas de manejo mais eficientes no uso da água, levam resultados de produção com maior economia deste recurso (OLIVEIRA, et al. 2000). Segundo STONE & MOREIRA (2000), em sistemas de plantio direto com cobertura morta há uma maior eficiência no uso da água devido ao aumento da retenção de água no solo e redução da evaporação, obtendo maiores produtividades com menor quantidade de água aplicada.

III. MATERIAL E MÉTODOS

Local, clima e solo

O experimento foi conduzido na área demonstrativa e experimental de irrigação (ADEI) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do câmpus de Jaboticabal – UNESP, Estado de São Paulo, com declividade média de 6% e coordenadas geográficas 21°14'48" latitude sul, 48°16'44" longitude oeste e altitude média de 557 metros. As normais climatológicas do município, como valores médios anuais do período de 1971 a 2000 são: 1.424,6 mm de chuva, 94,35 kPa de pressão atmosférica, 28,9 °C, 16,8 °C e 22,2 °C de temperaturas máximas, mínima e média do ar, respectivamente, 70,8% de umidade relativa do ar, insolação total de 2.585,8 h e um total de 117,5 dias com chuva (ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA, 2003).

As temperaturas média, mínima e máxima ocorridas no período do experimento, bem como o somatório térmico (graus-dia acumulados) estão apresentadas nas Figuras 1 e 2. Para o cálculo de graus-dia tomou-se como temperatura base 10 °C e temperatura máxima limite para o desenvolvimento da cultura 28 °C (PIMENTA et al., 1999).

O solo da área foi classificado como sendo um Latossolo Roxo (ALOISI & DEMATTÊ, 1974) eutroférico típico (ANDRIOLI & CENTURION, 1999), correspondendo ao Latossolo Vermelho Eutroférico de acordo com as recomendações de classificação de solos da EMBRAPA (1999), cuja análise física e granulométrica encontra-se na Tabela 1.

TABELA 1. Análise física e granulométrica da terra da área experimental.

Profundidade (cm)	Argila ¹	Silte ¹ g kg ⁻¹	Areia ¹	Massa específica de partículas ² (g cm ⁻³)
0-20	660	150	190	2,8

Fonte: ¹MOLINA (2002), ²PAGGIARO (1992).

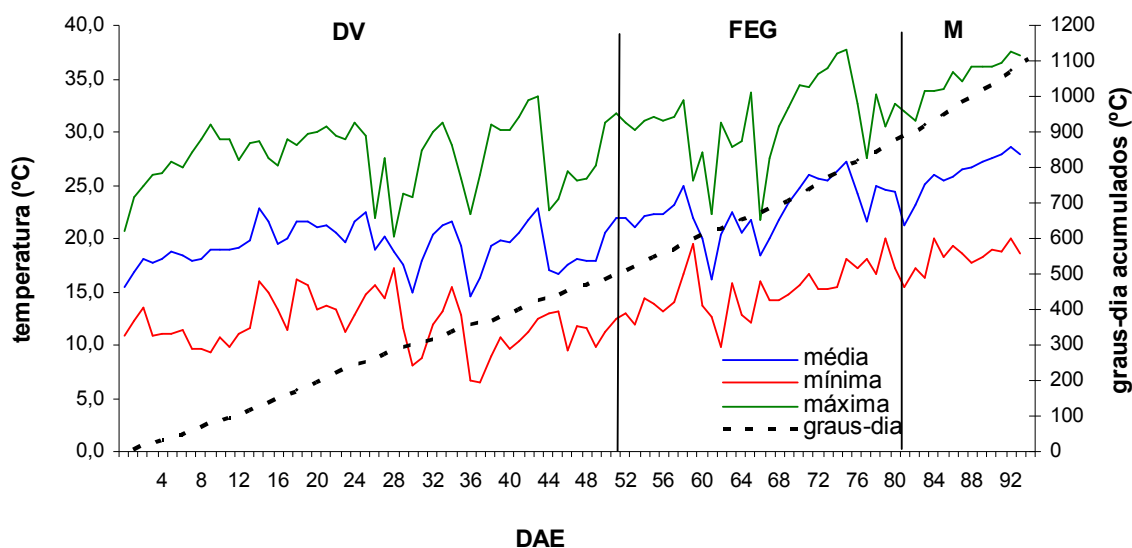


FIGURA 1. Temperaturas média, mínima e máxima ($^{\circ}\text{C}$) do ar, graus-dia acumulados ($^{\circ}\text{C}$) ao longo do ciclo da cultura (dias após a emergência – DAE), para as fases fenológicas de desenvolvimento vegetativo (DV), florescimento e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) – segundo ano (cultivar IAC-Carioca).

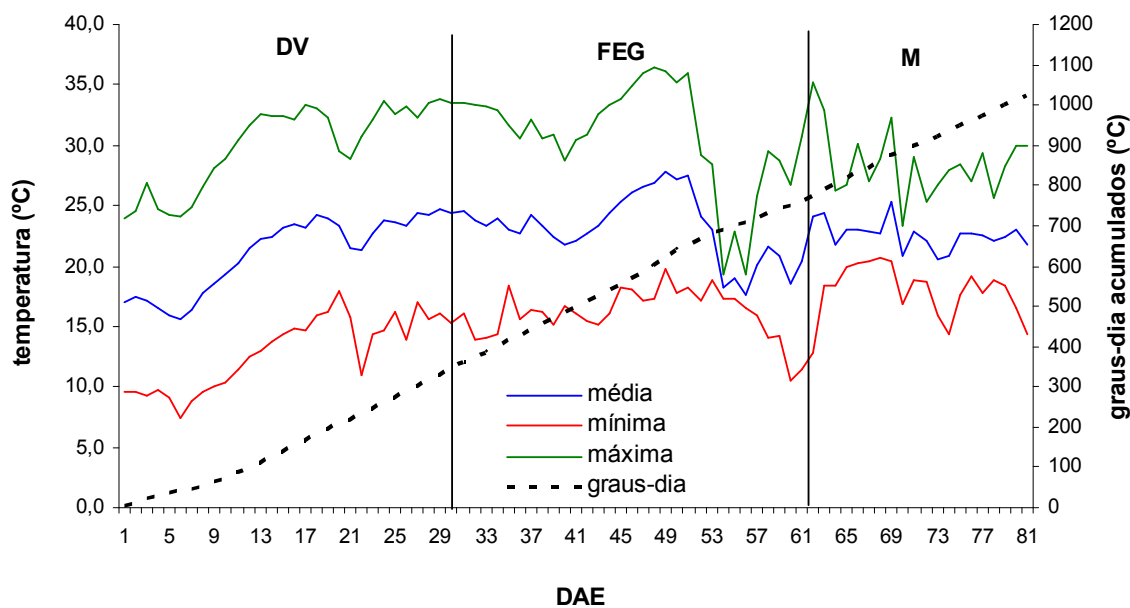


FIGURA 2. Temperaturas média, mínima e máxima ($^{\circ}\text{C}$) do ar, graus-dia acumulados ($^{\circ}\text{C}$), ao longo do ciclo da cultura (dias após a emergência – DAE), para as fases fenológicas de desenvolvimento vegetativo (DV), florescimento e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) – terceiro ano (cultivar Carioca precoce).

Foi avaliada a densidade global do solo nas camadas de 0 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m, 0,20 – 0,30 m, 0,30 – 0,40 m, 0,40 - 0,50 m, 0,50 - 0,60 m e 0,60 - 0,70 m para a caracterização inicial da área e também para ser usada na transformação da umidade do solo em base de massa para base volumétrica, de acordo com a metodologia apresentada em CAUDURO & DORFMAN (s.d.).

Os valores de umidade no ponto saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, estão expressos na Tabela 2. A curva de retenção de água do solo para a camada de solo de 0 a 0,40 m está apresentada na Figura 3.

TABELA 2. Umidades volumétricas ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na saturação (θ_s), capacidade de campo (θ_{cc}) e ponto de murcha permanente (θ_{pmp}); parâmetros θ_r , α (cm^{-1}), m e n gerados pelo modelo de VAN GENUCHTEN (1980) e o coeficiente de ajuste (R^2) entre o medido e o estimado pelo modelo.

Profundidade m	Umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)			Parâmetros de VAN GENUCHTEN				Ajuste
	θ_s	θ_{cc}	θ_{pmp}	α	θ_r	m	n	R^2
0-0,40	0,478	0,399	0,280	0,042188	0,226	0,192999	1,239156	0,998

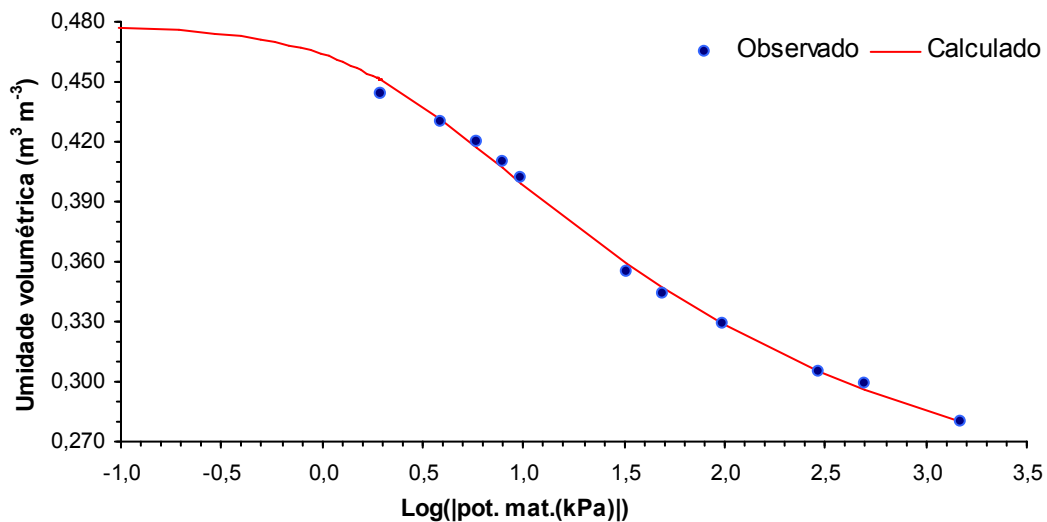


FIGURA 3. Curva de retenção de água do solo para a camada de 0 a 0,40 m de profundidade.

Sistema de irrigação, delineamento experimental e tratamentos empregados

Sistema de irrigação

O experimento foi conduzido sob um sistema de pivô central, que abrange uma

área de 3,3 ha. O equipamento possui 30 emissores (difusor fixo, com placa estriada e pendural), igualmente espaçados entre si, distribuídos em duas torres e em um balanço, com um aspersor tipo canhão na extremidade. A uniformidade de aplicação de água e a lâmina média aplicada foram avaliadas antes da instalação das parcelas experimentais a 20%, 50% e 100% da velocidade máxima de rotação da última torre, regulados no percentímetro analógico do painel do equipamento. Também foi determinado o tempo real necessário para que o sistema completasse uma volta em cada uma dessas velocidades.

Os procedimentos para essas avaliações foram os descritos em SILVEIRA & STONE (1994) e DOURADO NETO & FANCELLI (2000), com a determinação do coeficiente de uniformidade de HEERMANN & HEIN, de acordo com as normas da ABNT (1998).

As análises foram realizadas na área de localização das parcelas úteis, entre as duas torres do equipamento. Os valores de coeficiente de uniformidade de HEERMANN & HEIN (C_{UH} , em %), lâmina média (mm), velocidade da última torre ($m s^{-1}$), assim como parâmetros climáticos de velocidade do vento ($m s^{-1}$) e umidade relativa do ar (%), na hora de execução da avaliação, estão expressos na Tabela 3 e apresentados nas Figuras de 4 a 6.

TABELA 3. Parâmetros avaliados e monitorados durante a avaliação de uniformidade do pivô central.

Posição	Velocidade (%)	Velocidade do vento ($m s^{-1}$)	UR (%)	C_{UH} (%)	Velocidade da última torre ($m s^{-1}$)	Lâmina média aplicada (mm)
Active	100	2,2	65,8	91,0	0,033	4,4
	50	2,5	65,8	94,0	0,017	8,1
	20	3,0	65,8	93,1	0,006	26,0
Declive	100	4,1	75,9	91,5	0,032	5,4
	50	4,2	75,9	93,1	0,017	11,0
	20	4,1	75,9	93,9	0,006	27,8
Nível	100	0,6	68,9	85,2	0,031	5,6
	50	1,1	68,9	88,4	0,018	9,5
	20	2,3	68,9	93,9	0,006	27,4

De acordo com as normas elaboradas pela ABNT (1998), os valores de C_{UH} indicam que este equipamento tem uma uniformidade “muito boa” (acima de 90%), a

exceção do teste realizado em nível com velocidades de 100% e 50%, cujos valores de C_{UH} foi de 85,2% e 88,4%, respectivamente, sendo classificado como de “boa uniformidade”.

Na maioria dessas avaliações, a velocidade do vento excedeu o recomendado pela ABNT ($1,0 \text{ m s}^{-1}$), entretanto estiveram abaixo do aceitável ($3,0 \text{ m s}^{-1}$), à exceção da realização em declive, cujos valores ultrapassaram $4,0 \text{ m s}^{-1}$. Mesmo assim, verifica-se que houve pouca alteração nos valores de C_{UH} .

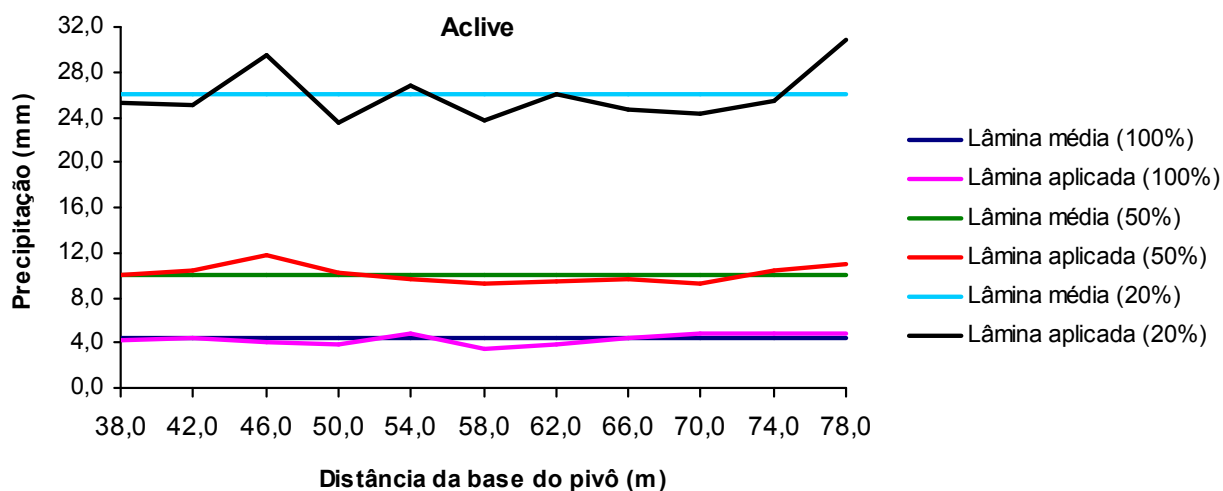


FIGURA 4. Lâmina média e aplicada, durante o teste de uniformidade do pivô central, posicionado em active, a 100, 50 e 20% de sua velocidade máxima.

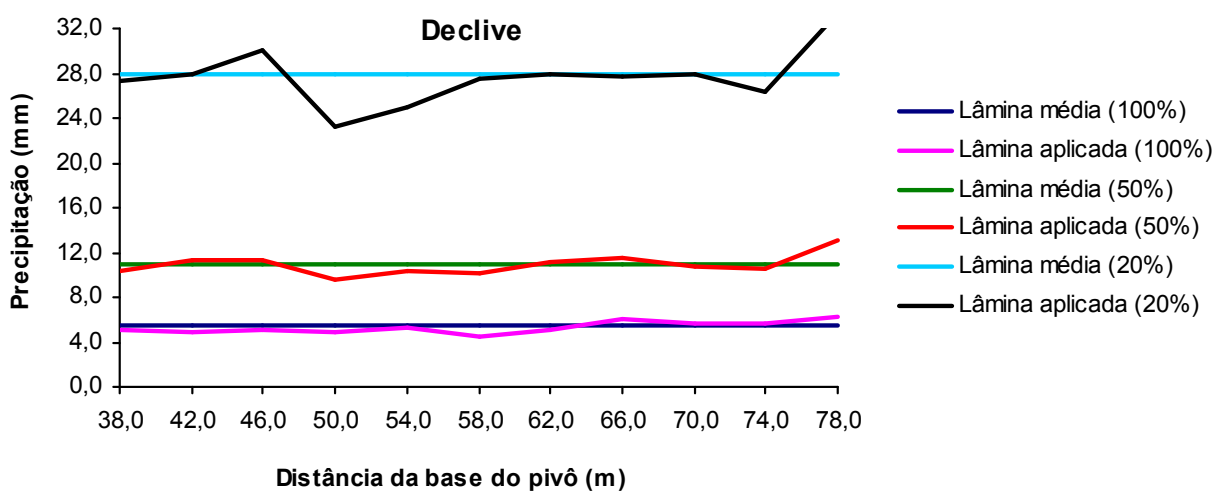


FIGURA 5. Lâmina média e aplicada, durante o teste de uniformidade do pivô central, posicionado em declive, a 100, 50 e 20% de sua velocidade máxima.

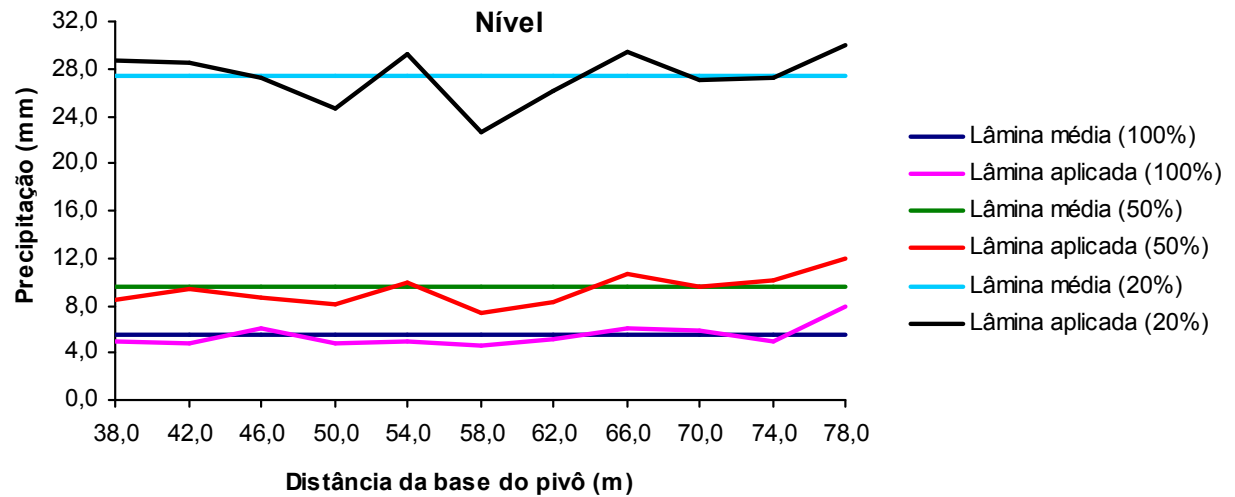


FIGURA 6. Lâmina média e aplicada, durante o teste de uniformidade do pivô central, posicionado em nível, a 100, 50 e 20% de sua velocidade máxima.

Delimitação experimental e tratamentos empregados

O delineamento experimental utilizado foi semelhante ao de blocos casualizados, em um esquema fatorial 2x2 composto por três blocos, com três amostras dentro de cada tratamento em cada bloco (BANZATO & KRONKA, 1989), sendo os resultados analisados pela comparação das médias através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, bem como em análises de regressão e correlação. O esquema da análise de variância está expresso na Tabela 4.

TABELA 4. Esquema da análise de variância.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade
Bloco	2
Manejo da irrigação	1
Manejo do solo	1
Manejo da irrigação x Manejo do solo	1
Bloco x Manejo da irrigação x Manejo do solo	6
Erro	24
Total	35

Os tratamentos empregados no esquema fatorial 2x2, correspondem a dois métodos de manejo de irrigação e dois manejos de solo, sendo, respectivamente, assim descritos:

- 1 – Manejo da irrigação pelo método do tensiômetro (Tens);
- 2 – Manejo da irrigação pelo método do balanço hídrico climatológico simplificado

- com a utilização do tanque Classe A (TCA);
- 3 – Sistema convencional de preparo do solo (PC);
- 4 – Sistema Plantio Direto (PD).

A área circular abrangida pelo pivô foi dividida em quatro partes, sendo que cada quadrante recebeu um sistema de semeadura (PD ou PC), onde o mesmo sistema correspondia ao quadrante oposto. Cada quadrante foi dividido em octantes, que receberam um manejo de irrigação (Tens ou TCA), conforme esquema da Figura 7. Na avaliação das variáveis analisadas, utilizou-se o procedimento NLIN do SAS (1991).

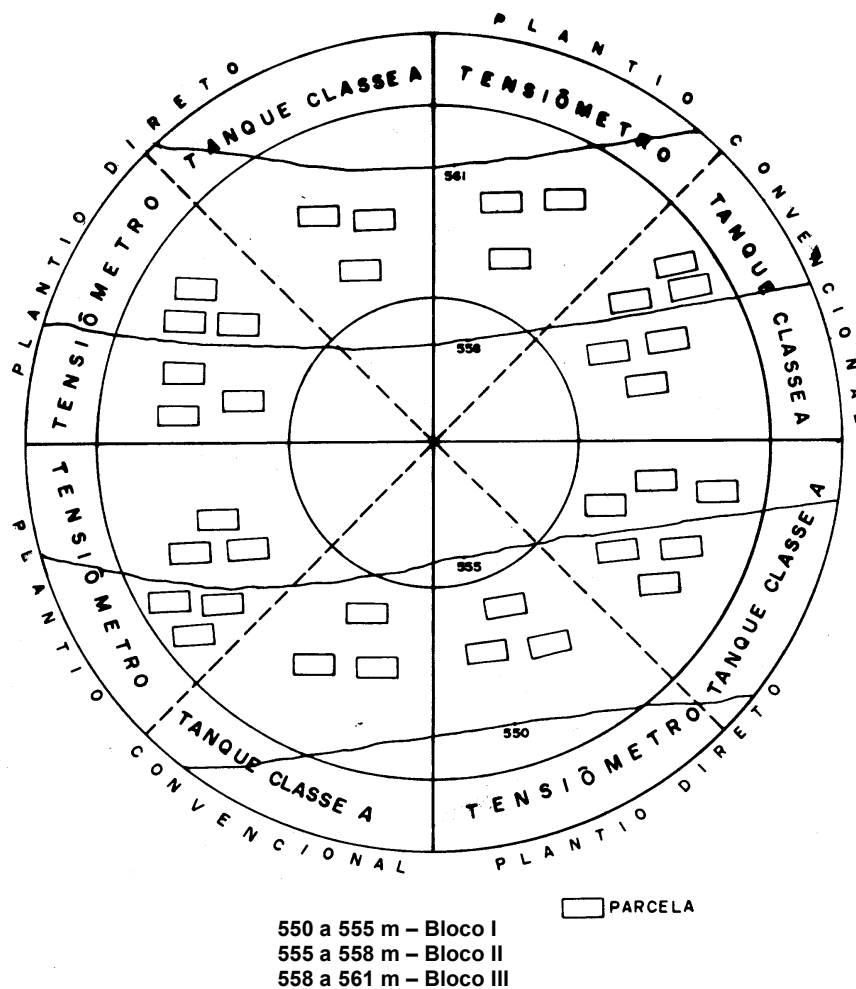


FIGURA 7. Esquema geral da área experimental, em que cada bloco equivale a área compreendida entre duas cotas consecutivas, sem escala.

Histórico da área, instalação e condução da cultura e tratamento fitossanitário

A área sob o pivô central foi manejada com sucessão das culturas de feijoeiro na época de inverno e de milho na safra de verão, sob os sistemas PD e PC, seguindo as recomendações inerentes a cada um dos dois sistemas.

Primeiramente, em 2001, a área foi manejada para a instalação do experimento, onde foram realizadas escarificação de toda a área, marcação e levantamento dos terraços em nível, calagem (2 t ha^{-1}) e gradagens (pesada e niveladora), para a posterior semeadura do milho que ocorreu em outubro de 2001. Em março de 2002 foi realizada a colheita do milho.

Antes da instalação da cultura do feijoeiro (2002), realizou-se uma gradagem pesada na área PC e aplicação de glyphosato na área PD, utilizando dose de 6 L ha^{-1} do produto comercial. Efetuou-se a aplicação de herbicida em pré-plantio (trifluralina) na área PC, e em seguida procedeu-se uma gradagem leve para incorporação do herbicida, destorroamento e nivelamento da área.

Procedeu-se a semeadura do feijoeiro logo em seguida, em junho de 2002 (primeiro ano de plantio direto), sendo utilizada a cultivar IAC-Carioca, adquirida da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) do Estado de São Paulo.

A regulagem da semeadora foi para espaçamento de $0,45 \text{ m}$ e $18 \text{ sementes m}^{-1}$, sendo que a porcentagem de germinação ficou em torno de 78% , e a adubação de semeadura realizada foi para uma regulagem de 210 kg ha^{-1} da formulação 10-20-20, baseada em AMBROSANO et al. (1996), de acordo com a análise química do solo, bem como a adubação de cobertura, onde foi utilizado o nitrato de amônio (70 kg ha^{-1} de N), estimando uma produtividade entre $2,5$ e $3,5 \text{ t ha}^{-1}$.

As sementes foram tratadas com fungicida a base de benomyl. Logo após a emergência das plântulas, foi aplicado inseticida a base de metamidophos visando o controle preventivo da “mosca-branca” (*Bemisia tabaci*) e da “vaquinha” (*Diabrotica speciosa*).

Para o controle das plantas invasoras foi aplicado o herbicida a base de fomesafen aos 25 dias após a emergência (DAE), tanto no PD quanto no PC. Aos 39 DAE, foi feita a aplicação de inseticidas a base de abamectina, visando o controle da

“mosca-minadora” (*Liriomyza* sp.), tendo em vista a ocorrência de ataques das mesmas, como também de acephate para o controle da “lagarta-elasma” (*Elasmopalpus lignosellus*). A colheita das parcelas foi realizada em setembro de 2002, aos 98 DAE.

Em outubro de 2002 foi efetuada escarificação e gradagem pesada da área PC, levantamento dos terraços em novembro e, posteriormente, gradagens (pesada e leve), para a semeadura do milho, cuja colheita foi realizada em abril de 2003.

Antes da instalação da cultura do feijoeiro, em 2003 (segundo ano de plantio direto), foram realizadas duas gradagens pesadas na área de PC, que foi realizada com grade aradora e grade niveladora para nivelamento e destorroamento da área. Na área de PD efetuou-se a aplicação de glyphosato para dessecação da área, utilizando dose de 5 L ha⁻¹.

O tratamento de sementes foi efetuado com inseticida (thiodicarb) na dose de 1 L do produto comercial por 100 kg de sementes e fungicida a base de benomyl na dose de 100 g do produto comercial por 100 kg de sementes. A semeadura ocorreu em 02 de julho de 2003 (Figura 8).

A semeadora foi regulada para o espaçamento de 0,45 m entre linhas e 20,7 sementes m⁻¹, sendo que a porcentagem de germinação ficou em torno de 90%. A adubação de semeadura foi realizada com 210 kg ha⁻¹ da fórmula comercial 10-20-20, baseada em AMBROSANO et al. (1996). Para a adubação de cobertura, foi utilizado nitrato de amônio, aplicando 75 kg ha⁻¹ de N, estimando uma produtividade entre 2,5 e 3,5 t ha⁻¹.

Logo após a emergência das plântulas, foi aplicado inseticida a base de metamidophos visando o controle preventivo da “mosca-branca” (*Bemisia tabaci*) e da “vaquinha” (*Diabrotica speciosa*). Para o controle das plantas invasoras foi aplicado herbicida a base de clethodim + fenoxaprop-P-ethyl aos 25 DAE, tanto no PD quanto no PC. A colheita das parcelas foi realizada no dia 13 de outubro de 2003, aos 94 DAE.

Em dezembro de 2003 foi realizada a semeadura do milho, cuja colheita foi realizada em abril de 2004.

Em 2004, antes da instalação da cultura do feijoeiro, passou-se o herbicida

glyphosato na dose de 4 L ha^{-1} , em toda a área, no dia 29 de junho e, nos dias 6 e 7 de julho, foram coletadas amostras de solo em toda a área para análise química.

No dia 23 de julho foi realizada uma aração no sistema de PC e, no dia seguinte, realizou-se uma segunda aração. Posteriormente, foram efetuadas três gradagens para completa incorporação da palhada.

A semeadura do feijão foi realizada no dia 28 de julho de 2004 (terceiro ano de plantio direto) no sistema de PD e no dia 29 de julho no PC, sendo utilizada a cultivar Carioca precoce, proveniente da CATI.

As sementes foram tratadas com carbendazim+tiram utilizando-se a dose de 125 mL do produto comercial por 40 kg de semente, para proteção das plantas contra a ocorrência do fungo *Rhizoctonia solani*.

A semeadora foi regulada para o espaçamento entre linhas de 0,45 m e 14 sementes por metro. A porcentagem de germinação ficou em torno de 91,7%. A adubação de semeadura foi de 50 kg ha^{-1} de uréia, 400 kg ha^{-1} de super fosfato simples e 75 kg ha^{-1} de cloreto de potássio, segundo recomendação de AMBROSANO et al., (1996), de acordo com a análise química de solo, bem como a adubação de cobertura, para a qual foi utilizada a uréia, 70 kg N ha^{-1} , para uma produtividade estimada de 2,5 a $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos.

No dia 29 de julho foi feita a primeira irrigação aplicando-se uma lâmina d'água de 10 mm para umedecer o solo e para favorecer a ação do herbicida glyphosato aplicado em pré-emergência da cultura, no dia 30 de julho, na dose de $4,5 \text{ L ha}^{-1}$, para dessecar a rebrota das plantas invasoras.

Para o controle das plantas invasoras foi aplicado herbicida a base de flusisifop-P-butil e bentazon com espalhante adesivo, aos 26 DAE da cultura, em ambos os sistemas de plantio. Aos 27 DAE foi feita a adubação nitrogenada de cobertura. A colheita nas parcelas foi realizada no dia 28 de outubro de 2004, aos 82 DAE.

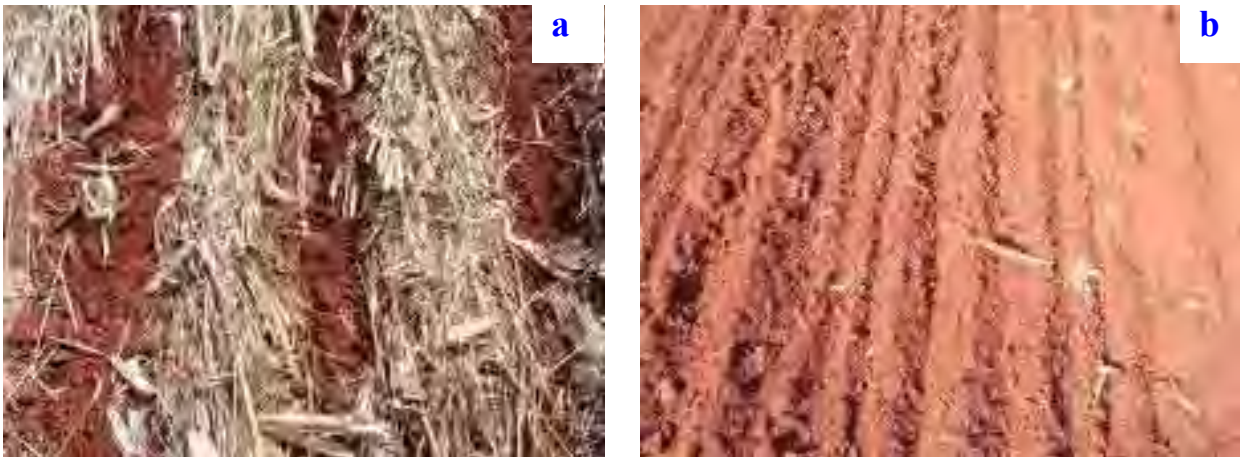


FIGURA 8. Detalhe do solo no momento da semeadura no PD (a) e no PC (b).

Manejo da irrigação

A curva característica de retenção de água no solo foi determinada para o perfil de 0 a 0,40 m de profundidade, considerada a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (OLIVEIRA & SILVA, 1990; PIRES et al., 1991; LIBARDI & SAAD, 1994; WUTKE et al., 2000; PIRES et al., 2001). Determinou-se, também, a capacidade de água disponível do solo (CAD , 47,8 mm), a água facilmente disponível do solo (AFD , 18,6 mm) e a reserva de água disponível crítica do solo ($RADc$, 29,2 mm), de acordo com as expressões:

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) 1000 Z \quad (1)$$

$$AFD = (\theta_{cc} - \theta_c) 1000 Z \quad (2)$$

$$RADc = CAD - AFD \quad (3)$$

sendo, θ_{cc} a umidade do solo ($m^3 m^{-3}$) à capacidade de campo para o potencial mátrico de -10 kPa, θ_c a umidade crítica do solo ($m^3 m^{-3}$) para o potencial mátrico crítico (Ψ_c) de -40 kPa para a cultura do feijoeiro (LIBARDI & SAAD, 1994), θ_{pmp} a umidade do solo

($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) no ponto de murchamento permanente (potencial mátrico de -1500 kPa) e Z a profundidade (0,40 m).

Também foi determinada a água disponível consumida do solo até o dia da irrigação (ADC_i), para Tens e TCA.

O dia definido como o de irrigação, tanto para Tens quanto para TCA, foi considerado o dia em que a umidade atual do solo (θ_a) atingiu valor igual ou menor ao da θ_c , considerando também se nesse dia ou nos três dias posteriores, a probabilidade de ocorrência de chuva, igual ou maior do que a AFD, fosse maior ou igual a 70%. Se isto acontecesse, verificava-se se este evento se confirmava no dia, e com qual quantidade, caso contrário, acompanhava-se a previsão do dia seguinte e dos dois dias posteriores a este, se necessário. Não se confirmando nesses a ocorrência de chuva, procedia-se à irrigação com a lâmina correspondente à ADC_i .

Os dados de previsão de chuva utilizados para Jaboticabal-S.P., foram obtidos diariamente por correio eletrônico, pela manhã (www.climatempo.com.br).

Manejo da irrigação com tensiômetros

Nas parcelas em que o manejo da irrigação foi efetuado com tensiômetros, foram instalados, na parte central de cada uma delas, um conjunto de 2 tensiômetros a 0,15 m e a 0,30 m de profundidade conforme recomendação de SILVEIRA & STONE (1994), sendo que o tensiômetro de 0,15 m foi o de decisão enquanto que o de 0,30 m o de controle (SAAD & LIBARDI, 1992).

O momento de se proceder à irrigação foi definido quando a média das leituras dos tensiômetros de decisão acusasse valores de tensão da água no solo igual ou superior a 40 kPa (LIBARDI & SAAD, 1994).

A lâmina líquida de irrigação ou ADC_i aplicada, foi calculada em função da relação entre a tensão da água no solo e a umidade volumétrica na camada de 0 – 0,40 m determinada por meio da curva característica de retenção de água no solo, em laboratório, com amostras indeformadas de solo retiradas na área a 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m de profundidade e submetidas às pressões de 2, 4, 6, 8 e 10 kPa em mesa de tensão e 33, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa em câmara de pressão (REICHARDT,

1985).

A lâmina de irrigação ou água disponível consumida até o dia da irrigação ($ADCi_{(Tens)}$), em mm, foi calculada conforme a expressão:

$$ADCi_{(Tens)} = (\theta_{cc} - \theta_{ai}) 1000 Z \quad (4)$$

sendo θ_{ai} a umidade atual do solo no momento da irrigação ($m^3 m^{-3}$).

A lâmina real (hr , em mm) aplicada em cada irrigação (Tens e TCA) foi baseada na leitura feita logo após as irrigações, dos pluviômetros instalados a 0,50 m de altura, correspondendo a 27 repetições por tratamento, totalizando 108 pluviômetros na área experimental (Figura 9).



FIGURA 9. Detalhe da disposição dos pluviômetros (P) instalados nas parcelas experimentais.

Manejo da irrigação com tanque Classe A

A aplicação do manejo pelo balanço hídrico climatológico simplificado considerou o balanço em 24 horas entre a evapotranspiração da cultura (ETc), estimada pelo método do tanque Classe A, segundo ALLEN et al. (1998a; c), e a chuva total coletada em um pluviômetro tipo “Ville de Paris”. Não foi considerada a chuva efetiva no lugar da chuva total por ser de difícil determinação ou estimativa para o agricultor irrigante e mesmo para um técnico com acesso a um nível médio de tecnologia e de conhecimento do assunto. Assim, o cálculo da lâmina líquida ou $ADCi_{(TCA)}$, tomada como referência para a lâmina de irrigação a ser aplicada com o pivô central, foi obtido da seguinte expressão do balanço hídrico climatológico simplificado:

$$ADCi_{(TCA)} = \sum_{ti}^{tj} (ETc - P) \quad (5)$$

sendo $ADCi_{(TCA)} \geq AFD$ (18,6 mm) e $(tj-ti)$ a duração do intervalo, em dias, entre duas irrigações.

A ETc (mm dia⁻¹) foi estimada de acordo com a metodologia apresentada em DOORENBOS & PRUITT (1976), pela expressão:

$$ETc = ECA Kp Kc \quad (6)$$

sendo ECA a evaporação medida no tanque Classe A (mm dia⁻¹); Kp o coeficiente de tanque (adimensional) para solo vegetado com grama, cujas determinações foram feitas por meio da expressão 7 (ALLEN et al., 1998c), Kc o coeficiente de cultura simplificado (adimensional) estimado diariamente para a cultura do feijoeiro de acordo com ALLEN et al. (1998a).

$$Kp = 0,61 + 0,00341 UR_{med} - 0,000162 U_{2m} UR_{med} - 0,00000959 U_{2m} B + 0,00327 U_{2m} \ln(B) - 0,00289 U_{2m} \ln(86,4 U_{2m}) - 0,0106 \ln(86,4 U_{2m}) \ln(B) + 0,00063 (\ln(B))^2 \ln(86,4 U_{2m}) \quad (7)$$

sendo UR_{med} a umidade relativa média do dia (%), U_{2m} a velocidade média do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$) e B a extensão da bordadura (grama batatais) do tanque Classe A (10 m).

Os valores de Kc correspondem a 0,4, 1,15 e 0,35, para as fases de desenvolvimento inicial (Kc_i), floração e enchimento de vagens (Kc_m) e maturação (Kc_f), respectivamente. Durante a fase inicial, o Kc foi sendo incrementado até atingir o valor de 1,15 aos 51 DAE em 2003 (segundo ano) e aos 37 DAE em 2004 (terceiro ano), sendo que para isso, obteve-se a diferença entre o Kc_m e o Kc_i , e o resultado foi dividido pelo número de dias, cujo valor foi sendo adicionado ao valor do dia anterior. O mesmo procedimento foi utilizado para o Kc da fase final da cultura, dos 82 aos 93 DAE em 2003 e dos 63 aos 81 DAE em 2004, sendo, entretanto, o resultado da diferença entre Kc_m e Kc_f , dividido pelo número de dias e subtraído do valor do dia anterior.

Parâmetros avaliados

Foram avaliados os seguintes parâmetros de planta e solo a fim de caracterizar a influência dos tratamentos de manejo de irrigação e de sistemas de manejo do solo:

Índice de área foliar (IAF)

Foi avaliado semanalmente em cada parcela, a partir dos 38 até 80 DAE, para o ano de 2003 e, dos 36 aos 74 DAE para o ano de 2004, fazendo-se 2 amostragens por parcela, de forma não destrutiva, com o instrumento LAI-2000 da Li-Cor (Figura 10). Esse aparelho calcula o IAF por meio de medições da radiação solar sobre e sob o dossel da cultura, através de um sensor óptico (LI-COR, 1992).

Primeiramente, o sensor é posicionado acima do dossel da cultura onde se faz a leitura da radiação solar incidente sobre a mesma. Em seguida, são realizadas as leituras abaixo do dossel (próximo ao solo), sendo que essas leituras consistiram de 4 medições, em diagonal, na entrelinha da cultura. O mesmo procedimento (acima e abaixo do dossel) foi realizado em 4 repetições por parcela, totalizando 36 estimativas de IAF por tratamento (em cada amostragem).

As avaliações foram realizadas, preferencialmente, no intervalo entre 10:00 e 14:00 horas, buscando a menor interferência possível das nuvens na incidência de raios solares, o que poderia prejudicar as interpretações das análises.



FIGURA 10. Detalhe da avaliação do IAF com posicionamento do sensor (**S**) abaixo do dossel.

Número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos

Ao final do ciclo da cultura, tanto para o segundo quanto para o terceiro ano, foram avaliados: o número de vagens por planta, sendo coletadas dentro da área útil de cada parcela todas as plantas, das quais foram contadas as vagens separando-as em vagens produtivas e vazias. A massa de 1000 grãos foi obtida tomando-se da produção de grãos na área útil de cada parcela, 5 amostras aleatórias de 1000 grãos que foram pesadas em balança de precisão de 0,01 g e depois determinadas as suas umidades pela expressão 8 e, para a correção do resultado para 12% de umidade em base úmida utilizou-se a expressão 9, conforme WEBER (2001), obtendo a produtividade de grãos (kg ha^{-1}). A área destinada à avaliação da produção de cada parcela foi de $5,535 \text{ m}^2$.

$$U = \frac{Ma}{Mt} 100 \quad (8)$$

$$Mf = Mi \frac{1 - Ui}{1 - Uf} \quad (9)$$

sendo:

U = umidade (%), base úmida;

Ma = massa de água presente na massa de grãos;

Mt = massa total de grãos (massa seca de grãos + massa de água);

Mf = massa final de grãos;

Mi = massa inicial de grãos;

Ui = umidade inicial da massa de grãos;

Uf = umidade final da massa de grãos (0,12).

Massa seca de folha, caule, flor, vagem e massa seca total e número de folha, flor e vagem por planta

Semanalmente, dos 34 aos 83 DAE para o segundo ano e, dos 36 aos 74 DAE para o terceiro ano, foram realizadas amostragens de plantas para determinação de massa seca de seus órgãos produtivos e vegetativos (à exceção das raízes). Essas amostragens foram sempre realizadas no dia posterior ao da estimativa do IAF, e consistiram na retirada de três plantas por parcela, sendo 27 plantas por tratamento, totalizando 108 plantas por amostragem semanal.

De cada planta, foram separados do caule, e contados, o número de folha, flor e vagem e acondicionadas em sacos de papel e levados para secagem em estufa à, aproximadamente, 70 °C por, no mínimo, 24 h. Em seguida, faziam-se as pesagens em balança de precisão de 0,01 g, determinando assim, a massa seca de cada componente da planta.

Variação da umidade do solo

A variação da umidade do solo foi avaliada indiretamente por meio de

tensiômetros com manômetro de mercúrio instalados a 0,10 - 0,15 - 0,30 - 0,50 e 0,70 m (Figura 11), em todas as parcelas, conjugados com a curva de retenção de água do solo para a obtenção da umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), pelo modelo de VAN GENUCHTEN (1980), cuja expressão que permite a conversão do potencial mátrico em umidade volumétrica é a seguinte:

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\Psi_m|)^n\right]^m} \quad (10)$$

sendo θ_a a umidade atual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_s a umidade de saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), Ψ_m o potencial mátrico (cm c. a.), α (cm^{-1}), θ_r , m e n os parâmetros gerados pelo modelo.

As leituras dos tensiômetros foram realizadas todos os dias pela manhã (em torno das 8:00 horas) e transformadas em potencial mátrico (Ψ_m) de acordo com a expressão:

$$\Psi_m = -12,6h + h_1 + h_2 \quad (11)$$

sendo h a altura da coluna de mercúrio no momento da leitura (cm de coluna de mercúrio), h_1 a altura do nível de mercúrio no reservatório em relação à superfície do solo (cm), h_2 a profundidade do tensiômetro (cm).

Para verificar a possível ocorrência de déficit hídrico no solo prejudicial à produtividade de grãos, foram calculados, diariamente, a reserva de água disponível atual no solo ($RADa$, $\text{mm} \text{m}^{-1}$) para todos os tratamentos, por meio da expressão:

$$RADa = CAD - ADCa \quad (12)$$

sendo $ADCa$ a água disponível consumida atual do solo (mm) que foi calculada por:

$$ADCa = (\theta_{cc} - \theta_a) 1000 Z \quad (13)$$

sendo θ_a a umidade média atual do solo na camada de 0,40 m (Z).



FIGURA 11. Parcela experimental com tensiômetros.

Para comparação foi tomada como referência a *RAD* limite (*RADI*) calculada pela expressão:

$$RADI = (1 - p) CAD \quad (14)$$

sendo p o fator de depleção de água no solo calculado diariamente em função da *ETc* diária estimada pelo método do tanque Classe A, utilizando-se a expressão apresentada por ALLEN et al. (1998b):

$$p = p_{tab} + 0,04 (5 - ETc) \quad (15)$$

sendo p_{tab} o fator p de depleção de água no solo tabelado pela FAO (ALLEN et al. 1998b), para uma ETc de 5 mm dia^{-1} , que para o feijão é de 0,45 (adimensional); ETc a evapotranspiração diária da cultura (mm dia^{-1}).

Como a $RADI$ é uma fração da CAD , a $RADa$ foi também assim transformada, sendo rerepresentada segundo a expressão:

$$RADa = 1 - \frac{ADCa}{CAD} \quad (16)$$

Estimativa da evapotranspiração real (ETr) pelo método do balanço hídrico do solo e eficiência de uso da água da cultura (EUAC)

Foram realizados na área experimental dois ensaios para determinação da condutividade hidráulica do solo, sendo um na área de PD e outro na área de PC. Em cada ensaio cercou-se uma área de 4 m^2 , para evitar o escoamento de água, na qual foram instalados 4 tensiômetros às profundidades de 0,10, 0,30, 0,50 e 0,70 m. Foi adicionada água até que se obtivesse o abaixamento da coluna de mercúrio dos tensiômetros ao nível mínimo, indicando que o solo, até a camada de 0,70 m, estava próximo ao ponto de saturação. Em seguida, a área foi coberta com plástico e grama seca para evitar a evaporação e, a partir daí, iniciaram-se as leituras a intervalos de tempo de 0, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 36, 48, 72, 120, 240 e 360 horas, conforme o método do perfil instantâneo (HILLEL et al., 1972), descrito em LIBARDI (2005). O modelo aplicado foi:

$$K(\theta) = K_0 e^{\left[\gamma(\theta_a - \theta_0) \right]} \quad (17)$$

sendo, K_0 a condutividade hidráulica do solo saturado (0,046 e 0,115 m h⁻¹ para PC e PD, respectivamente), γ o inverso do coeficiente angular (93,110 e 90,555 para PC e PD, respectivamente) e θ_0 a umidade volumétrica do solo saturado (0,465 m³ m⁻³).

A ETr média para um período de n dias foi estimada de acordo com a expressão do balanço hídrico completo do solo:

$$ETr = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P + I - \Delta A_z - ES \pm q)_i \quad (18)$$

sendo P a chuva diária (mm), I a lâmina real de irrigação coletada nos pluviômetros instalados nas parcelas (mm), ΔA_z a variação do armazenamento de água no perfil de solo considerado (mm), ES o escoamento superficial produzido na área (mm) e q a drenagem profunda (-) ou a ascensão capilar (+), em mm dia⁻¹.

A ETr foi estimada para n igual a 10 dias, entre 33 e 92 DAE para 2003 e 41 a 80 DAE para 2004. Também foi obtida para as três fases fenológicas da cultura: desenvolvimento vegetativo (DV), floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M).

Na estimativa da variação do armazenamento de água no solo (ΔA_z) calculou-se a água armazenada no solo diariamente ($A_z = \theta_a 1000 Z$, em mm) até a profundidade de 0,40 m pelo método do trapézio (LIBARDI, 2005). A ΔA_z foi obtida pela diferença entre a lâmina de água armazenada no perfil no dia atual e no dia anterior ($\Delta A_z = A_{z_i} - A_{z_{i-1}}$).

A estimativa de ES foi baseada no método do número da curva apresentada em PANIGRAHI & PANDA (2003) e PRUSKI et al. (2006), desenvolvida pelo Soil Conservation Service USDA em 1972. Este método foi baseado num grande número de bacias experimentais, dos quais foi gerado o seguinte modelo:

$$\frac{I}{S} = \frac{ES}{P_e} \quad (19)$$

sendo I a infiltração acumulada após o início do escoamento superficial (mm); S a infiltração potencial (mm); ES o escoamento superficial total (mm) e P_e o escoamento potencial ou excesso de precipitação (mm).

Como a equação é válida a partir do início do escoamento superficial, deve-se desconsiderar as abstrações iniciais (I_a) que engloba, até o início do escoamento superficial, a interceptação, armazenamento superficial e toda infiltração ocorrida nestes dois processos, portanto:

$$I_a = P_e - ES \quad (20)$$

Nos solos da Índia, SHARPLEY & WILLIAMS (1990), citados por PANIGRAHI & PANDA (2003), encontraram para I_a uma razão de 30% da infiltração potencial (S) e, de acordo com a SCS-USDA, apresentado em PRUSKI et al. (2006), verificando o comportamento das bacias experimentais norte-americanas estudadas, essa razão é de 0,20 (20%), sendo esse valor o utilizado nesse trabalho.

Portanto, a equação para determinação de ES teve a seguinte configuração:

$$ES = \frac{(PT - 0,2S)^2}{(PT + 0,8S)} \quad (21)$$

sendo PT a precipitação total ocorrida, neste caso, num período de 24 horas.

Para a obtenção de S , faz-se necessário a seguinte relação:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (22)$$

sendo CN o número da curva e pode variar entre 1 e 100, dependendo do uso e manejo da terra, grupo de solo, da condição hidrológica e umidade antecedente do solo. De acordo com as classificações tabeladas e apresentadas em PRUSKI et al. (2006), o valor de CN para as condições edáficas deste experimento é de 78 (adimensional).

Entretanto, este modelo geral não trata especificamente das condições de umidade do solo no momento i , o que, para isto, torna-se necessário uma ponderação do valor CN para condições de solo seco (CN_1), úmido (CN_2 - valor igual a 78) e muito úmido (CN_3), de acordo com as expressões:

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{100 - CN_2 + \exp\{2,533 - 0,0636(100 - CN_2)\}} \quad (23)$$

$$CN_3 = CN_2 + 10 \exp\{0,00673(100 - CN_2)\} \quad (24)$$

Com os valores de CN_1 , CN_2 e CN_3 , obtem-se da equação 22 S_1 , S_2 e S_3 , que são utilizados no cálculo dos parâmetros de ponderação (W_1 e W_2), por meio das equações:

$$W_1 = \ln\left(\frac{S_3}{S_1 - S_3}\right) + W_2 \quad (25)$$

$$W_2 = \ln\left(\frac{0,5S_2(S_1 - S_3)}{S_3(S_1 - S_2)}\right)^2 \quad (26)$$

Para o cálculo de S final, fez-se necessário também o cálculo da fração da CAD (RAD), de acordo com a expressão:

$$RAD = \frac{\theta_a - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \quad (27)$$

Em seguida, calculou-se o S ponderado através da equação:

$$S = S_1 \left[1 - \frac{RAD}{RAD + \exp(W_1 - W_2 RAD)} \right] \quad (28)$$

Por fim, substituiu-se o resultado de S na equação (21), para obtenção do escoamento superficial total, considerando a ocorrência de escoamento superficial quando:

$$P + I > Ia \quad (29)$$

Não houve escoamento superficial quando:

$$P + I \leq Ia \quad (30)$$

Para o cálculo do fluxo de água (q), foi considerado o perfil de 0,40 m, sendo que os tensiômetros instalados a 0,30 e 0,50 m foram os utilizados como limites de entrada e saída de água o que determinou o sentido do fluxo de água no solo, quando q resultava em valor positivo indicava a entrada de água no perfil e, negativo, a saída de água do perfil pela fronteira estabelecida a 0,40 m de profundidade.

O fluxo diário de água (q) foi obtido pela expressão:

$$q = -K(\theta) \frac{\partial \Psi_T}{\partial Z} \quad (31)$$

sendo, $\partial \Psi_T / \partial Z$ o gradiente hidráulico no solo (m c. a.) na profundidade de 0,40 m, avaliado por diferenças finitas, por meio dos tensiômetros instalados a 0,30 e 0,50 m de

profundidade.

O potencial total de água no solo (Ψ_T) foi determinado de acordo com a seguinte expressão simplificada de Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005):

$$\Psi_T = \Psi_m + \Psi_g \quad (32)$$

sendo Ψ_g o potencial gravitacional de água no solo (cm c. a.), tendo como referência a superfície do solo.

A eficiência de uso de água pela cultura (EUAC – kg m^{-3}) é definida como eficiência de produção, ou seja, a massa de grãos produzida para cada unidade de volume de água consumida por evapotranspiração da cultura durante todo o seu ciclo (TENNAKOON & HULUGALLE, 2006). A EUAC foi calculada por meio da razão entre a produtividade média de grãos (kg m^{-2}) e a ETr média (mm d^{-1}) transformada em volume de água para todo o ciclo da cultura (m^3).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Água recebida pela cultura

As lâminas médias aplicadas via irrigação para o segundo ano (Tabela 5), diferiram significativamente para manejo do solo (PC e PD) e para manejo de irrigação, cujas maiores lâminas foram aplicadas em TCA (281,87 mm) e PD (261,00 mm). STONE & MOREIRA (2000), estudando a cultura do feijoeiro em sistemas de plantio por quatro anos, verificaram que houve economia de água no plantio direto (com adequada cobertura morta) em relação aos demais sistemas de preparo do solo. Já, para o terceiro ano (Tabela 6), verifica-se que apenas houve diferença significativa entre manejo de irrigação, sendo que, novamente, a lâmina total de irrigação aplicada em função do TCA (290,04 mm) foi maior à resultante do Tens (256,00 mm).

Os valores de quantidade de água recebida pela cultura, chuva + irrigação, para o segundo e terceiro ano (Tabelas 5 e 6), em todos os tratamentos, apresentaram o mesmo comportamento verificado para lâmina de irrigação aplicada. STONE & MOREIRA (2000) relatam que os componentes da produtividade número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos, apresentaram uma relação quadrática com a lâmina de água, sendo os valores máximos obtidos com uma lâmina de água ao redor de 350 mm.

Observa-se que para o segundo ano (Tabela 5), o TCA estimou, em média, uma lâmina total de irrigação cerca de 27% maior do que o Tens. Dentro de PD, essa variação foi cerca de 21% e, dentro de PC, foi maior em torno de 34%. Para o terceiro ano (Tabela 6), o comportamento foi semelhante ao ano anterior, onde o TCA estimou, em média, uma lâmina total de irrigação cerca de 13% maior do que o Tens, sendo que o mesmo resultado foi encontrado para as lâminas dentro de PD. Dentro de PC, a estimativa da lâmina de irrigação TCA foi cerca de 14% maior em relação ao manejo

Tens. Estes resultados indicam que no PD pode haver uma economia de água quando o método de manejo de irrigação utilizado for o de tensiometria. Já, em PC, torna-se evidente a necessidade de uma lâmina de irrigação mais elevada para alcançar bons níveis de produtividade.

Esses resultados são consistentes com os de OLIVEIRA et al. (2000), que compararam sistemas de manejo do solo (direto e convencional, após 5 anos de pousio com braquiária para formação de palhada) e manejo de irrigação (tensiômetro e tanque Classe A) na cultura do feijoeiro e concluíram que o plantio direto proporcionou economia de água da ordem de 20% quando comparado ao plantio convencional e que, a demanda total de água estimada, com base na evaporação do tanque Classe A, superestimou em 11,0% e 29% a demanda determinada por tensiometria para os sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente.

Também LOPES et al. (2004), estudando a cultura do feijoeiro no primeiro ano de implantação do plantio direto do presente experimento, concluíram que o manejo de irrigação por tensiometria resultou em maiores variações na água disponível consumida do solo e em maior eficiência de uso da água de irrigação do que pelo balanço hídrico climatológico simplificado com o tanque Classe "A", resultando em economia de 15% na água de irrigação aplicada, sem afetar a produtividade de grãos.

TABELA 5. Lâmina aplicada por irrigação e total (chuva + irrigação) recebida pela cultura (mm) – segundo ano.

Manejo do solo	Manejo de irrigação					
	Tens		TCA		Média	
	Irrigação	Total	Irrigação	Total	Irrigação	Total
PC	207,86	262,96	277,66	332,76	242,76 B	297,86
PD	235,92	291,02	286,08	341,18	261,00 A	316,10
Média	221,89 b	276,99	281,87 a	336,97		

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

TABELA 6. Lâmina aplicada por irrigação e total (chuva + irrigação) recebida pela cultura (mm) – terceiro ano.

Manejo do solo	Manejo de irrigação					
	Tens		TCA		Média	
	Irrigação	Total	Irrigação	Total	Irrigação	Total
PC	252,07	423,67	286,37	457,97	269,22 A	440,82
PD	259,93	431,53	293,71	465,31	276,82 A	448,42
Média	256,00 b	427,60	290,04 a	461,64		

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variação da umidade do solo

Para o segundo ano, na Figura 12 verifica-se que, entre manejo do solo com um mesmo manejo de irrigação (PC-Tens e PD-Tens; PC-TCA e PD-TCA), a variação da reserva de água disponível atual no solo (*RADa*) até a profundidade de 0,40 m, ao longo do ciclo da cultura, foi semelhante, tanto no comportamento, que pode ser evidenciado na Figura, como nos valores de *RADa* em cada período apresentados na tabela abaixo do eixo do tempo (DAE). Por esta razão, foi possível a apresentação das Figuras 13 e 14, em que pode ser verificada a variação da *RADa* média por tratamento de manejo de irrigação e por manejo do solo, respectivamente.

Analisando a Figura 13, observa-se que no manejo de irrigação TCA o solo foi mantido com valores médios de *RADa* mais elevados e próximos ao limite superior ($RAD = 1,0$) do que o Tens, em todos os períodos analisados. O mesmo comportamento pode ser verificado na Figura 14, em que no PD os valores médios de *RADa* foram mais elevados e, conseqüentemente, mais próximos ao limite superior ($RAD = 1,0$) do que no PC, na maioria dos períodos analisados. Apenas no período de 63 DAE a 72 DAE, o PC apresentou *RADa* superior ao PD.

Essa variação da *RAD* no solo foi acompanhada, no geral, pela respectiva variação do potencial mátrico em cada período para a camada de solo de 0 m a 0,40 m e nas profundidades de 0,15 m e 0,30 m (Figuras 20 a 25 e Tabelas 7 e 8), como era de se esperar.

O manejo de irrigação TCA, tanto para PC quanto para PD, resultou, no geral, em valores de potenciais mátricos maiores do que no Tens (PC e PD) para o segundo ano. Procedendo-se à análise dos valores dos desvios-padrão do potencial mátrico na

Tabela 8, verifica-se que a média dos desvios ao longo do ciclo foi 10,2 kPa para o PD-Tens, 8,7 kPa para o PC-TCA, 6,6 kPa para o PD-TCA e 6,5 kPa para o PC-Tens.

Infere-se dessas análises que as plantas de feijoeiro que se desenvolveram com o manejo de irrigação TCA estiveram sujeitas a maior disponibilidade hídrica do que as que foram submetidas ao manejo Tens. Entretanto, este último não proporcionou déficit hídrico às plantas, apresentando valores de *RADa* sempre superiores ao da *RADI*, de acordo com ALLEN et al. (1998b). A maior disponibilidade hídrica no solo proporcionada pelo TCA em relação ao Tens, foi traduzida em maior desenvolvimento da área foliar (Figura 33 e Tabela 11), mas não em maior massa seca da parte aérea (Figuras 45, 47, 49 e 51) e nem em maior número de órgãos vegetativos e reprodutivos (Figuras 67 e 71).

Comportamento semelhante pode ser observado entre os tratamentos de manejo do solo, em que no PD a disponibilidade de água no solo foi maior do que no PC, mas isso não resultou em diferenças importantes de massa seca da parte aérea (Figuras 44, 46, 48 e 50) e do número de órgãos vegetativos e reprodutivos (Figuras 66 e 70), ao longo do ciclo da cultura.

Analisando a Figura 15, verifica-se que no terceiro ano, entre manejos do solo com um mesmo manejo de irrigação (PC-Tens e PD-Tens; PC-TCA e PD-TCA), a variação da *RADa* do solo até a profundidade de 0,40 m, ao longo do ciclo da cultura, foi semelhante, tanto no comportamento, que pode ser evidenciado na Figura, como nos valores de *RADa* em cada período apresentados na tabela abaixo do eixo do tempo (DAE). Por esta razão, também foi possível a apresentação das Figuras 16 e 17, em que se pode visualizar a variação da *RADa* média por tratamento de manejo de irrigação e por manejo do solo, respectivamente.

Analisando a Figura 16, verifica-se que, com exceção do último período, no manejo de irrigação TCA o solo foi mantido com valores médios de *RADa* mais elevados e próximos ao limite superior ($RAD = 1,0$) do que no Tens. Comportamento semelhante ao do TCA em relação ao Tens pode ser observado para o PD em relação ao PC (Figura 17).

A variação do potencial mátrico em cada período para a camada de solo de 0 m

a 0,40 m e nas profundidades de 0,15 m e 0,30 m (Figuras 26 a 31 e Tabelas 9 e 10) acompanhou a variação da *RAD* como consequência desta.

Assim como aconteceu no segundo ano, no terceiro os maiores valores de potenciais mátricos ocorreram, em geral, no tratamento de manejo de irrigação TCA, tanto para no manejo do solo por PC quanto no PD. A análise dos valores dos desvios-padrão do potencial mátrico da Tabela 10, evidencia que a média dos desvios ao longo do ciclo foi 9,8 kPa para o PC-TCA, 9,7 kPa no PC-Tens, 9,0 kPa para o PD-Tens e 4,1 kPa no PD-TCA.

A maior disponibilidade hídrica no solo foi verificada para as plantas submetidas ao manejo de irrigação TCA do que para as que foram sujeitas ao Tens, assim como no segundo ano sem, contudo, significar que o manejo de irrigação por Tens tenha submetido as plantas a déficit hídrico, uma vez que manteve valores de *RADa* sempre superiores a *RADI* exigida pela cultura.

À semelhança do segundo ano, a maior disponibilidade hídrica no solo verificada no TCA do que no Tens, resultou em maior desenvolvimento da área foliar (Figura 39 e Tabela 12). No entanto, a maior área de folhas no TCA não foi convertida em maior massa seca da parte aérea (Figuras 56, 62 e 64) e em maior número de órgãos vegetativos e reprodutivos (Figuras 73 e 77).

Comportamento semelhante pode ser observado entre manejo do solo, em que o PD apresentou maior disponibilidade de água no solo quando comparado ao PC, entretanto, as diferenças entre estes dois tratamentos, ao longo do ciclo da cultura, relacionadas à massa seca da parte aérea (Figuras 38, 55, 61 e 63) e ao número de órgãos reprodutivos e vegetativos (Figuras 72 e 76), não foram importantes. Destaca-se, contudo, na Figura 55, que o PC foi superior ao PD em massa seca de folhas, nas duas últimas amostragens.

URCHEI et al. (2000), estudando dois sistemas de manejo do solo (direto e convencional), verificaram que a massa seca total apresentou diferença significativa entre sistemas de manejo do solo aos 37, 51, 58, 65, 72 e 79 DAE, indicando superioridade para o plantio direto. Relatam, ainda, que tal comportamento foi, provavelmente, em função da maior disponibilidade de água no solo propiciada pelo

plântio direto (maiores valores de potenciais mátricos) em relação ao plântio convencional.

GUERRA et al. (2000) relataram que a condição de estresse hídrico moderado (potencial mátrico de -75 kPa) é suficiente para causar uma redução significativa do número de vagens por planta. No segundo ano, houve superioridade do TCA em relação ao Tens (Tabela 14) somente dentro de PC. Para o terceiro ano verificou-se o mesmo comportamento dentro do PC porém, dentro do PD, o Tens foi maior que o TCA (Tabela 21).

GOMES et al. (2000) comentaram que, em virtude de deficiência hídrica, o feijoeiro apresenta limitações no seu desenvolvimento, fato que não aconteceu em nenhum dos tratamentos empregados. POZZEBON et al. (1996; 1997) evidenciaram a importância da boa disponibilidade hídrica para a cultura do feijoeiro, concluindo que, em função desta, a planta acumula mais nutrientes (N, P e K) na parte aérea, sendo que resultados semelhantes foram encontrados por PESSOA et al. (1996) e por SILVEIRA & MOREIRA (1990) que estudaram doses de fósforo e lâminas de irrigação. De acordo com STONE & SILVEIRA (1999), o potencial mátrico da água no solo é maior e menos variável ao longo do ciclo do feijoeiro em plântio direto, em comparação aos demais sistemas de preparo do solo.

O efeito das condições ambientais, notadamente as climatológicas, na tolerância mostrada pelo feijoeiro nos tratamentos Tens foram incorporados conceitualmente no cálculo da reserva de água disponível limite no solo - *RADI* (Figuras 12 a 17), uma vez que esta é função do fator "*p*" de depleção da água do solo para a cultura (DOORENBOS & KASSAN, 1979; ALLEN et al., 1998b), o qual é uma função da evapotranspiração máxima da cultura - *ETc* - que, quando é calculada por meio da estimativa da evapotranspiração de referência - *ETo* - obtida pelo método do tanque Classe "A", é apresentada como uma função do coeficiente de tanque - *Kp* -, que por sua vez, incorpora efeitos da velocidade do vento, da umidade relativa do ar, das condições de natureza e tamanho da bordadura da área circundante ao tanque de evaporação e os relacionados às resistências aos fluxos verticais e horizontais de propriedades intrínsecas aos limites do sistema planta-atmosfera circundante da

comunidade de plantas.

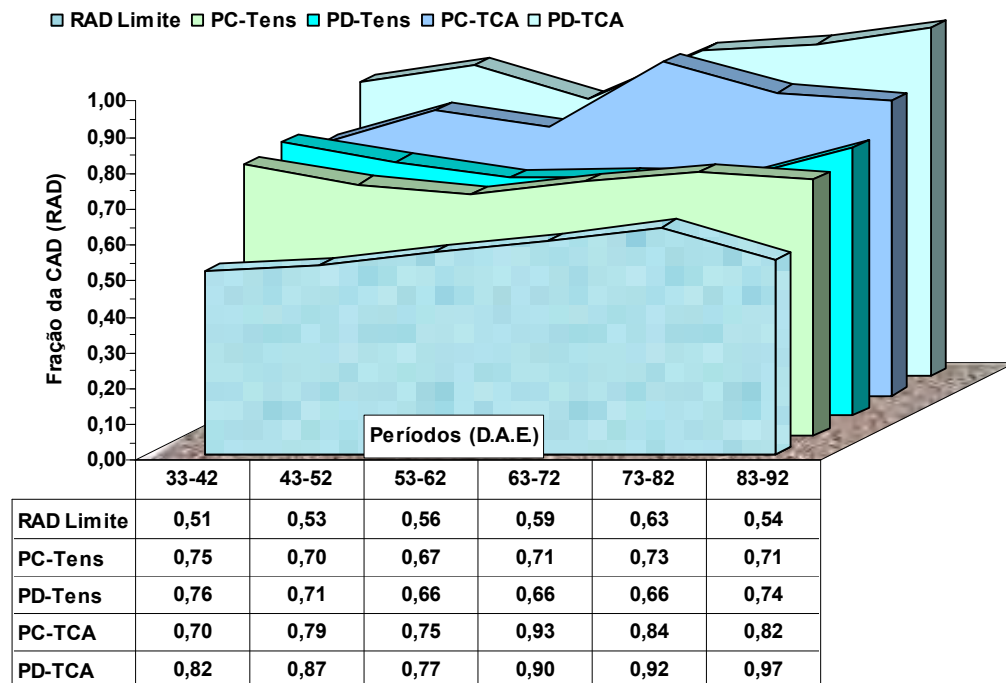


FIGURA 12. Reserva de água disponível atual e limite no solo, para a profundidade de 0,40 m (segundo ano), estimada pelo método FAO e os valores observados ao longo do ciclo da cultura, com os valores correspondentes para todos os tratamentos.

Isto mostra que o controle da irrigação, tomando como referencial o potencial mátrico de -40 kPa no tensiômetro controle (0,15 m de profundidade) e a profundidade efetiva de 0,40 m para as condições edafoclimáticas que prevaleceram durante o ciclo da cultura, manteve em média, durante todo o tempo, condições hídricas no solo acima da *RADI*, preconizada para o feijoeiro nos boletins da FAO (DOORENBOS & KASSAN, 1979; ALLEN et al. 1998b). Considerando que, de acordo com NÓBREGA et al. (2001), redução da umidade do solo a níveis que influenciam os processos fisiológicos, resultando na diminuição do crescimento foliar e da atividade fotossintética das plantas, limita a produtividade da cultura, pode-se inferir que a produtividade de fitomassa e de grãos não foram limitados de forma significativa pelos tratamentos de manejo de irrigação aplicados (TCA e Tens) nos dois anos analisados.

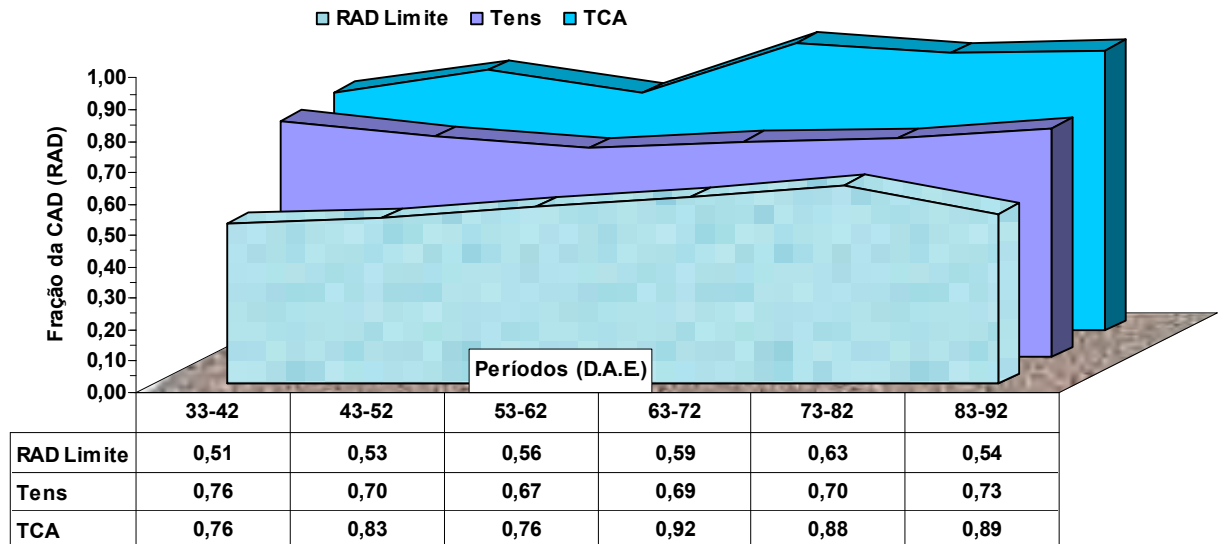


FIGURA 13. Reserva de água disponível atual e limite no solo, para a profundidade de 0,40 m (segundo ano), estimada pelo método FAO e os valores observados ao longo do ciclo da cultura, com os valores correspondentes para os tratamentos Tens e TCA.

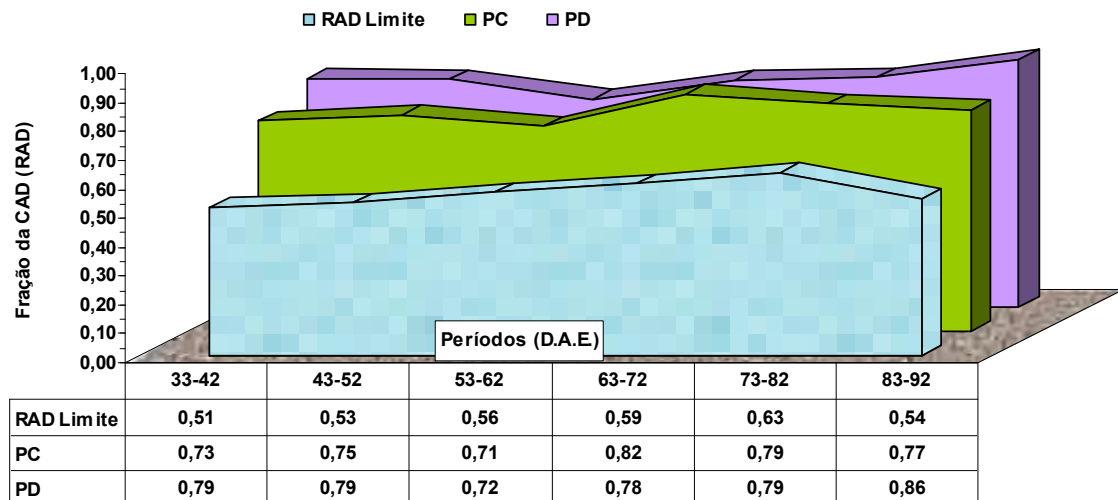


FIGURA 14. Reserva de água disponível atual e limite no solo, para a profundidade de 0,40 m (segundo ano), estimada pelo método FAO e os valores observados ao longo do ciclo da cultura, com os valores correspondentes para os tratamentos PC e PD.

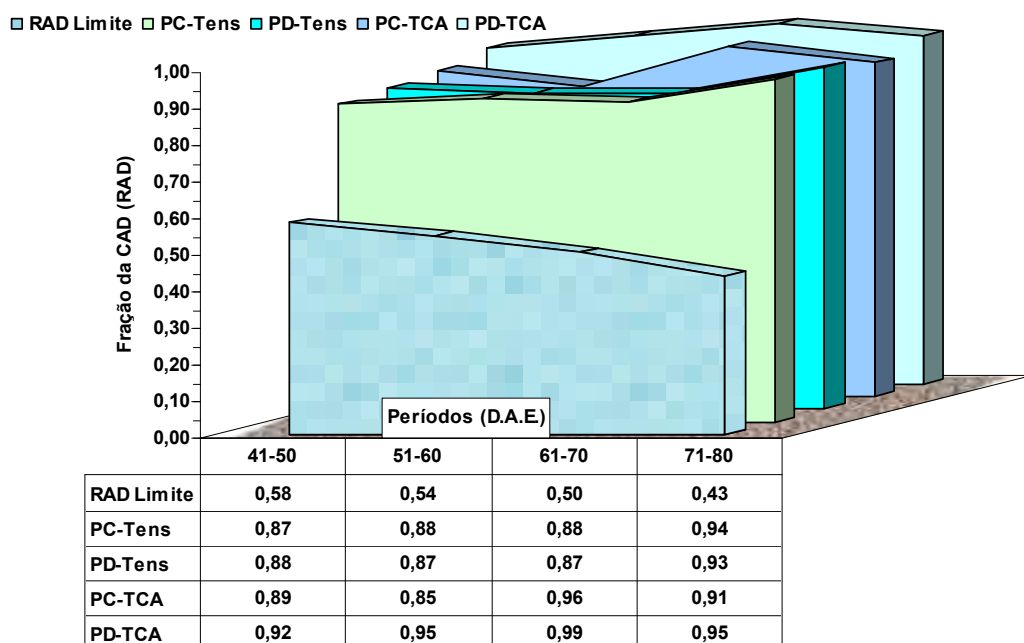


FIGURA 15. Reserva de água disponível atual e limite no solo, para a profundidade de 0,40 m (terceiro ano), estimada pelo método FAO e os valores observados ao longo do ciclo da cultura, com os valores correspondentes para todos os tratamentos.

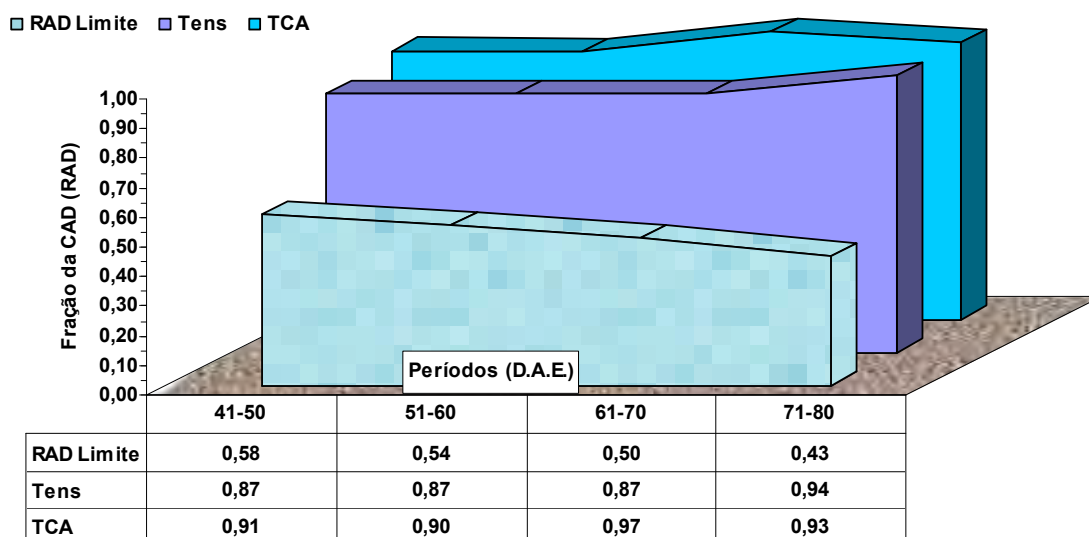


FIGURA 16. Reserva de água disponível atual e limite no solo, para a profundidade de 0,40 m (terceiro ano), estimada pelo método FAO e os valores observados ao longo do ciclo da cultura, com os valores correspondentes para os tratamentos Tens e TCA.

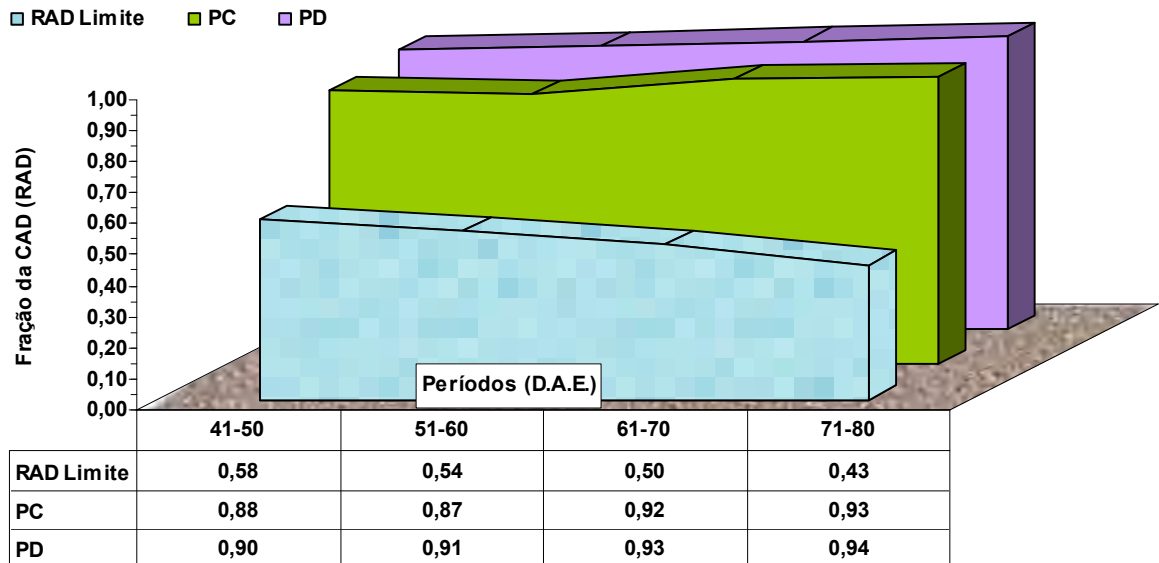


FIGURA 17. Reserva de água disponível atual e limite no solo, para a profundidade de 0,40 m (terceiro ano), estimada pelo método FAO e os valores observados ao longo do ciclo da cultura, com os valores correspondentes para os tratamentos PC e PD.

A variação da água disponível estimada pelo TCA, bem como as irrigações e as chuvas ocorridas no período estão representadas nas Figuras 18 (segundo ano) e 19 (terceiro ano). Na Figura 20, verifica-se que o comportamento real da água no solo, sensoriado pelos tensiômetros instalados na camada de 0,40 m de profundidade, não correspondeu, exatamente, ao estimado pelo TCA, uma vez que o potencial mátrico de água no solo permaneceu, na sua grande maioria, próximo à da capacidade de campo (-10 kPa), diferindo do comportamento dos tratamentos Tens, que apresentaram maiores variações de potencial mátrico no segundo ano. Ainda para esse ano, verifica-se uma variação maior no potencial mátrico entre 48 e 66 DAE mas, ainda sim, não correspondendo às mesmas variações apresentadas na Figura 18. Comparando as Figuras 22 e 23, observa-se que as maiores variações ocorreram no PC-TCA quando comparado ao PD-TCA.

Pela Figura 19 (terceiro ano), entre 28 e 42 DAE, verifica-se que a água disponível para a cultura encontrava-se abaixo do limite mínimo, isso por que havia previsão de chuva naqueles dias, o que somente veio a se confirmar, efetivamente, aos 41 DAE. Todavia, esse comportamento não foi observado pelos tensiômetros instalados na camada de 0 m - 0,40 m (Figuras 26 e 27), onde verifica-se que o potencial mátrico não ultrapassou -50 kPa. Dentre os tratamentos de manejo do solo dentro do de manejo de irrigação TCA, o PC foi o que apresentou as maiores variações quando comparado ao PD.

Nos tratamentos de manejo de irrigação Tens, no segundo ano, verifica-se que em todo o ciclo da cultura o potencial mátrico dificilmente atingia -10 kPa, principalmente em torno dos 63 DAE para PC-Tens (Figura 24). Já, para PD-Tens (Figura 25), a reposição de água pareceu se dar de maneira mais efetiva porém, também apresenta grandes amplitudes de variação. Não se encontrou explicação para isto, uma vez que as lâminas de irrigação coletadas nos pluviômetros das parcelas acima do dossel da cultura, imediatamente após cada irrigação, eram suficientes para que isto acontecesse.

Para o terceiro ano, nos tratamentos de manejo de irrigação Tens, observa-se que, em algumas vezes, o potencial mátrico dificilmente atingia -10 kPa, apresentando, inclusive, uma queda acentuada em torno dos 64 DAE para PC-Tens (Figura 30), cujo comportamento foi semelhante ao PD-Tens (Figura 31).

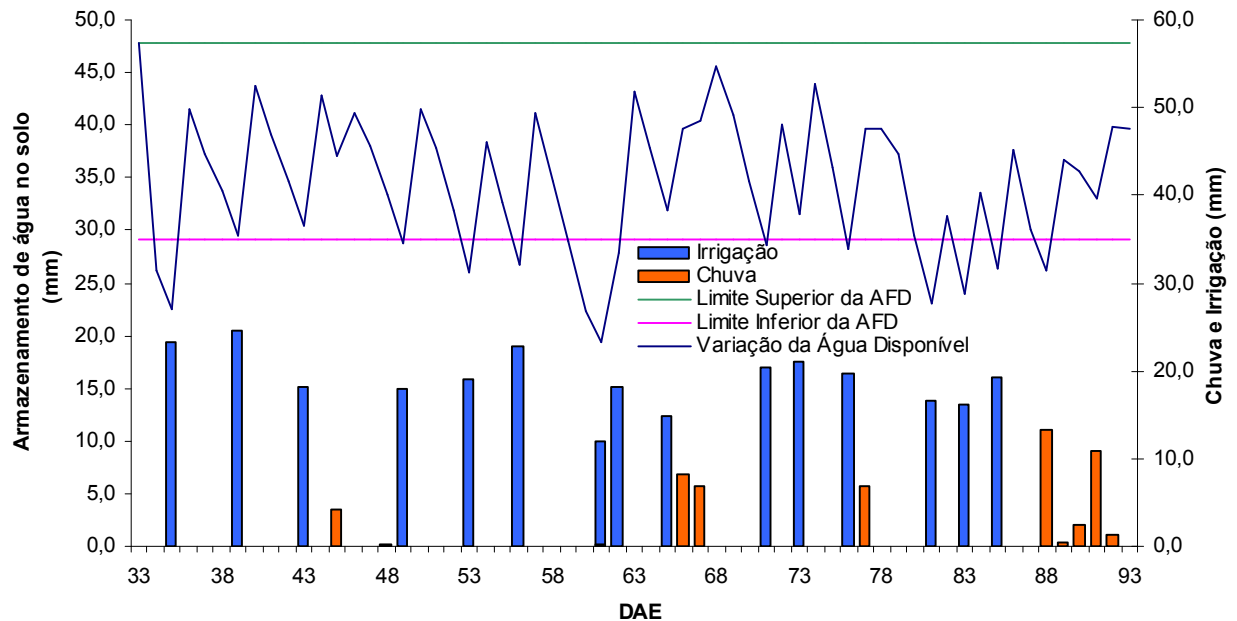


FIGURA 18. Representação gráfica da estimativa da variação do armazenamento de água no solo até 0,40 m de profundidade (segundo ano), por meio do balanço hídrico climatológico simplificado, assim como as lâminas de irrigação aplicadas e de chuva recebida pelas plantas de feijoeiro.

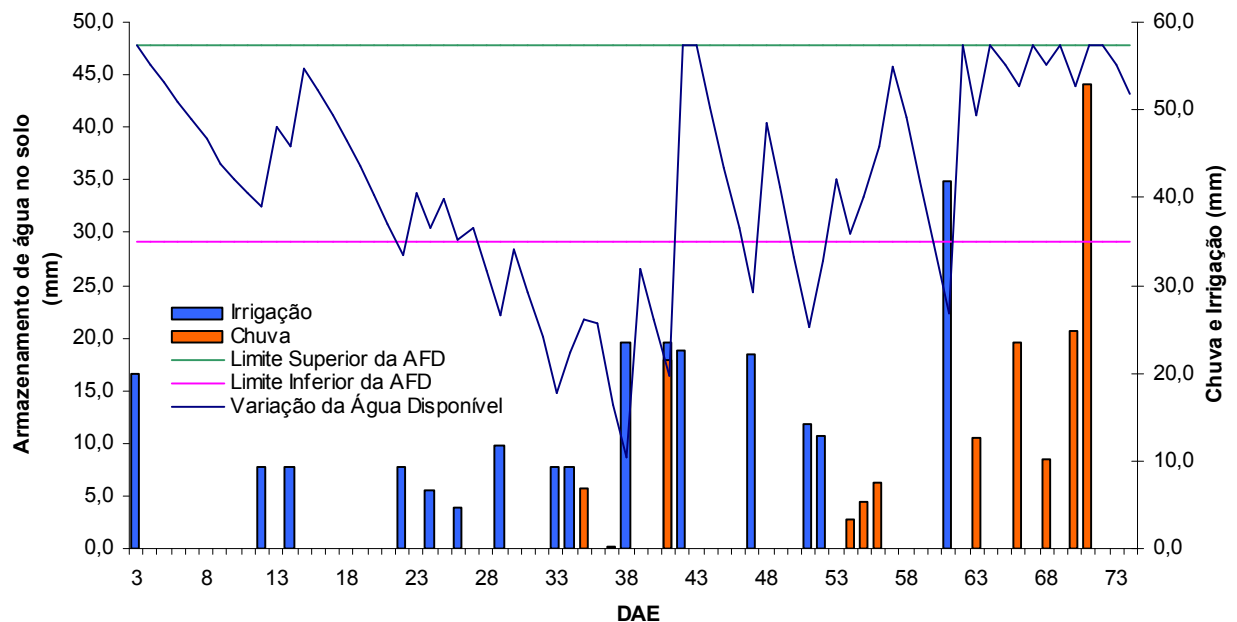


FIGURA 19. Representação gráfica da estimativa da variação do armazenamento de água no solo até 0,40 m de profundidade (terceiro ano), por meio do balanço hídrico climatológico simplificado, assim como as lâminas de irrigação aplicadas e de chuva recebida pelas plantas de feijoeiro.

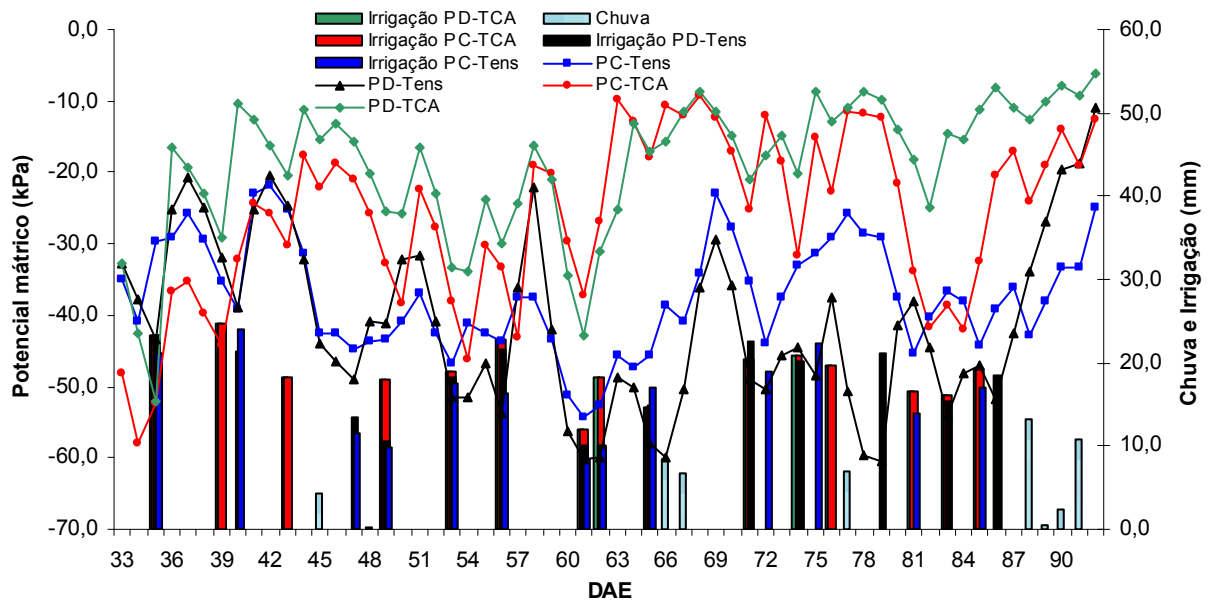


FIGURA 20. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para a camada de 0 – 0,40 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida (segundo ano).

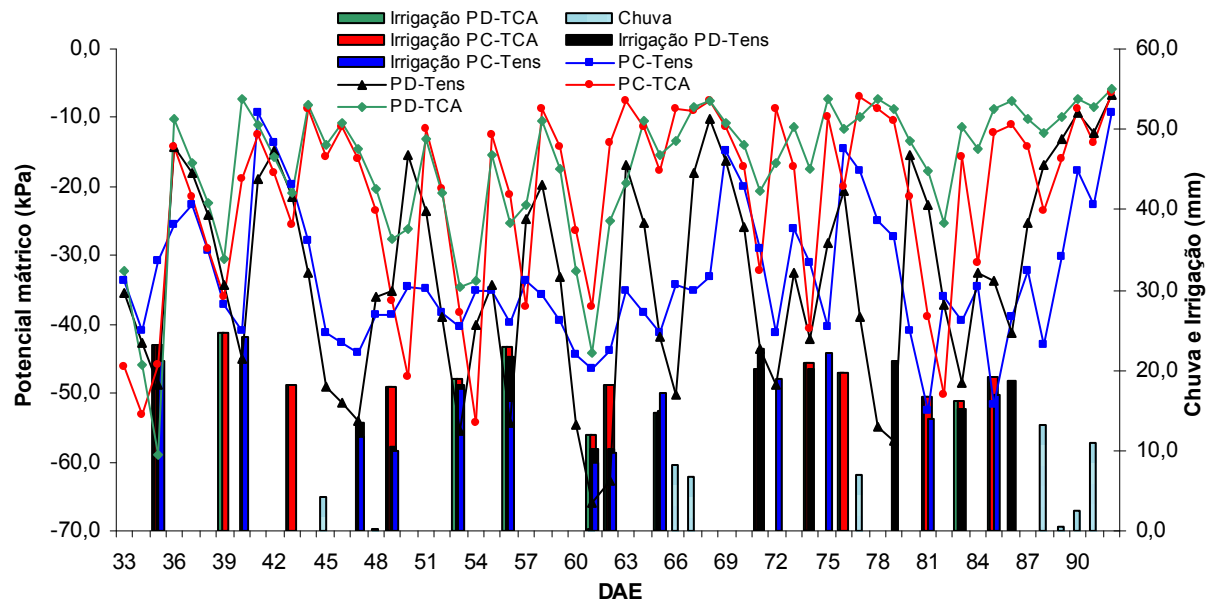


FIGURA 21. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida (segundo ano).

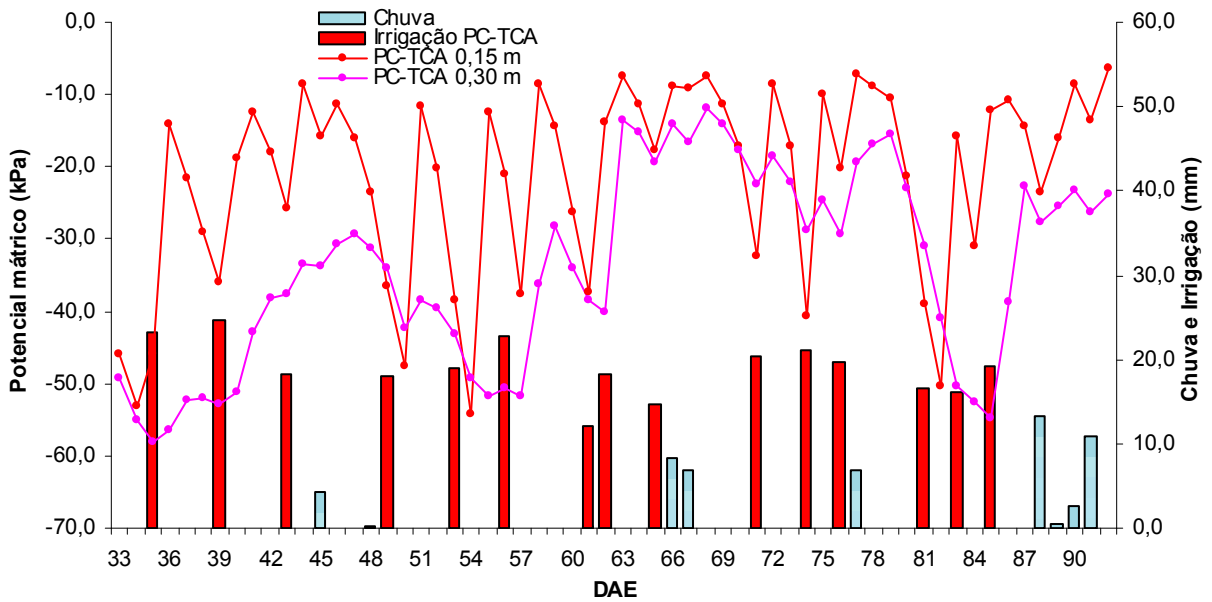


FIGURA 22. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PC-TCA (segundo ano).

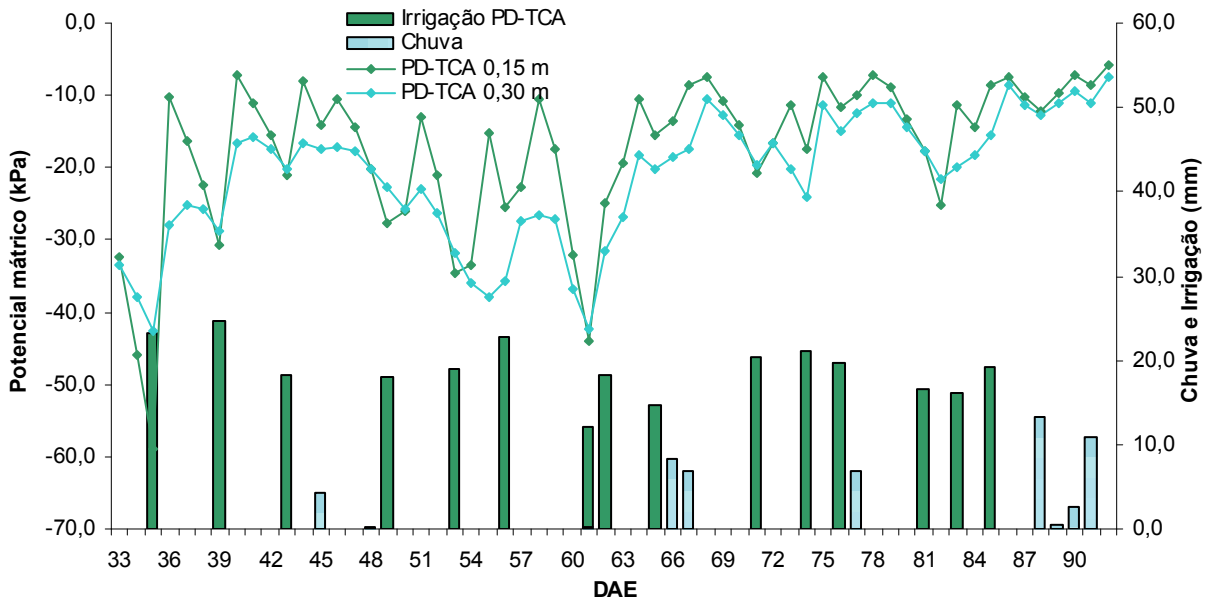


FIGURA 23. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PD-TCA (segundo ano).

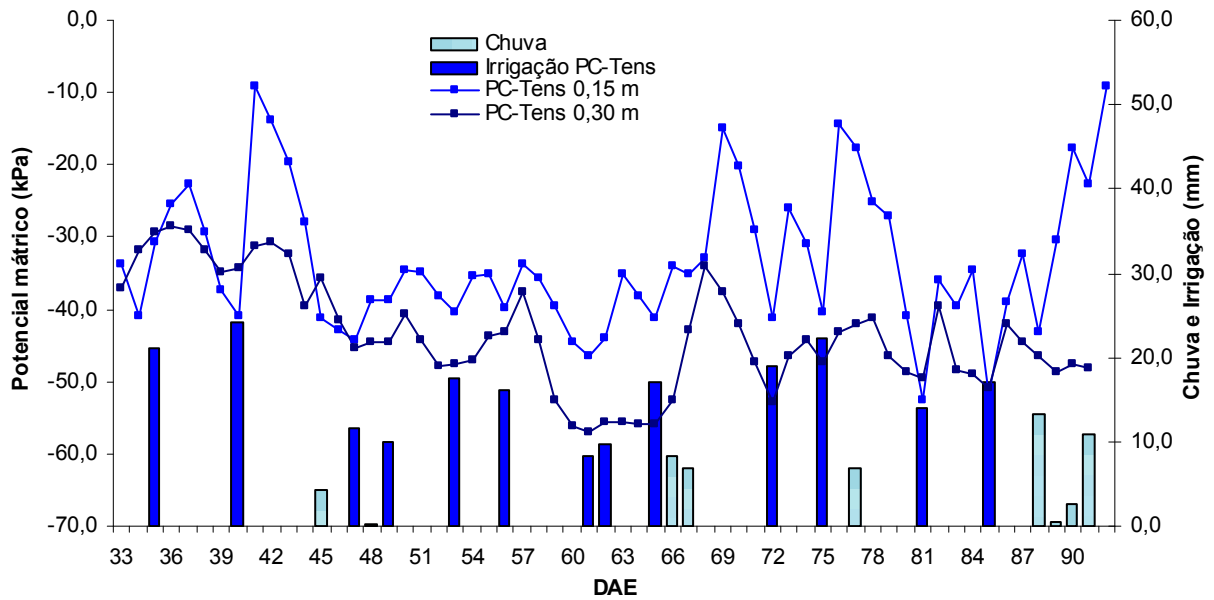


FIGURA 24. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PC-Tens (segundo ano).

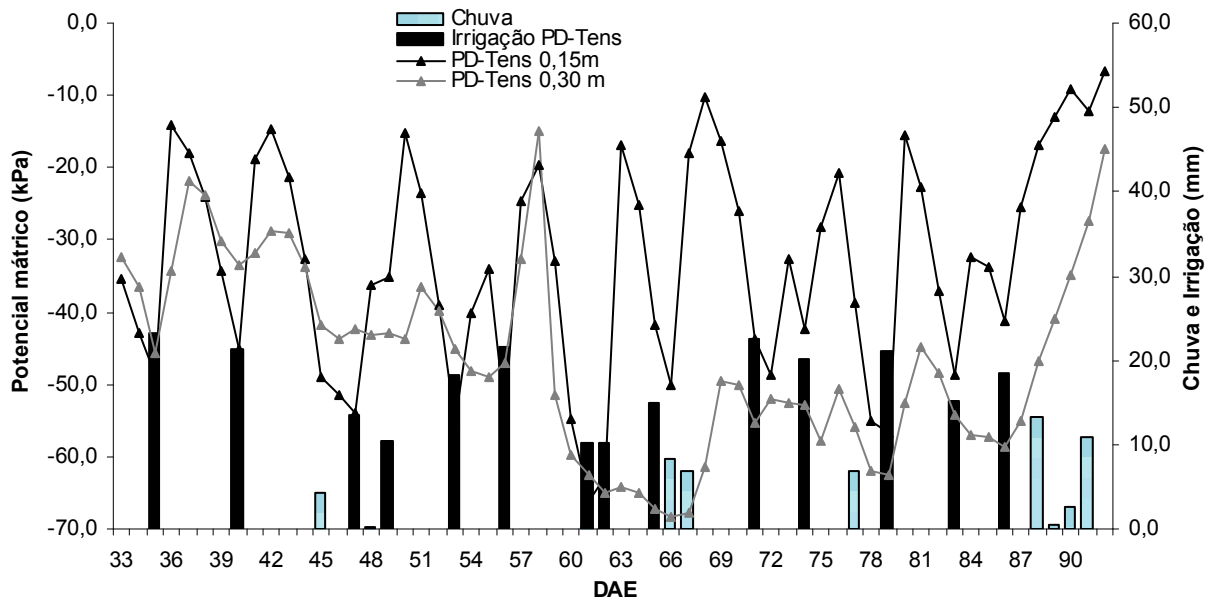


FIGURA 25. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PD-Tens (segundo ano).

TABELA 7. Média do potencial mátrico (kPa), para a profundidade de 0-0,40 m (segundo ano).

Período	Tratamento				
	D.A.E.	PC-Tens	PD-Tens	PC-TCA	PD-TCA
33-42		-30,9	-30,2	-39,7	-25,4
43-52		-39,4	-38,3	-25,7	-18,7
53-62		-45,1	-48,0	-32,3	-29,1
63-72		-38,2	-46,8	-13,9	-15,7
73-82		-33,8	-47,1	-22,1	-14,3
83-92		-36,7	-35,4	-24,0	-10,7
Média		-37,3	-41,0	-26,3	-19,0

TABELA 8. Desvio-padrão do potencial mátrico (kPa), para a profundidade de 0-0,40 m (segundo ano).

Período	Tratamento				
	D.A.E.	PC-Tens	PD-Tens	PC-TCA	PD-TCA
33-42		6,6	8,0	11,1	13,6
43-52		6,4	7,8	6,6	5,1
53-62		6,0	11,9	9,0	7,7
63-72		8,2	9,9	4,9	4,9
73-82		6,2	8,0	10,5	5,3
83-92		5,4	15,5	10,3	3,0
Média		6,5	10,2	8,7	6,6

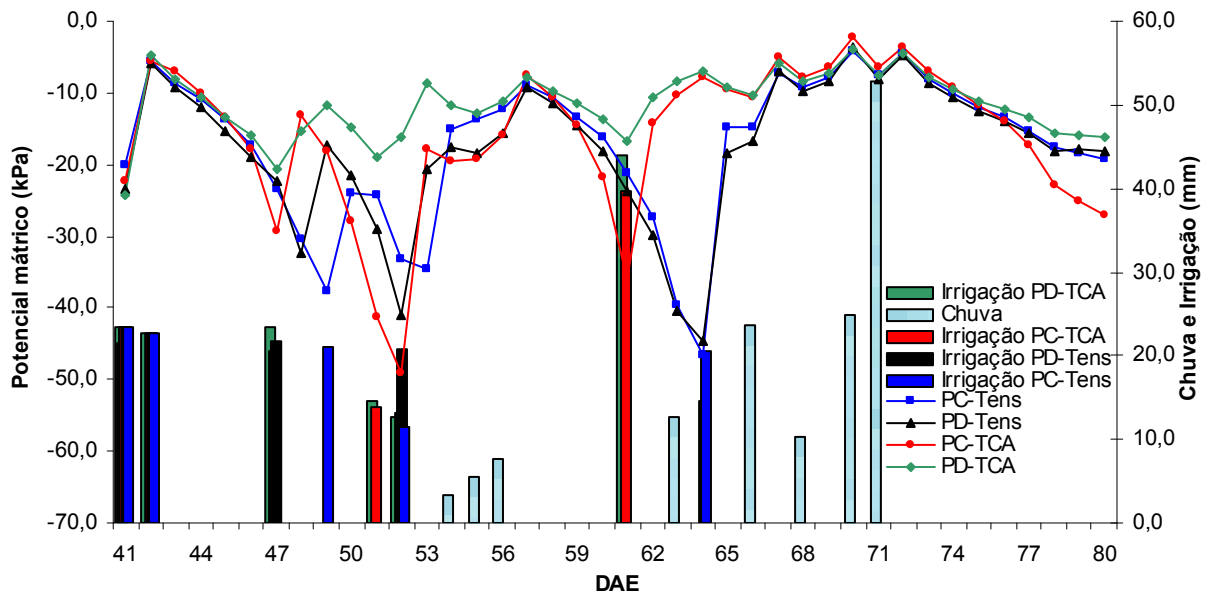


FIGURA 26. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para a camada de 0 – 0,40 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida (terceiro ano).

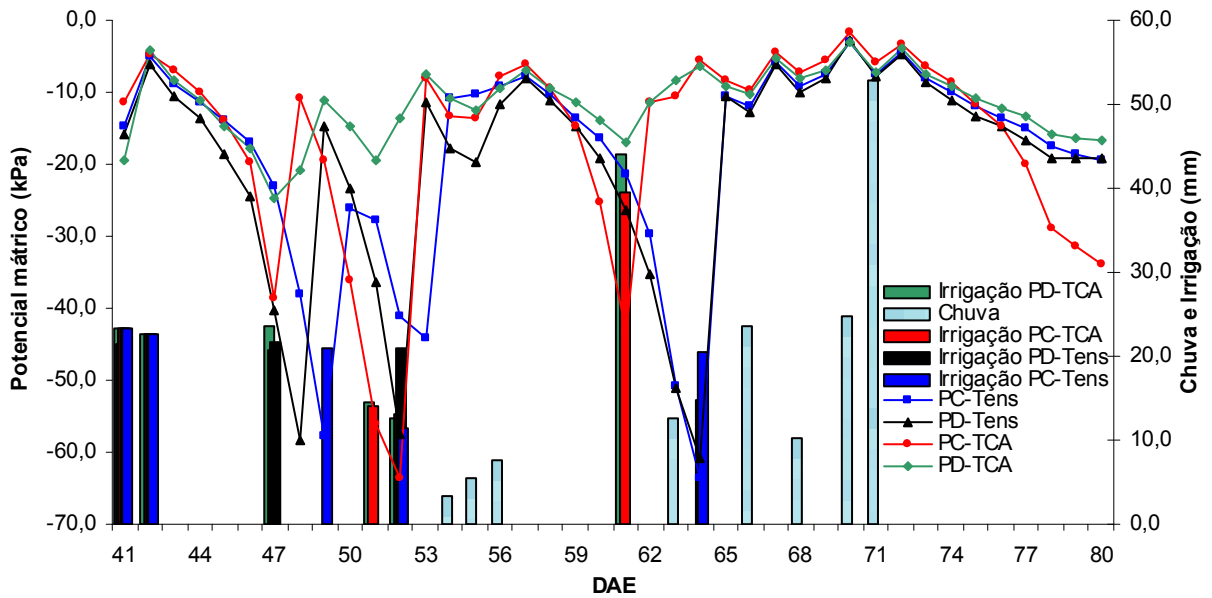


FIGURA 27. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida (terceiro ano).

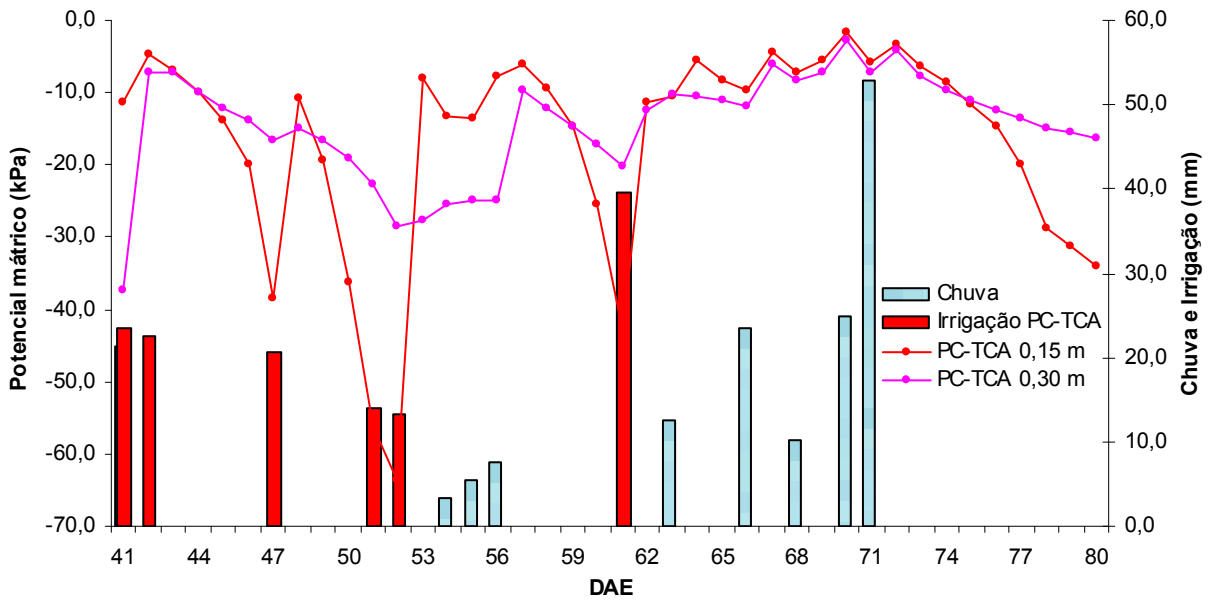


FIGURA 28. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PC-TCA (terceiro ano).

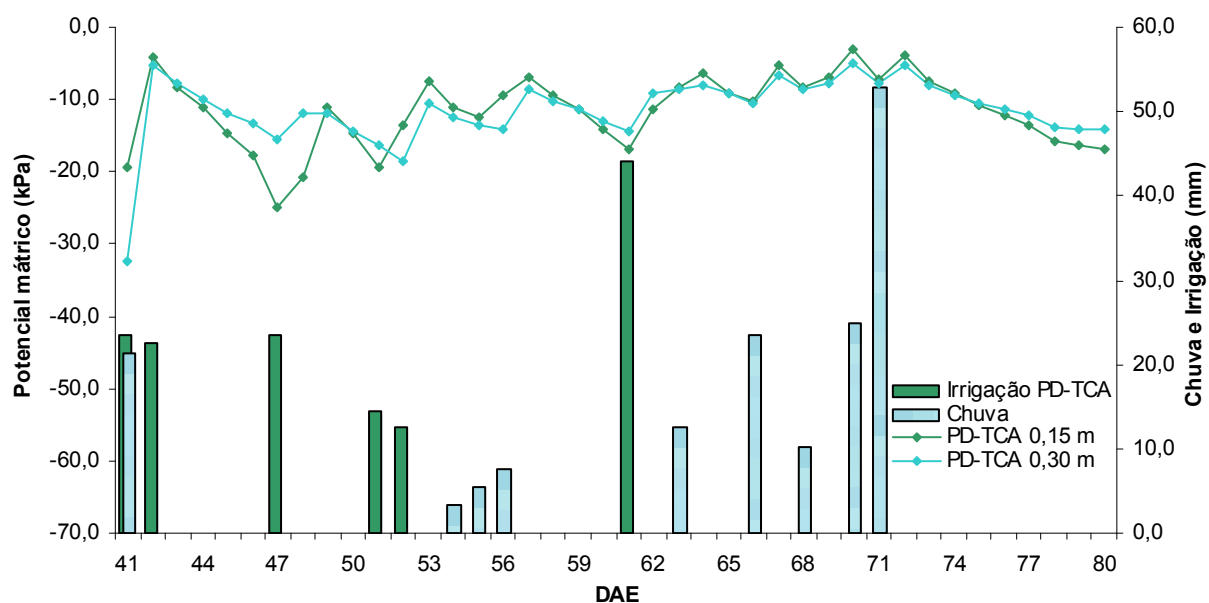


FIGURA 29. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PD-TCA (terceiro ano).

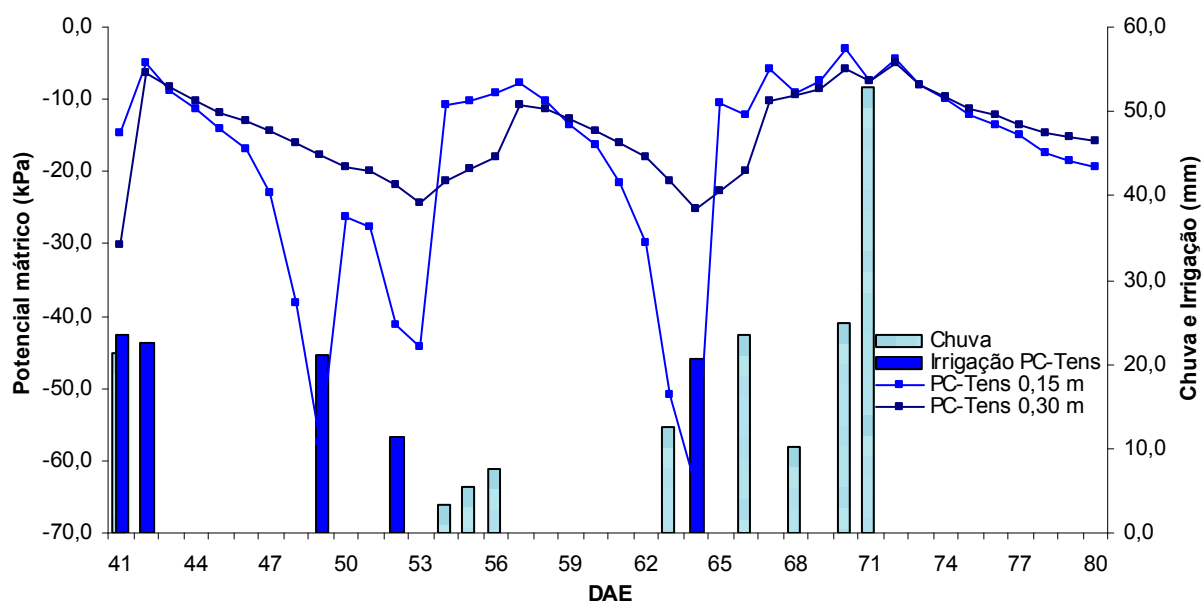


FIGURA 30. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PC-Tens (terceiro ano).

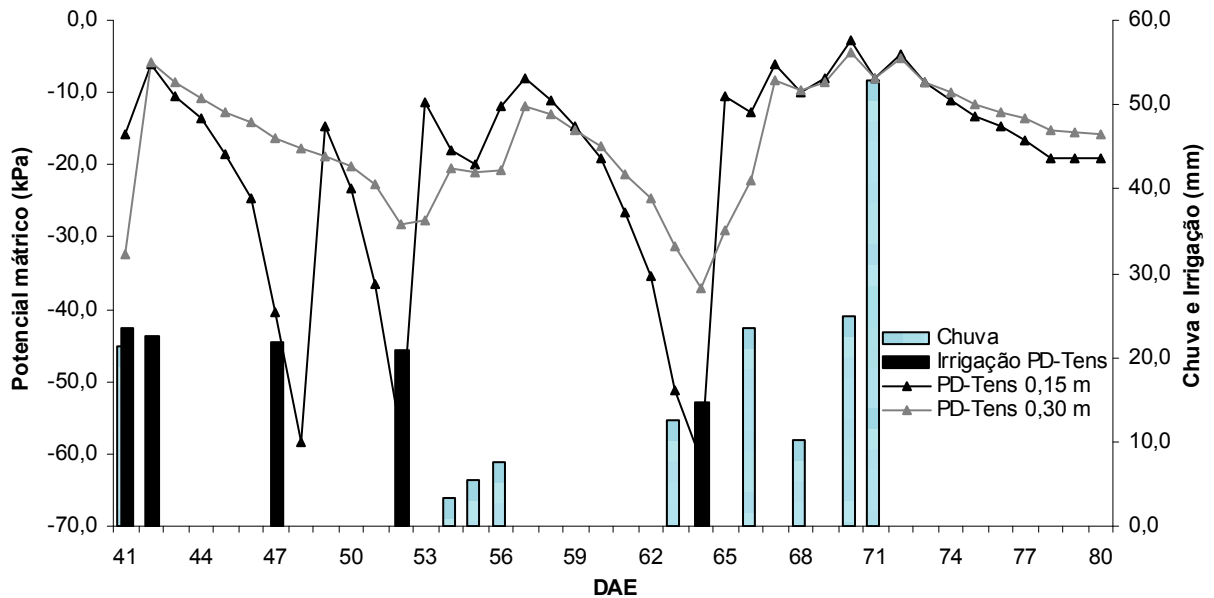


FIGURA 31. Potencial mátrico de água no solo (kPa) para 0,15 e 0,30 m de profundidade e precipitação (chuva ou irrigação, em mm) ocorrida para o tratamento PD-Tens (terceiro ano).

TABELA 9. Média do potencial mátrico (kPa), para a profundidade de 0-0,40 m (terceiro ano).

Período	Tratamento				
	D.A.E.	PC-Tens	PD-Tens	PC-TCA	PD-TCA
41-50		-19,1	-17,9	-16,5	-14,0
51-60		-18,2	-19,6	-21,7	-12,2
61-70		-19,3	-20,3	-11,0	-8,8
71-80		-12,6	-12,8	-14,4	-11,4
Média		-17,3	-17,6	-15,9	-11,6

TABELA 10. Desvio-padrão do potencial mátrico (kPa), para a profundidade de 0-0,40 m (terceiro ano).

Período	Tratamento				
	D.A.E.	PC-Tens	PD-Tens	PC-TCA	PD-TCA
41-50		10,1	7,7	8,2	5,7
51-60		9,2	9,2	13,2	3,4
61-70		14,4	14,2	9,4	3,4
71-80		5,0	4,7	8,4	4,0
Média		9,7	9,0	9,8	4,1

Índice de área foliar (IAF)

Para o segundo ano, as variações do IAF ao longo do ciclo da cultura, com o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias em cada época de amostragem, podem ser observadas nas Figuras 32 e 33. Verifica-se pela Figura 32 que as plantas do PD desenvolveram maior IAF do que as de PC ($P < 0,05$) somente até a quarta amostragem (59 DAE) não havendo diferença em cada época entre os 66 DAE e os 80 DAE ($P > 0,05$). Já, na Figura 33, pode-se observar que houve superioridade do TCA em relação ao Tens ($P < 0,05$) em todas as épocas amostradas.

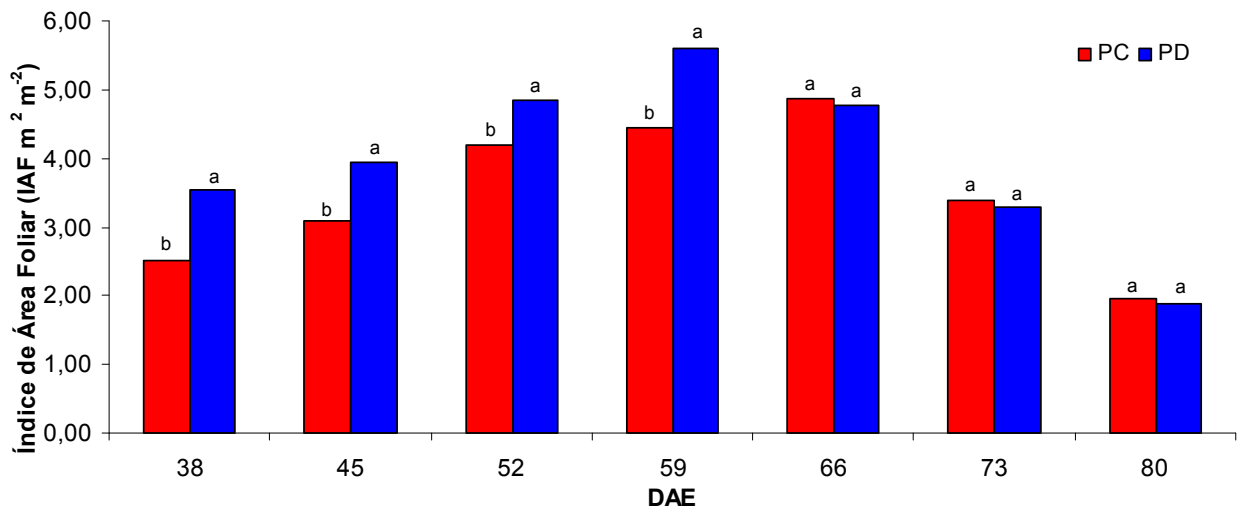


FIGURA 32. Índice de área foliar (IAF), entre 38 e 80 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

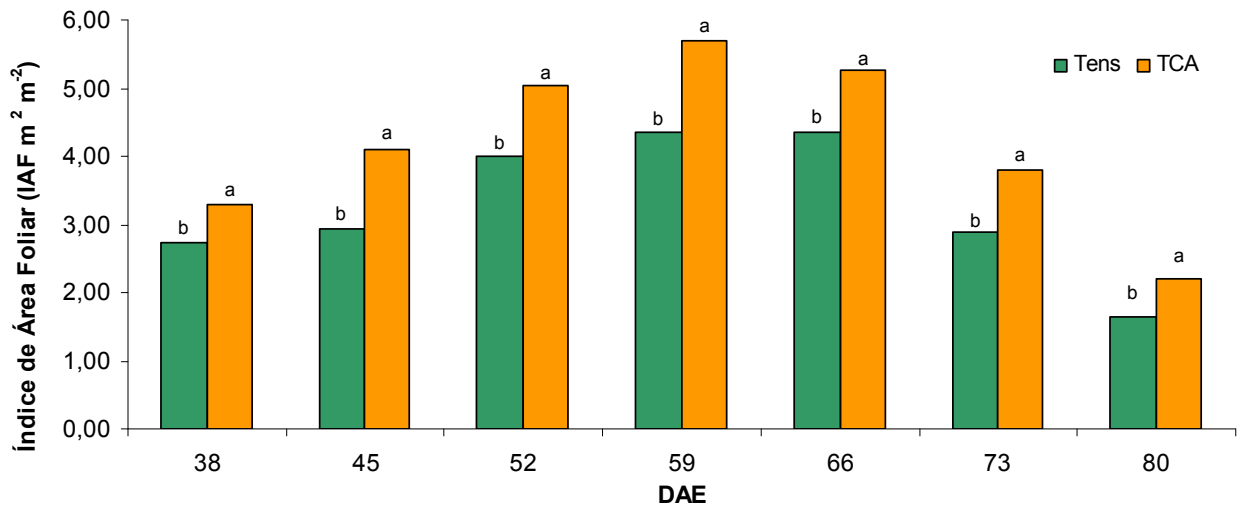


FIGURA 33. Índice de área foliar (IAF), entre 38 e 80 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As tendências da variação do IAF ao longo do ciclo da cultura para as interações entre os tratamentos de manejo do solo (PC e PD) e os de manejo de irrigação (Tens e TCA) analisadas por meio do modelo polinomial quadrático podem ser verificadas nas Figuras 34 a 37, assim como na Tabela 11 estão às equações representativas desses modelos, os coeficientes de determinação (R^2) respectivos, as estimativas dos valores máximos de IAF e as épocas em que estes ocorreram. Com isso, o IAF máximo para a cultura do feijoeiro no PC, no segundo ano, ocorreu aos 58 e 60 DAE para Tens e TCA, com valores de $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $5,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, respectivamente, indicando que sob PC, o TCA proporcionou melhores condições para que as plantas desenvolvessem maior área foliar do que as submetidas ao Tens. Para o manejo de irrigação, em PD os maiores valores foram de $5,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para Tens e de $5,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para TCA, respectivamente aos 57 e 55 DAE em que, novamente, o manejo de irrigação TCA proporcionou maior valor máximo de IAF do que Tens, embora com menor amplitude de variação entre os dois manejos de irrigação do que a verificada no PC.

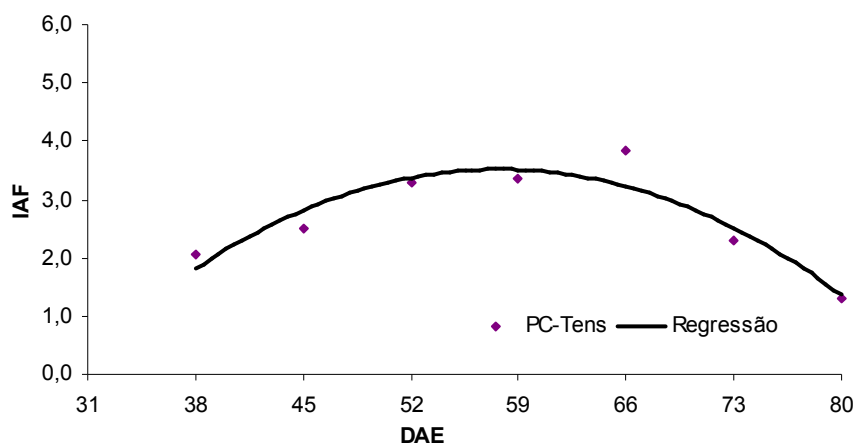


FIGURA 34. Índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$), entre 38 e 80 DAE, para o tratamento PC-Tens – segundo ano.

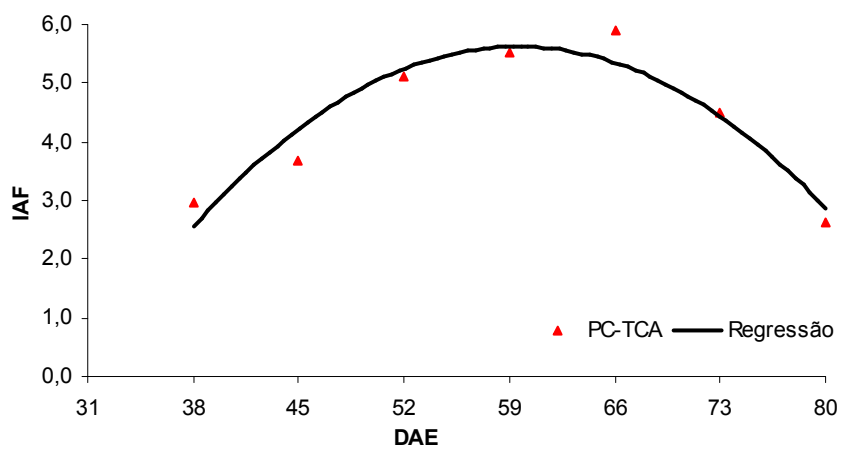


FIGURA 35. Índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$), entre 38 e 80 DAE, para o tratamento PC-TCA – segundo ano.

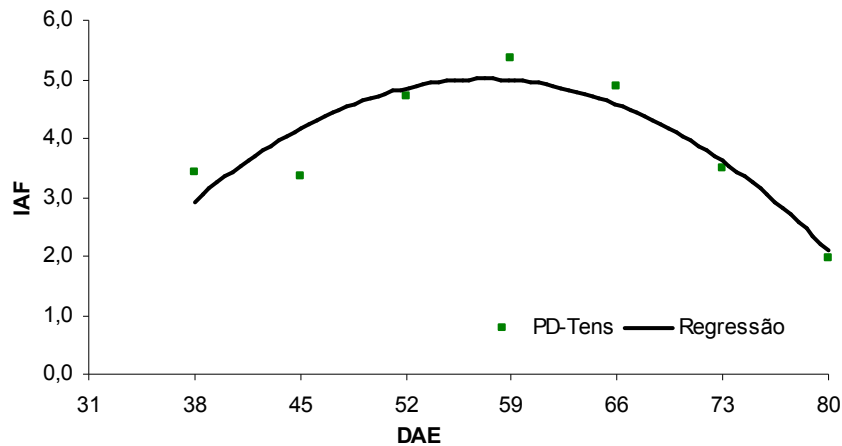


FIGURA 36. Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), entre 38 e 80 DAE, para o tratamento PD-Tens – segundo ano.

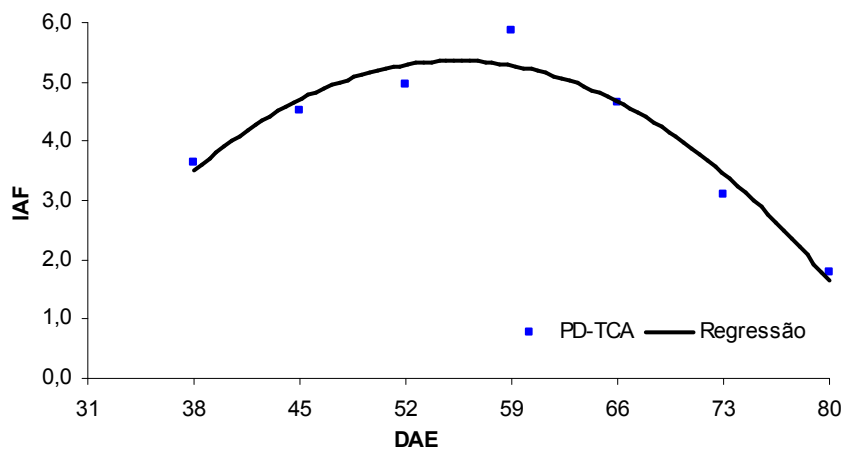


FIGURA 37. Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), entre 38 e 80 DAE, para o tratamento PD-TCA – segundo ano.

TABELA 11. Equação de ajuste do índice de área foliar (IAF) em função de dias após a emergência (DAE), coeficiente de determinação (R^2), IAF máximo e época de ocorrência (DAE) do IAF máximo – segundo ano.

Tratamentos	Equação: $\text{IAF} = f(\text{DAE})$	R^2	IAF máximo	Época (DAE)
PC-Tens	$-0,004366 \text{ DAE}^2 + 0,504308 \text{ DAE} - 11,042201$	0,87	3,5	58
PC-TCA	$-0,006596 \text{ DAE}^2 + 0,785853 \text{ DAE} - 17,782478$	0,91	5,6	60
PD-Tens	$-0,005615 \text{ DAE}^2 + 0,642583 \text{ DAE} - 13,381501$	0,85	5,0	57
PD-TCA	$-0,006142 \text{ DAE}^2 + 0,680253 \text{ DAE} - 13,476910$	0,94	5,4	55

Quando comparados PC e PD dentro de Tens e de TCA (Tabela 11), verifica-se que dentro de Tens a época de ocorrência dos valores máximos foi praticamente a mesma no PC e no PD (58 DAE e 57 DAE, respectivamente), mas a diferença entre os valores máximos de IAF foi acentuada, evidenciando que sob Tens o PD proporcionou melhores condições do que o PC para que as plantas de feijoeiro desenvolvessem maior área foliar. Dentro de TCA, a diferença entre os valores máximos de IAF foi pequena, $5,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para o PC e $5,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para o PD, indicando que sob o manejo de irrigação TCA os sistemas de manejo do solo aplicados proporcionaram condições semelhantes de desenvolvimento da área foliar das plantas. No entanto, verifica-se que embora os valores máximos sejam semelhantes, no PC o valor máximo ocorreu 5 dias após o PD (60 DAE e 55 DAE, respectivamente), evidenciando que quando sob TCA, as plantas submetidas ao PD tiveram seu ciclo de desenvolvimento acelerado em relação às plantas no PC e, conseqüentemente, maior taxa de decréscimo da área foliar após atingir o ponto de máximo, o que pode ser verificado pela maior declividade da curva de IAF no PD-TCA após os 55 DAE (Figura 37) do que no PC-TCA (Figura 35), indicando senescência mais acelerada das folhas.

Com relação ao terceiro ano verifica-se, entre PC e PD (Figura 38), que houve diferença significativa ($P < 0,05$) apenas na última amostragem (74 DAE), em que o PC apresentou maiores valores de IAF, indicando que as plantas sob PD apresentaram senescência mais acentuada das folhas entre os 63 DAE e os 74 DAE do que as plantas sob PC, nesse ano. Na Figura 39, nota-se que o tratamento TCA só foi inferior ao tratamento Tens em desenvolvimento de área foliar na primeira amostragem aos 36 DAE ($P < 0,05$) recuperando-se depois e igualando-se ao tratamento Tens nas demais amostragens ($P > 0,05$).

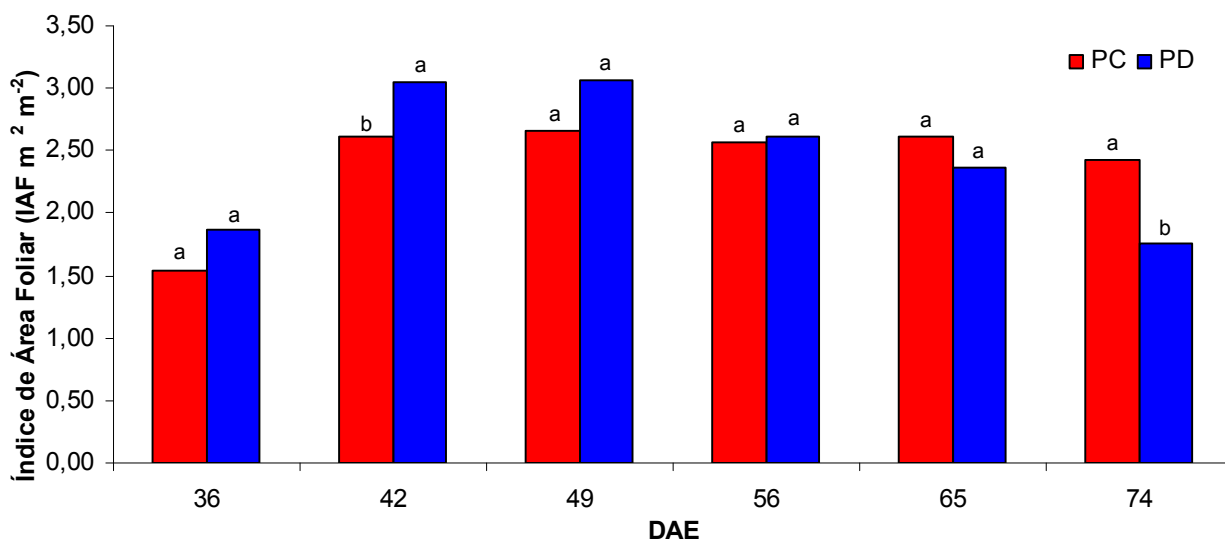


FIGURA 38. Índice de área foliar (IAF), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

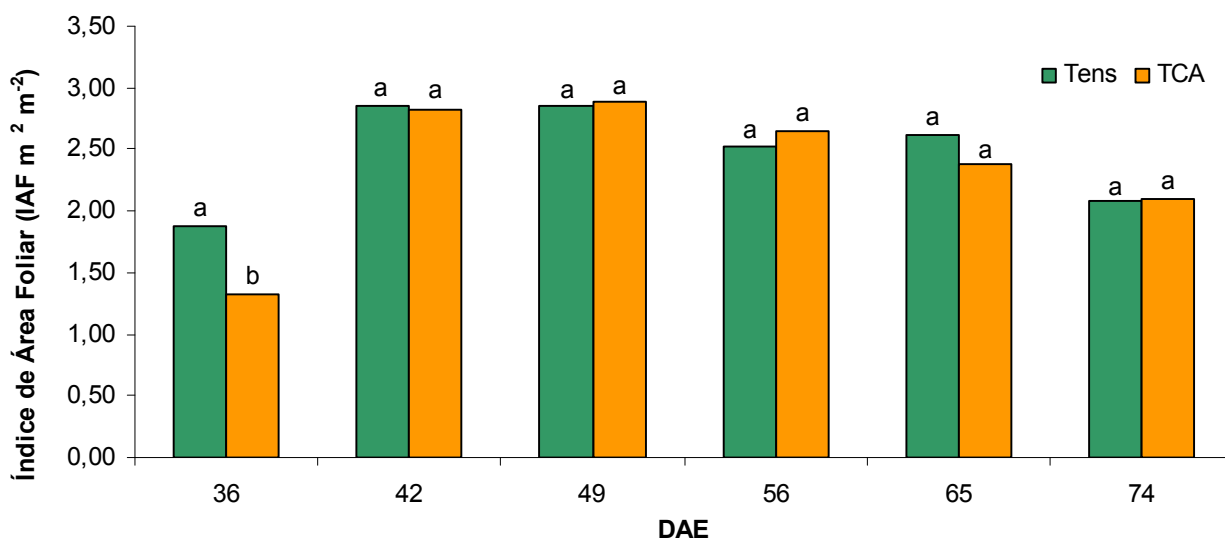


FIGURA 39. Índice de área foliar (IAF), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Podem ser verificadas as tendências da variação do IAF ao longo do ciclo da cultura para as interações entre manejo do solo (PC e PD) e manejo de irrigação (Tens e TCA) analisadas por meio do modelo polinomial quadrático nas Figuras 40 a 43, assim como na Tabela 12 estão as equações representativas desses modelos, os coeficientes de determinação (R^2), as estimativas dos valores máximos de IAF e as épocas em que estes ocorreram. Com isso, o IAF máximo para a cultura do feijoeiro no PC, no terceiro ano, ocorreu aos 59 DAE para Tens e TCA, com valores de $2,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $3,1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, respectivamente, indicando que no PC, o TCA propiciou melhores condições para que as plantas desenvolvessem maior área foliar do que as submetidas ao Tens. Para manejo de irrigação, no PD os maiores valores foram de $3,2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para o Tens e de $2,7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para o TCA, respectivamente aos 56 e 52 DAE, em que o Tens proporcionou maior valor máximo de IAF do que o TCA.

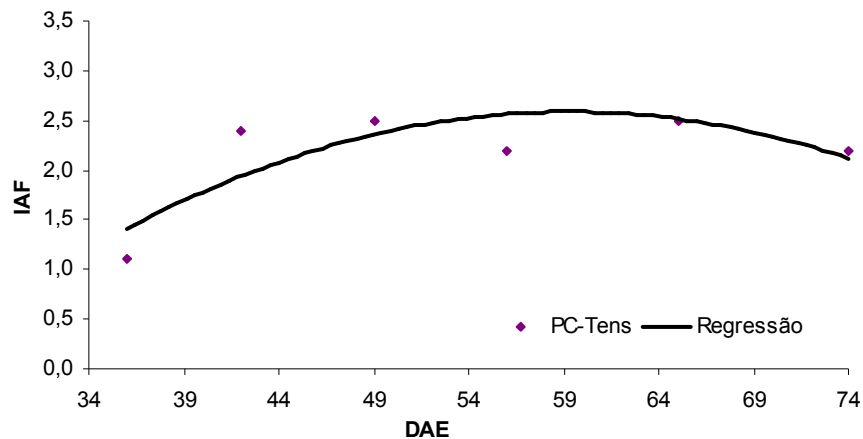


FIGURA 40. Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), entre 36 e 74 DAE, para o tratamento PC-Tens – terceiro ano.

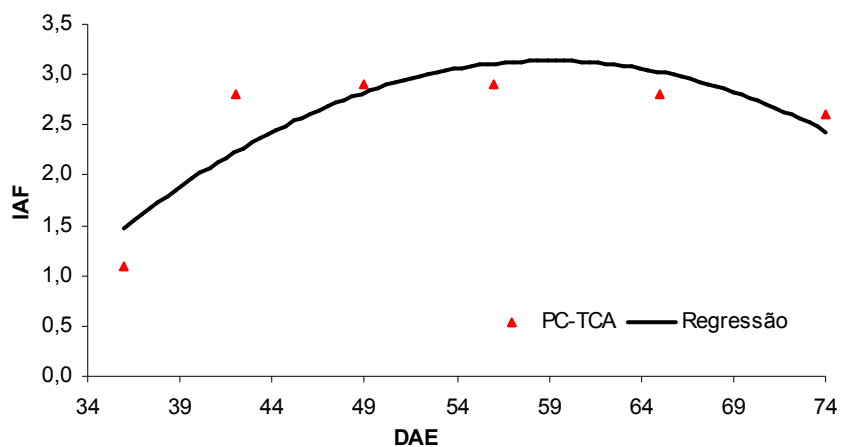


FIGURA 41. Índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$), entre 36 e 74 DAE, para o tratamento PC-TCA – terceiro ano.

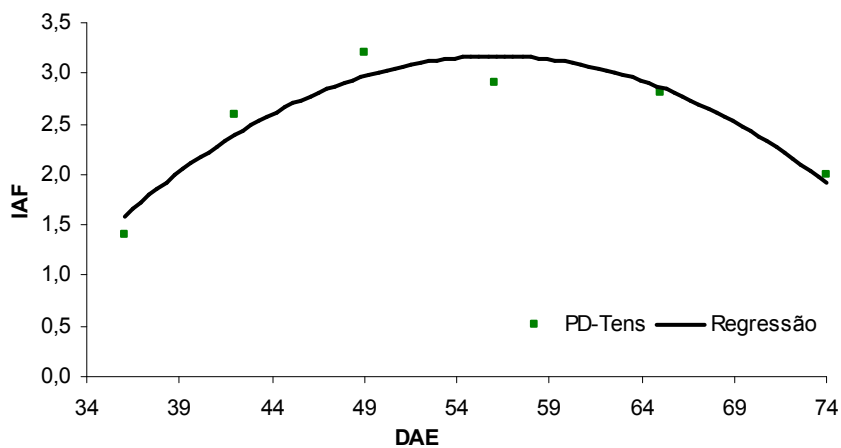


FIGURA 42. Índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$), entre 36 e 74 DAE, para o tratamento PD-Tens – terceiro ano.

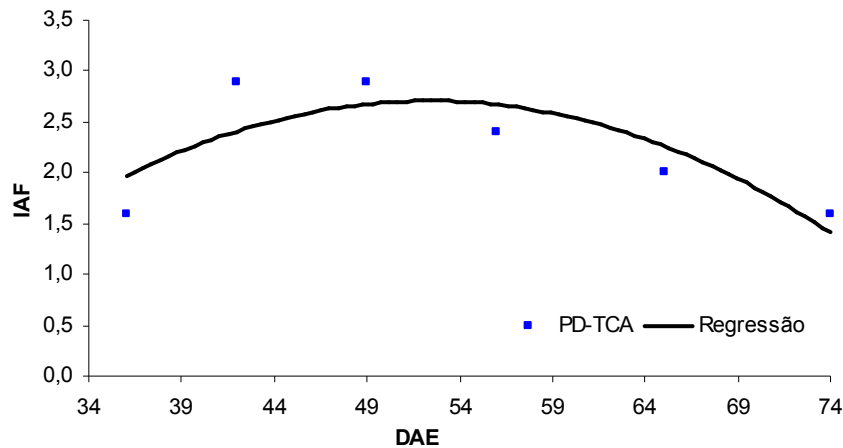


FIGURA 43. Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), entre 36 e 74 DAE, para o tratamento PD-TCA – terceiro ano.

TABELA 12. Equação de ajuste do índice de área foliar (IAF) em função de dias após a emergência (DAE), coeficiente de determinação (R^2), IAF máximo e época de ocorrência (DAE) do IAF máximo – terceiro ano.

Tratamentos	Equação: $\text{IAF} = f(\text{DAE})$	R^2	IAF máximo	Época (DAE)
PC-Tens	$-0,002174 \text{ DAE}^2 + 0,257781 \text{ DAE} - 5,055524$	0,67	2,6	59
PC-TCA	$-0,003135 \text{ DAE}^2 + 0,370013 \text{ DAE} - 7,780125$	0,76	3,1	59
PD-Tens	$-0,003921 \text{ DAE}^2 + 0,440116 \text{ DAE} - 9,179730$	0,90	3,2	56
PD-TCA	$-0,002769 \text{ DAE}^2 + 0,289893 \text{ DAE} - 4,879832$	0,66	2,7	52

Quando comparados PC e PD dentro de Tens e de TCA (Tabela 12), verifica-se que dentro de Tens a época de ocorrência dos valores máximos foi, para PC e PD, 59 DAE e 56 DAE, respectivamente, com diferença entre os valores máximos de IAF, evidenciando que sob Tens o PD propiciou melhores condições do que o PC para que as plantas desenvolvessem maior IAF, apresentando, inclusive um decréscimo mais acentuado após atingir o IAF máximo. Dentro de TCA, a diferença entre os valores máximos de IAF foi menor, $3,1 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ para o PC e $2,7 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$ para o PD, indicando que sob TCA o PC proporcionou melhores condições de desenvolvimento da área foliar das plantas. No entanto, verifica-se que no PC o valor máximo ocorreu 7 dias após o do PD

(59 DAE e 52 DAE, respectivamente), evidenciando que quando sob TCA, as plantas submetidas ao PD tiveram seu ciclo de desenvolvimento acelerado em relação às plantas no PC e, conseqüentemente, maior taxa de decréscimo da área foliar após atingir o ponto de máximo, o que pode ser verificado pela maior declividade da curva de IAF no PD-TCA após os 52 DAE (Figura 43) do que no PC-TCA (Figura 41), indicando senescência mais acelerada das folhas no tratamento sob PD.

A área foliar da cultura é, em geral, excelente indicador da capacidade fotossintética da planta (BENINCASA et al., 1976). Uma redução do IAF diminui a área fotossinteticamente ativa, com conseqüente redução na produção de fotoassimilados (FANCELLI, 1991 citado por VIEIRA JÚNIOR, 1998).

NÓBREGA et al. (2001), estudando o desenvolvimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo, encontraram os maiores valores de área foliar aos 53 dias após a semeadura (DAS) e, verificaram que a redução da umidade no solo influenciou os processos fisiológicos, resultando na diminuição do crescimento foliar, o qual está associado positivamente à inibição da atividade fotossintética, limitando o rendimento da cultura. Os mesmos autores encontraram IAF máximo entre 3,0 e 5,0, ao redor dos 53 DAS. Relatam ainda que, em feijão, altos valores de IAF nem sempre estão correlacionados positivamente com o rendimento de grãos.

GOMES et al. (2000), analisando a resposta de cultivares de feijoeiro à irrigação, comparando com a de sequeiro, observaram que, em ambos os tratamentos, e para todas as cultivares, os valores de IAF foram crescentes até aproximadamente os 63 DAS, cujos valores máximos chegaram a $6,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. URCHEI et al. (2000) estudando dois sistemas de manejo do solo (direto e convencional), verificaram que o IAF apresentou diferença significativa aos 23, 37, 44, 51, 58, 65, 72 e 79 DAE, cujos valores maiores ocorreram também em PD, em torno dos 58 DAE.

Massa seca de folha, caule, flor, vagem e total e número de folha, flor e vagem por planta

Para massa seca de folha (Figura 44), verifica-se que entre PC e PD não houve diferença significativa em nenhuma das épocas amostradas ($P > 0,05$). Observa-se,

contudo, que houve tendência distinta da marcha de acumulação de massa seca de folhas dos 69 DAE aos 83 DAE, tendo em vista que no PC houve manutenção da massa seca enquanto que no PD a tendência foi de decréscimo dos 76 DAE para os 83 DAE, o que significa senescência antecipada das folhas das plantas deste em relação às do PC.

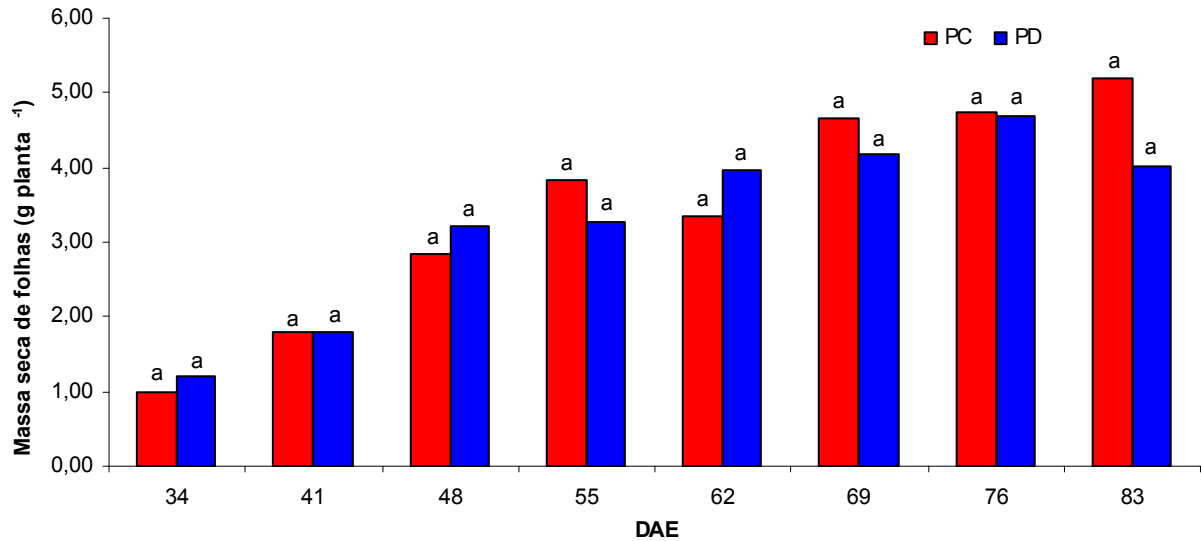


FIGURA 44. Massa seca de folha (g planta⁻¹), entre 34 DAE e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Comparando-se os resultados de Tens e TCA (Figura 45), observa-se superioridade do TCA ($P < 0,05$) nas amostragens realizadas aos 34, 55 e 76 DAE. A tendência da marcha de acumulação de massa seca nas folhas do TCA é crescente até os 76 DAE apresentando decréscimo daí para os 83 DAE o que não se verifica com o Tens, que manteve praticamente constante os valores de massa seca de folhas dos 69 DAE aos 83 DAE. Com relação à massa seca do caule, verifica-se que aos 34 DAE e 62 DAE os valores encontrados no PD foram superiores ($P < 0,05$) aos do PC (Figura 46); entre Tens e TCA (Figura 47), observa-se que nas amostragens realizadas aos 55 DAE, 76 DAE e 83 DAE, as plantas sob o tratamento TCA apresentaram maiores valores de massa seca acumulada no caule ($P < 0,05$) do que as plantas submetidas ao

tratamento Tens.

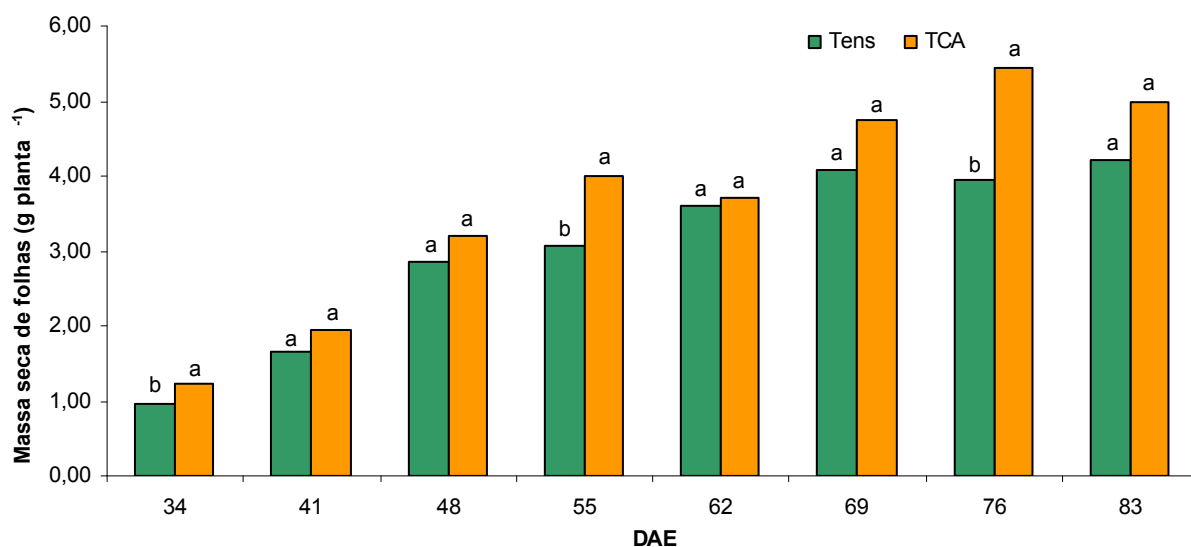


FIGURA 45. Massa seca de folha (g planta⁻¹), entre 34 DAE e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

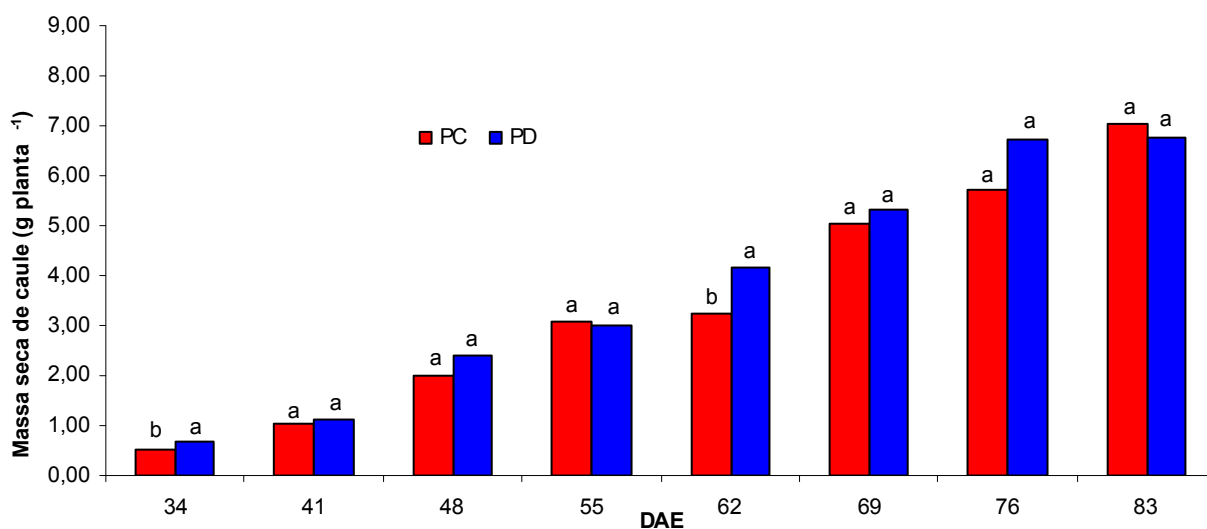


FIGURA 46. Massa seca de caule (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

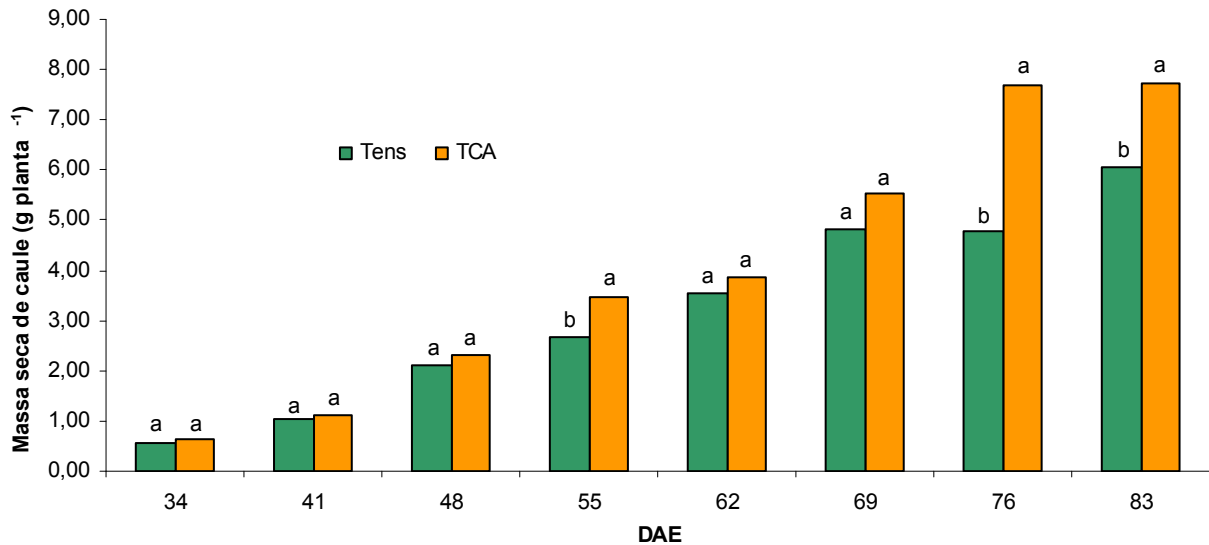


FIGURA 47. Massa seca de caule (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Para massa seca de flor (Figura 48), verifica-se que houve diferença significativa entre PC e PD apenas aos 69 DAE, onde o maior valor foi encontrado no PD. Analisando a Figura 49, observa-se que não houve diferença significativa entre Tens e TCA. Aos 62 DAE foi encontrada a maior massa seca de flor, coincidindo com o período de maior IAF (Figuras 32 e 33).

Analisando a massa seca de vagem (Figuras 50 e 51), verifica-se que não houve diferença significativa entre PC e PD e nem entre Tens e TCA, e que, as vagens, começaram a aparecer a partir dos 62 DAE, apresentando seus valores máximos aos 83 DAE.

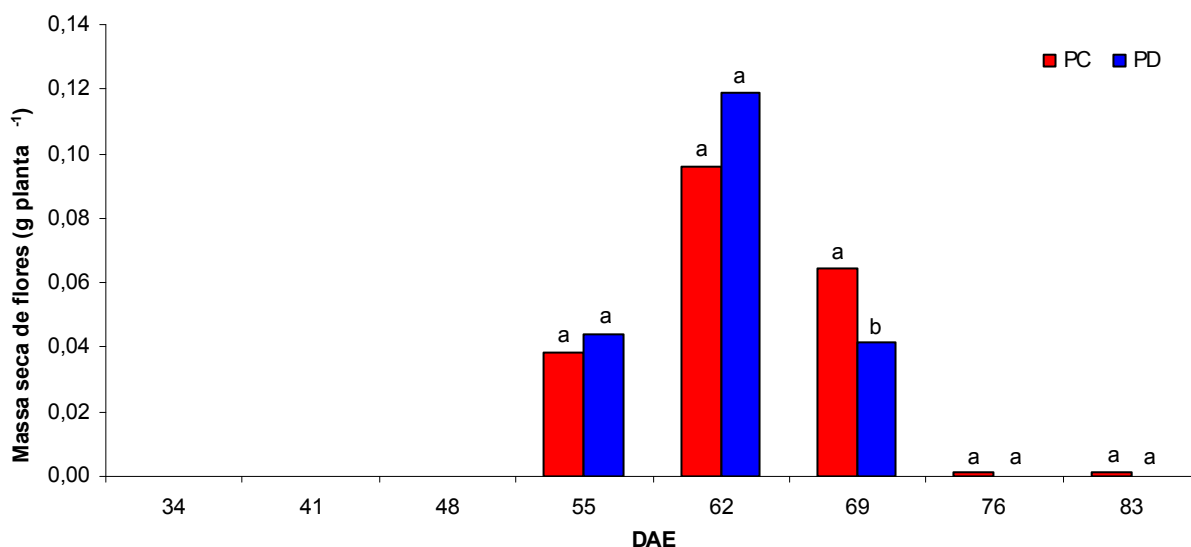


FIGURA 48. Massa seca de flor (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

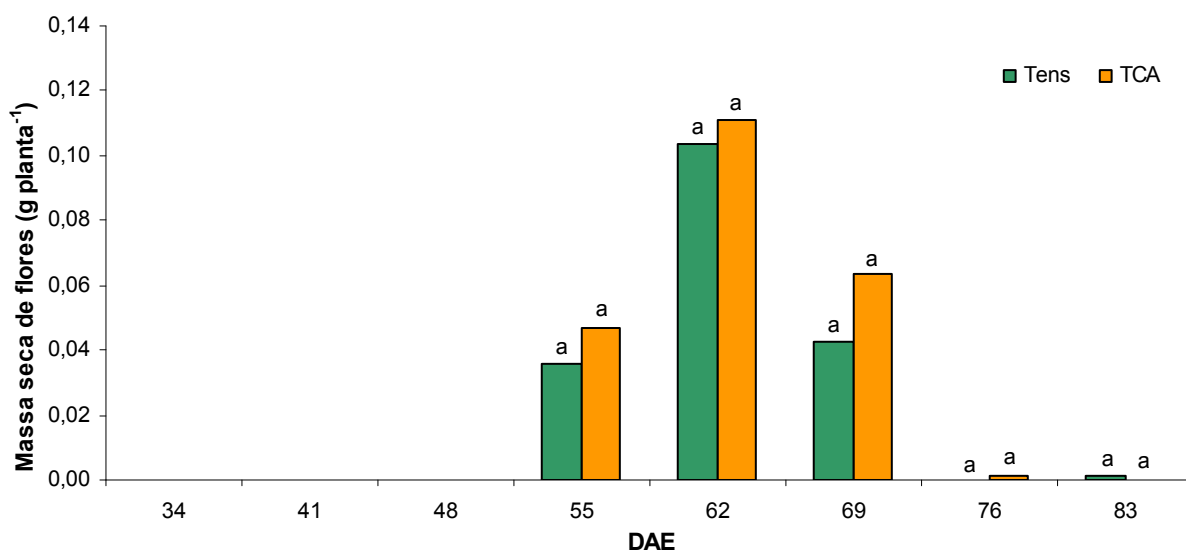


FIGURA 49. Massa seca de flor (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

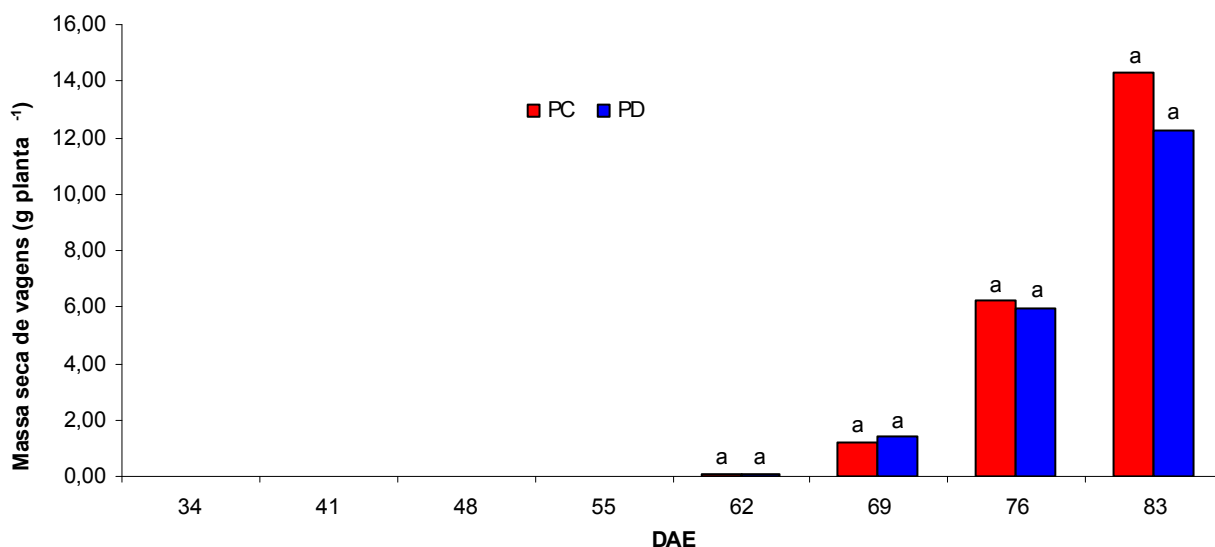


FIGURA 50. Massa seca de vagem (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

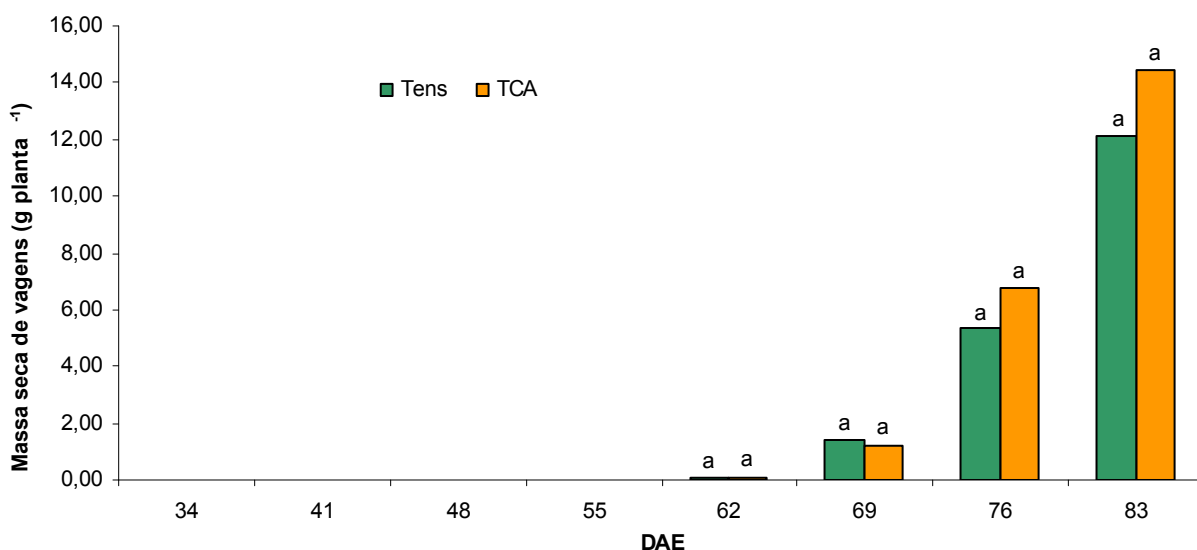


FIGURA 51. Massa seca de vagem (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

Analisando conjuntamente os dados de massa seca da parte aérea (folha, caule, flor e vagem) verificam-se os comportamentos apresentados nas Figuras 52 e 53, além da tendência desse comportamento na Figura 54. De um modo geral, não foram observadas diferenças importantes entre os tratamentos, além de diferenças pontuais (em algumas amostragens), como aos 34 e 62 DAE entre PC e PD e 34, 55 e 76 DAE entre Tens e TCA. De acordo com a Figura 54, o comportamento apresentado ao longo do ciclo da cultura deu-se de maneira exponencial, cujos valores máximos foram obtidos na última amostragem (83 DAE).

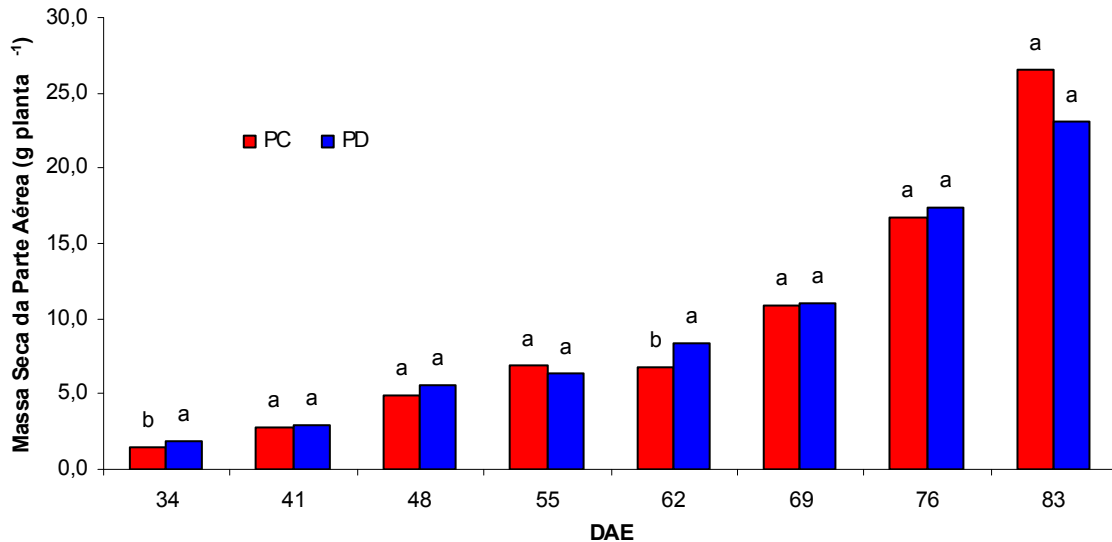


FIGURA 52. Massa seca da parte aérea (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

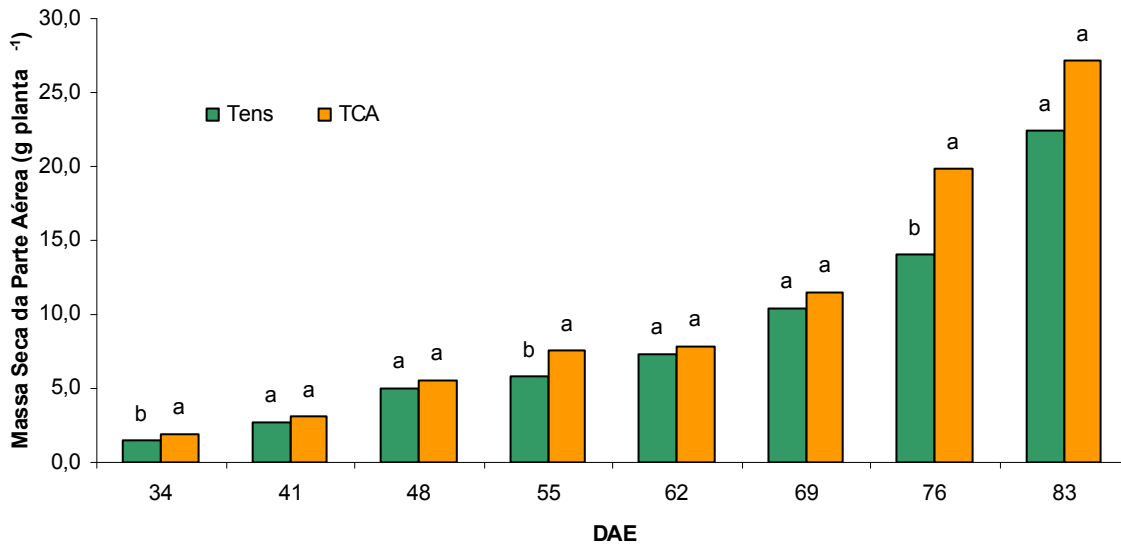


FIGURA 53. Massa seca da parte aérea (g planta⁻¹), entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

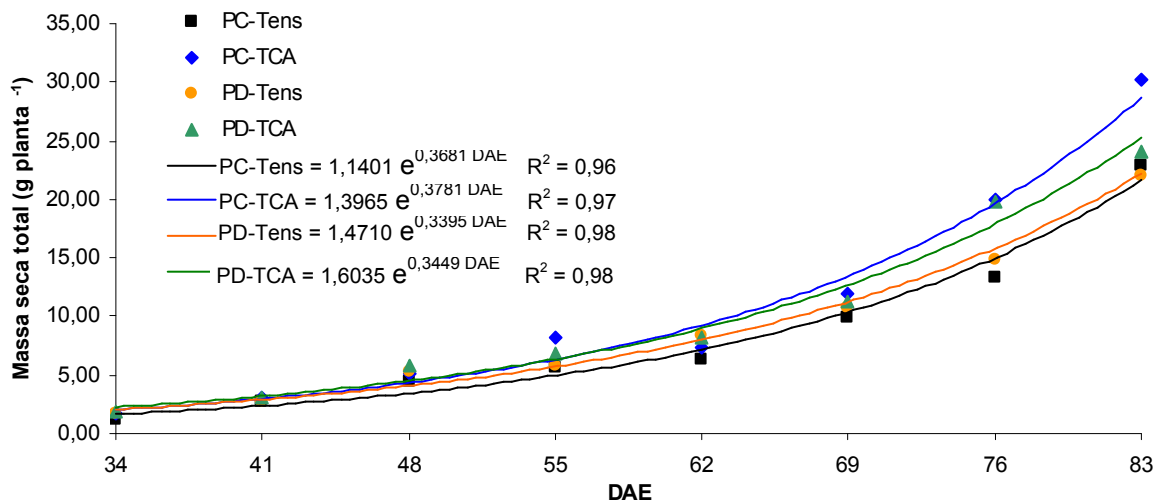


FIGURA 54. Massa seca da parte aérea (g planta⁻¹), entre os 34 e 83 DAE, para todos os tratamentos (segundo ano).

Nas Figuras 55 a 65 estão apresentados o desenvolvimento da cultura do feijoeiro no terceiro ano (massa seca de folha, caule, flor, vagem e, conseqüentemente, da parte aérea como um todo).

Verifica-se pela Figura 55 que houve diferença significativa entre PC e PD para

massa seca de folha, nas amostragens aos 36, 42, 65 e 74 DAE, sendo que, nas duas primeiras, o PD apresentou os maiores valores e, nas duas últimas amostragens, o PC foi superior ao PD. Já, na Figura 56, observa-se que não houve diferença significativa entre Tens e TCA, em todas as amostragens realizadas, dos 36 aos 74 DAE. O PC apresenta uma tendência de acréscimo em sua massa seca de folha até os 65 DAE, se mantendo constante dos 65 aos 73 DAE. O PD apresenta tendência de redução a partir dos 56 DAE até 74 DAE, indicando senescência mais acelerada quando comparado com PC.

Houve diferença significativa entre PC e PD (Figura 57), para massa seca de caule, aos 36, 49, 56 e 65 DAE, onde os maiores valores foram encontrados no PD. Na Figura 58 pode-se observar que não houve diferença significativa entre Tens e TCA, em todas as amostragens realizadas, dos 36 aos 74 DAE.

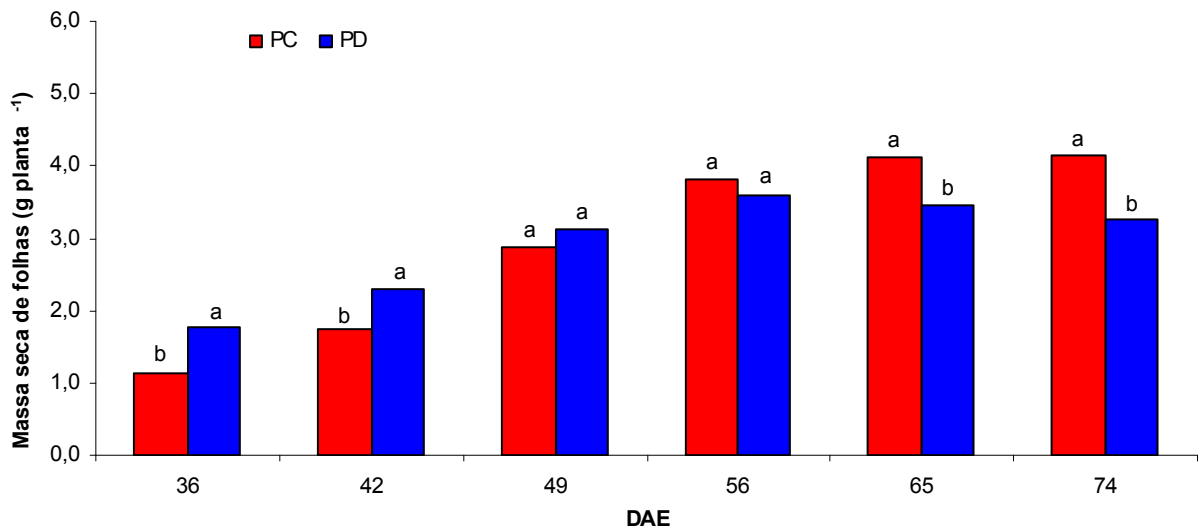


FIGURA 55. Massa seca de folha (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

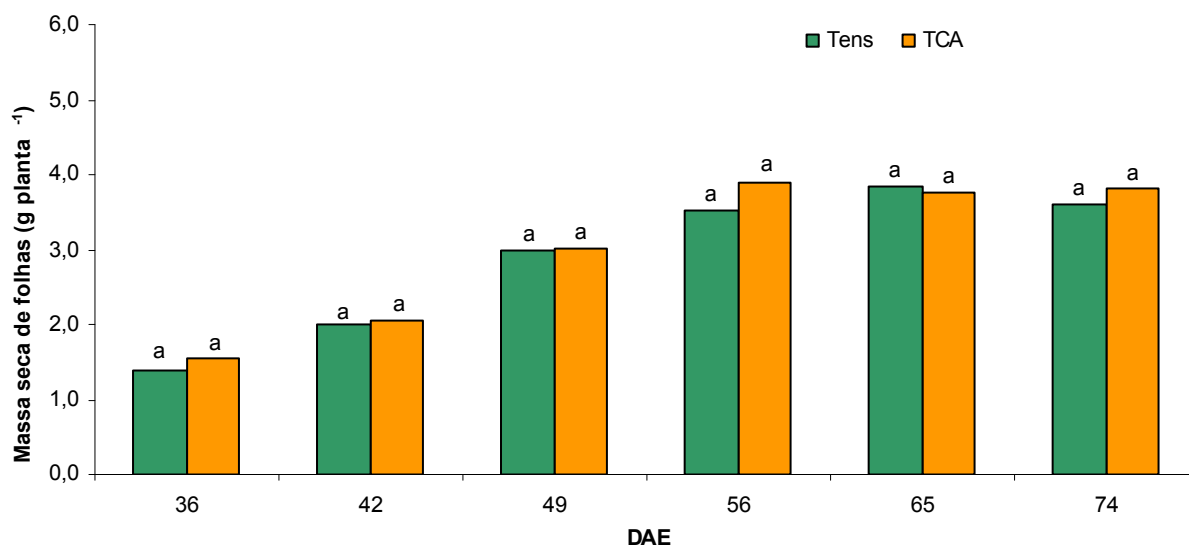


FIGURA 56. Massa seca de folha (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

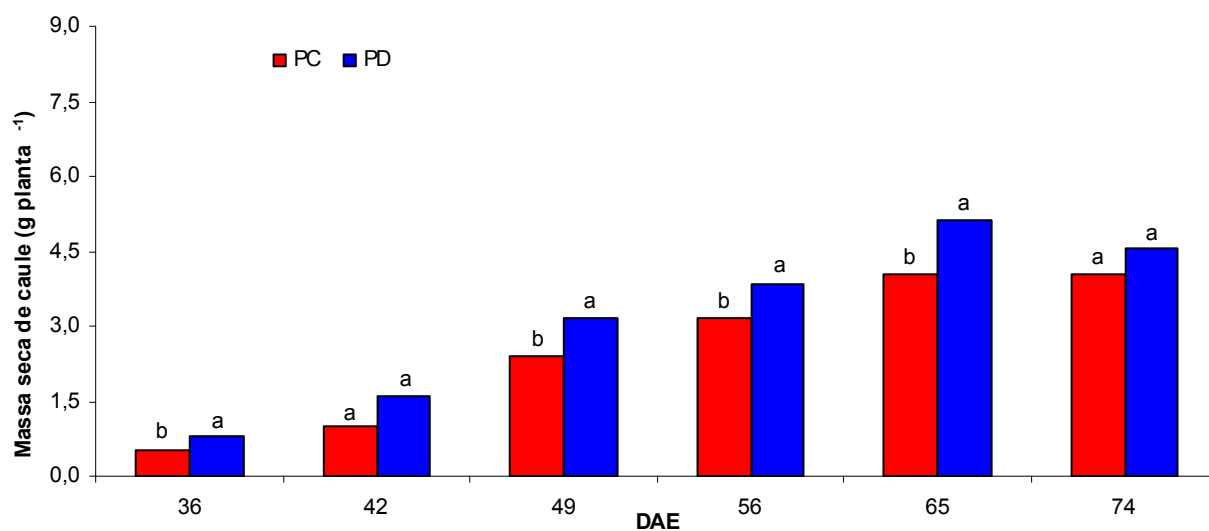


FIGURA 57. Massa seca de caule (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

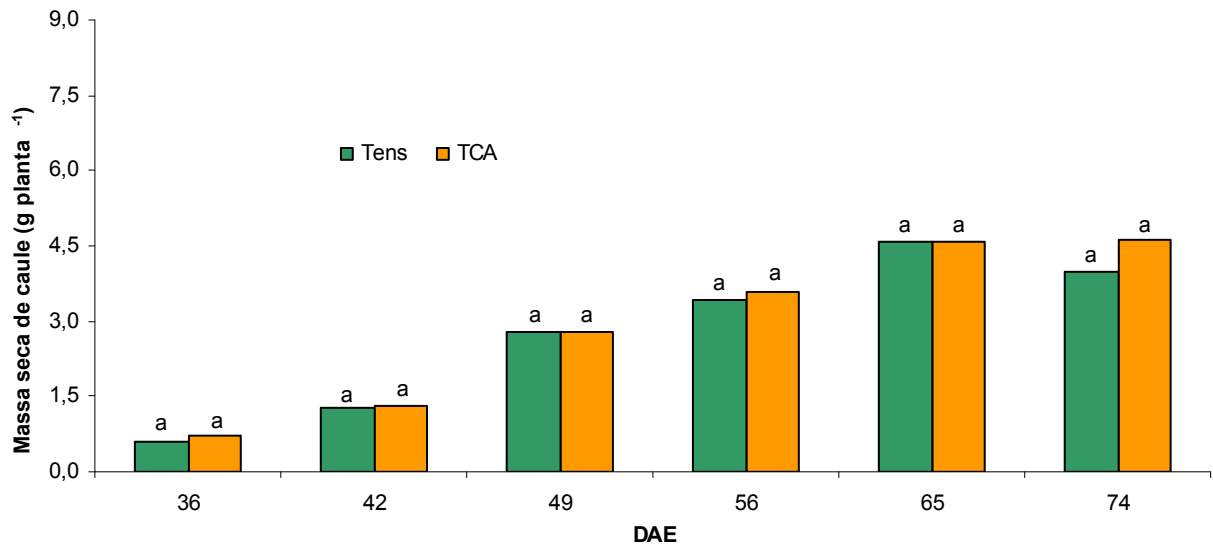


FIGURA 58. Massa seca de caule (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Para massa seca de flor (Figura 59), verifica-se que houve diferença significativa entre PC e PD aos 42 e 65 DAE, com superioridade do PC aos 65 DAE e superioridade do PD aos 42 DAE. Analisando a Figura 60, observa-se que não houve diferença significativa entre Tens e TCA. O período de aparecimento de flor (36 DAE) não coincidiu, exatamente, com o período de máximo IAF (Figuras 38 e 39 e Tabela 12).

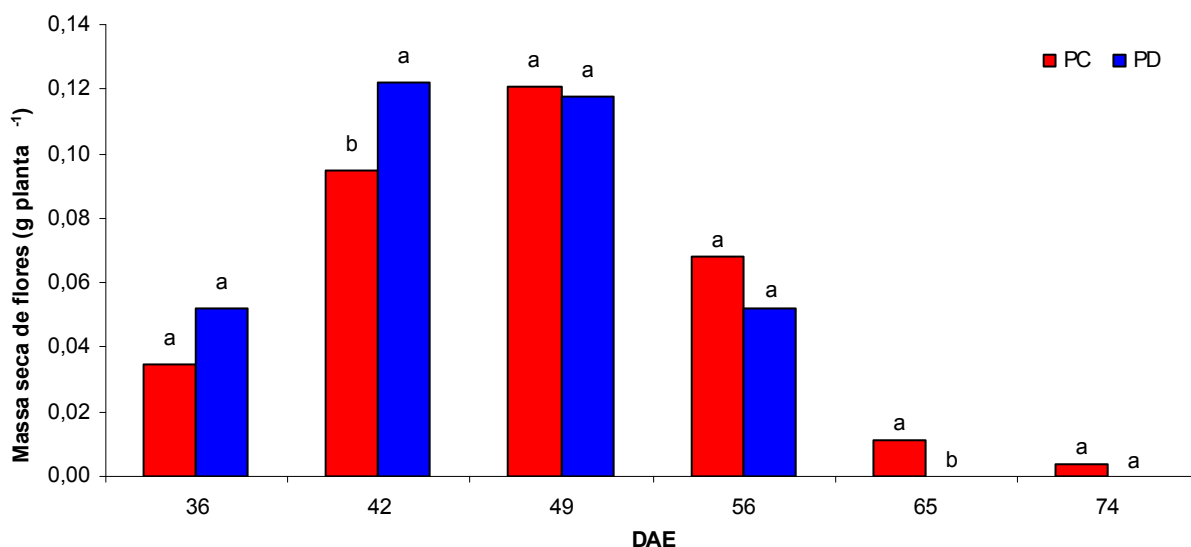


FIGURA 59. Massa seca de flor (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

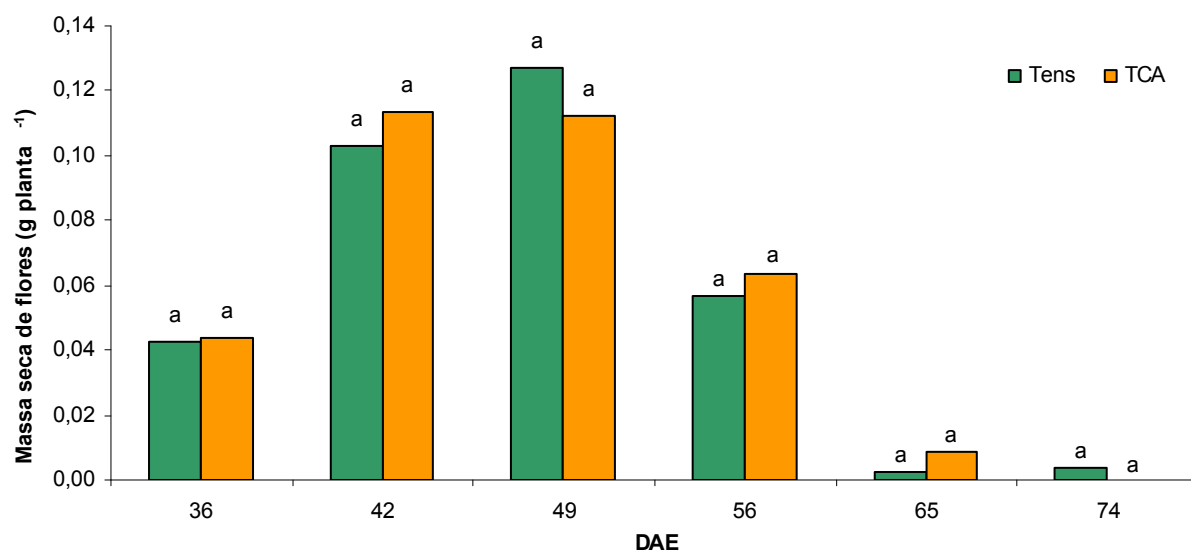


FIGURA 60. Massa seca de flor (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

De acordo com a Figura 61, observa-se que não houve diferença significativa entre PC e PD, à exceção da segunda amostragem (42 DAE) para massa seca de vagem. Comparando Tens e TCA, pela Figura 62, observa-se que houve diferença significativa em quase todas as amostragens, exceto aos 49 e 65 DAE sendo que, aos 42, 56 e 74 DAE, o TCA foi superior ao Tens. As vagens começaram a aparecer a partir dos 42 DAE, quando as plantas ainda não apresentavam seu máximo IAF, apresentando os valores máximos de massa seca de vagem aos 74 DAE.

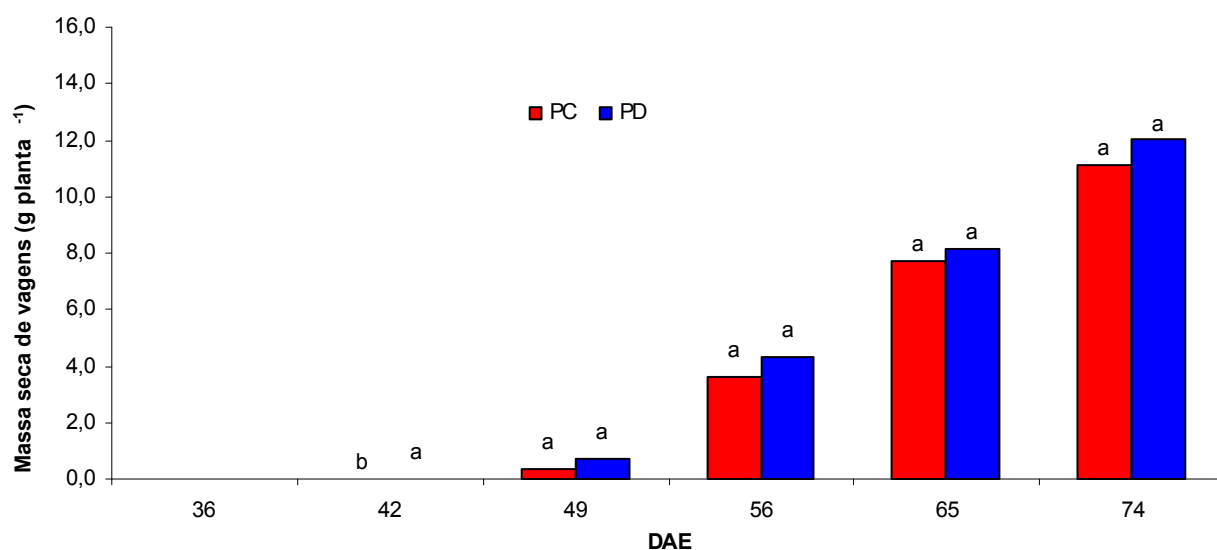


FIGURA 61. Massa seca de vagem (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

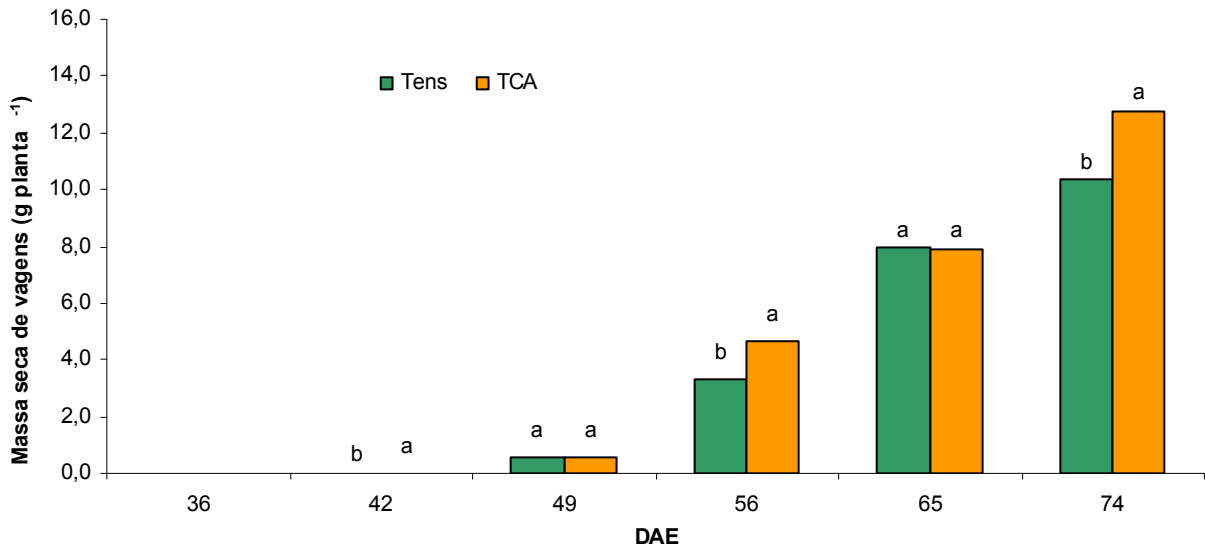


FIGURA 62. Massa seca de vagem (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

Analisando conjuntamente os dados de massa seca da parte aérea (folha, caule, flor e vagem) verificam-se os comportamentos apresentados nas Figuras 63 e 64, além da tendência desse comportamento na Figura 65. Observa-se que, nas três primeiras amostragens (36, 42 e 49 DAE), o PD foi superior ao PC (Figura 63) e, a partir da quarta amostragem (56 DAE), não houve diferença significativa entre PC e PD. Na Figura 64 pode-se verificar que o Tens foi superior ao TCA na amostragem realizada aos 74 DAE, não diferindo nas demais datas. De acordo com a Figura 65, o comportamento apresentado ao longo do ciclo da cultura deu-se de maneira exponencial, cujos valores máximos foram obtidos na última amostragem (74 DAE).

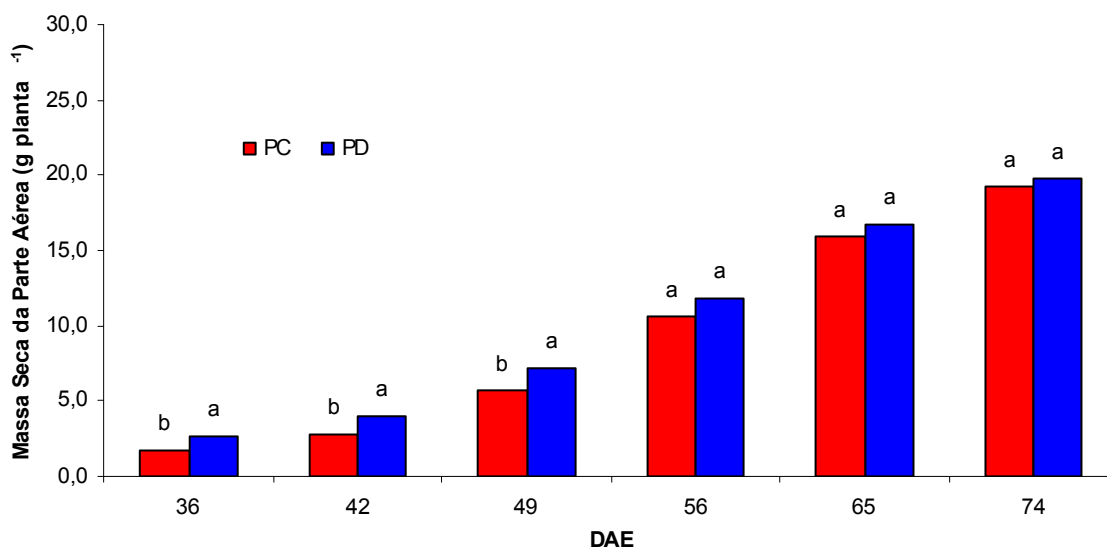


FIGURA 63. Massa seca da parte aérea (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

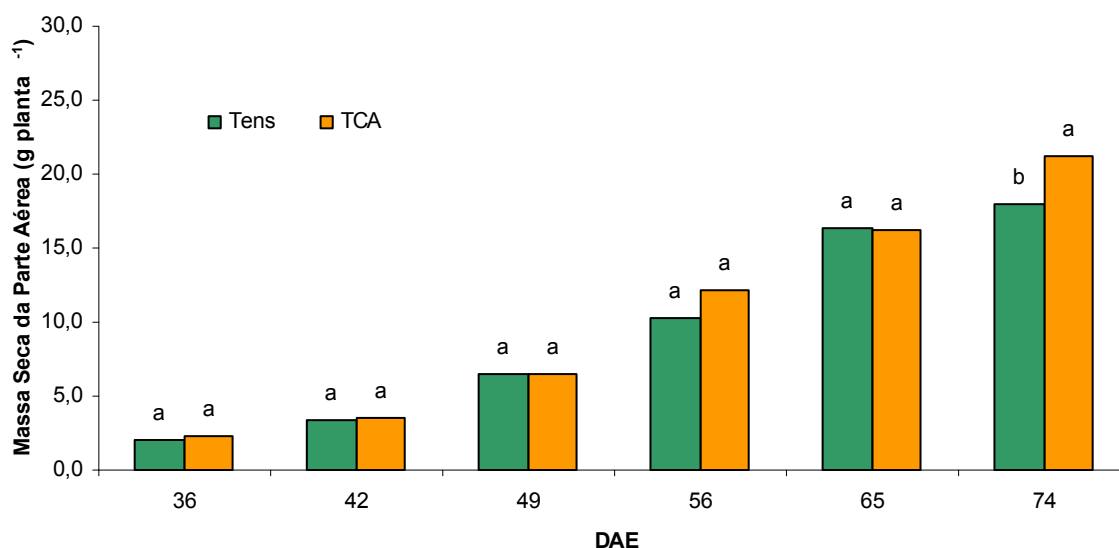


FIGURA 64. Massa seca da parte aérea (g planta⁻¹), entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey (P<0,05).

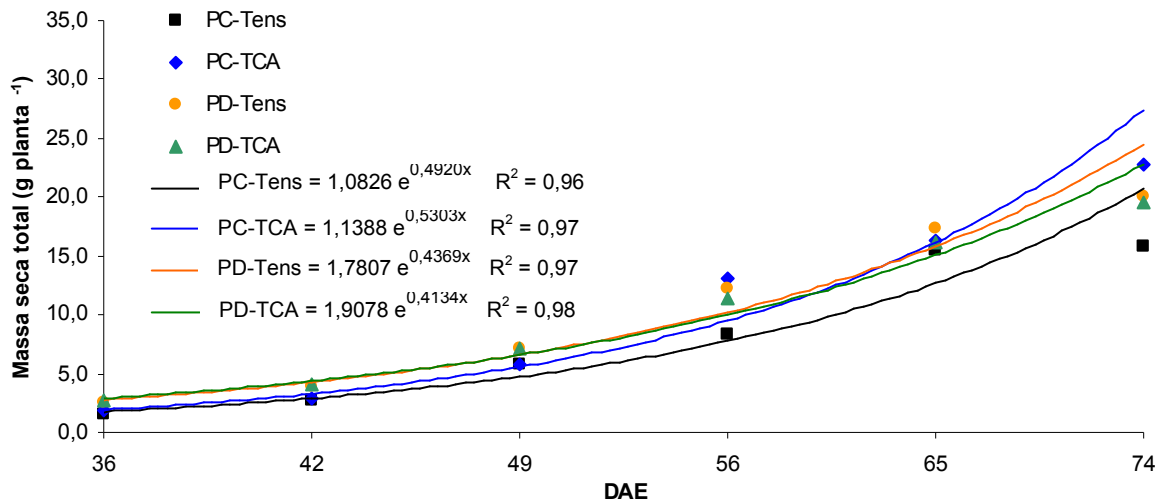


FIGURA 65. Massa seca da parte aérea (g planta⁻¹), entre os 36 e 74 DAE, para todos os tratamentos (terceiro ano).

Analisando-se as Figuras 66 e 67, verifica-se que entre os 69 e 93 DAE, o feijoeiro apresentou o maior número de folha em todos os tratamentos no segundo ano, e o PD diferiu estatisticamente do PC (Figura 66) aos 34, 41, 48 e 62 DAE. Para as demais épocas não houve diferença significativa entre esses tratamentos. Comparando o manejo de irrigação (Figura 67), houve diferença significativa entre Tens e TCA aos 34, 55 e 76 DAE, não havendo diferença nas demais épocas.

O número de folhas (Figuras 66 e 67) apresenta a mesma tendência do comportamento de massa seca de folhas (Figuras 44 e 45), cujos valores máximos ocorreram dos 69 aos 83 DAE. Mesmo apresentando os maiores valores na parte final do ciclo da cultura, analisando conjuntamente com o IAF (Figuras 32 a 37 e Tabela 11), observa-se que a cultura apresentou os maiores índices de IAF entre 50 e 60 DAE, coincidindo com o período de floração (Figuras 48, 49, 68 e 69).

Para o terceiro ano, observa-se pelas Figuras 72 e 73 que, entre os 56 e 65 DAE, o feijoeiro apresentou o maior número de folha em todos os tratamentos e, o PD diferiu estatisticamente do PC (Figura 72) apenas na primeira amostragem (36 DAE). Para as demais épocas não houve diferença significativa entre esses tratamentos. Comparando o manejo de irrigação (Figura 73), houve diferença significativa entre Tens e TCA aos 56 DAE, não havendo diferença estatística nas demais épocas.

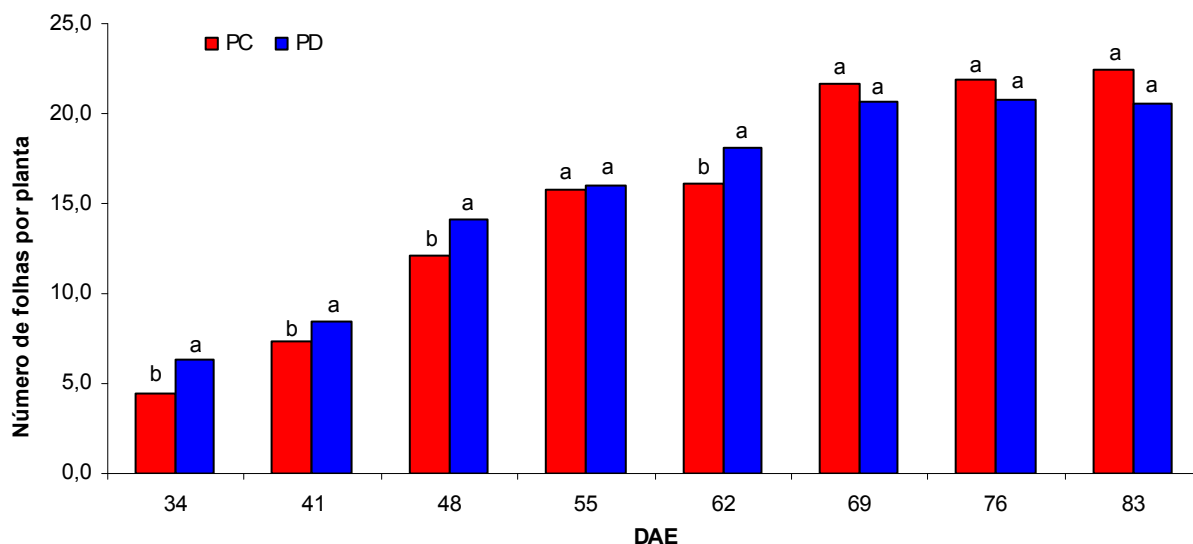


FIGURA 66. Número de folha por planta, entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

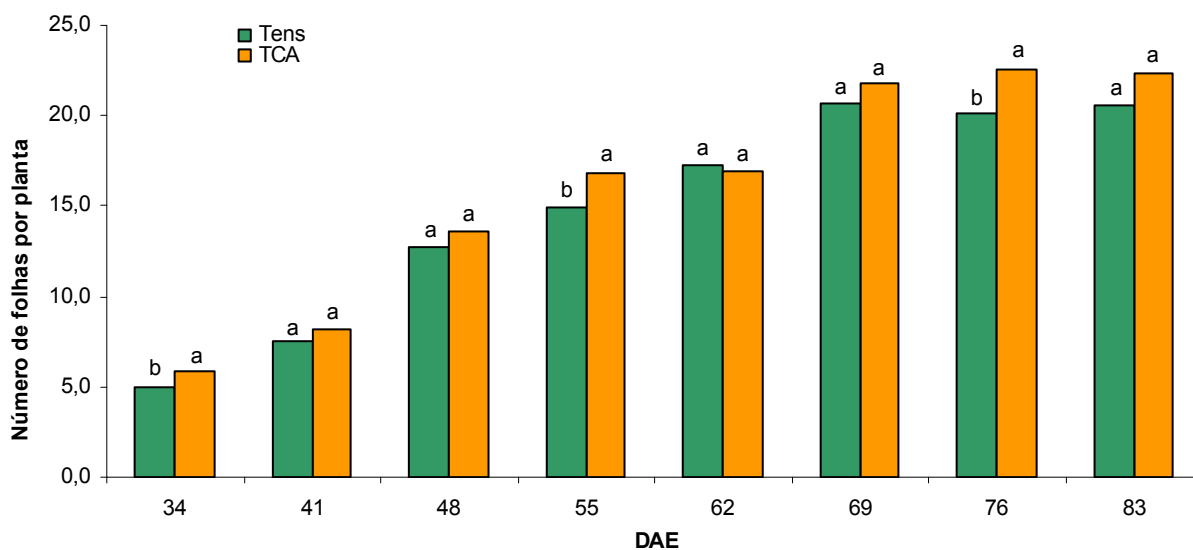


FIGURA 67. Número de folha por planta, entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Com relação ao número de flor por planta, no segundo ano, pode-se observar que, tanto para os tratamentos de manejo do solo quanto para os de manejo de irrigação (Figuras 68 e 69), que a presença de flor foi detectada a partir dos 55 DAE e atingiu o número máximo aos 62 DAE sendo que, a única época em que o PC foi significativamente superior ao PD foi aos 69 DAE (Figura 68), não havendo diferença significativa nas demais épocas analisadas; entre os tratamentos de manejo de irrigação (Figura 69), o TCA apresentou, aos 69 DAE, valor significativamente maior do que o Tens, não diferindo deste nas demais épocas.

Para o terceiro ano, quanto ao número de flor por planta, pode-se observar que, tanto para os tratamentos de manejo do solo quanto para os de manejo de irrigação (Figuras 74 e 75), a presença de flor foi detectada a partir dos 36 DAE e atingiu o número máximo aos 49 DAE sendo que, aos 49 e 65 DAE, o PC foi significativamente superior ao PD e, aos 36 e 42 DAE, o PD foi superior ao PC (Figura 74), não havendo diferença significativa nas demais épocas analisadas; entre os tratamentos de manejo de irrigação (Figura 75), o TCA apresentou, aos 49 DAE, valor significativamente maior do que o Tens, não diferindo deste nas demais épocas.

Com isto, o comportamento do número de folhas não apresentou a mesma tendência do comportamento verificado para massa seca de folhas (Figuras 55 e 56), uma vez que é observada uma tendência de queda a partir dos 35 DAE. Incorporando a esta análise o número de flor (Figuras 74 e 75), ressalta-se que o aparecimento de flor ocorreu quando a planta apresentou os menores valores de IAF.

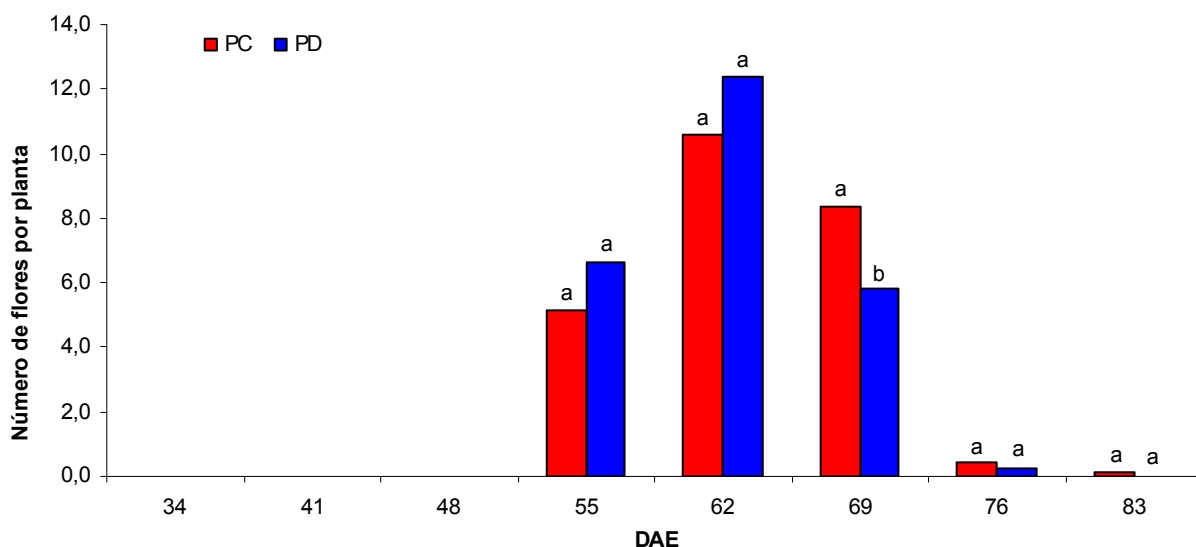


FIGURA 68. Número de flor por planta, entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

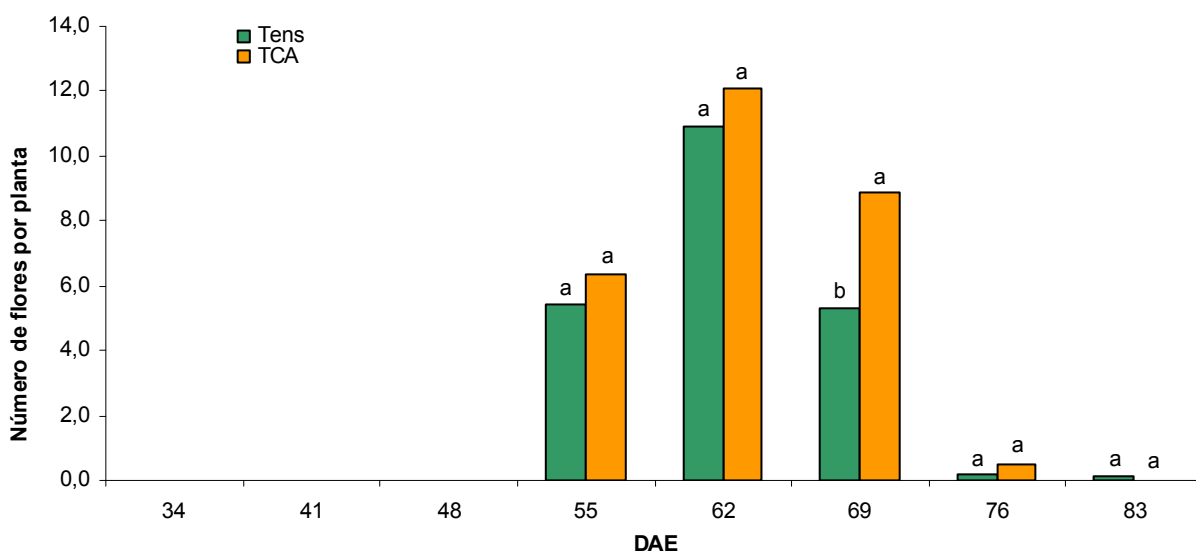


FIGURA 69. Número de flor por planta, entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Analisando-se o número de vagem por planta ao longo do ciclo da cultura, no segundo ano, pode-se observar que, tanto para os tratamentos de manejo do solo

quanto para os de manejo de irrigação (Figuras 70 e 71), que a presença de vagem foi detectada a partir dos 62 DAE e atingiu o número máximo em torno dos 76 DAE (a exceção do Tens que apresentou valor máximo ao redor dos 69 DAE) sendo que não foi verificada diferença significativa entre PC e PD em todas as épocas amostradas (Figura 70); entre os tratamentos de manejo de irrigação (Figura 71), o TCA apresentou aos 76 DAE, valor significativamente maior do que o Tens, não diferindo deste nas demais épocas.

Para o terceiro ano, quanto ao número de vagem por planta, pode-se observar que, tanto para os tratamentos de manejo do solo quanto para os de manejo de irrigação (Figuras 76 e 77), que a presença de vagem foi detectada a partir dos 42 DAE e atingiu o número máximo aos 56 DAE sendo que, aos 42 e 49 DAE, o PD foi significativamente superior ao PC (Figura 76), não havendo diferença significativa nas demais épocas analisadas; entre os tratamentos de manejo de irrigação (Figura 77), o TCA apresentou aos 74 DAE, valor significativamente maior do que o Tens, não diferindo deste nas demais épocas.

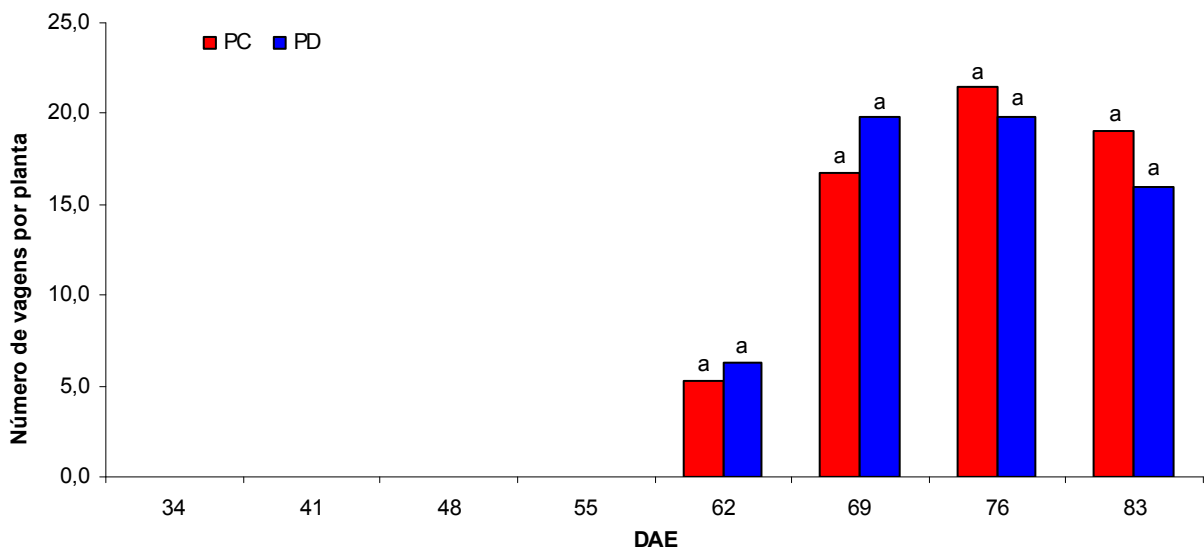


FIGURA 70. Número de vagem por planta, entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos PC e PD – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

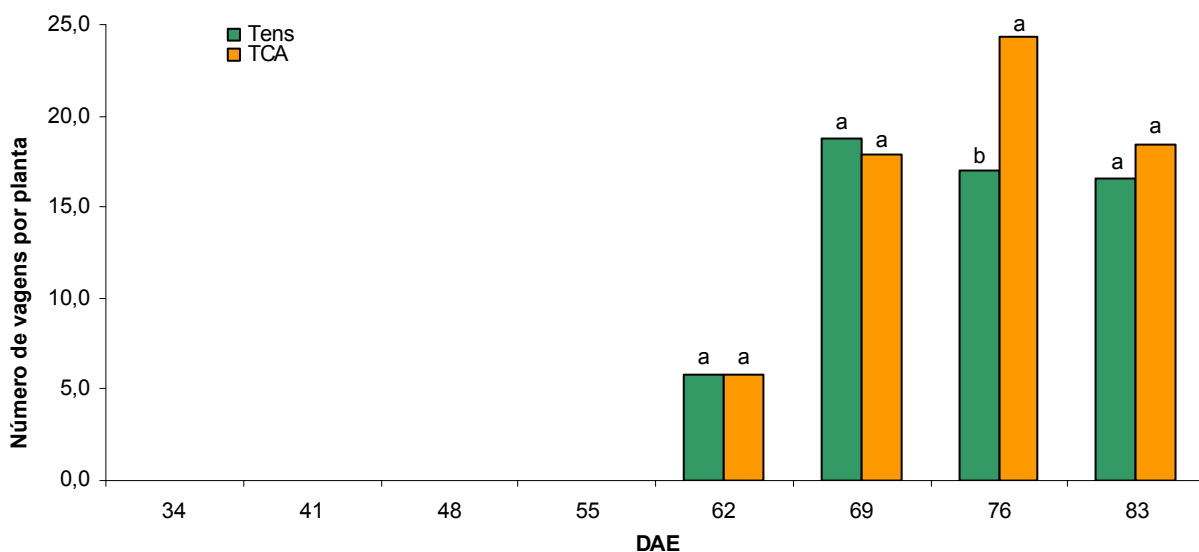


FIGURA 71. Número de vagem por planta, entre 34 e 83 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – segundo ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

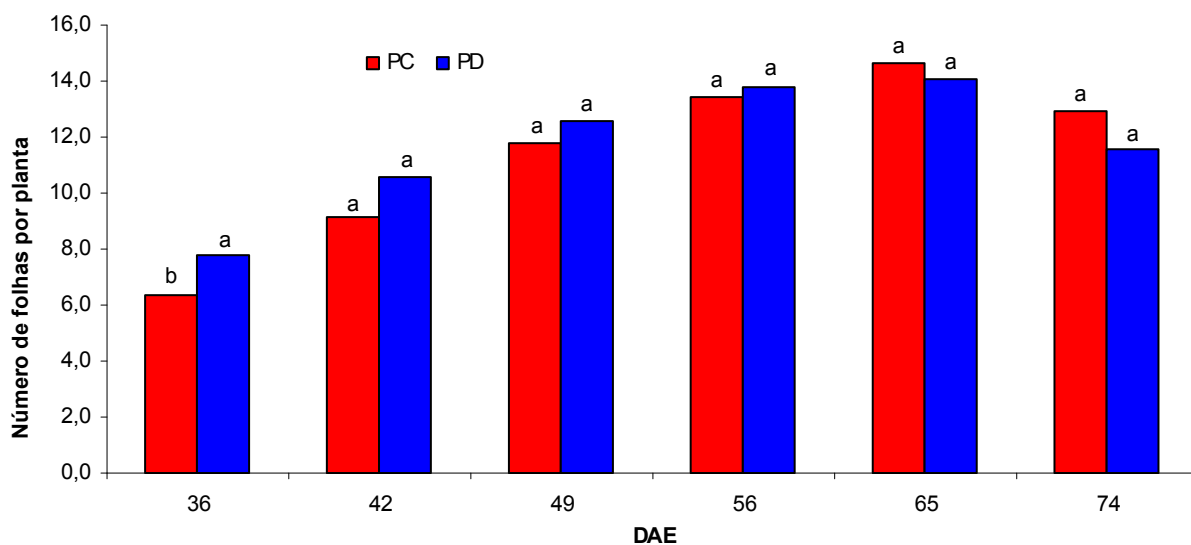


FIGURA 72. Número de folha por planta, entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

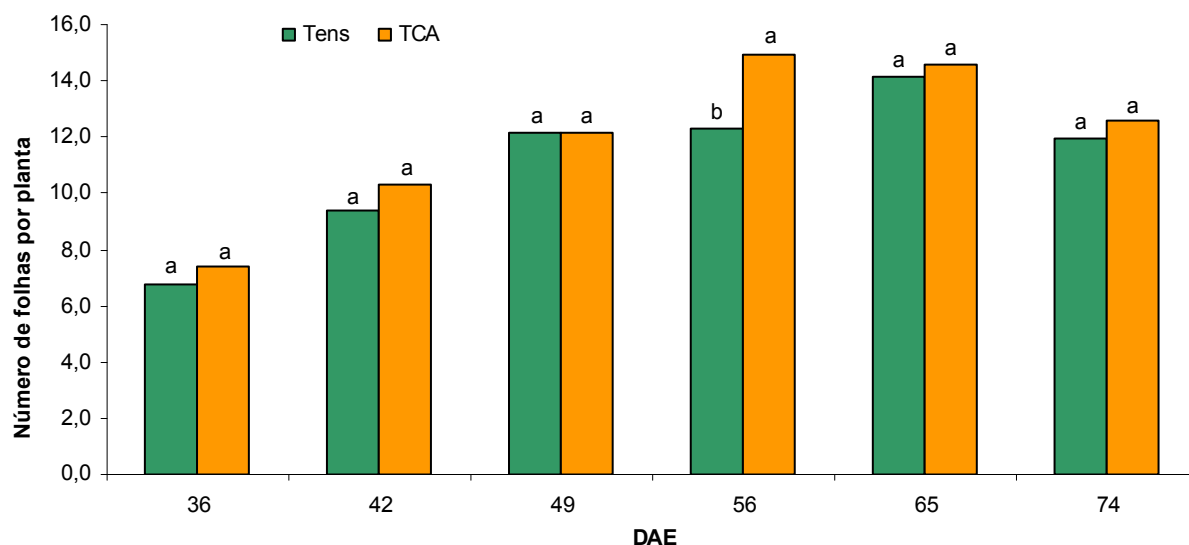


FIGURA 73. Número de folha por planta, entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

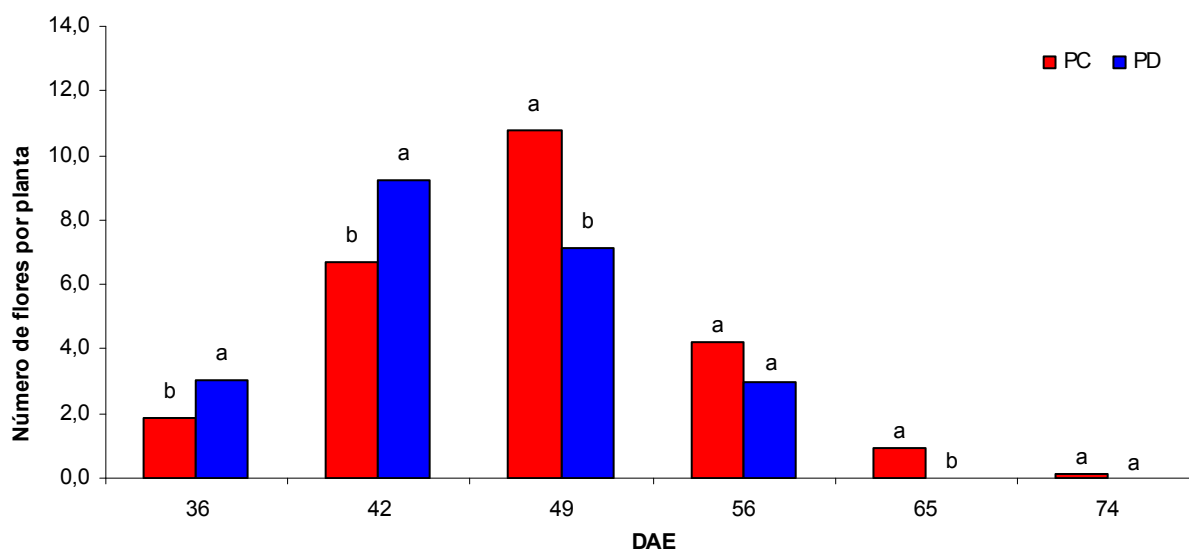


FIGURA 74. Número de flor por planta, entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

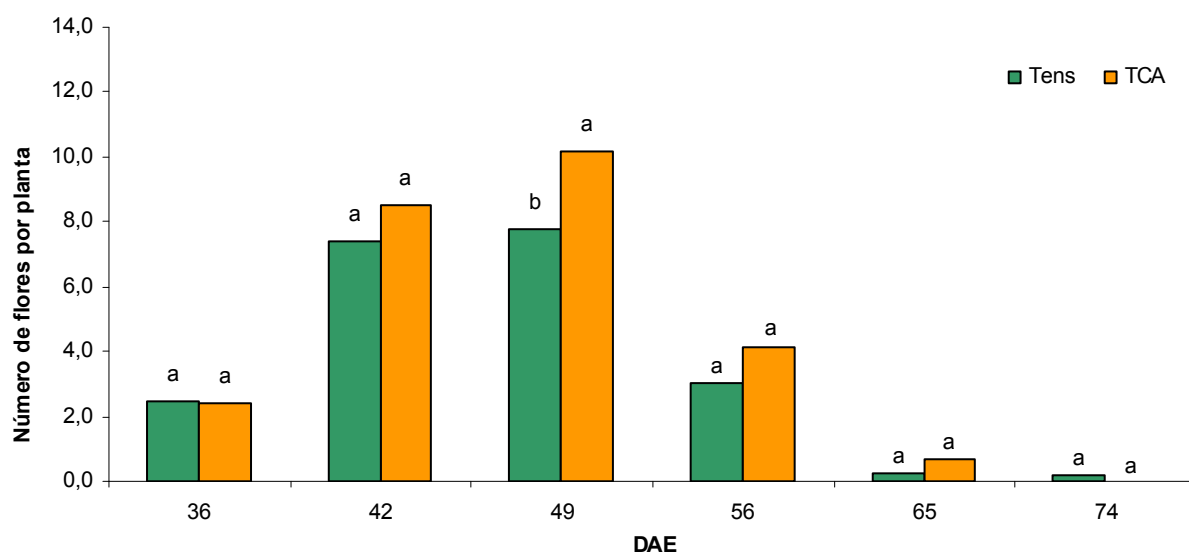


FIGURA 75. Número de flor por planta, entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

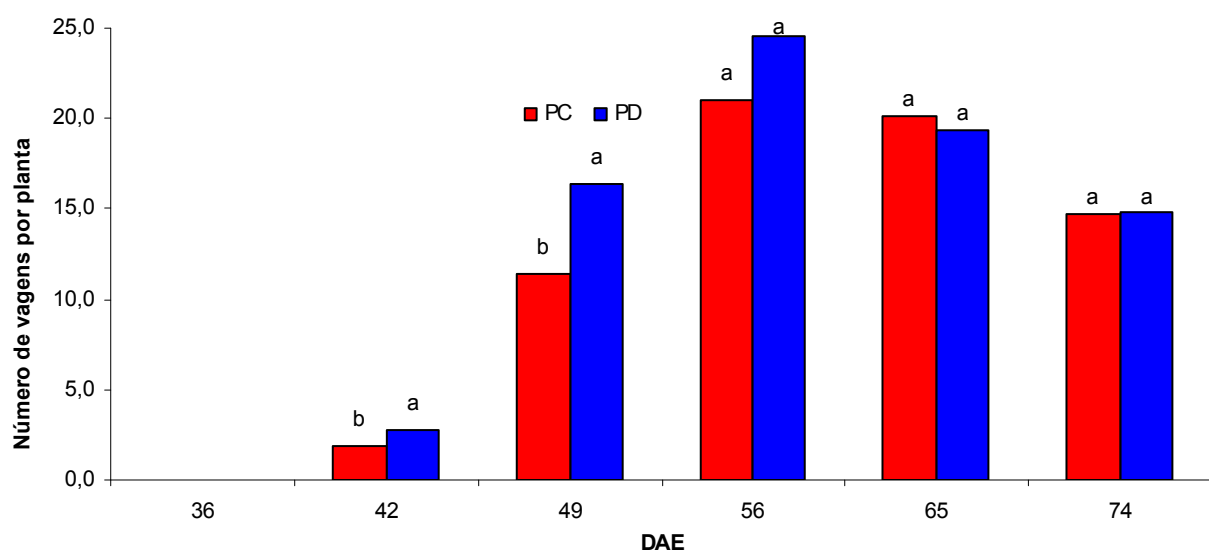


FIGURA 76. Número de vagem por planta, entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos PC e PD – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

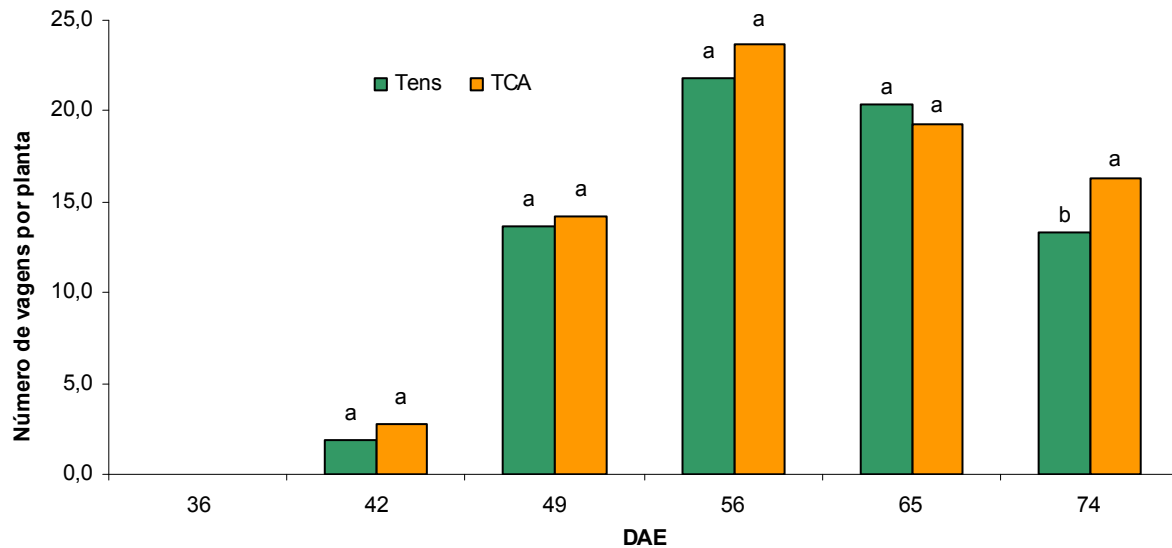


FIGURA 77. Número de vagem por planta, entre 36 e 74 DAE, para os tratamentos Tens e TCA – terceiro ano. Letras distintas sobre as barras verticais indicam que a diferença entre os valores representados pelas barras, na mesma época, é significativa pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos

Nas Tabelas 13 a 19 estão os dados referentes ao segundo ano. Para o número de grãos por vagem produtiva (Tabela 13), verifica-se que houve diferença significativa entre Tens e TCA, cujos valores foram $3,62$ grãos $vagem^{-1}$ e $3,83$ grãos $vagem^{-1}$, respectivamente, não havendo diferença estatística entre PC e PD e nem interação entre manejo de irrigação e manejo do solo.

Para o número de vagens produtivas por planta (Tabela 14), houve interação entre manejo do solo e manejo de irrigação, sendo que o manejo do solo influenciou o manejo de irrigação TCA, com superioridade para o PC-TCA ($9,09$ vagens $planta^{-1}$) em relação ao PD-TCA ($6,77$ vagens $planta^{-1}$). Também houve influência do manejo de irrigação no manejo do solo PC, com superioridade do PC-TCA em relação ao PC-Tens ($6,47$ vagens $planta^{-1}$). Os valores de vagens vazias por planta (Tabela 15) não diferiam estatisticamente entre os manejos de irrigação porém, entre os manejos do solo, o PC foi superior estatisticamente ao PD, com valores de $0,36$ vagem vazia $planta^{-1}$ e

0,19 vagem vazia planta⁻¹, respectivamente. Em relação às vagens produtivas, as vagens vazias representaram 3,8% (Tens), 3,7% (TCA), 4,6% (PC) e 2,9% (PD).

Analisando-se o estande final de plantas (Tabela 16), observa-se que houve diferença estatística apenas entre PC-Tens (30,99 plantas m⁻²) e PD-Tens (41,66 plantas m⁻²), com interação entre os tratamentos e diferença significativa entre eles. Para massa de 1000 grãos (Tabela 17), o PC-TCA (275,46 g) foi superior estatisticamente ao PD-TCA (262,21 g) e ao PC-Tens (263,57 g).

Contudo, em relação à produtividade por planta (Tabela 18), observa-se a mesma tendência de comportamento da variável número de vagens produtivas por planta, em que o manejo do solo influenciou o manejo de irrigação TCA, com superioridade para o PC-TCA (9,61 g planta⁻¹) em relação ao PD-TCA (6,81 g planta⁻¹). Também houve influência dos manejos de irrigação no manejo de solo PC, com superioridade do PC-TCA em relação ao PC-Tens (5,98 g planta⁻¹); o PD-Tens apresentou 6,66 g planta⁻¹, não diferindo do PC-Tens e nem do PD-TCA. Já, para a produtividade por unidade de área (Tabela 19), a interação observada indica superioridade significativa do PD-Tens (2805,8 kg ha⁻¹) em relação ao PC-Tens (1865,6 kg ha⁻¹) e, também, o PC-TCA (3394,6 kg ha⁻¹) foi superior ao PD-TCA (2755,0 kg ha⁻¹) e ao PC-Tens.

TABELA 13. Número de grãos por vagem produtiva – segundo ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	3,46	3,84	3,65 A
PD	3,79	3,83	3,81 A
Média*	3,62 b	3,83 a	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 14. Número de vagens produtivas por planta - segundo ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	6,47 Ab	9,09 Aa	7,78
PD	6,53 Aa	6,77 Ba	6,65
Média*	6,50	7,93	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 15. Número de vagens vazias por planta - segundo ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	0,32	0,39	0,36 A
PD	0,18	0,19	0,19 B
Média*	0,25 a	0,29 a	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 16. Estande final de plantas (plantas m⁻²) - segundo ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	30,99 Ba	35,96 Aa	33,47
PD	41,66 Aa	40,48 Aa	41,07
Média*	36,32	38,22	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 17. Massa de 1000 grãos (g) - segundo ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	263,57 Ab	275,46 Aa	269,52
PD	269,09 Aa	262,21 Ba	265,65
Média*	266,33	268,84	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 18. Produtividade de grãos (g planta⁻¹) - segundo ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	5,98 Ab	9,61 Aa	7,80
PD	6,66 Aa	6,81 Ba	6,74
Média*	6,32	8,21	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 19. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) - segundo ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	1865,6 Bb	3394,6 Aa	2630,1
PD	2805,8 Aa	2755,0 Ba	2780,4
Média*	2335,7	3074,8	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Nas Tabelas 20 a 26 estão os dados referentes ao terceiro ano. Para o número de grãos por vagem produtiva (Tabela 20), verifica-se que houve interação entre manejo do solo e manejo de irrigação, com diferença significativa entre PC e PD dentro de Tens, cujos valores foram, respectivamente, 3,14 grãos vagem⁻¹ e 3,28 grãos vagem⁻¹, não ocorrendo diferença entre os demais tratamentos.

Para o número de vagens produtivas por planta (Tabela 21), observa-se que houve interação entre manejo do solo e manejo de irrigação, onde o manejo do solo influenciou o manejo de irrigação TCA, com superioridade para PC-TCA (9,70 vagens planta⁻¹) em relação ao PD-TCA (7,31 vagens planta⁻¹). Também houve influência do manejo de irrigação no manejo do solo PC, com superioridade do PC-TCA em relação ao PC-Tens (7,79 vagens planta⁻¹); dentro de Tens o PD (8,81 vagens planta⁻¹) foi superior ao PC e, dentro de PD, o Tens foi superior ao TCA. Os valores de vagens vazias por planta (Tabela 22), não diferiam estatisticamente entre manejo de irrigação, todavia, entre manejo do solo, o PC foi superior, estatisticamente, ao PD, com valores de 0,66 (vagem vazia planta⁻¹) e 0,52 (vagem vazia planta⁻¹), respectivamente. Em relação às vagens produtivas, as vagens vazias não ultrapassaram 7,4% (Tens), 6,7% (TCA), 7,5% (PC) e 6,5% (PD).

Analisando o estande final de plantas (Tabela 23), observa-se que houve diferença estatística apenas entre manejo do solo, com superioridade para o PD (24,27 plantas m⁻²) em relação ao PC (22,05 plantas m⁻²).

Para a massa de 1000 grãos (Tabela 24), não houve diferença estatística entre os tratamentos de manejo do solo e nem houve interação entre manejo de irrigação e manejo do solo, mas houve diferença estatística entre manejo de irrigação, onde o Tens (256,58 g) foi superior ao TCA (248,48 g).

Contudo, em relação à produtividade por planta (Tabela 25), observa-se a mesma tendência de comportamento da variável número de vagens produtivas por planta, onde o manejo do solo influenciou o manejo de irrigação, com superioridade para PC-TCA (8,62 g planta⁻¹) em relação ao PD-TCA (5,83 g planta⁻¹), e PD-Tens (7,59 g planta⁻¹) em relação ao PC-Tens (6,35 g planta⁻¹). Também houve influência do manejo de irrigação no manejo do solo, com superioridade do PC-TCA em relação ao

PC-Tens e PD-Tens superior ao PD-TCA. Para a produtividade por unidade de área, a interação observada indica superioridade significativa do PD-Tens (1824,5 kg ha⁻¹) em relação ao PC-Tens (1354,4 kg ha⁻¹) e em relação ao PD-TCA (1427,7 kg ha⁻¹) e, também, o PC-TCA (1954,8 kg ha⁻¹) foi superior ao PD-TCA e ao PC-Tens (Tabela 26).

TABELA 20. Número de grãos por vagem produtiva – terceiro ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	3,14 Ba	3,51 Aa	3,33
PD	3,28 Aa	3,25 Aa	3,26
Média*	3,21	3,38	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 21. Número de vagens produtivas por planta - terceiro ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	7,79 Bb	9,70 Aa	8,74
PD	8,81 Aa	7,31 Bb	8,06
Média*	8,30	8,50	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 22. Número de vagens vazias por planta - terceiro ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	0,64	0,68	0,66 A
PD	0,59	0,46	0,52 B
Média*	0,61 a	0,57 a	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 23. Estande final de plantas (plantas m⁻²) - terceiro ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	21,48	22,62	22,05 B
PD	24,07	24,48	24,27 A
Média*	22,77 a	23,55 a	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 24. Massa de 1000 grãos (g) - terceiro ano.

Sistemas de cultivo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	254,60	250,80	252,70 A
PD	258,57	246,16	252,36 A
Média*	256,58 a	248,48 b	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 25. Produtividade de grãos (g planta⁻¹) - terceiro ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	6,35 Bb	8,62 Aa	7,49
PD	7,59 Aa	5,83 Bb	6,71
Média*	6,97	7,23	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

TABELA 26. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) - terceiro ano.

Manejo do solo	Manejo da irrigação		
	Tens	TCA	Média*
PC	1354,4 Bb	1954,8 Aa	1654,6
PD	1824,5 Aa	1427,7 Bb	1626,1
Média*	1589,5	1691,3	

*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

STONE & MOREIRA (2000), estudando os efeitos de sistemas de preparo do solo por quatro anos consecutivos, encontraram diferenças significativas para o número de vagens por planta e o de grãos por vagem, sendo que o plantio direto com cobertura morta foi superior ao preparo do solo com grade. Para a massa de 100 grãos, esses autores não encontraram diferenças entre os sistemas de plantio.

KLUTHCOUSKI et al. (2000), conduzindo pesquisa em área de plantio direto há oito anos, obtiveram maior produtividade de grãos de feijão em sistema de plantio convencional, em detrimento ao plantio direto. MIRANDA et al. (2000) encontraram produtividade de 2.433 kg ha⁻¹ para condições de irrigação adequada, sendo significativamente superior ao tratamento com irrigação restrita. SILVEIRA & STONE (2002) também encontraram valores similares de produtividade em feijoeiro entre plantio convencional com arado de aiveca, grade aradora e plantio direto (2.095, 2.252 e 2.082 kg ha⁻¹, respectivamente). STONE & MOREIRA (2001) encontraram menores número de vagens por planta e massa de 100 grãos no plantio direto quando

comparado a outros sistemas de preparo do solo, o que também refletiu em diferença de produtividade entre os mesmos. Os mesmos autores concluíram ainda que a produtividade, em sistemas plantio direto, aumenta com o passar do tempo.

Uma boa produtividade como a desse trabalho, em média 2.705 kg ha^{-1} para o segundo ano, caracteriza uma boa disponibilidade hídrica para a planta, tanto para o manejo de irrigação realizado por Tens quanto para o TCA. LIBARDI & SAAD (1994), em trabalho realizado com a cultura do feijão também irrigado via pivô central, encontraram produtividade de 3.030 kg ha^{-1} .

Também para o terceiro ano, não foram encontrados déficits hídricos no decorrer do ciclo (Figuras 15 a 17) e, mesmo assim, a cultura apresentou produtividade abaixo da esperada quando irrigada. Tal fato pode ter explicação tendo em vista que a cultivar utilizada - Carioca precoce - deveria ter sido semeada em meados de maio de 2004, o que só pôde ocorrer, por problemas operacionais, no final de julho. Com isto, no início do período reprodutivo (Figura 2) foram verificadas temperaturas máximas acima da recomendada para a cultura ($29,5 \text{ }^\circ\text{C}$), uma vez que, de acordo com PORTES (1996), a alta temperatura tem efeito na atividade metabólica e talvez, como conseqüência disto, reflita o seu efeito sobre a viabilidade dos grãos de pólen, crescimento do tubo polínico e do embrião.

A adubação de cobertura realizada no terceiro ano também pode ser considerada como fator contribuinte à baixa produtividade, uma vez que foi realizada aos 27 DAE, praticamente no início do período reprodutivo. Com isto, o florescimento ocorreu quando a planta ainda não apresentava condições fisiológicas para o suprimento dos órgãos reprodutivos. Em relação ao ano anterior, observa-se uma redução no IAF, número de folhas e massa seca da parte aérea resultando, por conseguinte, em redução dos componentes de produtividade (número de vagens e de grãos, massa de 1000 grãos e produtividade por área e por planta), uma vez que estes principais componentes apresentam correlação significativa conforme Tabelas 27 e 28.

A produtividade de grãos está correlacionada com o número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos (LEMOS et al., 2004), sendo que a massa de 100 grãos e o número de grãos por vagem são os componentes de maior

influência na produtividade de grãos de cultivares de feijão (RAMOS JUNIOR et al., 2005).

No segundo ano, o período de florescimento teve início ao redor dos 55 DAE (Figuras 48 e 49) enquanto que, no terceiro, ocorreu por volta dos 36 DAE (Figuras 59 e 60). Diante disto, observa-se que o florescimento, no terceiro ano, ocorreu na época em que a planta apresentou a menor massa seca de folha (Figuras 55 e 56), menor número de folhas (Figuras 72 e 73) e o menor IAF (Figuras 38 e 39). O IAF máximo (Tabela 12) ocorreria entre 52 e 59 DAE sendo que, na prática, foi verificado por volta dos 49 DAE (Figuras 40 a 43).

Para o segundo ano, o florescimento coincidiu com o período de maior quantidade de massa seca de folha (Figuras 44 e 45), cujos valores foram de 3 a 4 vezes maiores do que os de massa seca de folha observados no terceiro ano. Neste período foram verificados, também, os maiores valores de IAF (55 DAE a 60 DAE – Tabela 11 e Figuras 32 e 33) e número de folhas (Figuras 66 e 67) cerca de duas vezes maiores em relação ao terceiro ano. MEDEIROS et al. (2000), em experimento com o feijoeiro verificaram que o período de maior demanda por assimilados, pelos órgãos reprodutivos, ocorreu entre 49 DAE e 75 DAE.

Considerando que existe correlação significativa positiva entre acúmulo de massa seca na parte aérea e na planta toda com a produção de grãos (URCHEI et al., 2000 e SORATTO et al., 2006), menor massa de planta pode produzir menor quantidade de fotoassimilados, o que pode se traduzir em menor número de vagens produtivas por planta, menor número de grãos por vagem, menor massa de grãos e, conseqüentemente, em menor produtividade (ARF et al., 2004 e SORATTO et al., 2006), o que demonstra que plantas mais robustas, com mais ramificações e que produzem maior número de estruturas reprodutivas, acarretam em maiores produtividades de grãos.

Cultivando o feijão na época das águas, em 2003 e 2004, FARINELLI et al. (2006) obtiveram uma média de 4,40 grãos vagem⁻¹ e 4,30 grãos vagem⁻¹ para PC e, 4,40 grãos vagem⁻¹, nos dois anos, no PD. Para vagens por planta, no segundo ano, encontraram 5,90 vagens planta⁻¹ e 6,50 vagens planta⁻¹, respectivamente para PC e

PD e, para o terceiro ano, obtiveram 10,80 vagens planta⁻¹ (PC) e 8,9 vagens planta⁻¹ (PD). ARF et al. (2004), conduzindo a cultura do feijoeiro em Selvíria-MS, encontraram 5,4 grãos vagem⁻¹ no PD, aplicando-se a maior lâmina de irrigação.

Para o PD, SILVA et al. (2004b), avaliando diferentes tipos de preparo do solo na cultura do feijoeiro irrigado no inverno por três anos, observaram que o número de vagens por planta, foi, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro ano, 12,97 vagens planta⁻¹, 10,26 vagens planta⁻¹ e 5,75 vagens planta⁻¹ e, para o número de grãos por planta, encontraram 50,91 grãos planta⁻¹, 44,08 grãos planta⁻¹ e 30,70 grãos planta⁻¹ para os três anos, respectivamente. Comportamento inverso observaram para número de grãos por vagem, cujos valores foram, para os três anos, 3,92 grãos vagem⁻¹, 4,29 grãos vagem⁻¹ e 5,50 grãos vagem⁻¹ e, para massa de 100 grãos, os valores foram 27,61 g, 20,41 g e 20,25 g. Para o PC, observaram que o número de vagens por planta, foi, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro ano, 11,74 vagens planta⁻¹, 10,74 vagens planta⁻¹ e 5,95 vagens planta⁻¹ e, para o número de grãos por planta, encontraram 46,64 grãos planta⁻¹, 45,38 grãos planta⁻¹ e 32,40 grãos planta⁻¹ para os três anos, respectivamente. Comportamento inverso observaram para número de grãos por vagem, cujos valores foram, para os três anos, 3,98 grãos vagem⁻¹, 4,23 grãos vagem⁻¹ e 4,75 grãos vagem⁻¹ e, para massa de 100 grãos, os valores foram 25,60 g, 20,64 g e 20,25 g.

Para SILVA et al. (2004b), os diferentes tipos de preparo do solo na cultura do feijoeiro irrigado no inverno por três anos, não influenciaram na produtividade de grãos, embora o cultivo mínimo tenha se sobressaído nos dois primeiros anos e obtiveram como média de produtividade para os três anos, 1972 kg ha⁻¹ para PD e, 2084 kg ha⁻¹ para o PC.

FARINELLI et al. (2006) obtiveram em 2003, produtividade da ordem de 1656 kg ha⁻¹ e 1868 kg ha⁻¹, respectivamente para PC e PD e, para 2004, obtiveram 2872 kg ha⁻¹ (PC) e 2656 kg ha⁻¹ (PD). GOMES et al. (2000) encontraram, para o feijão carioca irrigado, em média 10,6 vagens planta⁻¹, 4,9 grãos vagem⁻¹ e 19,9 g para 100 grãos e produtividade de 1655 kg ha⁻¹. Também para a cultivar carioca, RAMOS JÚNIOR et al. (2005) encontraram 18,5 vagens planta⁻¹, 5,7 grãos vagem⁻¹, 29,3 g 100⁻¹ grãos e 3127

kg ha⁻¹.

O fato de a cultura do feijoeiro expressar suas melhores produtividades nas combinações PC-TCA e PD-Tens, indica que a escolha do método de manejo de irrigação deva ser baseada, dentre outras, em função do sistema de manejo do solo, uma vez que cada um influencia de forma particular nas condições físico-hídricas do solo, resultando em variações nas relações solo-planta.

Em estudo realizado por CAVALIERI et al. (2006), os autores verificaram que os sistemas de preparo influenciaram a densidade do solo e a resistência do solo à penetração nas camadas estudadas. O preparo do solo, de acordo com SILVA et al. (2006), além de influir na quantidade e distribuição de palha depositada na superfície, modifica a relação massa-volume, a quantidade de água no solo, o teor de matéria orgânica e a estrutura. Dessa forma, pode-se inferir também que a redistribuição de água no solo e a interação solo-raiz são alteradas.

Avaliando o manejo do solo PC e PD na cultura do milho, SILVA et al. (2004a) concluíram que o PD gerou condições físicas no solo mais favoráveis às plantas quando comparado ao PC. O maior volume de poros drenáveis no PC torna as culturas mais vulneráveis às condições climáticas neste sistema de preparo (TORMENA et al., 2002), com isto, o suprimento de água à cultura deve ser realizado com maior frequência.

REICHARDT & TIM (2004) relatam que a quantidade de água absorvida pelas plantas não é somente função do seu potencial no solo mas, também, da habilidade das raízes de absorver a água do solo com que estão em contato, bem como das propriedades do solo no fornecimento e na transmissão dessa água às raízes, em uma proporção que satisfaça as exigências da transpiração.

Analisando-se as correlações entre as variáveis, no segundo ano (Tabela 27), destacam-se as correlações positivas entre o número de grãos por vagem (1) com a produtividade por área (7) e por planta (8); o número de vagens produtivas por planta (2) com o número de grãos por planta (5) e com a produtividade por área (7) e por planta (8); a população final de plantas (4) com a produtividade por área (7); a massa de 1000 grãos (6) com a produtividade por área (7) e por planta (8) e a produtividade

por área (7) com a lâmina de irrigação aplicada à cultura (9).

TABELA 27. Correlações obtidas entre as variáveis analisadas (segundo ano).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	ns	ns	0,36*	0,54**	0,34*	0,68**	0,55**	Ns
2	ns	-	0,56**	ns	0,95**	ns	0,66**	0,93**	Ns
3	ns	0,56**	-	ns	0,49**	ns	0,34*	0,47**	Ns
4	0,36*	ns	ns	-	ns	ns	0,53**	ns	Ns
5	0,54**	0,95**	0,49**	ns	-	0,38*	0,78**	0,99**	Ns
6	0,34*	ns	ns	ns	0,38*	-	0,59**	0,52**	Ns
7	0,68**	0,66**	0,34*	0,53**	0,78**	0,59**	-	0,82**	0,48*
8	0,55**	0,93**	0,47**	ns	0,99**	0,52**	0,82**	-	Ns
9	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,48*	ns	-

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

sendo, (1) número de grãos por vagem; (2) número de vagens produtivas por planta; (3) número de vagens vazias por planta; (4) população final de plantas; (5) número de grãos por planta; (6) massa de 1000 grãos; (7) produtividade por área; (8) produtividade por planta; (9) lâmina (mm) aplicada por irrigação.

Para o terceiro ano (Tabela 28) destacam-se as correlações positivas entre o número de grãos por vagem (1) com o número de grãos por planta (5) e com a produtividade por área (7) e por planta (8); o número de vagens produtivas por planta (2) com o número de grãos por planta (5), com a massa de 1000 grãos (6) e com a produtividade por área (7) e por planta (8); a população final de plantas (4) com a produtividade por área (7); o número de grãos por planta (5) com a produtividade por área (7) e por planta (8); a massa de 1000 grãos (6) com a produtividade por área (7) e por planta (8) e a produtividade por área (7) com a produtividade por planta (8).

TABELA 28. Correlações obtidas entre as variáveis analisadas (terceiro ano).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	0,63**	ns	ns	0,80**	0,39*	0,76**	0,79**	ns
2	0,63**	-	ns	ns	0,96**	0,55**	0,90**	0,96**	ns
3	ns	ns	-	-0,35*	ns	ns	ns	ns	ns
4	ns	ns	-0,35*	-	ns	ns	ns	ns	ns
5	0,80**	0,96**	ns	ns	-	0,55**	0,94**	0,99**	ns
6	0,39*	0,55**	ns	ns	0,55**	-	0,63**	0,63**	-0,63*
7	0,76**	0,90**	ns	ns	0,94**	0,63**	-	0,95**	ns
8	0,79**	0,96**	ns	ns	0,99**	0,63**	0,95**	-	ns
9	ns	ns	ns	ns	ns	-0,63*	ns	ns	-

ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

sendo, (1) número de grãos por vagem; (2) número de vagens produtivas por planta; (3) número de vagens vazias por planta; (4) população final de plantas; (5) número de grãos por planta; (6) massa de 1000 grãos; (7) produtividade por área; (8) produtividade por planta; (9) lâmina (mm) aplicada por irrigação.

Estimativa da Evapotranspiração Real (ET_r) pelo método do balanço hídrico do solo e eficiência de uso da água da cultura (EUAC)

Analisando-se os dados das Tabelas 29 a 32, bem como as Figuras 78 a 81, para o segundo ano, verifica-se que os maiores valores de ET_r encontrados no TCA foram 6,1 e 5,4 mm dia⁻¹, respectivamente para PC e PD, enquanto que no Tens foi de 4,9 mm dia⁻¹ para PC e de 5,1 mm dia⁻¹ para PD, ocorrendo esses valores durante o período de floração e enchimento de grãos. Em média, o consumo de água pela cultura foi, entre 33 DAE e 92 DAE, para os tratamentos Tens, cerca de 4,0 mm dia⁻¹ para PC e 4,4 mm dia⁻¹ para PD e, 4,8 mm dia⁻¹ e 4,7 mm dia⁻¹ para PC-TCA e PD-TCA, respectivamente, resultando em consumo total de 238,3 mm (PC-Tens), 289,3 mm (PC-TCA), 266,0 mm (PD-Tens) e 278,5 mm (PD-TCA).

OLIVEIRA & SILVA (1990) verificaram que o maior consumo de água diário pela cultura do feijoeiro foi de 5,3 mm no início da formação de vagens; e o consumo médio no ciclo foi de 3,9 mm dia⁻¹. ANDRADE et al. (2002) verificaram maior ET_r sob plantio direto com valor de 5,93 mm dia⁻¹ por volta dos 62 DAE. De acordo com OLIVEIRA & SILVA (1990) a identificação da evapotranspiração de uma cultura contribui para uma melhor eficiência no manejo da água de irrigação e, conseqüentemente, evita que se coloque à disposição da cultura água em excesso ou em déficit.

Os maiores valores de ET_r encontrados para o TCA (Figuras 78 a 80), podem ser reflexo da maior disponibilidade hídrica ao longo do ciclo da cultura proporcionado por este tratamento (Figuras 12, 13, 20 e 21), uma vez que, segundo VIEIRA et al. (1989), maiores valores de ET_c podem ser uma resposta à ampla disponibilidade hídrica no solo.

Verificando os dados do balanço hídrico completo do solo nas Tabelas 29 a 32, os valores de q indicam baixa taxa de drenagem interna de água para profundidades maiores do que 0,40 m, mesmo nos tratamentos TCA, cujas lâminas aplicadas foram maiores quando comparadas às do método Tens. Isto mostra que na irrigação realizada pelo método TCA praticamente não ocorreu percolação de água para as camadas mais profundas. Os valores de q podem ser considerados insignificantes, não ultrapassando no TCA a 0,1 e 1,4% da ET_r estimada, para PC e PD, respectivamente, enquanto que,

para Tens, esses valores foram de 0,1% para PC e 0,07% para PD, o que configurou um bom controle das lâminas de irrigação aplicadas.

Entretanto, o tratamento Tens de manejo de irrigação dentro do manejo de solo PD, resultou em redução da lâmina aplicada em relação ao TCA sem que ocorresse redução na produtividade de grãos. Como consequência, o consumo de água por quilograma de grão produzido pelas plantas no Tens foi menor do que no TCA. Em grande escala de produção, isto significa melhor utilização dos recursos hídricos disponíveis uma vez que, embora a água, de acordo com RODRIGUES et al. (1997), na maior parte do Brasil, é um recurso relativamente farto, sua utilização deve ser otimizada para atender às diversas demandas, que muitas vezes são conflitantes.

STONE & MOREIRA (2000) estudando os efeitos de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro, verificaram que o sistema plantio direto mais cobertura morta foi o mais eficiente no uso da água, propiciando maiores produtividades com menor quantidade de água aplicada. QUEIROZ et al. (2005) relatam que a eficiência de uso da água é um parâmetro importante na seleção de métodos de aplicação e manejo da água de irrigação, pois indica qual a combinação entre estes fatores que leva à maior produção com o menor consumo.

Ainda para o segundo ano, nas Tabelas 33 a 36 e Figura 82 encontra-se a ETr estimada para os períodos compreendidos entre os três ciclos distintos de desenvolvimento da cultura que são: o desenvolvimento vegetativo (DV), floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M).

Os valores médios de ETr foram, durante o DV, 3,6 mm dia⁻¹ e 3,9 mm dia⁻¹ para PC-Tens e PC-TCA, respectivamente (Tabelas 33 e 34), estando próximos aos 4,1 mm dia⁻¹ de ETc como valor médio desse período (Figura 82); para o mesmo período, os tratamentos PD (Tens e TCA) alcançaram valores em torno de 3,7 mm dia⁻¹ e 3,9 mm dia⁻¹ (Tabelas 35 e 36).

Os maiores valores de ETr ocorreram durante a fase FEG nos tratamentos TCA, 5,6 mm dia⁻¹ e 5,7 mm dia⁻¹ para PC e PD, respectivamente (Tabelas 34 e 36), para uma ETc de 6,1 mm dia⁻¹ (Figura 82) No mesmo período, o PC-Tens apresentou uma ETr de 4,6 mm dia⁻¹ e o PD-Tens de 5,1 mm dia⁻¹ (Tabelas 33 e 35).

Durante a fase M, o maior valor de ETr , 4,4 mm dia⁻¹, ocorreu no tratamento PC-TCA (Tabelas 33 a 36), ficando abaixo da ETc média desse período que foi de 5,0 mm dia⁻¹ (Figura 82).

TABELA 29. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-Tens (segundo ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
DAE	mm 10 dias ⁻¹					mm dia ⁻¹	
33-42	45,2	0,0	0,03	5,44	4,6	35,3	3,5
43-52	21,5	4,4	0,04	0,03	-7,9	33,8	3,4
53-62	52,0	0,3	0,05	1,45	1,6	49,3	4,9
63-72	36,0	15,1	0,07	1,83	1,6	47,8	4,8
73-82	36,2	6,9	0,03	3,62	3,8	35,7	3,6
83-92	17,0	28,4	0,01	1,34	7,7	36,4	3,6

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 30. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-TCA (segundo ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
DAE	mm 10 dias ⁻¹					mm dia ⁻¹	
33-42	47,9	0,0	0,03	6,01	4,9	37,0	3,7
43-52	36,2	4,4	-0,01	2,85	-2,8	40,6	4,1
53-62	72,0	0,3	-0,01	6,62	17,2	48,5	4,9
63-72	35,1	15,1	-0,21	3,95	-6,1	52,2	5,2
73-82	57,3	6,9	-0,06	7,11	-4,0	61,0	6,1
83-92	35,4	28,4	-0,02	4,80	8,9	50,0	5,0

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 31. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-Tens (segundo ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
DAE	mm 10 dias ⁻¹					mm dia ⁻¹	
33-42	44,5	0,0	0,01	5,15	2,9	36,5	3,6
43-52	24,1	4,4	0,06	0,15	-8,6	37,0	3,7
53-62	60,3	0,3	0,00	2,72	4,4	53,4	5,3
63-72	37,5	15,1	0,07	2,35	-0,8	51,2	5,1
73-82	41,2	6,9	0,05	2,81	-4,7	50,1	5,0
83-92	33,9	28,4	0,00	2,23	22,1	37,9	3,8

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 32. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-TCA (segundo ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
DAE	mm 10 dias ⁻¹				mm dia ⁻¹		
33-42	47,8	0,0	-0,20	5,99	4,8	36,9	3,7
43-52	36,2	4,4	-0,28	3,58	-7,0	43,7	4,4
53-62	53,8	0,3	-0,06	4,27	0,9	48,8	5,4
63-72	53,3	15,1	-0,64	5,14	11,6	51,0	4,6
73-82	57,3	6,9	-0,83	8,34	0,7	54,3	5,4
83-92	35,3	28,4	-1,89	7,40	10,6	43,8	4,4

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 33. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-Tens, para os períodos de desenvolvimento vegetativo (DV), floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (segundo ano).

Período	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
	mm período ⁻¹				mm dia ⁻¹		
DV	66,7	4,4	0,07	5,47	-2,2	68,0	3,6
FEG	124,2	22,3	0,16	6,91	2,0	137,7	4,6
M	17,0	28,4	0,01	1,34	11,5	32,6	3,0

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 34. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-TCA, para os períodos de desenvolvimento vegetativo (DV), floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (segundo ano).

Período	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
	mm período ⁻¹				mm dia ⁻¹		
DV	84,1	4,4	0,02	8,87	6,0	73,7	3,9
FEG	164,4	22,3	-0,28	17,68	1,4	167,4	5,6
M	35,4	28,4	-0,02	4,80	10,7	48,2	4,4

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 35. Estimativa da evapotranspiração real, para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-Tens, para os períodos de desenvolvimento vegetativo (DV), floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (segundo ano).

Período	<i>I</i>	<i>P</i>	<i>q</i>	<i>R</i>	ΔA_z	<i>ETr</i>	<i>ETr</i>
	mm período ⁻¹					mm dia ⁻¹	
DV	68,6	4,4	0,06	5,31	-2,9	70,6	3,7
FEG	139,0	22,3	0,12	7,88	-0,4	153,9	5,1
M	33,9	28,4	0,00	2,23	18,6	41,5	3,8

I é a irrigação aplicada, *P* a chuva ocorrida no período, *q* a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), *R* o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 36. Estimativa da evapotranspiração real, para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-TCA, para os períodos de desenvolvimento vegetativo (DV), floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (segundo ano).

Período	<i>I</i>	<i>P</i>	<i>q</i>	<i>R</i>	ΔA_z	<i>ETr</i>	<i>ETr</i>
	mm / Período					mm/dia	
DV	84,1	4,4	-0,47	9,57	3,6	74,9	3,9
FEG	164,3	22,3	-1,52	17,75	-2,2	169,6	5,7
MF	35,3	28,4	-1,91	7,40	20,4	34,1	3,1

I é a irrigação aplicada, *P* a chuva ocorrida no período, *q* a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), *R* o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

Para o terceiro ano (Tabelas 37 a 40 e Figuras 83 a 86), verifica-se que os maiores valores de *ETr* encontrados nos tratamentos TCA foram 6,9 mm dia⁻¹ e 5,9 mm dia⁻¹ (Tabelas 38 e 40), respectivamente para PC e PD, enquanto que no Tens foi de 6,1 mm dia⁻¹ para PC e de 6,3 mm dia⁻¹ para PD (Tabelas 37 e 39), ocorrendo esses valores durante o período de plena floração e enchimento de grãos. Em média, o consumo de água pela cultura foi, entre 41 e 80 DAE, para os tratamentos Tens, cerca de 4,4 mm dia⁻¹ para PC e PD e, 4,9 mm dia⁻¹ e 4,7 mm dia⁻¹ para PC-TCA e PD-TCA, respectivamente, resultando num consumo total de 177,2 mm (PC-Tens), 194,5 mm (PC-TCA), 176,6 mm (PD-Tens) e 186,8 mm (PD-TCA). Os maiores valores de *ETr* encontrados para os tratamentos TCA (Figuras 83 a 85), podem ser reflexo da maior disponibilidade hídrica ao longo do ciclo da cultura (Figuras 15, 16, 26 e 27).

Verificando os dados do balanço hídrico completo do solo nessas mesmas Tabelas, os valores de *q* indicam, assim como no segundo ano, baixa taxa de drenagem

interna de água para profundidades maiores do que 0,40 m, mesmo nos tratamentos TCA, cujas lâminas aplicadas foram maiores quando comparadas às do método Tens. Isto mostra que na irrigação realizada pelo método do TCA praticamente não ocorreu percolação de água para as camadas mais profundas. Os valores de q podem ser considerados insignificantes, não ultrapassando no TCA a 8,4 e 7,5% da ETr estimada, para PC e PD, respectivamente, enquanto que, para Tens, esses valores foram de 5,4% para PC e 6,0% para PD. LIBARDI & SAAD (1994) encontraram uma drenagem interna não superior a 9,6% e a consideraram praticamente inexistente.

CALVACHE et al. (1998), estudando a cultura do feijoeiro no Equador, verificaram que os valores de drenagem profunda obtidos (-6,86 mm) representaram apenas 2% do total de água aplicado por irrigação, evidenciando seu correto manejo. Em termos gerais, o maior consumo de água ocorreu na fase de floração e formação de vagens.

Quando se compara os dados de q , entre o terceiro e o segundo ano, verifica-se que no terceiro ano houve uma influência maior deste fator sobre a estimativa da ETr . Tal comportamento pode ser explicado pelas chuvas ocorridas após os 61 DAE, no terceiro ano.

Ainda para o terceiro ano, nas Tabelas 41 a 44 e Figura 87 encontra-se a ETr estimada para os períodos compreendidos entre os dois ciclos distintos de desenvolvimento da cultura que são a floração e enchimento de grãos (FEG) e a maturação (M). Os maiores valores de ETr ocorreram durante a FEG (à exceção do tratamento PC-Tens) nos tratamentos TCA (5,5 mm dia⁻¹ e 5,0 mm dia⁻¹ para PC e PD, respectivamente – Tabelas 42 e 44) para uma ETc de 5,4 mm dia⁻¹, no mesmo período; o PC-Tens apresentou uma ETr de 4,3 mm dia⁻¹ e o PD-Tens 4,7 mm dia⁻¹ (Tabelas 41 e 43). Durante a fase M, o maior valor de ETr foi encontrado no tratamento PC-Tens (4,6 mm dia⁻¹), ficando acima da ETc (2,1 mm dia⁻¹). Ressalta-se que no período em torno da M ocorreram chuvas que fizeram aumentar a umidade do solo, contribuindo para uma maior taxa de ETr . Na estimativa da ETc pelo TCA, o fator solo (condições momentâneas) não é considerado, resultando em valor de ETc bem abaixo da ETr estimada pelo método do balanço hídrico completo do solo.

Avaliando vários níveis de cobertura do solo, ANDRADE et al. (2002) verificaram

que o maior valor de ETr para a cultura do feijoeiro, cultivar pérola, em Santo Antônio de Goiás, foi de 5,93 mm dia⁻¹ aos 62 DAE, para uma cobertura do solo de 50%. Obtiveram, ainda, uma relação linear negativa entre cobertura do solo e ETr , uma vez que, segundo eles, a palhada na superfície do solo altera a relação solo-água, pois previne a evaporação reduzindo, assim, a taxa de evapotranspiração das culturas, o que propiciou aumento do intervalo entre irrigações, diminuindo a frequência do uso desta tecnologia. De acordo com SILVA et al. (2006), os resíduos culturais (palha) depositados na superfície protegem o solo contra o aquecimento excessivo e a perda de água, modificando vários processos físicos, químicos e biológicos. A palha revela alta refletividade da radiação solar e baixa condutividade térmica.

STONE et al. (2006) verificaram que as lâminas totais de água aportadas à cultura do feijoeiro foram de 460,4 mm e 437,7 mm, no primeiro e no segundo ano, respectivamente (2003 e 2004). As perdas de água por drenagem, no primeiro ano, variaram de 31,4% do total da água aplicada por irrigação e precipitação pluvial, no caso da cobertura de estilosantes, a 46,6%, na cobertura de braquiária solteira. No segundo ano, elas foram similares em termos porcentuais, tendo variado de 29,9% a 43,3%, para essas mesmas coberturas. Os maiores valores de ET foram encontrados para as fases compreendidas entre a pré-floração e enchimento de vagens.

TABELA 37. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-Tens (terceiro ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
DAE	mm 10 dias ⁻¹					mm dia ⁻¹	
41-50	67,0	21,5	-1,95	27,59	-1,9	60,9	6,1
51-60	11,5	16,4	-0,49	0,14	-0,5	27,8	2,8
61-70	20,6	71,3	-2,59	16,86	17,9	54,4	5,4
71-80	0,0	52,8	-4,57	30,22	-16,1	34,1	3,4

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 38. Estimativa da evapotranspiração real (E_{Tr}), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-TCA (terceiro ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	E_{Tr}	E_{Tr}
DAE	mm 10 dias ⁻¹					mm dia ⁻¹	
41-50	66,6	21,5	-1,41	27,57	-9,7	68,8	6,9
51-60	27,1	16,4	-0,41	0,53	0,4	42,1	4,2
61-70	39,6	71,3	-7,87	29,55	26,2	47,3	4,7
71-80	0,0	52,8	-6,68	31,08	-21,3	36,3	3,6

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 39. Estimativa da evapotranspiração real (E_{Tr}), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-Tens (terceiro ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	E_{Tr}	E_{Tr}
DAE	mm 10 dias ⁻¹					mm dia ⁻¹	
41-50	67,7	21,5	-2,11	28,98	-4,6	62,7	6,3
51-60	20,9	16,4	-0,39	1,90	1,4	33,5	3,4
61-70	14,7	71,3	-4,40	15,99	19,2	46,4	4,6
71-80	0,0	52,8	-3,70	30,13	-15,0	34,0	3,4

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 40. Estimativa da evapotranspiração real (E_{Tr}), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-TCA (terceiro ano).

Períodos	I	P	q	R	ΔA_z	E_{Tr}	E_{Tr}
DAE	mm 10 dias ⁻¹					mm dia ⁻¹	
41-50	69,5	21,5	-2,40	29,07	1,5	58,0	5,8
51-60	27,2	16,4	-1,30	1,78	1,8	38,7	3,9
61-70	44,0	71,3	-6,30	36,05	14,4	58,5	5,9
71-80	0,0	52,8	-3,93	30,34	-13,1	31,6	3,2

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 41. Estimativa da evapotranspiração real (E_{Tr}), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-Tens, para os períodos de floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (terceiro ano).

Período	I	P	q	R	ΔA_z	E_{Tr}	E_{Tr}
	mm período ⁻¹					mm dia ⁻¹	
FEG	78,5	37,8	-2,48	27,72	-8,4	94,6	4,3
M	20,6	124,1	-7,13	47,08	7,8	82,6	4,6

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 42. Estimativa da evapotranspiração real (ETr), para a cultura do feijoeiro, no tratamento PC-TCA, para os períodos de floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (terceiro ano).

Período	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
	mm período ⁻¹					mm dia ⁻¹	
FEG	133,4	37,8	-1,95	39,42	8,7	121,1	5,5
M	0,0	124,1	-14,41	49,31	-13,1	73,5	4,1

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 43. Estimativa da evapotranspiração real, para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-Tens, para os períodos de floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (terceiro ano).

Período	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
	mm período ⁻¹					mm dia ⁻¹	
FEG	88,6	37,8	-2,52	30,88	-9,8	102,8	4,7
M	14,7	124,1	-8,07	46,12	10,8	73,8	4,1

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

TABELA 44. Estimativa da evapotranspiração real, para a cultura do feijoeiro, no tratamento PD-TCA, para os períodos de floração e enchimento de grãos (FEG) e maturação (M) (terceiro ano).

Período	I	P	q	R	ΔA_z	ETr	ETr
	mm / Período					mm/dia	
FEG	140,7	37,8	-4,04	48,85	14,8	110,8	5,0
M	0,0	124,1	-9,90	48,40	-10,2	76,0	4,2

I é a irrigação aplicada, P a chuva ocorrida no período, q a drenagem profunda (-) ou ascensão capilar (+), R o escoamento superficial e ΔA_z a variação do armazenamento de água no solo.

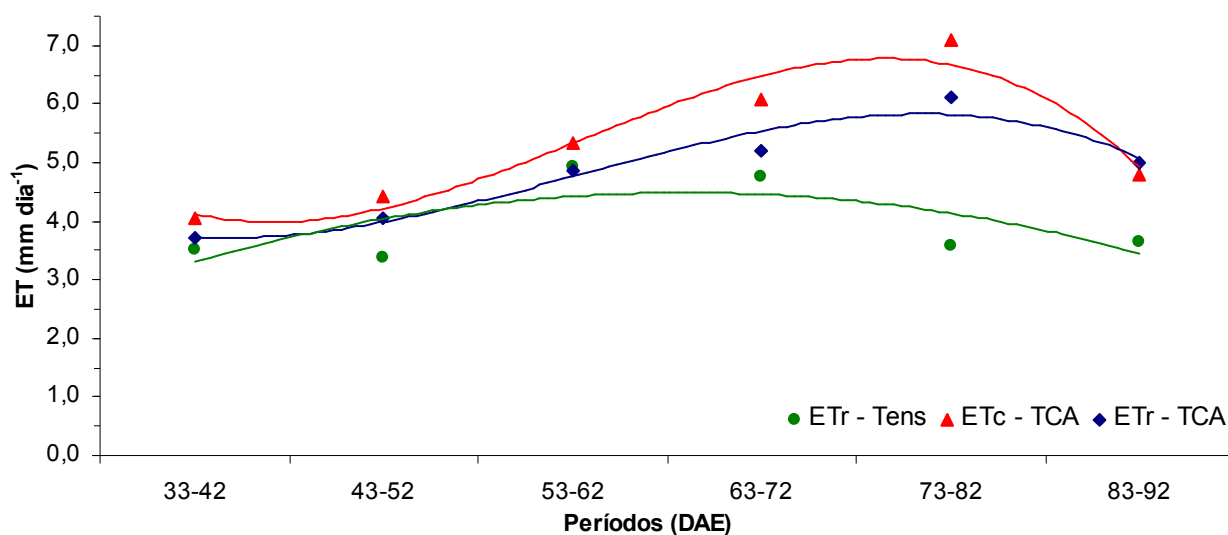


FIGURA 78. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para o PC (segundo ano).

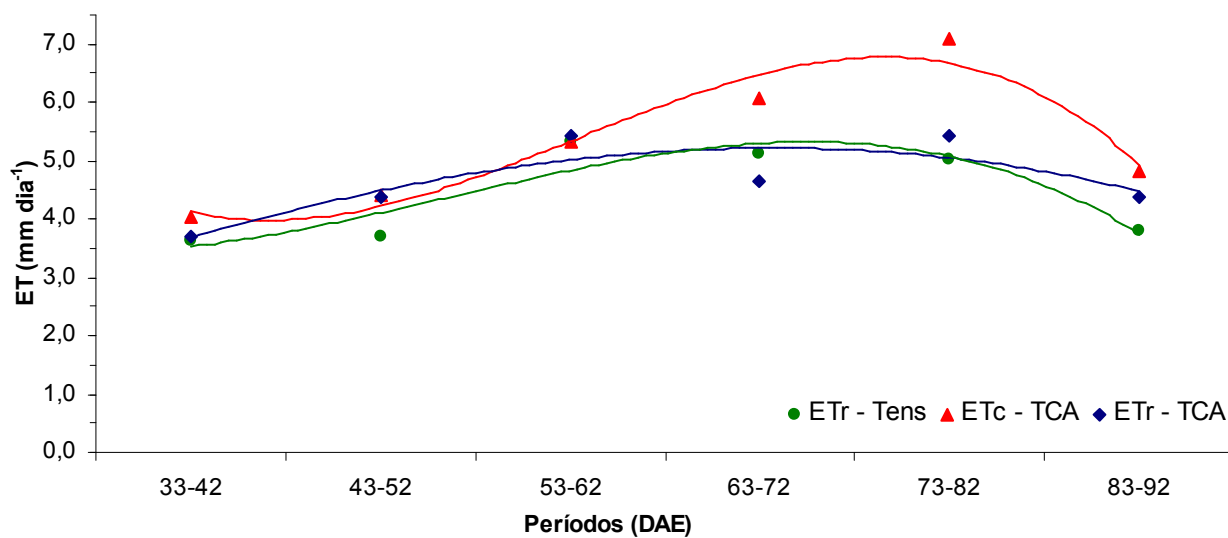


FIGURA 79. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para o PD (segundo ano).

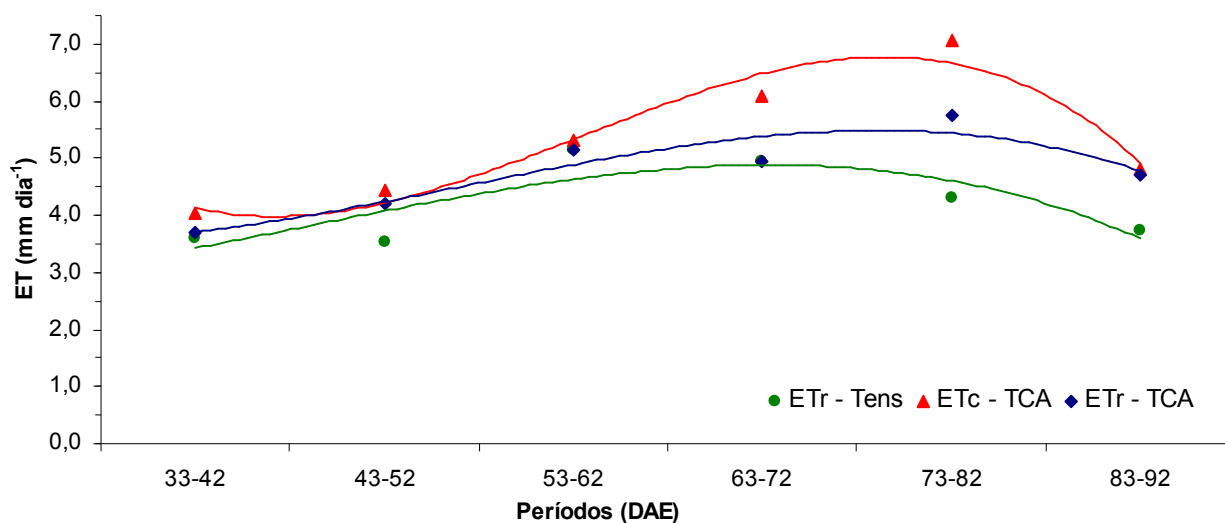


FIGURA 80. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para a média entre PC e PD (segundo ano).

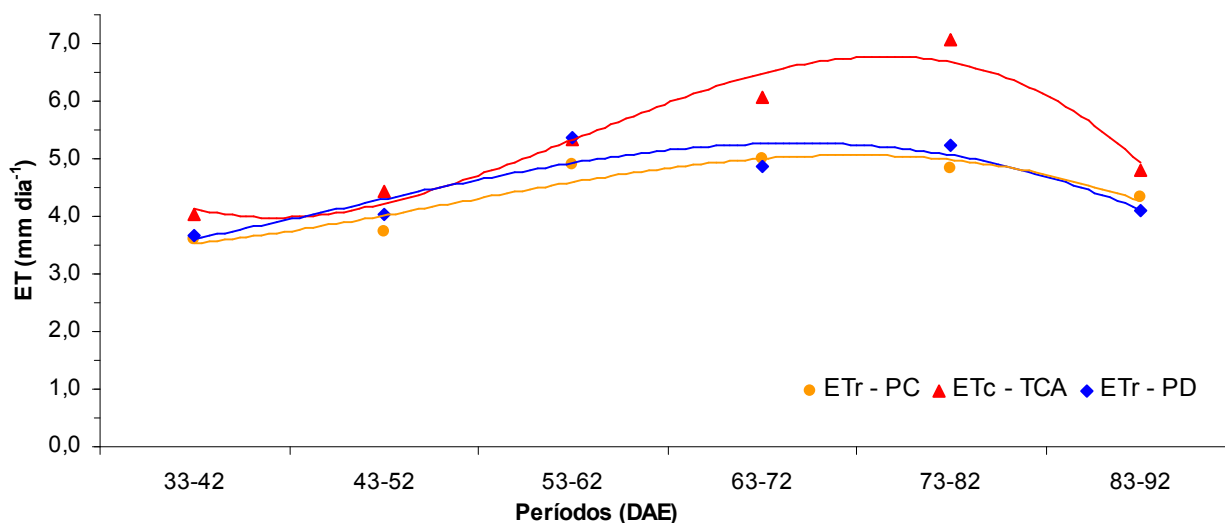


FIGURA 81. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para a média entre Tens e TCA (segundo ano).

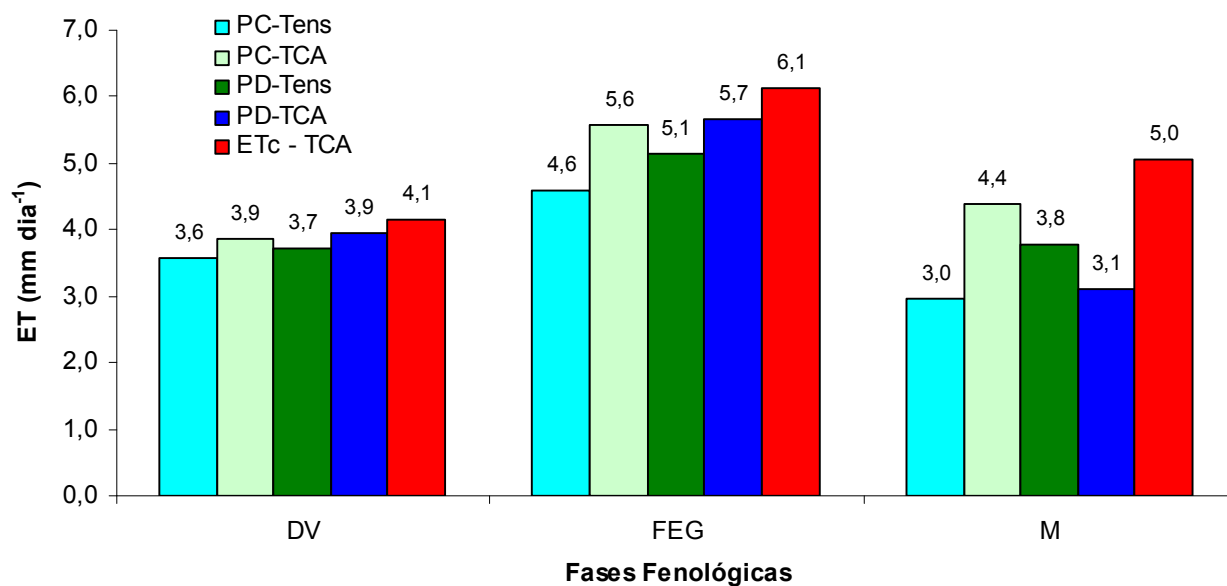


FIGURA 82. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço hídrico climatológico simplificado, para as fases fenológicas DV, FEG e M (segundo ano).

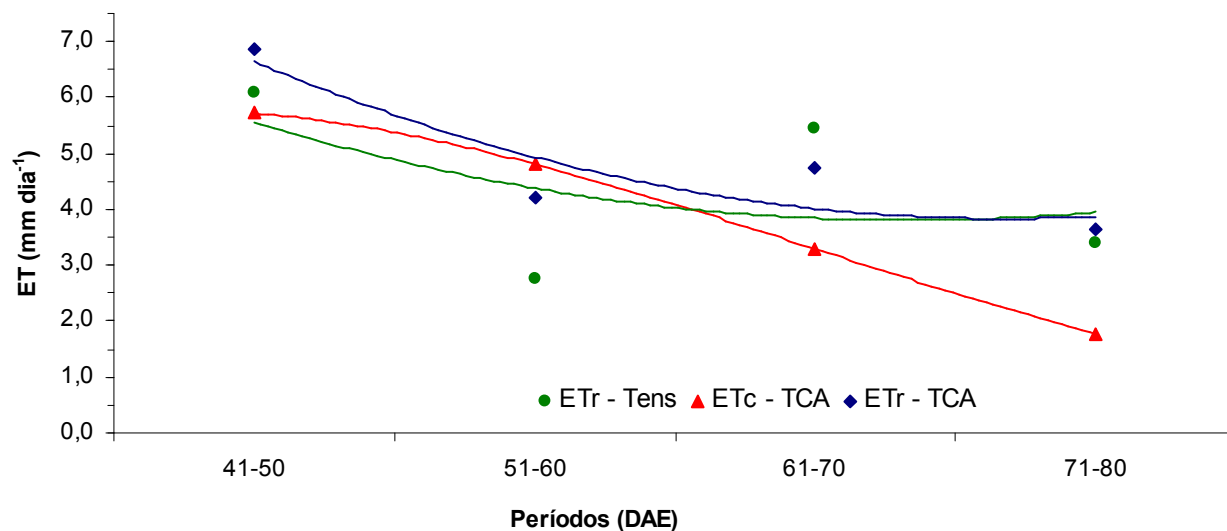


FIGURA 83. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para o PC (terceiro ano).

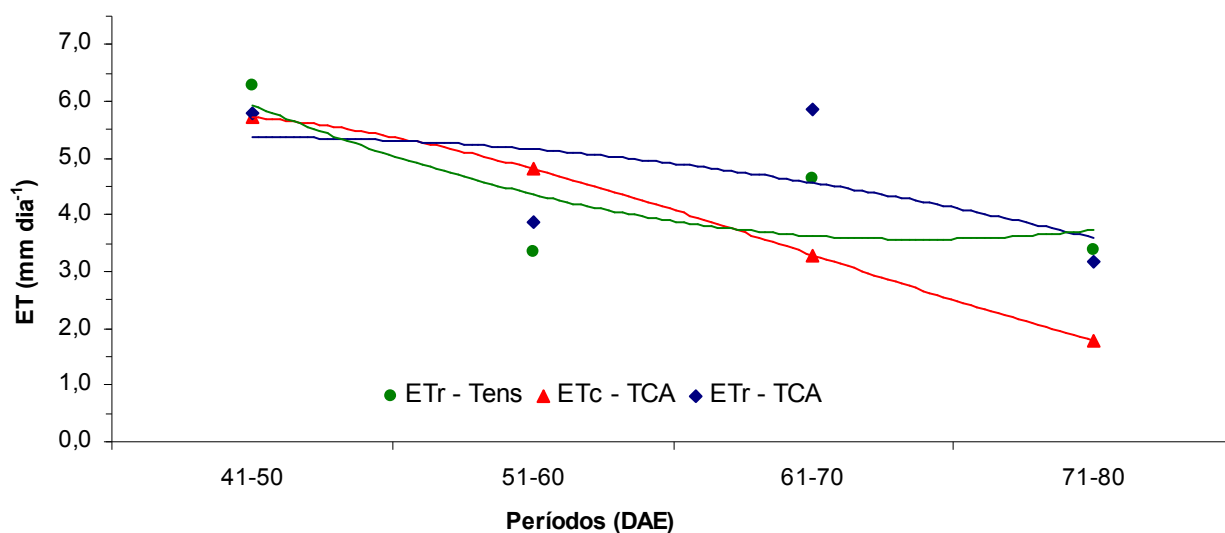


FIGURA 84. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para o PD (terceiro ano).

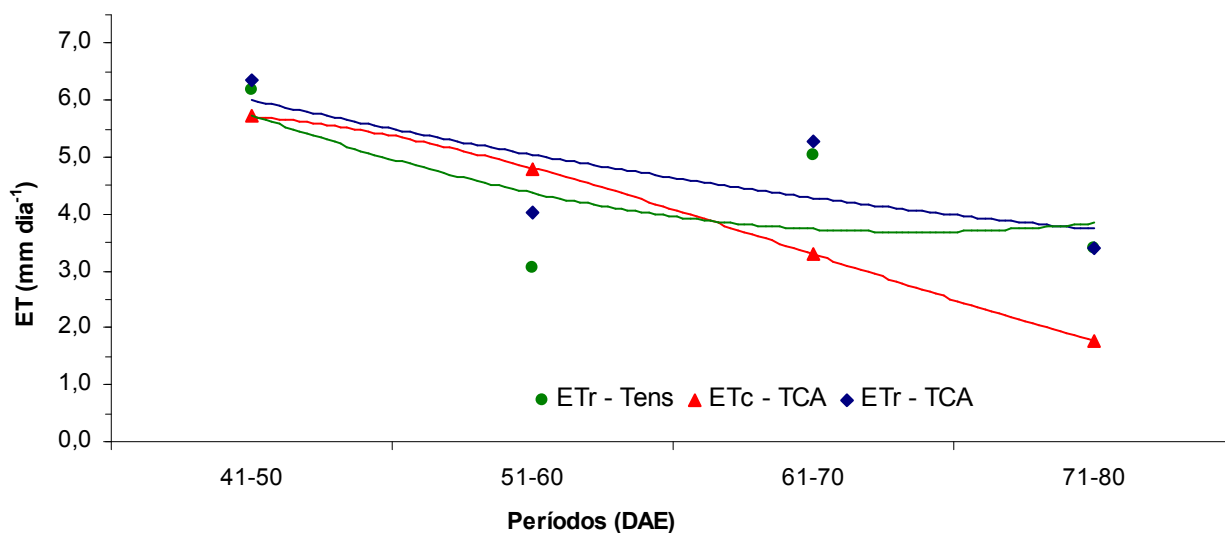


FIGURA 85. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para a média entre PC e PD (terceiro ano).

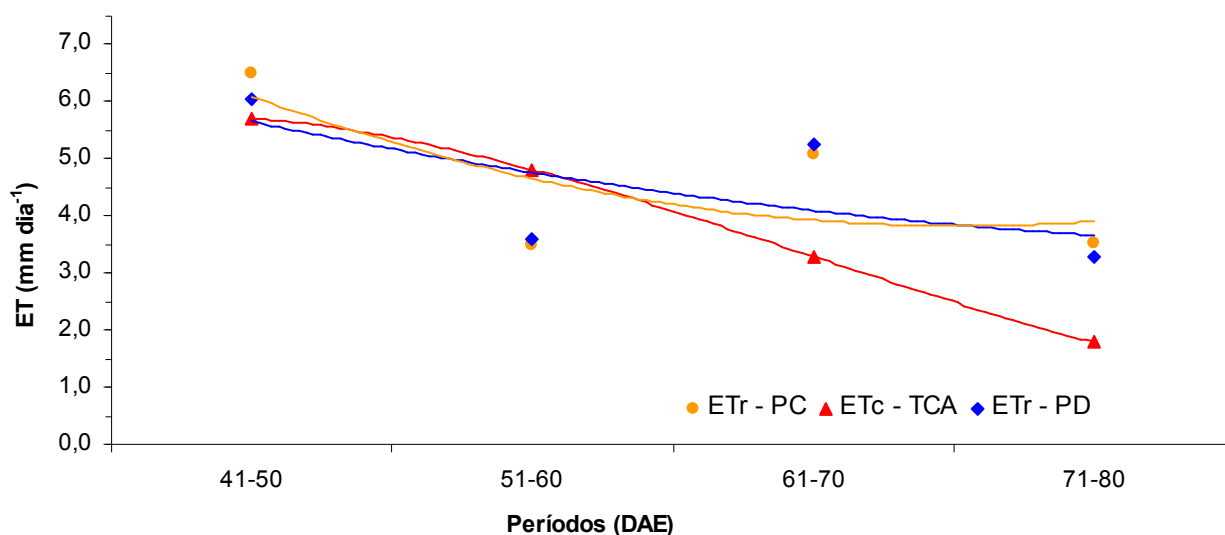


FIGURA 86. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço climatológico simplificado, para a média entre Tens e TCA (terceiro ano).

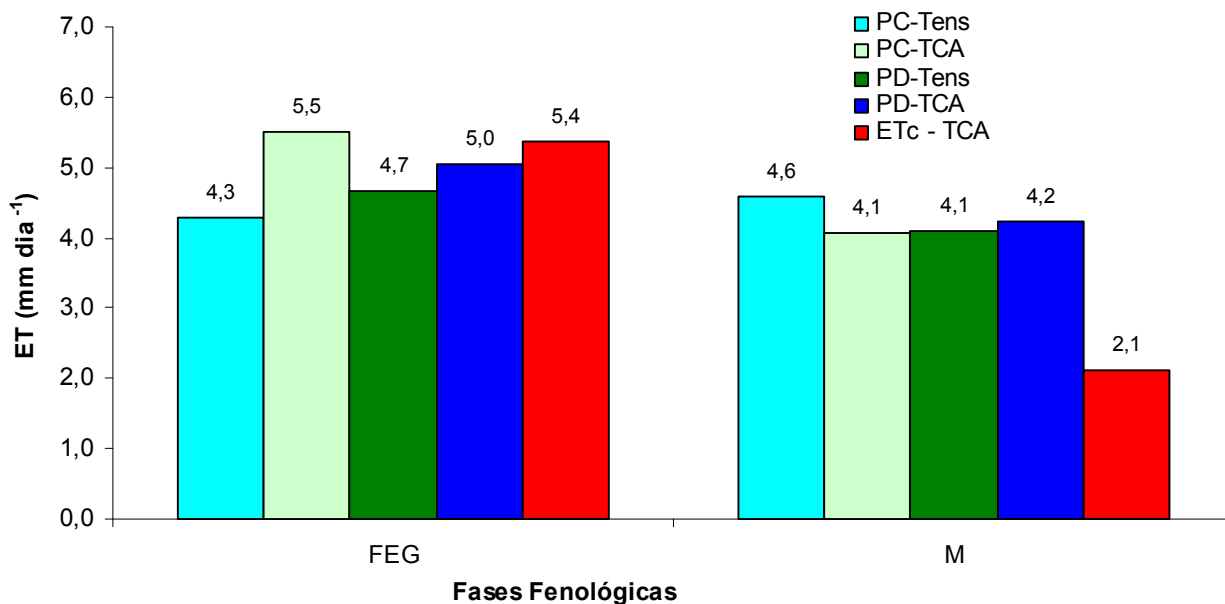


FIGURA 87. Evapotranspiração real (ETr) estimada pelo método do balanço hídrico do solo e evapotranspiração da cultura (ETc) estimada pelo método do balanço hídrico climatológico simplificado, para as fases fenológicas FEG e M (terceiro ano).

Tão importante como analisar os dados de ETr de maneira pontual e absoluta, é avaliar o comportamento da ETr ao longo do ciclo da cultura. Isto porque, existem erros embutidos nas estimativas dos parâmetros que compõem o balanço hídrico completo do solo. Segundo PACHECO et al. (1994), a variabilidade espacial dos dados de gradiente de potencial total é muito alta, a ponto de comprometer o uso da equação de Darcy na estimativa de fluxos de água no solo em condições de campo e, ainda, segundo REICHARDT & TIMM (2004), o fato das equações de $K(\theta)$ serem exponenciais podem oferecer margem a grandes erros em K para muitos pequenos erros em θ , relatando que um erro de 2% no valor de θ_0 pode resultar em variações de K_0 acima de 50%. Em virtude disto, optou-se por apresentar os dados juntamente com a tendência que melhor as representam (Figuras 78 a 81 e 83 a 86). Outro fator importante está na periodicidade das estimativas de ETr ; quanto mais curto for os períodos (intervalos) das estimativas, maior poderá ser o erro uma vez que, em períodos maiores, o efeito de uma chuva e/ou irrigação, por exemplo, são diluídos. Como pode ser observado nas Tabelas de 29 a 32 e 37 a 40, os períodos foram de 10 dias.

Já, nas Tabelas 33 a 36 e 41 a 44 e nas Figuras 82 e 87, observam-se os dados apresentados por fase fenológica da cultura o que, de maneira mais racional, pode representar melhor o comportamento da ETr na cultura do feijoeiro, com as nuances imediatas (diárias) amenizadas e diluídas dentro das fases fenológicas da cultura.

Analisando de forma global os resultados de EUAC e ETr (Tabela 45) para manejo de irrigação (segundo ano), verifica-se que em média, a ETr foi maior no TCA do que no do que no Tens, assim como a produtividade média de grãos (Tabela 19) no TCA ($0,31 \text{ kg m}^{-2}$) também foi maior do que no Tens ($0,23 \text{ kg m}^{-2}$), resultando em maior EUAC para TCA. Isto indica que a maior disponibilidade de água no solo ao longo do ciclo da cultura (Figuras 12, 13 e 20 e Tabelas 7 e 8) proporcionada pelo TCA, resultou em maior evapotranspiração das plantas (13%) que reverteu em aumento relativo da produtividade de grãos mais do que proporcional (35%) ao aumento relativo da evapotranspiração, o que resultou no aumento da EUAC neste tratamento.

TABELA 45. Evapotranspiração real média do ciclo (ETr) e eficiência de uso de água pela cultura do feijoeiro (EUAC), segundo ano.

Tratamentos	Tens		TCA		Média	
	ETr (mm d ⁻¹)	EUAC (kg m ⁻³)	ETr (mm d ⁻¹)	EUAC (kg m ⁻³)	ETr (mm d ⁻¹)	EUAC (kg m ⁻³)
PC	4,0	0,52	4,8	0,77	4,4	0,64
PD	4,4	0,69	4,7	0,65	4,5	0,67
Média	4,2	0,60	4,8	0,71	4,5	0,66

Avaliando-se o efeito do manejo do solo, verifica-se um acréscimo de apenas 3% na *ETr* do PD em relação ao PC, o que resultou também em acréscimo relativo de 5% na EUAC. Esta pequena diferença, embora positiva, pode ser explicada pelo pouco tempo de aplicação do PD na área (2 anos), com sucessão de culturas milho-feijão.

Dentro do PC verificou-se maior variabilidade dos valores de *ETr* entre os manejos de irrigação, que foi 21% maior no PC-TCA do que no PC-Tens, enquanto que no PD a diferença entre Tens e TCA foi de apenas 5% a favor do PD-TCA. Da mesma forma os valores de EUAC evidenciam a maior variabilidade do PC, uma vez que sob manejo Tens este sistema de manejo do solo resultou na menor EUAC, enquanto que sob TCA foi a maior eficiência de uso de água entre todos os tratamentos. O PC-TCA superou em 48% a EUAC do PD-Tens. No PD a variação na EUAC foi de apenas 6% a favor do PD-Tens. A análise global destes resultados ratifica a maior estabilidade que o PD conferiu ao sistema o que resultou em menor variabilidade de produtividade e em produtividade médias mais elevadas.

Para o terceiro ano, os resultados de EUAC e *ETr* (Tabela 46) para manejo de irrigação, verifica-se que em média, a *ETr* foi maior no TCA do que no do que no Tens; a produtividade média de grãos (Tabela 26) no TCA também foi maior do que no Tens (0,16 kg m⁻²) dentro de PC, com resultado inverso dentro de PD, resultando em maior EUAC para os tratamentos PD-Tens e PC-TCA. Isto indica que a maior disponibilidade de água no solo ao longo do ciclo da cultura (Figuras 15, 16 e 26 e Tabelas 9 e 10) proporcionada pelo TCA, resultou em maior evapotranspiração das plantas (11%) que reverteu em aumento relativo da produtividade de grãos, em PC, mais do que proporcional (44%) ao aumento relativo da evapotranspiração, o que resultou no

aumento da EUAC neste tratamento. Já, para PD, o aumento da *ETr* entre Tens e TCA não refletiu em aumento de produtividade, havendo, inclusive, em redução da mesma em 21,7%, resultando em menor eficiência de uso da água.

TABELA 46 Evapotranspiração real média do ciclo (*ETr*) e eficiência de uso de água pela cultura do feijoeiro (EUAC), terceiro ano.

Tratamentos	Tens		TCA		Média	
	<i>ETr</i> (mm d ⁻¹)	EUAC (kg m ⁻³)	<i>ETr</i> (mm d ⁻¹)	EUAC (kg m ⁻³)	<i>ETr</i> (mm d ⁻¹)	EUAC (kg m ⁻³)
PC	4,4	0,38	5,2	0,47	4,8	0,42
PD	4,5	0,50	4,9	0,36	4,7	0,43
Média	4,5	0,44	5,0	0,41	4,7	0,43

Avaliando-se o efeito do manejo de solo, verifica-se uma redução de apenas 1,6% na *ETr* do PC em relação ao PD, o que resultou também em acréscimo relativo de 1,2% na EUAC, com vantagem para PD. Esta pequena diferença, embora positiva, pode ser explicada pelo pouco tempo de aplicação do PD na área (3 anos), com sucessão de culturas milho-feijão, e pela cultivar utilizada ser do tipo precoce, possibilitando pouco tempo de avaliação entre os tratamentos neste terceiro ano.

Dentro do PC verificou-se maior variabilidade dos valores de *ETr* entre os manejos de irrigação, que foi 18,9% maior no PC-TCA do que no PC-Tens, enquanto que no PD a diferença entre Tens e TCA foi de apenas 6,9% a favor do PD-TCA. Para a EUAC, a maior variabilidade se deu dentro de PD, com superioridade para PD-Tens, que apresentou o maior valor, cerca de 36,6% a mais do que o PD-TCA. Dentro de PC o comportamento foi inverso, com melhor EUAC para o tratamento TCA. O PC-TCA superou em 21,4% a EUAC do PC-Tens. No PD a variação na EUAC foi de apenas 6% a favor do PD-Tens.

V. CONCLUSÕES

- Os sistemas de manejo do solo e irrigação condicionam entre si desenvolvimento semelhante das plantas de feijoeiro para massa seca da parte aérea e número de órgãos vegetativos e reprodutivos ao longo do ciclo da cultura;
- Os melhores resultados de componentes de produtividade foram encontrados para as combinações plantio convencional com manejo de irrigação pelo método do tanque Classe “A” e sistema plantio direto com manejo de irrigação pelo método de tensiometria;
- O manejo de irrigação pelo tanque Classe “A” proporcionou, em relação ao manejo por tensiometria, maior área foliar na cultura do feijoeiro no segundo ano, mas no terceiro ano os manejos não se diferenciaram;
- O manejo de irrigação baseado no tanque Classe “A” proporcionou maiores lâminas de irrigação e valores de evapotranspiração real e manteve o solo com maior umidade média na camada de 0 cm a 40 cm de profundidade;
- As lâminas de irrigação aplicadas foram semelhantes entre os sistemas de manejo do solo, não sendo verificados déficits hídricos importantes em todos os tratamentos analisados;
- Os manejos de irrigação por tensiometria e pelo tanque Classe “A” são bons métodos para o manejo da irrigação na cultura do feijoeiro, indicando que o método de manejo de irrigação a ser utilizado deve levar em consideração o sistema de manejo do solo;

- A melhor eficiência de uso da água foi encontrada para o plantio convencional com manejo de irrigação pelo método do tanque Classe “A” e sistema plantio direto com manejo de irrigação por tensiometria.

VI. REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de norma 04:015.08-008: **Métodos de ensaio para determinação da uniformidade de distribuição de água em equipamentos de irrigação mecanizada (pivô central e lateral móvel), providos de emissores fixos ou rotativos.** São Paulo, rascunho. 1998, 13p.

AGRIANUAL: **anúário estatístico da agricultura brasileira.** São Paulo: FNP/M&S, 2003. p.345-350.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. ETc – single crop coefficient (Kc) In: _____. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements.** Roma: FAO, 1998a. p.103-134. (Irrigation and Drainage, 56).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. ETc under soil water stress conditions In: _____. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements.** Roma: FAO, 1998b. p.161-182. (Irrigation and Drainage, 56).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Pan evaporation method. In: _____. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements.** Roma: FAO, 1998c. p.78-85, (Irrigation and Drainage, 56).

ALOISI, R.; DEMATTÊ, J.L.I. Levantamento dos solos da Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal. **Científica**, Jaboticabal, v. 2, n. 2, p.123-136, 1974.

AMBROSANO, E.J.; WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A.; CANTARELLA, H. Feijão. In: VAN RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** 2 ed. Campinas: IAC, 1996. p.194-

195. (Boletim Técnico, 100).

ANDRADE, C.L.T.; SANS, L.M.A.; COUTO, L.; FERREIRA, P.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapotranspiração da cultura do milho em função da disponibilidade de água em um latossolo vermelho-escuro argiloso álico da região de sete lagoas (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p.351-356, 1991.

ANDRADE, R.S.; MOREIRA, J.A.A., STONE, L.F.; CARVALHO, J.A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.6, n.1. p.35-38. 2002.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1999, Brasília, **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p.131-138, 2004.

AZEVEDO, J.A.; CAIXETA, T.J. **Irrigação do feijoeiro**. Brasília: EMBRAPA, 1986. 60p. (Circular Técnica, 23).

BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1989. 247p.

BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 7. p.1317-1324. 2000.

BENINCASA, M.M.P.; BENINCASA, M.; LATANZE, R.J.; JUNQUETTI, M.T.G. Método não destrutivo para estimativa da área foliar de *Phaseolus vulgaris* L. (feijoeiro). **Científica**, Jaboticabal, v. 4, n. 1, p.43-48. 1976.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV. ed. 7. 2005. 611p.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: UFV. 2006. 120p.

CALEGARI, A. et. al. Culturas, sucessões e rotações In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; NOVACHINSKI, J.R.; FONTES, C.Z. **Plantio direto**: Coleção 500 perguntas – 500 respostas. Brasília: EMBRAPA, 1998. v. 1, p.60-80.

CALHEIROS, C.B.M.; QUEIROZ, J.E.; FRIZZONE, J.A.; PESSOA, P.C.S. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p.509-515, 1996.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. imbabello. **Scientia Agricola**. v. 55, n. 3 p. 485-497. 1998.

CANALLI, L.B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p.99-104, 1997.

CARDOSO, S.S. **Efeito do parcelamento do nitrogênio aplicado por fertirrigação na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado por pivô central**. 1998. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

CARVALHO, D.F.; PRUSKI, F.F.; CAIXETA, T.J. Desempenho econômico do cultivo do feijão em condições de irrigação adequada e deficiente. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 45, n. 257, p.5-11, 1998.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI: IPH-UFRGS, s.d. 216p.

CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, n. 1. p. 137-147. 2006.

COSTA, L.M.; JUCKSCH, I. Plantio direto ou direito? **Seiva**, Viçosa, v. 50, n. 99, p.18-19, 1991.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Avaliação da safra agrícola 2005/2006 (nono levantamento)**. Disponível em www.conab.gov.br. Acesso em 25 Agosto 2006.

CRUCIANI, D.E.; MAIA, P.C.S.; PAZ, V.P.S.; FRIZZONE, J.A. Fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por sistema de irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p.63-67, 1998.

CURY, B. **Por que fazer plantio direto**. Grupo Plantio Direto, 2000. p.9-15. (Guia para Plantio Direto).

DEL PELOSO, M.J.; YOKOYAMA, L.P.; PEREIRA, P.A.A. Situação atual da cultura do feijão no Brasil. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção de feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Agricultura, 1997. 158p.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn. 1991. 254p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193p (Irrigation and Drainage, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1976, 194p. (Riego y Drenaje, 24).

DOPPLER, W. Plant research and development. In:_____. **Irrigation as basis for development**. Tubingem: Institute for Scientific Cooperation, 1983. p.26-38.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 385p.

DOURADO NETO, D.; ITO, M.A. Panorama atual da cultura do feijão. In: CASTRO, J.L.; ITO, M.F. (Coords.). DIA DE CAMPO DE FEIJÃO, 2005, p. 5-12. Capão Bonito, **Anais...** Campinas: IAC, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA **Normais Climatológicas FCAV/UNESP**. Disponível em: www.fcav.unesp.br/departamentos/exatas/estacao/normal.html, acesso em 30 de março de 2003.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; PENARIOL, F.G.; EGÉA, M.M.; GASPAROTO, M.G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p.307-312, 2006.

FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1986.

GARCIA, A. **Utilização da temperatura do dossel, na estimativa de índices de estresse hídrico para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 135f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

GOMES, A.A.; ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p.1927-1937, 2000.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, n. 2. p. 277-286. 2005.

GUERRA, A.F.; SILVA, D.B.; RODRIGUES, G.C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p.1229-1236, 2000.

GUIMARÃES, C.M.; BRUNINI, O.; STONE, L.F. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca (I. Densidade e eficiência radicular). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p.393-399, 1996.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p.97-104, 2000.

LEMOS, L.B.; OLIVEIRA, R.S.; PALOMINO, E.C.; SILVA, T.R.B. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p.319-326, 2004.

LI-COR. LAI-2000: Plant Canopy Analyzer. **Instruction Manual**. 1992. 172p.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Edusp, 2005, 335p.

LIBARDI, P. L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p.529-532, 1994.

LOPES, A.S.; PAVANI, L.C., CORA, J.E.; ZANINI, J.R.; MIRANDA, H.A. Manejo da

irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**. v. 24, n. 1. p.89-100. 2004.

LOUREIRO, B.T.; MACHADO, P.B.; DENÍCULI, W.; FERREIRA, P.A. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro-comum. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 37, n. 211, p.215-226, 1990.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação – princípios e métodos**. Viçosa: UFV. 2006. 318p.

MARIOT, E.J. Ecofisiologia do feijoeiro. In: IAPAR. **O feijão no Paraná**. Londrina, 1989. p.25-42.

MEDEIROS, G.A.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E.; FUGIWARA, M.; BONI, N.R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p.1733-1742, 2000.

MEIRA, F.A.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p.383-388, 2005.

MEIRELES, E.J.L.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, F.J.P. Risco climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia**. v. 62, n. 1, p. 163-171. 2003a.

MEIRELES, E.J.L., STONE, L.F., XAVIER, L.S.; MOREIRA, J.A.A. Risco climático do feijão da seca no Estado de Goiás, sob preparo de solo convencional e plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 7, n. 1. p. 116-120. 2003b.

MIRANDA, L.N.; AZEVEDO, J.A.; MIRANDA, J.C.C.; GOMES, A.C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p.703-710, 2000.

MIRANDA, J.H.; GONÇALVES, A.C.; CARVALHO, D.F. Água e solo In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**, 1, Piracicaba: SBEA, 2001. p.1-62. (Série Engenharia Agrícola).

MOLINA, J.P. **Caracterização morfométrica e hidráulica de cápsulas porosas utilizadas no aparelho IRRIGÁS® – Embrapa**. 2002. 51f. monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

MOREIRA, J.A.A.; AZEVEDO, J.A.; STONE, L.F.; CAIXETA, T.J. Irrigação. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro - fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.317-340.

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

OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p.317-322, 1990.

OLIVEIRA, L.F.C.; NASCIMENTO, J.L.; STONE, L.F. Demanda total de água do feijoeiro nos sistemas de plantio convencional e direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2000, Fortaleza. **Anais...** 2000.

OLIVEIRA, M.L.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 9, n. 4. p. 535-539. 2005.

OLIVEIRA, T.K., CARVALHO, G.J.; MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,

v. 37, n. 8, p.1079-1087, 2002.

PACHECO, F.B.P., REICHARDT, K., TUON, R.L.; BACCHI, O.O.S.; VILLAGRA, M.M. Variabilidade espacial e temporal do potencial mátrico da água em terra roxa estruturada. **Scientia Agricola**. v. 51, n. 2. p. 327-334. 1994.

PAGGIARO, E. **Efeito de sistemas de preparo do solo em propriedades físicas e químicas de um Latossolo Roxo cultivado com a seqüência milho - girassol**. 1992. 62f. monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1992.

PANIGRAHI, B.; PANDA, S.N. Field test a soil water balance simulation model. **Agricultural Water Management**, v. 58, p.223-240, 2003.

PAZ, V.P.S.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A.; FOLEGATTI, M.V. Redução da receita líquida por déficit ou excesso de água na cultura do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 9, p.869-875, 1997.

PAZZETTI, G.A.; OLIVA, M.A.; LOPES, N.F. Aplicação da termometria ao infravermelho à irrigação do feijoeiro: (crescimento e produtividade). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 12, p.1371-1377, 1993.

PEITER, M.X.; CHAUDHRY, F.H.; CARLESSO, R. Programação do manejo da irrigação de milho via modelo de simulação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p.53-63, 1999.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PESSOA, A.C.S.; KELLING, C.R.S.; POZZEBON, E.J.; KÖNIG, O. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p.69-74, 1996.

PIMENTA, H.S., FANCELLI, A.L., DOURADO NETO, D. Modelo matemático para estimar o acúmulo de matéria seca e prever as épocas do florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de feijão. **Scientia Agricola**. v. 56, n. 4. p. 915-920. 1994.

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e de trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p.153-162, 1991.

PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; FOLEGATTI, M.V. Necessidades hídricas das culturas e manejo de irrigação In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. **Irrigação**, 1. Piracicaba: SBEA, 2001. p.121-194. (Série Engenharia Agrícola).

PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.101-138.

POZZEBON, E.J.; CARLESSO, R.; KELLING, C.; PESSOA, A.C.S.; KÖNIG, O. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea do feijoeiro em resposta à irrigação, fertirrigação e micronutrientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p.191-196, 1996.

POZZEBON, E.J.; CARLESSO, R.; KÖNIG, O.; PESSOA, A.C.S.; KELLING, C. Acumulação de nutrientes no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p.157-161, 1997.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2 ed. 2006. 87p.

QUEIROZ, J.E.; CALHEIROS, C.B.; PESSOA, P.C.S.; FRIZZONE, J.A. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p.55-61, 1996.

QUEIROZ, T.M.; CARVALHO, J.A.; RABELO, G.F.; ANDRADE, M.J.B. Avaliação de sistema alternativo de automação da irrigação do feijoeiro em casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**. v. 25, n. 3, p. 632-641. 2005.

RAMOS JUNIOR, E.U.; LEMOS, L.B.; SILVA, T.R.B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**. v. 64, n. 1, p. 75-82. 2005.

RAPASSI, R.M.A.; SÁ, M.E.; TARSITANO, M.A.A.; CARVALHO, M.A.C.; PROENÇA, É.R.; NEVES, C.M.T.C.; COLOMBO, E.C.M. Análise econômica comparativa após um ano de cultivo do feijoeiro irrigado, no inverno, em sistemas de plantio convencional e direto, com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Bragantia**. v. 62, n. 3, p. 397-404. 2003.

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

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera – conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole. 2004. 478p.

ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, H.M. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 7, n. 2. p. 263-268. 2003.

RODRIGUES, L.N.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C. O modelo de Ritchie na determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 252, p.191-204, 1997.

S.A.S. **Statistical analysis system**: SAS procedures guide version 6.11. Cary, NC, 1991.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: IPT, 1992. 27p.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação In: MIRANDA, J.H.; PIRES,

R.C.M. **Irrigação**, 1. Piracicaba: SBEA. 2001 p.63-120 (Série Engenharia Agrícola).

SILVA, A.P., IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agrícola**. v. 61, n. 4. p. 451-456, 2004a.

SILVA, M.G.; ARF, O.; SA, M.E.; RODRIGUES, R.A.F.; BUZETTI, S. Nitrogen fertilization and soil management of winter common bean crop. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 61, n. 3 p.307-312. 2004b.

SILVA, M.L.N.; BAHIA, V.G.; BARROSO, D.G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p.44-50, 1992.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, n. 3. p. 391-399. 2006.

SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F.; SILVA, J.G. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotação de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p.257-263, 2001.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: EMBRAPA, 1994. 46p. (Circular Técnica, 27).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p.157-162, 2002.

SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C.; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, n. 2. p.259-266. 2006.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p.835-841, 2000.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p.473-481, 2001.

STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo de água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 6, p.939-954, 1994.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeito do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p.83-91, 1999.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; BRAZ, A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p.577-582, 2006.

TENNAKOON, S.B.; HULUGALLE, N.R. Impact of crop rotation and minimum tillage on water use efficiency of irrigated cotton in a Vertisol. **Irrigation Science**, Berlin, DOI 10.1007/s00271-006-0033-0, 2006.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 59, n. 4, p.795-801. 2002.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.301-309, 1998.

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

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p.892-898, 1980.

VIEIRA, H.J.; LIBARDI, P.L.; BERGAMASCHI, H.; ANGELOCCI, L.R. Comportamento de duas variedades de feijoeiro sob regimes de disponibilidade hídrica no solo (Extração de água do solo e evapotranspiração). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p.165-176, 1989.

VIEIRA JÚNIOR, P.A.; DOURADO NETO, D.; SMIDERLE, O.J.; CICERO, S.M. Efeitos de métodos de irrigação sobre a produção e a qualidade de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 20, n. 1, p.100-105, 1998.

WEBER, E. **Armazenagem Agrícola**. Guaíba: Agropecuária. 2001. 221p.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p.621-633, 2000.

WUTKE, E.B.; MARIA, I.C. Plantio direto para o feijoeiro. In: CASTRO, J.L.; ITO, M.F. (Coords.). DIA DE CAMPO DE FEIJÃO, 2005, p. 29-42. Capão Bonito, **Anais...** Campinas: IAC, 2006.

ZIMMERMANN, M.J.O.; TEIXEIRA, M.G. Origem e evolução. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 1988. p.79-86.

APÉNDICE

TABELA 1. Resumo da análise de variância do IAF das plantas de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*						
	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	<0,0001	0,0057	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0311
I	0,0226	0,0003	0,0004	<0,0001	0,0005	0,0001	0,0075
P	<0,0001	0,0049	0,0207	<0,0001	0,7153	0,6371	0,6280
I x P	0,1493	0,9475	0,0047	0,0008	<0,0001	<0,0001	0,0005
R ²	0,8332	0,7204	0,7847	0,8960	0,8527	0,8724	0,6634
C.V. (%)	22,37	23,52	16,91	12,75	14,06	18,13	30,15

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 2. Resumo da análise de variância do número de folha por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	0,0092	0,0003	0,0026	0,2523	0,0081	0,4617	0,6847	0,4466
I	0,0464	0,1297	0,2403	0,0400	0,6425	0,4525	0,0374	0,3399
P	0,0001	0,0237	0,0047	0,8353	0,0347	0,4860	0,2849	0,3193
I x P	0,5080	0,8630	0,6225	0,1410	0,3442	0,2172	0,0870	0,2997
R ²	0,6482	0,6549	0,6086	0,4871	0,5512	0,3307	0,5611	0,2642
C.V. (%)	22,00	16,95	14,73	16,51	15,77	19,66	14,91	25,15

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 3. Resumo da análise de variância do número de flor por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	-	-	-	0,8882	0,0070	0,4072	0,5805	0,3827
I	-	-	-	0,3595	0,2503	0,0043	0,3817	0,3273
P	-	-	-	0,1498	0,0899	0,0328	0,5721	0,3273
I x P	-	-	-	0,7324	0,6371	0,1062	0,2763	0,3273
R ²	-	-	-	0,4764	0,6215	0,6365	0,2847	0,3143
C.V. (%)	-	-	-	49,08	26,08	48,10	290,04	600,00

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 4. Resumo da análise de variância do número de vagem por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostras (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	-	-	-	-	0,3363	0,0639	0,3363	0,0653
I	-	-	-	-	0,9645	0,6390	0,0013	0,2529
P	-	-	-	-	0,4068	0,2690	0,4504	0,0734
I x P	-	-	-	-	0,6606	0,8434	0,6416	0,2397
R ²	-	-	-	-	0,3102	0,3791	0,5411	0,4929
C.V. (%)	-	-	-	-	57,66	39,43	29,44	27,73

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 5. Resumo da análise de variância da massa seca de folha por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostras (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	0,0101	0,0006	0,0036	0,0251	0,0106	0,1111	0,8640	0,4649
I	0,0413	0,0936	0,1454	0,0010	0,6598	0,1351	0,0059	0,2001
P	0,0808	0,9370	0,1418	0,0328	0,0732	0,2823	0,9071	0,0529
I x P	0,2404	0,8664	0,8621	0,0650	0,2445	0,2878	0,1400	0,2405
R ²	0,5198	0,6288	0,5954	0,6935	0,5582	0,4089	0,4786	0,3663
C.V. (%)	31,04	26,75	23,56	21,06	27,29	29,81	31,55	37,46

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 6. Resumo da análise de variância da massa seca de caule por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostras (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	<0,0001	0,0001	0,0004	0,0076	0,0015	0,0339	0,4094	0,0171
I	0,0771	0,4240	0,2461	0,0021	0,3497	0,2632	0,0018	0,0368
P	0,0043	0,4354	0,0501	0,7588	0,0114	0,6842	0,2390	0,7361
I x P	0,4734	0,6412	0,7308	0,1269	0,4836	0,4442	0,9238	0,4012
R ²	0,6724	0,6482	0,6247	0,6709	0,6495	0,3838	0,4703	0,4987
C.V. (%)	26,87	30,47	27,07	23,19	27,24	37,43	39,91	33,31

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 7. Resumo da análise de variância da massa seca de flor por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	-	-	-	0,6523	0,0190	0,3568	0,3827	0,3827
I	-	-	-	0,2126	0,6827	0,0506	0,3273	0,3273
P	-	-	-	0,3695	0,0856	0,0322	0,3273	0,3273
I x P	-	-	-	0,8564	0,4421	0,0506	0,3273	0,3273
R ²	-	-	-	0,5547	0,5381	0,5276	0,3143	0,3143
C.V. (%)	-	-	-	66,94	33,72	58,31	600,00	600,00

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 8. Resumo da análise de variância da massa seca de vagem por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	-	-	-	-	0,6654	0,0847	0,6774	0,1064
I	-	-	-	-	0,9326	0,3078	0,0903	0,1480
P	-	-	-	-	0,9103	0,2960	0,7459	0,1912
I x P	-	-	-	-	0,7999	0,3147	0,9474	0,4422
R ²	-	-	-	-	0,2460	0,2897	0,3299	0,4029
C.V. (%)	-	-	-	-	118,37	68,61	39,47	34,35

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 9. Resumo da análise de variância da massa seca total da parte aérea por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*							
	31	38	45	52	59	66	73	80
Bloco	0,0014	0,0003	0,0012	0,0126	0,0031	0,0446	0,9249	0,0804
I	0,0406	0,1810	0,1830	0,0012	0,4856	0,3823	0,0070	0,0958
P	0,0266	0,7821	0,0875	0,2002	0,0272	0,9528	0,7336	0,2139
I x P	0,2793	0,7696	0,7999	0,0853	0,3474	0,5885	0,7140	0,3615
R ²	0,5893	0,6378	0,6093	0,6893	0,6174	0,3391	0,3967	0,4239
C.V. (%)	28,13	27,89	24,85	21,56	26,34	34,90	34,72	32,97

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 10. Resumo da análise de variância do IAF das plantas de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,5999	0,0108	0,0014	0,0046	0,2025	0,1425
I	0,0070	0,8320	0,8518	0,4299	0,2707	0,9413
P	0,0829	0,0070	0,8037	0,7060	0,2475	0,0002
I x P	0,5532	0,0277	0,0532	0,0008	0,0129	0,0087
R ²	0,2427	0,6059	0,7290	0,5987	0,4792	0,6825
C.V. (%)	39,44	15,35	12,20	18,06	25,34	21,45

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 11. Resumo da análise de variância do número de folha por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,2628	0,0787	0,0030	0,2225	0,0884	0,0222
I	0,1514	0,0018	0,7314	0,0185	0,6339	0,5200
P	0,0006	0,0536	0,6138	0,7275	0,5307	0,2020
I x P	0,3728	0,9081	0,4443	0,0827	0,4215	0,1437
R ²	0,4455	0,5767	0,6333	0,4466	0,4854	0,4574
C.V. (%)	20,44	14,10	11,65	22,75	18,49	25,65

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 12. Resumo da análise de variância do número de flor por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,8601	0,6531	0,1833	0,0964	0,2366	0,0359
I	0,0016	0,3518	0,2542	0,1738	0,3128	0,0619
P	0,0116	0,1515	0,1354	0,1059	0,0242	0,0619
I x P	0,5677	0,3671	0,8036	0,1994	0,2838	0,0619
R ²	0,3415	0,3623	0,4596	0,3975	0,4282	0,6373
C.V. (%)	62,59	29,97	100,71	63,16	242,81	306,41

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 13. Resumo da análise de variância do número de vagem por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,8651	0,1527	0,0204	0,1780	0,1317	0,2388
I	0,0327	<0,0001	0,1409	0,4035	0,5105	0,0048
P	0,3698	0,0136	0,1589	0,1086	0,6308	0,9094
I x P	0,5250	0,0692	0,7865	0,0058	0,7968	0,0012
R ²	0,1450	0,7876	0,5284	0,4755	0,4373	0,6280
C.V. (%)	235,32	48,22	38,66	28,68	24,80	19,62

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 14. Resumo da análise de variância da massa seca de folha por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,0775	0,0194	0,1097	0,4910	0,0106	0,7662
I	0,2180	<0,0001	0,6325	0,1333	0,7792	0,5439
P	<0,0001	0,0192	0,7458	0,3424	0,0362	0,0249
I x P	0,8723	0,8353	0,3841	0,0001	0,4744	0,2531
R ²	0,5224	0,6774	0,3677	0,6242	0,5976	0,5314
C.V. (%)	27,39	23,61	16,84	20,01	24,11	30,49

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 15. Resumo da análise de variância da massa seca de caule por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,6652	0,9257	0,3221	0,1476	0,0836	0,7038
I	0,0579	<0,0001	0,1748	0,4769	0,9895	0,1375
P	0,0013	0,0644	0,0095	0,0136	0,0122	0,2129
I x P	0,4023	0,8849	0,6912	0,0012	0,6705	0,1458
R ²	0,3358	0,5647	0,5001	0,5724	0,5386	0,4216
C.V. (%)	47,75	44,77	24,92	22,24	26,47	28,82

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 16. Resumo da análise de variância da massa seca de flor por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,9631	0,8930	0,8519	0,4149	0,1820	0,0391
I	0,0075	0,3596	0,1056	0,6706	0,1723	0,0656
P	0,0719	0,0526	0,0848	0,2844	0,0204	0,0656
I x P	0,9569	0,6308	0,2579	0,7063	0,1493	0,0656
R ²	0,2739	0,3591	0,3482	0,2012	0,4733	0,6304
C.V. (%)	55,96	35,11	28,00	75,15	233,87	311,02

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 17. Resumo da análise de variância da massa seca de vagem por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,7608	0,1145	0,0267	0,0064	0,1762	0,0422
I	0,0430	<0,0001	0,0582	0,0496	0,8746	0,0006
P	0,2445	0,0482	0,0549	0,2719	0,6105	0,1517
I x P	0,4087	0,0576	0,4562	0,2241	0,5336	0,0002
R ²	0,1657	0,6859	0,5532	0,5225	0,1903	0,7346
C.V. (%)	249,04	55,04	52,52	47,57	30,95	15,95

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 18. Resumo da análise de variância da massa seca total da parte aérea por planta de feijoeiro, em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Datas das Amostragens (DAE)*					
	36	42	49	56	65	74
Bloco	0,2614	0,221	0,1378	0,0632	0,0504	0,2165
I	0,0929	<0,0001	0,0687	0,0717	0,8711	0,0061
P	<0,0001	0,0105	0,0424	0,2631	0,5354	0,6314
I x P	0,6216	0,8593	41,28	0,0087	0,4923	0,0019
R ²	0,4418	0,6989	0,4556	0,5267	0,3595	0,6730
C.V. (%)	33,43	28,39	19,54	26,70	24,24	16,80

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação.

TABELA 19. Resumo da análise de variância em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Componente analisado*				
	1	2	3	4	5
Bloco	0,2380	0,0564	0,0007	0,1050	0,0277
I	0,0482	0,0005	0,3712	0,2119	0,0002
P	0,1217	0,0041	0,0009	<0,0001	0,0321
I x P	0,1169	0,0027	0,4671	0,0484	0,0013
R ²	0,4006	0,6966	0,6879	0,6696	0,7024
C.V. (%)	8,25	14,82	49,71	11,89	16,79

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação. 1 – Número de grãos por vagem; 2 – Número de vagem por planta; 3 – Número de vagem vazia por planta; 4 – estande final de plantas; 5 – Número de grãos por planta.

TABELA 20. Resumo da análise de variância em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - segundo ano.

Fonte	Componente analisado*			
	6	7	8	9
Bloco	0,0620	<0,0001	0,0224	0,6426
I	0,4833	<0,0001	0,0003	<0,0001
P	0,2823	0,2453	0,0256	0,0547
I x P	0,0135	<0,0001	0,0007	0,1061
R ²	0,5946	0,8443	0,6999	0,8860
C.V. (%)	3,94	14,00	18,40	5,97

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação. 6 – massa de 1000 grãos; 7 – produtividade por área; 8 – produtividade por planta; 9 – Lâmina de irrigação aplicada.

TABELA 21. Resumo da análise de variância em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Componente analisado*				
	1	2	3	4	5
Bloco	0,0011	<0,0001	0,0957	0,3106	<0,0001
I	0,0063	0,4397	0,3799	0,1700	0,0714
P	0,2809	0,0147	0,0100	0,0004	0,0071
I x P	0,0021	<0,0001	0,1010	0,5141	<0,0001
R ²	0,7623	0,8467	0,6197	0,5068	0,8716
C.V. (%)	5,23	9,21	24,11	7,08	11,29

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação. 1 – Número de grãos por vagem; 2 – Número de vagem por planta; 3 – Número de vagem vazia por planta; 4 – estande final de plantas; 5 – Número de grãos por planta.

TABELA 22. Resumo da análise de variância em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - terceiro ano.

Fonte	Componente analisado*			
	6	7	8	9
Bloco	0,2279	0,0018	<0,0001	0,3670
I	0,0015	0,2744	0,4004	0,0002
P	0,8833	0,7568	0,0168	0,1246
I x P	0,0693	<0,0001	<0,0001	0,9531
R ²	0,5823	0,7716	0,8585	0,9204
C.V. (%)	2,69	16,65	12,82	2,70

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação. 6 – massa de 1000 grãos; 7 – produtividade por área; 8 – produtividade por planta.

TABELA 23. Resumo da análise de variância em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) – média dos dois anos.

Fonte	Componente analisado*				
	1	2	3	4	5
Bloco	0,2417	0,0880	0,0056	0,0802	0,0422
I	0,0071	0,0015	0,9848	0,1372	0,0002
P	0,4482	0,0006	0,0003	<0,0001	0,0031
I x P	0,0102	<0,0001	0,1238	0,0594	<0,0001
R ²	0,5343	0,7995	0,7240	0,6934	0,8019
C.V. (%)	5,59	8,81	24,92	8,61	10,85

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação. 1 – Número de grãos por vagem; 2 – Número de vagem por planta; 3 – Número de vagem vazia por planta; 4 – estande final de plantas; 5 – Número de grãos por planta.

TABELA 24. Resumo da análise de variância em função dos tratamentos de manejo do solo (P) e de manejo de irrigação (I) - média dos dois anos.

Fonte	Componente analisado*			
	6	7	8	9
Bloco	0,0543	0,0029	0,0329	0,4065
I	0,2298	<0,0001	0,0012	<0,0001
P	0,3639	0,4845	0,0045	0,2477
I x P	0,0060	<0,0001	<0,0001	0,3401
R ²	0,5166	0,8227	0,7814	0,8419
C.V. (%)	2,62	11,84	12,25	5,78

*P<0,01 e P<0,05, significativos estatisticamente a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente e P>0,05, não significativo estatisticamente. C.V.: Coeficiente de Variação. 6 – massa de 1000 grãos; 7 – produtividade por área; 8 – produtividade por planta; 9 – Lâmina de irrigação aplicada.