

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Decomposição de Resíduos de Milho e Atributos Físico-
Hídricos do Solo sobre Plantio Direto em Área Cultivada
com Feijão Irrigado na Região de Campinas, SP.**

Carolina Maria Sánchez Sáenz

CAMPINAS - SP
SETEMBRO DE 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**Decomposição de Resíduos de Milho e Atributos Físico-
Hídricos do Solo sobre Plantio Direto em Área Cultivada
com Feijão Irrigado na Região de Campinas, SP.**

Dissertação de Mestrado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Agrícola, na área de
concentração em Água e Solo.

Carolina Maria Sánchez Sáenz

Orientador: Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza

Co - orientador: Prof. Titular Edson Eiji Matsura

CAMPINAS - SP
SETEMBRO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Sa55d Sánchez Sáenz, Carolina Maria
Decomposição de resíduos de milho e atributos
físico-hídricos do solo sob sistema plantio direto em área
cultivada com feijão irrigado na região de Campinas, SP.
/ Carolina Maria Sánchez Sáenz. --Campinas, SP: [s.n.],
2008.

Orientadores: Zigomar Menezes de Souza; Edson Eiji
Matsura.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Cobertura do solo. 2. Manejo do solo. 3. Matéria
orgânica. 4. Produtividade. I. Souza, Zigomar Menezes
de. II. Matsura, Edson Eiji. III. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV.
Título.

Título em Inglês: Decomposition of waste maize and soil physical and hydric
attributes on no-tillage in area with irrigated beans cultivated
in Campinas, SP region

Palavras-chave em Inglês: Soil cover, Soil management, Organic matter,
Productivity

Área de concentração: Água e solo

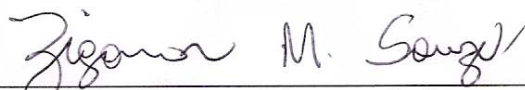
Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola.

Banca examinadora: Marlene Cristina Alves, Mara de Andrade Marinho Weill

Data da defesa: 12/09/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Carolina María Sánchez Sáenz**, aprovada pela Comissão Julgadora em 12 de setembro de 2008, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza - Orientador
FEAGRI/UNICAMP



Prof.^a. Dr.^a. Marlene Cristina Alves - Membro Titular
UNESP/Ilha Solteira - SP



Prof.^a. Dr.^a. Mara de Andrade Marinho Weill - Membro Titular
FEAGRI/UNICAMP

*“O conhecimento assemelha-se a uma bola;
quanto maior o conteúdo, tanto maior
o contato com o desconhecido.”*

Otto Rothe, 1945

A DEUS,

pela saúde e pela presença em minha vida,

OFEREÇO

A mi madre Carmencita, por su amor, dedicación y confianza.

A mi hermano Andrés y mi sobrino Pipe. Los amo.

A la nueva familia que Ariel y yo estamos construyendo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Hoje, vendo este trabalho de pesquisa quase concluído, sinto a importância da participação das pessoas, sem as quais seria impossível realizá-lo.

Muito obrigada à FEAGRI UNICAMP por se arriscar em trazer uma colombiana com muita vontade de aprender e conhecer um mundo novo. Obrigada Brasil, por abrir suas portas. Todas as coisas que aprendi as levo no meu coração e sei que permitiram mudar aspectos pessoais e principalmente profissionais.

Agradeço a todos que me ajudaram, desde as primeiras fases do projeto, iniciado com o incentivo do meu orientador, o Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza e co-orientador o Prof. Titular Edson Eiji Matsura, para estudar os temas referentes ao sistema plantio direto que ainda na Colômbia não é muito pesquisado, especialmente a cobertura morta. “Estudar cobertura morta é muito trabalhoso”. E é mesmo! Durante o manejo de aproximadamente 1 Mg de cobertura morta e a retirada de muitas quantidades de gramas de solo, aprendi um pouco mais a enfrentar trabalhos árduos. Graças às pessoas das equipes do campo experimental da FEAGRI, das quais ouvi “causos” e histórias de suas vidas, que apesar de serem de diversas equipes e de lugares diferentes, traziam consigo um mesmo código: a luta pela vida, com as dificuldades, as alegrias, a rotina e a dedicação daquele momento.

Sou muito grata também a toda equipe técnica do laboratório de solos, que forneceram parte da infra-estrutura necessária para o trabalho de campo.

No transcorrer dos trabalhos, apareceram diversas dificuldades que outros profissionais me ajudaram a contornar. O Eng. Conan Ajade Salvador e a tecnóloga Adriana Ribeiro. O Eng. Leonardo Alvarado Mora, porque escutou todas minhas histórias tanto as tristes como as alegres. Ao Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira (UNESP - JABOTICABAL), que esclareceu os temas das análises estatísticas e o programa SAS. A Prof^a Dra. Maria Ângela Fagnani da FEAGRI, orientando-me nos dados de temperatura e umidade do solo.

Ainda hoje, aos professores da FEAGRI com os quais tive aula, especialmente ao Prof. Dr. Roberto Testezlaf e à Prof. Dra. Mara de Andrade Marinho Weill. Essa aprendizagem foi essencial para o entendimento e compreensão de temas desconhecidos e melhoria da minha formação. Quero poder levar ao meu País parte desses conhecimentos. À FUNDAÇÃO AGRISUS, ao SERVIÇO DE APOIO DOS ESTUDANTES (SAE) e a FEAGRI por fornecer recursos econômicos que permitiram minha participação em congressos e no dia a dia na Faculdade.

À toda a minha família e aos amigos, especialmente ao meu namorado Ariel, que acompanharam e torceram pelo êxito desta minha caminhada, impulsionando-me em todos os momentos, agradeço. Este trabalho também é um fruto de todos eles.

A outras pessoas que, direta ou indiretamente, participaram desta criação e que não estão aqui citadas, agradeço muito pelas idéias que ajudaram a construir. Ao final da fase de redação da dissertação, fiz novos amigos, que me acolheram como sendo “de casa” e proporcionaram-me um ambiente inspirador para o pensamento. Todas estas pessoas ajudaram-me a transformar desafios em conquistas. É como se o fio da história de cada um formasse, lentamente, uma grande teia que, por sua vez, é apenas mais um fio que tece a história do conhecimento.

A todos,
muito obrigada.

SUMARIO

ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABELAS DO APÊNDICE.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.1. Objetivo Geral	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Sistema plantio direto e plantas de cobertura	4
2.2 Importância da adubação e irrigação na cultura de feijão	8
2.3 Aspectos condicionantes na decomposição da cobertura morta do solo	10
2.4 Matéria orgânica e o manejo do solo	12
2.5 Teor de água e a temperatura do solo	16
2.6 Atributos físico-hídricos do solo e a cobertura morta	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Descrição da área de estudo e do solo	23
3.2 Parcelas experimentais	23
3.3 Histórico de uso e manejo das parcelas	26
3.4 Avaliação do sistema de irrigação	26
3.5 Avaliação da cobertura morta.....	27
3.6 Monitoramento do teor de matéria orgânica do solo.....	28
3.7 Monitoramento da temperatura do solo e do ar atmosférico	28
3.8 Monitoramento do teor de água no solo	28
3.9 Caracterização física do solo	29
3.10 Componentes de produção.....	32
3.11 Análise estatística	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Decomposição da cobertura morta, matéria orgânica e atributos físicos do solo.....	33
4.1.1 <i>Decomposição da cobertura morta no solo e matéria orgânica</i>	33
4.1.2 <i>Indicadores Físicos</i>	36
4.2 Decomposição da cobertura morta e teor de água do solo	47
4.3 Cobertura morta e a temperatura do solo.....	54
4.4 Indicadores de produção	60
5. CONCLUSÕES	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho distroférico.	25
Tabela 2. Valores de α para o cálculo da K_0	30
Tabela 3. Quantidades de resíduo de milho na superfície do solo nos diferentes tratamentos ao longo do ciclo da cultura de feijão irrigado. (n = 9)	33
Tabela 4. Valores das médias das porcentagens de cobertura morta nos diferentes tratamentos no período avaliado. (n=27)	34
Tabela 5. Valores médios do teor de matéria orgânica das profundidades avaliadas, nos diferentes tratamentos. (n = 18).....	35
Tabela 6. Valores médios do teor de matéria orgânica nos dias e nas profundidades avaliadas.	36
Tabela 7. Dados das médias de densidade do solo, porosidade total (Total), microporosidade (micro) e macroporosidade (macro) nas diferentes profundidades estudadas. (n = 3).....	39
Tabela 8. Valores médios de DMP (mm), DMG (mm), porcentagem de agregados nas classes de tamanho >2 mm, 1-2 mm e < 1 mm nos diferentes tratamentos estudados. (n = 9).....	40
Tabela 9. Valores médios de DMP, DMG, porcentagens dos agregados nas classes > 2 mm, 1-2 mm e < 1 mm nas diferentes profundidades estudadas. (n = 36)	41
Tabela 10. Valores médios da resistência do solo à penetração e teor de água no solo correspondente ao perfil avaliado. (n = 81).....	44
Tabela 11. Valores médios da resistência do solo à penetração e teor de água no solo nas diferentes profundidades estudadas. (n =9)	45
Tabela 12. Valores médios da condutividade hidráulica do solo saturado nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas. (n = 9)	47
Tabela 13. Valores médios do teor de água no solo nos diferentes tratamentos estudados ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado. (n = 240).....	48
Tabela 14. Valores médios da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) nas diferentes profundidades estudadas. (n = 9).....	53
Tabela 15. Valores médios da amplitude térmica do solo nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas. (n = 33).....	59
Tabela 16. Valores médios da amplitude térmica nos diferentes tratamentos, profundidades e semanas de avaliação ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado. (n = 9)	60
Tabela 17. Valores médios dos componentes da produção e quantidades de nitrogênio aplicado nos tratamentos estudados. (n = 12)	62
Tabela 18. Valores médios dos componentes da produção nos diferentes tratamentos estudados. (n = 12)	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parcelas experimentais da área em estudo.	24
Figura 2. Croqui da área estudada.	25
Figura 3. Tela quadriculada usada na amostragem para determinação da cobertura morta no sistema de plantio direto	27
Figura 4. Relação entre o tempo e a quantidade de resíduo de milho na superfície do solo nos diferentes tratamentos ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado. (n = 81)	34
Figura 5. Valores de resistência do solo à penetração nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas.....	43
Figura 6. Teor de água no solo nos diferentes tratamentos ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado na profundidade de 0,20 m.	49
Figura 7. Valores de tensões médias diárias obtidas ao longo do ciclo da cultura de feijão para os tratamentos em cada estágio de desenvolvimento da cultura. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica. (n = 9).....	51
Figura 8. Curvas de retenção de água no solo nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas.....	52
Figura 9. Valores médios de temperatura do ar máxima e mínima, amplitude térmica do ar e precipitação ou irrigação para cada estágio de desenvolvimento da cultura de feijão. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica.	55
Figura 10. Valores das amplitudes térmicas do solo ao longo do ciclo da cultura do feijão nos diferentes tratamentos na profundidade de 0,15 m. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica.	56
Figura 11. Valores das amplitudes térmicas do solo ao longo do ciclo da cultura do feijão nos diferentes tratamentos na profundidade de 0,30 m. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica.	57

ÍNDICE DE TABELAS DO APÊNDICE

Tabela 1A. Estatísticas para os dados de matéria orgânica dos dias avaliados ao longo do ciclo da cultura de feijão irrigado.....	80
Tabela 2A, Estatísticas para os dados de densidade do solo, porosidade total (P Total), microporosidade (micro) e macroporosidade (macro) nos diferentes tratamentos avaliados, ..	80
Tabela 3A, Estatísticas para os dados de resistência do solo à penetração (RP) e umidade (U) nas diferentes profundidades avaliadas,	81
Tabela 4A, Estatísticas para os dados de conteúdo de umidade (g g^{-1}) do solo ao longo do ciclo da cultura de feijão irrigado,	82
Tabela 5A, Estatísticas para os dados dos tensiômetros nos diferentes tratamentos avaliados,	83

RESUMO

A cobertura morta constitui um dos principais fatores para o êxito da produção agrícola em sistema plantio direto. Dentre as principais características buscadas, as plantas utilizadas como fonte de cobertura vegetal devem proteger o solo e melhorar seus atributos físicos, químicos e biológicos para a cultura subsequente. Por isso, tem-se procurado a identificar sistemas de manejo do solo que favoreçam o aumento ou que mantenham a quantidade de cobertura morta sobre o solo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes quantidades de cobertura morta do solo e doses de nitrogênio mineral depositadas sobre a superfície de um Latossolo Vermelho distroférrico, relacionando a decomposição com atributos físico-hídricos no sistema plantio direto com feijão irrigado. O ensaio foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas, SP, no período de junho a setembro de 2007, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições no esquema fatorial 3x4 (total de 12 tratamentos e 36 parcelas). As doses de nitrogênio foram ausência de N, 50 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ e as quantidades de cobertura morta foram ausência de palha, 4,0 Mg ha⁻¹, 6,0 Mg ha⁻¹ e 10,0 Mg ha⁻¹. Os dados foram submetidos a análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade pelo programa SAS. Os resultados mostram que nos tratamentos com aplicação de resíduos de milho na superfície do solo houve maior manutenção no teor de água no solo ao longo do ciclo da cultura. A decomposição do resíduo de milho foi semelhante em todos os tratamentos avaliados e não sofreu influência da aplicação de nitrogênio, refletindo decomposição lenta, o que garante boa cobertura ao longo do ciclo da cultura e favorece as culturas subsequentes. A incorporação dos resíduos vegetais no solo aumentou o seu teor de matéria orgânica nos primeiros 2/3 do ciclo da cultura, diminuindo no final do ciclo. No tratamento com a maior dose de resíduos de cobertura morta houve diminuição da resistência do solo à penetração, aumento no teor de água no solo e menores diferenças de temperatura ao longo do ciclo, quando comparado com o tratamento sem cobertura. O tratamento com a maior quantidade de resíduo e a maior quantidade de nitrogênio sob cobertura morta proporcionou a maior produção de feijão quando comparado com o tratamento sem cobertura e sem aplicação de nitrogênio.

Palavras-chave: cobertura do solo, manejo do solo, matéria orgânica, produtividade.

ABSTRACT

Mulching practices are of major importance in contributing to the success of agricultural production under no-tillage conditions. Plant residues employed as mulching material are considered as the major factor in improving the physical, chemical and biological soil proprieties for subsequent crop growth. The identification of soil management system takes into account the grows rate as well as the concentration of the selected mulching culture. Therefore, the objective of this study was to evaluate the influence of the combination of different quantities maize crop residues and mineral nitrogen, deposited on a dystroferric Red Latosol soil type, linking its decomposition to the physical and hydric attributes associated to the no-tillage system adopted with irrigated beans. Tests were carried out on the Experimental Field of the Faculty of Agricultural Engineering at UNICAMP in Campinas, São Paulo, from June to September 2007, in randomized blocks with three replications using a 3x4 factorial design (total of 12 treatments and 36 plots). The nitrogen levels were zero, 50 kg ha⁻¹ and 120 kg ha⁻¹ and the straw mulch amounts were zero, 4.0 Mg ha⁻¹, 6.0 Mg ha⁻¹ and 10.0 Mg ha⁻¹. Data were submitted for analysis of variance to evaluate the treatments and to compare the means by Tukey test with 5% probability for comparison of means through the SAS program. The results showed that the treatment associate to the highest doses of maize residues on the soil surface provided an increase in the moisture content over the culture cycle of irrigated beans. Maize residues decomposition curve was similar in all assessed treatments, and was not influenced by nitrogen application, reflecting a slow decomposition which guarantees good coverage throughout the culture cycle and supporting subsequent crop activities. Plant residues incorporation in the soil, resulted in an increase in organic matter content in the first 2/3 of the bean cultivation cycle. Treatments with the highest doses of straw residues on the soil surface provided a decrease of soil resistance to penetration and an increase in the moisture content over the culture cycle. However, under no-tillage system the presence of straw and nitrogen together promoted an increase in the yield of beans when compared with the one using mulching without any treatment.

Keys word: soil cover, soil management, organic matter, productivity

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos naturais, principalmente o solo e a água, vem ocorrendo de forma intensa e, o mau uso dos recursos hídricos na agricultura, em busca de maior produtividade, é um fator que tem contribuído para o seu desperdício, trazendo conseqüências indesejáveis ao ambiente. A agricultura cada vez mais integra tecnologias em busca de sistemas de cultivo produtivos e sustentáveis, aliando alternativas de preparo do solo à variedades melhoradas, herbicidas, controle biológico e esquemas de cultivos (rotação, sucessão e culturas de cobertura).

O plantio direto tem demonstrado ser um sistema de produção e não apenas uma prática que melhor atende as atuais necessidades da agricultura nacional. No entanto, a consolidação desse sistema tem sido prejudicada pelas dificuldades em superar alguns problemas, como plantas de cobertura adaptadas à região sudeste, onde o clima não é tão favorável como na região sul do país. E ainda a decomposição dos resíduos culturais depende da natureza e da quantidade do material vegetal, da fertilidade do solo e do manejo da cobertura, além de condições climáticas, representadas principalmente pelo regime de chuvas e pela temperatura, que influem na atividade microbiana do solo.

A cobertura morta é um fator para o êxito da produção agrícola em sistema plantio direto, sobretudo na questão da economia de água. Dentre as principais características buscadas, as plantas utilizadas devem proteger o solo e melhorar os seus atributos físicos, químicos e biológicos para a cultura subsequente. É importante a manutenção de relação C/N equilibrada dos resíduos culturais, para manter a quantidade de cobertura morta necessária, além de obter boa reciclagem de nutrientes no solo e elevada mineralização de nitrogênio, já que a aplicação de nitrogênio pode acelerar a decomposição da palha.

É possível aumentar a produtividade e com melhor qualidade (a cobertura morta gera aumento no conteúdo de matéria orgânica no solo), promovendo-se as condições necessárias para manutenção do teor de água do solo nos períodos críticos da cultura, adequada temperatura do ambiente radicular das plantas, pois a temperatura do solo é um dos fatores essenciais à produção de qualquer espécie vegetal.

O feijão é um dos alimentos básicos da população brasileira, com importância econômica e social no Brasil, que é grande produtor mundial desta leguminosa. Tem uma

ampla adaptação edafoclimática o que permite seu cultivo, durante todo o ano, em quase todos os estados, possibilitando constante oferta do produto no mercado. Devido a baixa fertilidade dos solos brasileiros em geral, onde se conduzem plantios de feijão, a adubação e a irrigação exercem papéis importantes, uma vez que contribuem para o aumento da produtividade e desenvolvimento da cultura.

A cultura do feijão cada vez mais tem resposta positiva à aplicação de nitrogênio, o que está relacionado ao aumento da expectativa de produção propiciado pela evolução das cultivares e das técnicas de cultivo. Quantidades superiores a 100 kg ha⁻¹ são requeridas para garantir a extração do nutriente associada a altas produções e, na prática, essas doses têm sido utilizadas. Porém, a aplicação de nitrogênio pode acelerar a decomposição da palhada.

Muitos estudos têm sido realizados com plantas de cobertura de inverno na região Sul do Brasil, quanto à proteção do solo, às características das plantas, ao fornecimento de nutrientes, entre outros. Entretanto, na região sudeste, especialmente no estado de São Paulo e na região de Campinas, poucos trabalhos foram realizados nesse tema, gerando falta de informação técnica. Além disso, semelhante ao que ocorre nos cerrados, uma das principais dificuldades na realização do plantio direto é a baixa produção de matéria seca das culturas de safrinha, associada à rápida decomposição. A irrigação é um dos fatores importantes a ter em conta no momento da avaliação da decomposição da matéria morta, pois pode acelerar o processo de decomposição. Portanto, entender a decomposição da cobertura e sua interação com atributos e manutenção da umidade do solo, são de extrema importância, para os produtores da região.

A pesquisa teve como hipótese que o aumento da disponibilidade de resíduos da cultura do milho, como cobertura morta, proporcionará o aumento na decomposição da palha e melhorias nas condições físico-hídricas do solo. Esses processos determinarão melhor manutenção do teor de água no solo, condições adequadas de temperatura ao desenvolvimento da cultura, aumento no teor de matéria orgânica do solo, proporcionando assim, aumento na produtividade do feijão.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes quantidades de cobertura morta do solo e doses de nitrogênio mineral, depositado sobre a superfície de um Latossolo Vermelho distroférico, relacionando a decomposição com atributos físico-hídricos e produção da cultura do feijão irrigado sob sistema plantio direto.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Monitoramento da decomposição dos resíduos de milho, do teor de matéria orgânica, do teor de água e da temperatura do solo ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado.
- b) Avaliação de atributos físico-hídricos tais como: densidade do solo, porosidade do solo, retenção de água, condutividade hidráulica do solo saturado e resistência do solo à penetração.
- c) Avaliação dos componentes da produção do feijão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema plantio direto e plantas de cobertura

Há muito tempo os conceitos de qualidade do solo vêm sendo desenvolvidos, sendo os solos classificados por suas características e propriedades, especialmente para uso agrícola e, muitas vezes, com recomendação de manejo. O crescente interesse pelo conceito de qualidade do solo, considerado importante na sustentabilidade em sistemas agrícolas, tem sido estimulado pela conscientização em relação à sua função vital no ecossistema terrestre e pelo aumento das superfícies de solo degradadas no mundo.

A degradação dos recursos naturais, principalmente o solo e a água, vêm ocorrendo de forma muito intensa e, o mau uso dos recursos hídricos na agricultura, em busca de produtividade cada vez maior, é um dos fatores que tem contribuído para o seu desperdício, trazendo consequências indesejáveis ao ambiente.

Esta degradação dos solos agrícolas ocorreu principalmente nas décadas de 60, 70 e 80 provocada pelo rompimento do equilíbrio natural do solo, quando este era incluído no sistema produtivo e exposto ao processo erosivo do sistema de preparo convencional, despertando a preocupação sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola (LAL & PIERCE, 1991). Segundo LAL (1982), o surgimento de danos causados pela erosão em áreas cultivadas não é nada mais que um sintoma de que para tal área e seu ecossistema foram empregados métodos de cultivo inadequados.

Neste contexto, o sistema plantio direto foi introduzido no Brasil, no início da década de 70, como um sistema conservacionista com a finalidade específica de controlar a erosão do solo (KOCHHANN & DENARDIN, 2000). Segundo esses autores, somente a partir da década de 80 é que a pesquisa produziu dados que levaram o sistema plantio direto a ser encarado não apenas como um método alternativo de manejo do solo, mas como um sistema complexo e totalmente novo de produção agrícola, com alterações substanciais nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e com grande impacto no rendimento das culturas.

O plantio direto é um sistema de manejo do solo onde a palha e restos vegetais (folhas, raízes, entre outros) são deixados na superfície do solo. O solo é mobilizado apenas no sulco onde se depositam sementes e fertilizantes e as plantas infestantes são controladas

por herbicidas. Considera-se que para a eficácia do sistema são fundamentais a rotação de culturas, o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas e a inclusão de plantas de cobertura, para conciliar o rendimento econômico com a preservação da capacidade produtiva do solo. A rotação de culturas pode permitir a continuidade desse sistema sem interrupções, mesmo quando a compactação superficial do solo ocorre.

O cultivo de forrageiras para cobertura do solo ou como pastagens de inverno pode reduzir as perdas de água e a infestação de plantas daninhas, além de conservar a umidade do solo e promover a reciclagem de nutrientes, favorecendo a germinação e desenvolvimento das culturas implantadas em sucessão (ENTZ et al., 2002; BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990). Plantas com sistemas radiculares profundos utilizadas como forrageiras, como o nabo e a cevada, podem ajudar a aliviar os efeitos da compactação do solo, especialmente em sistemas de plantio direto, sem revolvimento do solo (WILLIAMS & WEIL, 2004). Esses autores afirmam adicionalmente, que sistemas de rotação de culturas envolvendo plantas forrageiras e plantas graníferas, promovem efeitos benéficos ao meio ambiente, como seqüestro de carbono e diminuição da lixiviação de nitratos, pela utilização do nitrogênio residual da adubação utilizada nas culturas de grãos.

A escolha das espécies vegetais para introduzir nos sistemas de culturas depende basicamente da adaptação das mesmas às condições edafoclimáticas de cada região e do interesse do agricultor. As gramíneas, pela maior taxa de cobertura do solo nos estágios iniciais de desenvolvimento e decomposição mais lenta, protegem melhor o solo do que espécies não gramíneas, além do efeito de agregação do solo, devido à forma e distribuição do sistema radicular (DERPSCH et al., 1985). Espécies forrageiras como a aveia preta e o nabo forrageiro apresentam-se como boas opções para melhorar as características de solos com compactação subsuperficial (0,15 a 0,18 m de profundidade), mostrando vigor no crescimento de raízes dentro e abaixo da camada compactada do solo (MULLER et al., 2001).

A importância de boa formação da cobertura vegetal na superfície do solo para implantação do sistema plantio direto é requisito imprescindível (DERPSCH et al., 1991; ALVARENGA et al., 2001). Entretanto, a escolha adequada das plantas fornecedoras de cobertura, considerando-se a melhor época de semeadura, tem sido considerada um dos entraves para obter êxito no sistema em algumas regiões onde o clima e solos são variados.

Existe carência de informações e experiências regionais para que os produtores possam adotar melhores opções de rotação com plantas de cobertura associadas às plantas produtivas em sua área. Conforme ALVARENGA et al. (2001), 6,0 Mg ha⁻¹ de matéria seca na superfície é a quantidade suficiente para se obter boa cobertura do solo. Segundo TORRES et al. (2006), o milheto e a aveia preta são as plantas de coberturas mais adaptadas às regiões do estado de São Paulo.

De acordo com SATURNINO & LANDERS (1997), a presença de palha ou palhada representa a essência do plantio direto. As funções da palha são: reduzir as perdas de solo e água pela erosão; diminuir o impacto da chuva, protegendo o solo contra compactação e desagregação dos agregados; aumentar a capacidade de infiltração da água no solo, minimizando os escoamentos superficiais; estabilizar a temperatura do solo, favorecendo os processos biológicos e a vida do solo; manter a umidade do solo ao reduzir a evaporação (efeito mulch); agir como reciclador de nutrientes, assegurando alta atividade biológica; aumentar a matéria orgânica no perfil do solo, melhorando a capacidade de troca de cátions (CTC) e a estrutura física do solo; ajudar no controle de plantas invasoras, seja por supressão, seja por alelopatia.

Para YANO (2002), a quantidade de 10,0 Mg ha⁻¹ de palha produzida pela cultura do milho no verão tem-se mostrado promissora na sustentabilidade da rotação e sucessão de culturas (safrinha) em plantio direto na região de Selvíria-MS. De acordo com MELLO (2001), a produção de 10,0 Mg ha⁻¹ de matéria seca de resíduos adicionados anualmente sobre a superfície é suficiente para suprir a implantação do sistema plantio direto, com plena condição de manifestar seu potencial como sistema sustentável em regiões de temperatura média anual alta com precipitações pluviométricas concentradas no verão.

Estudo de plantas de cobertura em pré-safra do milho em plantio direto na região centro-norte do estado de São Paulo realizada por BERTIN et al. (2005), demonstrou que aos 90 dias após a semeadura das plantas, o milheto, a crotalária e a vegetação espontânea desenvolvida no pousio apresentaram maior porcentagem de cobertura viva e os resíduos de milheto, a maior porcentagem de cobertura morta no solo, até os 120 dias após o manejo das plantas. A espécie de cobertura que produziu mais fitomassa foi o milheto, sendo que a lablabe não é recomendada como planta de cobertura para esta região.

O estudo da composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milho e crotalária na região centro-norte do estado de São Paulo desenvolvido por CAZETTA et al. (2005), mostrou que a crotalária em cultivo exclusivo para fins de cobertura vegetal é viável, com produção de matéria seca acima de $10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, o mesmo foi observado para o consórcio crotalária + milho, com produção de matéria seca acima de $8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Tanto o milho quanto o consórcio crotalária + milho proporcionam boa cobertura do solo até 60 dias após a semeadura do milho.

Em um estudo desenvolvido por SILVEIRA et al. (2005), avaliando a adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas, foi demonstrado que a produtividade de grãos do feijoeiro obedece a uma função quadrática em resposta à adubação nitrogenada nas palhadas do milho e do guandu, alcançando a produtividade máxima. Na mesma produtividade de grãos do feijoeiro, a quantidade necessária de N em cobertura é decrescente quando cultivado sobre as palhadas de milho em consórcio com braquiária, estilosantes, sorgo e mombaça.

São relativamente recentes os estudos sobre a influência dos resíduos culturais deixados na superfície do solo sobre a produtividade de culturas cultivadas em sucessão. GARCIA et al. (2003) verificaram a influência de plantas de cobertura sobre os componentes de produção da cultura do feijoeiro de inverno, sendo que a produtividade de grãos varia em razão da cultura precedente. WUTKE et al. (1998) também avaliaram o efeito residual de culturas graníferas e adubos verdes, e as produtividades médias obtidas pelo feijoeiro irrigado foram de 1.826 kg ha^{-1} após o milho e de 1.672 kg ha^{-1} em sucessão ao guandu.

Em regiões tropicais e sub-tropicais, onde os agentes climáticos atuam sobre a superfície do solo com grande intensidade, os sistemas agrícolas conservacionistas, como o sistema plantio direto, devem proporcionar boa cobertura de solo durante todo o ano e, deve utilizar um sistema de rotação de plantas capaz de melhorar o balanço de nitrogênio do solo por meio da fixação biológica, utilizar rotação de culturas, incluindo-se culturas produtoras de grãos e forragem e utilizar o mínimo de revolvimento de solo possível.

Portanto, nos trópicos, torna-se necessário manter o solo sempre protegido do sol e da chuva. O sistema plantio direto é uma técnica de manejo do solo que leva em conta esses imperativos ecológicos das regiões tropicais. A manutenção dos resíduos culturais na

superfície do solo propicia as condições necessárias para que a micro e a mesofauna presentes no solo passem a atuar, produzindo, como resultado, um solo estruturado e pronto para ser semeado.

2.2 Importância da adubação e irrigação na cultura de feijão

O feijão é uma importante fonte de proteína alimentar, sendo um prato quase que obrigatório na dieta da população brasileira. Segundo ARAÚJO et al. (1996) o feijoeiro faz parte da maioria dos sistemas produtivos dos pequenos e médios produtores no Brasil em função de sua adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas, cuja produção é direcionada ao consumo familiar e à comercialização do excedente. Nas últimas décadas, devido ao crescente avanço tecnológico, o feijoeiro passou a ser cultivado também na época de inverno (período seco) com o uso da irrigação.

No cultivo do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), vem crescendo a adoção do sistema plantio direto. Entretanto, nesse sistema, a taxa de mineralização da matéria orgânica é mais lenta, quando comparada à do sistema onde é feita a incorporação dos resíduos, pelo fato dos resíduos vegetais permanecerem na superfície do solo (MERTEN & FERNANDES, 1998; GONÇALVES & CERETTA, 1999), o que tem acarretado menor disponibilidade de N às plantas, desde a fase de instalação até a estabilização do sistema (SORATTO et al., 2001; SILVA, 2002; SORATTO et al., 2004). Além disso, a dose de N na adubação do feijoeiro pode estar condicionada ao tipo de resíduo vegetal (gramínea ou leguminosa) na superfície do solo, já que palhada com elevada relação C/N, característica da maioria das gramíneas, proporciona maior imobilização de N para sua decomposição (CERETTA et al., 2002).

A adubação nitrogenada deve ser realizada de modo a propiciar boa nutrição da planta em época que ainda favoreça o aumento do número de vagens por planta, isto é, até o início do florescimento, já que a nutrição mineral afeta diretamente a fixação de flores e das vagens (ARAÚJO et al, 1996). A aplicação de N mineral nos solos tropicais pode resultar, às vezes, em baixa frequência de resposta pela cultura do feijão (VIEIRA, 1998; PIASKOWSKI et al., 2001).

Nas culturas, o manejo adequado da irrigação consiste em fornecer água à cultura no momento certo e na quantidade suficiente para atender sua necessidade hídrica. Esse

manejo tem os seguintes objetivos: maximizar a produtividade da cultura; minimizar o uso da água e o custo de energia; aumentar a eficiência dos fertilizantes; diminuir a incidência das doenças; manter ou melhorar as condições químicas e físicas do solo e fazendo com que o investimento de um programa de manejo adequado se pague por meio de sua própria economia (ARAÚJO et al., 1996).

O efeito da irrigação sobre o estoque de carbono orgânico no solo depende de como esta prática influi nos componentes de adição e de perda de carbono. A irrigação normalmente resulta no aumento da adição de biomassa vegetal produzida pelas culturas. BERGONCI et al. (2001) verificaram aumento de 53% ou 5,3 Mg ha⁻¹ na produção de resíduos de milho decorrente da irrigação por aspersão. O maior rendimento de grãos das culturas decorrente da irrigação, relatado no trabalho de CUNHA & BERGAMASCHI (1997), também é um indicativo de que o aporte de resíduos culturais é maior em áreas irrigadas.

O déficit hídrico afeta, praticamente, todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas, bem como a do feijoeiro, reduzindo a área foliar (menor crescimento ou até morte das folhas), diminuindo a fotossíntese (em função da menor área foliar, ao murchamento e enrolamento de folhas e ao fechamento de estômatos), afetando vários outros processos, tais como: brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos. Além disso, outro detalhe importante é a alteração do ambiente físico das culturas, decorrente das modificações no balanço energético do sistema. Pela redução da evapotranspiração e, portanto, da energia a ser transformada em calor latente de evaporação, eleva-se a temperatura do solo e do ar, diminuindo a umidade relativa do ar. Assim, em uma cultura com déficit hídrico, além de menor disponibilidade de água no solo, haverá maior demanda evaporativa do ar junto às plantas, acentuando o estresse. No caso do feijoeiro é mais prejudicial o estresse hídrico quando esse se encontra nas fases de floração e desenvolvimento de vagem (SILVEIRA & STONE, 2001).

Conforme SILVEIRA & STONE (2001), o feijão é uma planta muito sensível ao excesso de água no solo, pois, nessas condições, o desenvolvimento vegetativo e o rendimento são muito prejudicados devido à deficiência de oxigênio nas raízes, redução da atividade metabólica, aumento da resistência ao movimento de água por meio das raízes e acumulação de compostos tóxicos. O dano causado à planta depende do teor de argila do

solo em questão, do estágio de desenvolvimento, da cultivar, da temperatura e da duração da inundação, já que essa planta deverá ter uma atividade respiratória normal, pois o seu desenvolvimento poderá ser afetado.

Médiante o exposto, verifica-se a importância para a cultura do feijão de uma adequada adubação e irrigação para garantir o êxito na produtividade e renda para o produtor. Para aumentar a produção anual do feijão, consolidou-se mais uma alternativa de cultivo, o “feijão de inverno”, que tem a irrigação como ferramenta fundamental para o desenvolvimento da cultura. A cobertura morta na superfície do solo altera a relação solo-água, pois previne a evaporação reduzindo, assim, a taxa de evapotranspiração da cultura, e propicia o aumento do intervalo entre irrigações, o que diminui a frequência do uso desta tecnologia (ANDRADE et al., 2002). Quanto à adubação, o feijoeiro comum é exigente em nutrientes, em decorrência, principalmente, do seu sistema radicular reduzido e pouco profundo (ROSOLEM et al., 1994), razão pelas quais os nutrientes devem estar dispostos e próximos ao sistema radicular da planta.

2.3 Aspectos condicionantes na decomposição da cobertura morta do solo

O sistema de rotação de culturas no plantio direto deve prever pelo menos uma cultura por ano para ampliar e promover manutenção de cobertura morta à superfície do solo.

Grandes quantidades de resíduos vegetais persistem durante maior período de tempo sobre a superfície do solo (BERTOL et al., 1998), especialmente no caso de resíduos resistentes à decomposição, como são as gramíneas em geral, tornando-se importantes para o sucesso do sistema plantio direto. Desse modo, a eficácia desse sistema de manejo na conservação do solo depende, dentre outros aspectos, do conhecimento da velocidade de decomposição dos resíduos culturais mantidos sobre a superfície do solo, especialmente quando se adotam rotações de culturas.

A decomposição dos resíduos culturais depende da natureza e da quantidade do material vegetal (BROWN & DICKEY, 1970; BERTOL et al., 1998; GILMOUR et al., 1998), da fertilidade do solo (SMITH & DOUGLAS, 1971), do manejo da cobertura e do grau de fracionamento do resíduo (HOUSE & STINNER, 1987), além de condições

climáticas (LYON, 1998; GILMOUR et al., 1998), representadas principalmente pelo regime de chuvas e pela temperatura, que influem na atividade microbiana do solo.

Por aumentar o conteúdo de água no solo, a irrigação pode intensificar a decomposição microbiana da matéria orgânica, embora poucos estudos tenham avaliado esse processo. Evidências do efeito favorável da suplementação hídrica na atividade da microbiota foram obtidas por ANDRÉN et al. (1992), os quais verificaram maior taxa de decomposição da palha de cevada em sistema irrigado ($0,843\% \text{ dia}^{-1}$), em comparação ao não irrigado ($0,537\% \text{ dia}^{-1}$). Esses resultados evidenciam que condições de umidade mais favoráveis para a atividade microbiana podem refletir também em aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica em solos sob irrigação.

A população e atividade dos microrganismos decompositores é muito influenciada pela quantidade de N do solo e esse aumento na disponibilidade de N pode favorecer a taxa de decomposição (WIETHÖLTER, 1996). MARY et al. (1996) observaram que a decomposição de resíduos de plantas em solos com baixas concentrações de N mineral é diminuída, embora não inibida completamente. Entretanto, FLECHA (2000) não observou incremento na taxa de decomposição de resíduos de aveia preta, quando houve aumento da quantidade de N no solo.

A taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação carbono/nitrogênio (C/N) do tecido, por isso espécies não gramíneas como ervilhaca e nabo forrageiro possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas como aveia preta. O reflexo disso é a intensidade do fenômeno de imobilização de N, que é a principal causa da menor disponibilidade de N às plantas no sistema plantio direto, em relação ao sistema com revolvimento de solo (SALET et al., 1997). Entretanto, os níveis de N no solo são determinados não apenas pelo balanço entre a quantidade de N mineralizada a partir da matéria orgânica, dos resíduos vegetais e da adição por meio de fertilizantes, mas também pelas perdas de N por lixiviação, volatilização e denitrificação (CERETTA, 1998).

Segundo ALVARENGA et al. (2001), pode se considerar que cerca de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de resíduos vegetais sobre o solo é uma quantidade adequada para proteger o solo da ação da chuva, mostrando a importância da cultura de milho na formação de palhada, que em média produz $8,1 \text{ Mg ha}^{-1}$.

O Estudo da decomposição do resíduo de milho e variáveis relacionadas, na região do planalto sul Catarinense, conduzido por BERTOL et al. (2004a), constatou a quase que completa decomposição de uma quantidade de $8,77 \text{ Mg ha}^{-1}$ do resíduo de milho na presença de N, restando ainda cerca de 10% da massa inicial, em aproximadamente 900 dias, com decomposição de $0,46 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, enquanto que, na ausência de N, a decomposição ocorreu em aproximadamente 1.300 dias, com decomposição de $0,35 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$. Em dez meses, a redução na quantidade do resíduo de milho foi de 40% na ausência de N, enquanto, na sua presença, essa redução foi de 53%. Nos primeiros quatro meses, a decomposição do resíduo de milho foi 43% maior na presença de N do que na sua ausência.

De acordo com a pesquisa desenvolvida por BERTOL et al. (1998) foi observado que, após 180 dias, a aveia-preta apresentou uma diminuição de 80% e o milho de 64% da massa seca remanescente quando incorporada ao solo. SILVA et al. (1997) avaliaram a taxa de decomposição de crotalária, guandu, mucuna-preta e braquiária em solo sob cerrado nativo e solo descoberto, observaram taxas de decomposição de 61,3, 61,9, 65,6 e 78,9%, respectivamente, decorridos 60 dias após a implantação das bolsas de decomposição.

Portanto, é ideal ter uma cobertura do solo que permita a proteção da sua superfície por maior período de tempo possível; que se decomponha o mais lentamente e que, ao decompor-se, permita o retorno de boa e equilibrada quantidade de nutrientes ao solo; que não seja hospedeira preferencial de organismos causadores de doenças ou pragas e que cubra o solo até que a cultura em desenvolvimento o faça adequadamente e, após isso, ainda mantenha resíduos remanescentes.

2.4 Matéria orgânica e o manejo do solo

A importância da matéria orgânica em relação aos atributos químicos, físicos e biológicos do solo é amplamente reconhecida. A sua influência sobre as características do solo e a sensibilidade às práticas de manejo determinam que a matéria orgânica seja considerada um dos principais atributos do solo na avaliação da sua qualidade.

O uso contínuo de culturas anuais em uma mesma área, a movimentação intensa do solo e a reposição inadequada dos nutrientes exportados podem constituir em fatores

limitantes para a manutenção e o aumento da produtividade, levando à degradação gradativa do solo decorrente do manejo inadequado. A adoção de sistemas de manejo do solo e de cultura adequadamente conduzida proporciona aporte de material orgânico, por meio dos resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e da proteção oferecida à superfície do solo (CAMPOS et al., 1995).

A matéria orgânica tem importante papel em diversos atributos do solo (físicos, químicos e biológicos) e por isso tem-se procurado identificar sistemas de manejo do solo que favoreçam seu aumento e/ou mantenham suas concentrações. Mudanças no ambiente do solo, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar ao declínio do estoque de matéria orgânica, colaborando para o aumento de CO₂ na atmosfera (LAL, 1997).

A acumulação de matéria orgânica em Latossolos da Região do Cerrado sob plantio direto foi verificada por CORAZZA et al. (1999). Enquanto o solo cultivado com grade pesada apresentou perda de 8,3 Mg ha⁻¹ em 12 anos em relação ao solo sob cerrado nativo, no solo sob plantio direto verificou-se, em 15 anos, aumento de 21,4 Mg ha⁻¹ de C, o que corresponde a uma taxa anual de acúmulo de C no solo de 1,43 Mg ha⁻¹. Estes resultados demonstram que, enquanto o solo sob plantio convencional atua como fonte de C para atmosfera, o solo sob plantio direto passa a atuar como dreno de C atmosférico, o que representa importante contribuição da agricultura para atenuar a concentração de CO₂ na atmosfera e nas alterações climáticas globais.

Segundo SANTOS & TOMM (2003), o teor de matéria orgânica do solo verificado na camada de 0,00-0,05 m no plantio direto foi de 38 g kg⁻¹, sendo este valor superior ao da camada de 0,0-0,2 m (34 g kg⁻¹), indicando que os sistemas de manejo conservacionistas do solo podem contribuir para o aumento do teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, da fertilidade do solo. Nos primeiros anos de adoção desses sistemas, observa-se tendência de elevação dos níveis de matéria orgânica nas camadas próximas à superfície do solo.

O estudo do sistema de manejo do solo, em um Latossolo Vermelho distrófico típico, durante três anos conduzido por SANTOS et al. (1995), comprovou que o teor de matéria orgânica do solo foi maior no plantio direto (31 a 35 g kg⁻¹), em relação ao plantio convencional (27 a 28 g kg⁻¹), na camada de 0,00-0,05 m. DE MARIA et al. (1999), trabalhando com sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho distrófico, durante 9

anos, observaram teor de matéria orgânica superior no plantio direto (43 g kg⁻¹), em comparação ao plantio convencional (38 g kg⁻¹), na camada de 0,00-0,05 m.

O preparo do solo executado com aração e/ou gradagem, aumenta o potencial de perda de matéria orgânica por erosão hídrica e decomposição microbiana, sendo a última a principal forma de perda de matéria orgânica do solo afetada pelos preparos. REICOSKY et al. (1995) verificaram que 19 dias imediatamente após a aração do solo ocorreu uma liberação de 2,48 Mg ha⁻¹ de C como CO₂, quantidade superior ao adicionado pelo resíduo de trigo (1,85 Mg ha⁻¹ de C), indicando substancial oxidação biológica do carbono orgânico do solo. Dezenove dias após o preparo, metade do resíduo do trigo permanecia visível, não completamente decomposto, indicando que mais da metade do C liberado como CO₂ foi resultante da matéria orgânica do solo.

Segundo a pesquisa realizada por BAYER & BERTOL (1999) acerca de atributos químicos de um Cambissolo Húmico, afetados por sistemas de preparo, com ênfase na matéria orgânica, em um período de 13 anos, demonstrando que os incrementos de carbono orgânico foram de 85% no preparo reduzido e de 275% no plantio direto, evidenciando ser um atributo adequado para avaliar o efeito de sistemas de manejo em curto prazo.

O sistema plantio direto aumenta os estoques de carbono orgânico do solo em comparação com o preparo convencional, sendo este efeito restrito às camadas superficiais e dependentes do sistema de cultura. O acúmulo de carbono no solo em plantio direto ocorre preferencialmente na matéria orgânica particulada, a qual é mais sensível às alterações no manejo do solo, do que o carbono orgânico total. Em períodos curtos (seis anos), o plantio direto não tem efeito no estoque de carbono na matéria orgânica associada aos minerais em Latossolos argilosos oxídicos (BAYER et al., 2004).

Foi avaliado por COSENTINO et al. (1998) o efeito de três sistemas de cultivo do solo (preparo convencional, cultivo reduzido e plantio direto) em um Chernossolo Argilúvico, em relação ao carbono orgânico total (COT) e ao carbono da biomassa microbiana (CBM). Os resultados mostraram que o COT foi mais alto e significativamente diferente nas parcelas sob plantio direto. O plantio direto foi o único sistema que apresentou diferenças significativas com a profundidade. Já o CBM apresentou uma tendência similar ao COT, embora o decréscimo tenha sido maior no preparo convencional e no preparo reduzido.

O carbono pode acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica no solo, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico, bem como nas alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos sob plantio direto. Assim, visando identificar em quais compartimentos o C está acumulando, têm sido utilizadas técnicas de fracionamento físico da matéria que podem ser granulométricas, densimétricas ou uma mistura de ambas (SIX et al., 1998). O acúmulo de C em frações lábeis da matéria orgânica tem sido relacionado à sua proteção física no interior de agregados, em consequência da inacessibilidade aos microrganismos e suas enzimas (FELLER & BEARE, 1997). A matéria orgânica protegida no interior de agregados apresenta um tempo de permanência no solo maior do que a matéria orgânica livre, sendo esta proteção maior nos microagregados do que nos macroagregados (BUYANOVSKY et al., 1994).

Em um estudo desenvolvido por BONA et al. (2006), no qual avaliaram a dinâmica do carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional, foi demonstrado que o sistema de preparo do solo não teve efeito no estoque total de C orgânico do solo, mas influenciou na sua distribuição vertical. Enquanto a adição de resíduos vegetais na superfície contribuiu para o acúmulo de C orgânico nas camadas superficiais do solo em plantio direto, a incorporação dos resíduos vegetais durante as operações de preparo resultou em maiores concentrações de C orgânico em subsuperfície no solo em preparo convencional.

Em sua maioria, os estudos sobre o efeito de sistemas de manejo têm demonstrado que as alterações no conteúdo de matéria orgânica são lentas, necessitando de um período de tempo relativamente longo para serem detectadas. Por essa razão, alguns estudos também têm avaliado adicionalmente à matéria orgânica total, atributos como a biomassa microbiana e a matéria orgânica leve, que são mais sensíveis, permitindo uma avaliação antecipada da qualidade dos sistemas de manejo do solo.

2.5 Teor de água e a temperatura do solo

Com a presença de cobertura vegetal são diminuídas as perdas de água por evaporação e a amplitude térmica no solo, propiciando-se maior umidade nas camadas superficiais do solo e disponibilidade hídrica para as plantas.

Segundo MOTA (1989), a temperatura do solo particularmente as extremas, influem na germinação das sementes, nas atividades funcionais das raízes, na velocidade e duração do crescimento das plantas e sobre a ocorrência e severidade de doenças. Temperaturas do solo extremamente altas também têm efeito prejudicial sobre as raízes. Por outro lado, as temperaturas baixas impedem a absorção dos nutrientes minerais.

A capacidade de armazenar calor em um solo varia de acordo com o seu teor de água. No estado seco, os solos orgânicos têm baixa capacidade de armazenar calor que os minerais, devido à baixa densidade dos primeiros. Os solos orgânicos e de textura fina devido à sua alta capacidade de retenção de água, têm maior capacidade calorífica do que os solos arenosos. A velocidade do fluxo de calor no solo é determinada pelo seu gradiente de temperatura e condutividade térmica. Quanto maior a condutividade térmica do solo, menor são as variações de temperatura da superfície e mais efetivo é seu papel como reservatório de calor. A condutividade térmica de um solo é determinada primariamente pela sua porosidade, umidade e conteúdo de matéria orgânica. O conteúdo de água e, a condutividade térmica decresce dos solos argilosos para os mais arenosos conforme a porosidade aumenta (MOTA, 1989).

A variação diária da temperatura do solo depende do tipo de cobertura presente à superfície, já que esta interfere no suprimento de energia solar. Para uma dada classe de solo, a amplitude térmica diária a uma determinada profundidade com algum tipo de cobertura morta (mulch) contribui para reduzir sensivelmente a amplitude térmica diária do solo (VAREJÃO-SILVA, 2001).

O efeito da cobertura morta de aveia preta e crotalária, semeadas no outono em um Latossolo Roxo, no controle de plantas daninhas, temperatura e umidade do solo, em sistema de plantio direto, foi avaliado por CASTRO et al. (1989), os quais verificaram que a aveia preta apresentou a menor incidência de plantas daninhas, menor amplitude térmica

do solo e maior disponibilidade de água, esta última, mais visível nos meses de menor precipitação.

De acordo com pesquisa desenvolvida por BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) avaliando o efeito da cobertura do solo com resíduos culturais na temperatura e umidade do solo, por meio da aplicação de quatro doses de palha de trigo (0,0; 2,5; 5,0 e 7,5 Mg ha⁻¹), confirmando que a aplicação de 7,5 Mg ha⁻¹ de palha contribuiu para a redução da temperatura do solo em 8,5°C, de 37,1°C no solo descoberto para 28,6°C no solo com máxima cobertura, além de reter 10% a mais de água do que o solo descoberto, não afetando a germinação da soja.

Estudos realizados por GASPARIM et al. (2005), avaliando a temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu, verificaram que a cobertura morta reduz a temperatura no perfil do solo, em relação ao solo nu. Quanto maior a densidade da cobertura morta sobre o solo, menor é a temperatura no seu perfil. Em solo nu, a temperatura média mensal é maior nas pequenas profundidades na estação do verão, invertendo-se quando a estação se aproxima do inverno, ou seja, a temperatura se torna maior nas profundidades maiores.

Avaliações em nível de campo do efeito de diferentes plantas utilizadas como cobertura verde de inverno, em sistema plantio direto, na temperatura e umidade do solo e na produtividade de grãos de soja, milho e feijão, foram feitas por DERPSCH et al. (1985). As plantas utilizadas como cobertura foram: tremoço branco, ervilhaca peluda, chícharo, centeio, aveia preta, trigo, nabo forrageiro, colza e girassol. Os maiores valores de umidade do solo foram constatados onde havia aveia preta. Os menores valores de temperatura também foram encontrados onde a aveia preta era cultivada. O rendimento de grãos de soja foi influenciado pelo resíduo de cultura de inverno, sendo que a maior produtividade foi encontrada também onde havia resíduo de aveia preta.

Segundo STONE & MOREIRA (2000) a magnitude da resposta da produtividade do feijoeiro à lâmina de água aplicada varia com a cultivar e com o sistema de preparo do solo. O plantio direto, com adequada cobertura morta, propiciou maior economia de água em comparação com os demais sistemas de preparo do solo.

Estudos conduzidos por SIDIRAS et al. (1984) sob o efeito da cobertura do solo com resíduos vegetais na redução das perdas de água por evaporação, demonstraram que foi

mais pronunciada na profundidade de 0,0-0,1 m. As perdas foram evitadas ou apreciavelmente reduzidas por meio da cobertura da superfície com resíduos de aveia preta, tanto na cultura da soja como na do milho. A temperatura do solo sob resteva de aveia preta foi sempre mais baixa do que a do solo completamente descoberto. BARROS & HANKS (1993) observaram que a cobertura morta foi eficiente em aumentar a produtividade e a eficiência do uso da água do feijoeiro em todos os níveis de irrigação estudados. Aumentos de produtividade parecem estar relacionados ao efeito da cobertura morta em reduzir a evaporação.

A pesquisa desenvolvida por COSTA et al. (2003) demonstrou que a amplitude térmica foi menor em semeadura direta do que em plantio convencional, sendo de 4,4°C e 7,4°C, respectivamente. Os autores verificaram que o armazenamento de água na camada de 0,0-0,2 m foi 99 m³ ha⁻¹, superior no solo sob plantio direto (913 m³ ha⁻¹) do que em plantio convencional (814 m³ ha⁻¹). Os valores mais adequados de umidade e temperatura no sistema de plantio direto, juntamente com a melhoria dos atributos físicos, teriam sido favoráveis aos maiores rendimentos obtidos.

Em função da cobertura morta, menores oscilações de temperatura e temperaturas mais baixas foram observadas no plantio direto ao longo de 24 horas (SIDIRAS & PAVAN, 1985). Os mesmos autores observaram ainda que durante todo o período vegetativo da soja as temperaturas do solo foram inferiores no plantio direto, em relação ao preparo convencional e, oscilaram, ao meio dia, próximas ao valor ótimo de crescimento (32 °C). Já no solo preparado, as temperaturas rapidamente ultrapassaram os 40 °C, chegando inclusive a valores máximos próximos a 47 °C.

Destaque-se então, que 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. Com a presença de cobertura vegetal são diminuídas as perdas de água por evaporação e a amplitude térmica no solo, propiciando umidade maior nas camadas superficiais do solo e disponibilidade hídrica para as plantas.

2.6 Atributos físico-hídricos do solo e a cobertura morta

O manejo do solo é realizado para que o cultivo de plantas ocorra de forma satisfatória, porém, o manejo altera os seus atributos físicos, químicos e biológicos, em relação ao solo que não foi cultivado, como um campo nativo, por exemplo. Tais alterações são mais pronunciadas em sistemas de preparo convencionais do que em sistemas conservacionistas, que visam o solo protegido e com qualidade.

Em sistemas que prevêm baixa mobilização e revolvimento do solo, como no plantio direto, observam-se menor macroporosidade e porosidade total em superfície e maior em subsuperfície, quando comparadas com as do preparo convencional. As alterações causadas na porosidade do solo, além de modificar as trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas (ARGENTON et al., 2003).

O solo sob plantio direto, apesar de geralmente apresentar maiores valores de densidade do solo e menor volume de macroporos, pode também apresentar maiores taxas de infiltração de água. Isto acontece em função de serem os poros do solo sob plantio direto mais contínuos, principalmente pelos canais construídos pela macrofauna (DOUGLAS JÚNIOR et al., 1980).

No início do plantio direto é comum encontrar diferenças de densidade com relação a outras profundidades. Isto está relacionado ao adensamento natural devido à ausência de revolvimento, como também, pela compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas (DE MARIA et al., 1999). Contudo, vale salientar que o referido sistema, embora preconize o não revolvimento do solo, pode promover alguma movimentação, pelos mecanismos sulcadores das semeadoras. Resultados semelhantes foram encontrados por BERTOL et al., (2004b) onde a densidade do solo foi maior na semeadura direta tanto em sucessão e rotação de culturas em relação ao preparo convencional e ao campo nativo.

A cobertura vegetal tem interferência na taxa de infiltração e na condutividade hidráulica pela redução do encrostamento superficial, considerando que a condutividade hidráulica da camada encrostada pode ser de 200 a 2.000 vezes menor do que a condutividade normal do solo (McINTYRE, 1958). O uso de coberturas mortas ou fertilizantes orgânicos que venham a promover a manutenção e o aumento do teor de

matéria orgânica no solo são um importante aliado contra o processo de compactação (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

No trabalho realizado por SIDIRAS & ROTH (1987) foi concluído que a cobertura do solo com resíduos de aveia preta propiciou maiores taxas de infiltração em relação às outras espécies de gramíneas e leguminosas. CECÍLIO & PRUSHY (2004) obtiveram valores 32% maiores para a taxa de infiltração estável em áreas com plantio direto do que naquelas com plantio convencional. Em solos argilosos manejados sob plantio direto observaram redução da taxa de infiltração estável em até 42% em relação ao preparo convencional, devido à compactação induzida pelo trânsito das máquinas.

De acordo com REICHARDT & TIMM (2004), com elevados teores de água no solo, os fenômenos de capilaridade tornam-se importantes na determinação do potencial matricial, sendo a curva característica dependente do arranjo e das dimensões dos poros. Já com baixos teores, o potencial matricial é menos dependente de fatores geométricos, sendo assim a densidade do solo e porosidade pouco importante em sua determinação.

Uma vez determinadas as curvas de retenção, deve-se definir a curva mais adequadamente ajustável aos dados experimentais. CARVALHO et al. (1999) obtiveram retenção de água maior na faixa de energia de importância para as plantas, entre 10 e 1500 kPa, no sistema plantio direto e no tratamento testemunha (pousio). Esse resultado pode ser justificado tanto pelos maiores teores de matéria orgânica determinados nesses sistemas, como pelo aumento no teor de argila, em profundidade, favorecendo-se a retenção de água em profundidade, pela predominância de microporos.

Com a compactação pode-se ter aumento linear no conteúdo de água e conseqüente redução no espaço de aeração (BORGES et al., 1999). Entretanto, o aumento na retenção de água não implica mais disponibilidade desta para as plantas; isso pode ocorrer devido à força com que a água é retida nos microporos ser superior à capacidade das plantas em extraí-la. LAURANI et al. (2004), ao contrário, não verificaram a influência na retenção de água na camada de 0,0-0,20 m com o aumento da densidade nessa profundidade, em Latossolo Vermelho eutrófico.

Em um experimento de longa duração (21 anos), COSTA et al. (2003) avaliaram os efeitos do sistema plantio direto e preparo convencional nos atributos físicos de um Latossolo Bruno aluminico câmbico e no rendimento de grãos de soja e milho. A adoção do

sistema plantio direto proporcionou significativa melhoria nos atributos físicos, como a densidade do solo, temperatura do solo e diâmetro médio geométrico de agregados. O rendimento de grãos de soja (média de 18 safras) e de milho (4 safras) foram, respectivamente, 42% e 22% superiores em plantio direto, em comparação ao preparo convencional, o que foi atribuído principalmente ao efeito benéfico do sistema plantio direto na melhoria da qualidade física do solo.

Foi constatado por GENRO JÚNIOR et al. (2004) a diminuição da resistência do solo à penetração em Latossolo argiloso sob plantio direto, a partir de 0,10 m. Em outras pesquisas, tem sido demonstrada maior compactação superficial, em sistemas sob plantio direto em relação ao plantio convencional, em que a maior resistência do solo à penetração está entre 0,20 e 0,30 m de profundidade (SILVA et al., 2000).

Contudo, a diminuição da resistência do solo à penetração juntamente com uma distribuição mais homogênea do sistema radicular das culturas obtidas em experimento com preparo de solo com arado não foram suficientes para proporcionar o aumento de produção (STONE & SILVEIRA, 1999). Esses autores obtiveram valores superiores de produtividade de feijoeiro sob irrigação em semeadura direta do que em sistemas de preparo com grade e arado, mesmo sendo observada menor resistência do solo à penetração e mais adequada distribuição do sistema radicular neste último. A maior produtividade em plantio direto foi atribuída à menor variação e aos valores baixos de tensão da água no solo, assim como ao acúmulo de nutrientes na camada superficial e à maior atividade biológica.

As práticas de manejo causam contínua redução na estabilidade dos agregados, a não ser que se realize um manejo às condições de cada solo, e que o teor de matéria orgânica aumente (BAVER et al., 1973). Isto porque, a matéria orgânica, assim como as argilas, são de grande importância como agente cimentante na formação de agregados, além da formação da estrutura do solo depender dos efeitos dos cátions, das interações das argilas entre a umidade e a temperatura e, com as atividades da vegetação, da fauna e dos microrganismos.

Avaliações realizadas por CAMPOS et al. (1995) da estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho distrófico após sete anos de rotação de culturas em sistemas de manejo do solo, permitiram que o solo sob sistema plantio direto apresentasse diâmetro médio de agregados cerca de duas vezes maior que o sistema convencional. Também houve melhoria

de outros atributos físicos tais como a distribuição de poros e da densidade do solo. COSTA et al. (2003) verificaram, em plantio direto, um diâmetro médio geométrico (DMG) maior na camada de 0,00-0,05 m em relação ao plantio convencional, sendo de 3,7 mm e 1,6 mm, respectivamente. Devido ao efeito positivo na estabilidade de agregados, do não revolvimento do solo e ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície.

Alguns atributos físicos do solo, como densidade do solo, espaço poroso, movimento de água no solo e estabilidade de agregados, podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido. Uma contínua avaliação, no tempo, destes atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não do sistema de manejo do solo quando se objetiva a estabilidade estrutural.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo e do solo

O projeto foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, situado no município de Campinas (SP), com coordenadas geográficas de 22°48'57" de latitude sul e 47°03'33" de longitude oeste. O solo da área experimental, de acordo com a nomenclatura atual do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2006), pertence à classe dos Latossolos Vermelhos distroférico típicos (*Rhodic Haplorthox*, USA; *Rhodic Ferralsol*, FAO).

O clima pela classificação climática de Köppen é uma transição entre os tipos Cwa e Cfa, indicando clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é inferior a 18°C. A precipitação média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso concentrando-se entre outubro e março (1.048 mm), o que representa 75 % do total da chuva anual.

3.2 Parcelas experimentais

O experimento foi conduzido num delineamento em blocos casualizados, com três repetições no esquema fatorial 3x4 (total de 12 tratamentos e 36 parcelas). Os tratamentos foram: 3 níveis de nitrogênio (0 kg ha⁻¹ – D₁, 50 kg ha⁻¹ – D₂ e 120 kg ha⁻¹ – D₃) e 4 níveis de cobertura morta (0,0 Mg ha⁻¹ – Q₁, 4,0 Mg ha⁻¹ – Q₂, 6,0 Mg ha⁻¹ – Q₃ e 10,0 Mg ha⁻¹ – Q₄). Cada parcela apresentou 15 m², para um total de 180 m² de área útil por bloco (Figuras 1 e 2).

Na caracterização inicial foi determinada a granulometria do solo e seus atributos químicos, em 12 pontos distribuídos na área, tendo a finalidade de determinar a adubação da cultura em estudo (Tabela 1). A análise granulométrica foi realizada por meio do método da pipeta (dispersão total) segundo metodologia da EMBRAPA (1997). Para a caracterização química foi determinado o pH em água pelo método potenciométrico; bases trocáveis (S = Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺), pelo método do acetato de amônio N a pH 7,0; acidez potencial (Al⁺⁺⁺ + H⁺), pelo método do acetato de cálcio a pH 7,0, alumínio trocável (Al⁺⁺⁺), pelo método do KCl N; capacidade de troca de cátions (CTC = S+ Al⁺⁺⁺ + H⁺);

fósforo assimilável, pelo método de extração por resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001).



Figura 1. Parcelas experimentais da área em estudo.

A semeadura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca Precoce foi realizada em 10/06/07, utilizando-se o espaçamento entre linhas de 0,45 m, 12 sementes por metro e população de 230.000 plantas por ha⁻¹. A emergência das plântulas ocorreu 08 dias após a semeadura, tendo o desenvolvimento da cultura estabelecido durante o período de inverno. A colheita foi realizada manualmente em 19/09/07, totalizando um ciclo de 95 dias a partir da emergência das plântulas.

O resíduo vegetal de milho (*Zea mays*) foi colhido manualmente de uma lavoura, em área contígua à do experimento, em maio de 2007. Após a colheita, o resíduo, seco ao ar, composto de folhas e, predominantemente, de colmos, foi fracionado em pedaços (tritador estacionário), e em seguida, armazenado em local seco e ventilado, até o momento da instalação do experimento no campo, onde foi pesado e distribuído uniformemente na área de cada tratamento. O Nitrogênio foi aplicado manualmente sobre o resíduo, imediatamente após sua distribuição no solo e, em seguida, realizada irrigação equivalente a 6,0 mm de água com o objetivo de dissolver o N e reduzir as suas perdas pela volatilização.

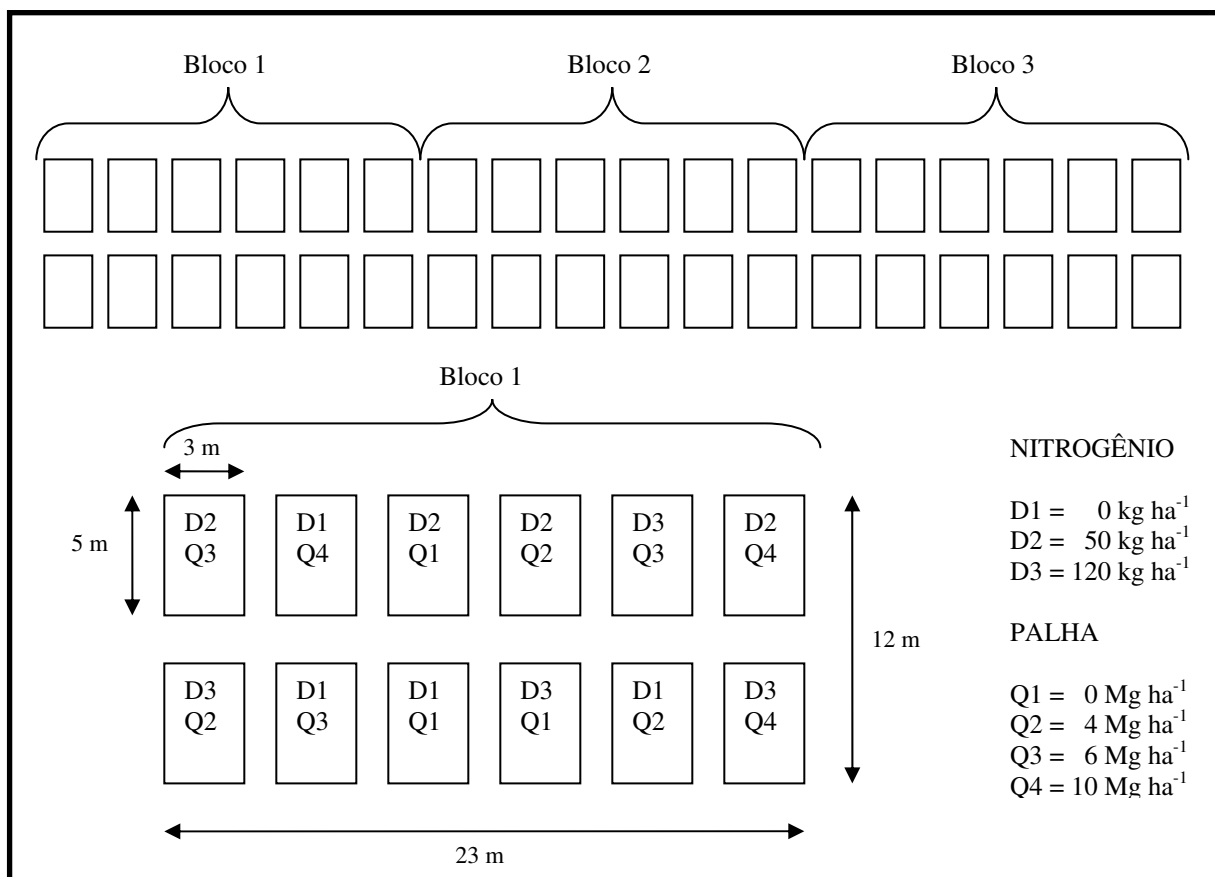


Figura 2. Croqui da área estudada.

Durante o experimento a superfície do solo, nos tratamentos, foi mantida livre de plantas daninhas por meio de limpezas manuais. O controle fitossanitário dos tratamentos foi realizado empregando-se o Cercobin 700 PM (*Thiofanato Metílico*) para o controle da Antracnose (*Collepto Thichun Indemuthianum*), na dose de $0,7\text{g L}^{-1}$ de água do produto comercial e, para o controle de formiga, foi aplicado o formicida Mirex nas doses recomendadas do produto comercial.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho distroférico.

Profundidade	pH	H+Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	MO	V	Areia	Argila	Silte
(m)	H ₂ O	-----mmol _c dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	-----g kg ⁻¹ -----		
0,00-0,05	6,1	32	60	12	12	84	117	49,0	4,8	72,2	254,4	553,5	192,1
0,05-0,10	6,0	34	62	12	7	81	115	44,4	4,1	69,9	254,6	553,8	191,6
0,10-0,15	5,8	37	60	10	5	75	112	35,1	3,3	67,2	248,2	559,4	192,5

As parcelas foram irrigadas por aspersão convencional, sendo que o manejo da irrigação foi por tensiometria de maneira a manter, na camada de 0,0-0,2 m, o conteúdo de água do solo em valores próximos da capacidade de campo. Usou-se a umidade crítica de irrigação, o correspondente a tensão no solo igual ao potencial matricial de -35 kPa no tratamento com a quantidade de 4,0 Mg ha⁻¹ de palha.

3.3 Histórico de uso e manejo das parcelas

Antes de 2004 a área era manejada com sistema convencional (arado de discos e grade niveladora). A adubação era feita com formulação pronta de 4-14-8 e cobertura com nitrogênio aos 25 dias. Desde o ano agrícola de 2004/2005 a área vem sendo manejada com o sistema plantio direto. O material de cobertura foi dessecado com herbicida “*roundup*” (glifosato) e após esse manejo foi feita a semeadura com máquina específica para o plantio direto. A seqüência de culturas foi milho no verão e nabo forrageiro no inverno.

3.4 Avaliação do sistema de irrigação

Para avaliação do sistema de irrigação, foi montado o ensaio de uniformidade de distribuição de água, de acordo com o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) proposto por CHRISTIANSEN (1942). Foi montado o sistema de irrigação por aspersão convencional na safra de inverno na área experimental, com espaçamento de 12 m x 12 m, utilizando-se duas linhas laterais, para um total de 12 aspersores na área. Foram utilizados aspersores do modelo Naan 5022, com bocal cor azul de 3,5 x 2,5 mm, com vazão de 1,060 m³ h⁻¹ para uma pressão de 2,5 bar, diâmetro molhado de 24,5 m e intensidade de precipitação média de 7,4 mm h⁻¹ com espaçamento de 12 m x 12 m.

O ensaio para a determinação do CUC foi realizado distribuindo coletores em uma malha regular de 1 m x 1 m (13 linhas e 13 colunas), totalizando 169 coletores. O sistema de irrigação foi acionado durante uma hora, logo após os coletores foram recolhidos para contabilizar a lâmina de água aplicada durante o ensaio. O controle de umidade foi feito pelo método gravimétrico a 0,20 m de profundidade.

3.5 Avaliação da cobertura morta

Para avaliar o comportamento da decomposição da cobertura morta em cada tratamento, foi utilizada uma tela quadriculada com $0,16 \text{ m}^2$ ($0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$), constituída de 100 quadrados (Figura 3). Foram quantificadas individualmente em cada quadrado, a ausência ou presença de cobertura, por meio da seguinte escala: 0 (sem palha), 0,5 (50% de palha) e 1 (100% de palha), conforme à metodologia proposta por LUCARELLI (2007). Posteriormente, os resultados foram somados para a determinação da porcentagem de cobertura morta naquela amostra. Após este procedimento todo material vegetal sobre o solo foi retirado, secado na estufa a 65°C até atingir o peso constante. As amostras foram coletadas ao acaso em nove épocas (0, 16, 24, 31, 37, 51, 65, 80 e 94 dias após a aplicação da cobertura morta), com três repetições por tratamento (total de 36 amostras), ao longo do ciclo da cultura de feijão (95 dias).



Figura 3. Tela quadriculada usada na amostragem para determinação da cobertura morta no sistema de plantio direto.

O tempo de exposição do resíduo de milho na superfície do solo foi relacionado com a quantidade do referido resíduo presente em cada uma das épocas de avaliação. Os dados foram ajustados utilizando modelo de regressão exponencial, do tipo $y = ae^{-bx}$, o qual foi linearizado, transformando os dados de quantidade do resíduo de milho para logaritmo

natural, conforme o método descrito em DOUGLAS JÚNIOR et al. (1980), sendo (b) o valor correspondente à taxa de decomposição da matéria morta.

3.6 Monitoramento do teor de matéria orgânica do solo

Para monitorar a variação do teor de matéria orgânica do solo, foram coletadas 6 amostras simples em cada tratamento, uma vez por mês durante o ciclo da cultura do feijão (95 dias). As amostras do solo foram coletadas manualmente, na camada de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m, para um total de 72 amostras por período de colheita. O teor de matéria orgânica do solo foi obtido por meio da metodologia proposta por CAMARGO et al. (1986), utilizando o dicromato de potássio.

3.7 Monitoramento da temperatura do solo e do ar atmosférico

As leituras de temperatura do solo foram obtidas durante o desenvolvimento da cultura de feijão (inverno) na profundidade de 0,15 m e 0,30 m, em dois períodos (9:00 horas e 14:00 horas), por meio do termômetro Soloterm 1200. Foram efetuadas todos os dias ao longo do ciclo das culturas em 6 pontos por parcela, para um total de 216 leituras diárias por profundidade. A temperatura do ar foi obtida 1,0 m acima do dossel da cultura na estação meteorológica Campbell, localizada na área experimental.

3.8 Monitoramento do teor de água no solo

O monitoramento do teor de água no solo foi realizado com a finalidade de controlar o sistema de irrigação e verificar o comportamento da umidade dentro dos tratamentos propostos. O teor de água no solo foi determinado em 3 pontos por parcela, na profundidade de 0,20 m, para um total de 108 amostras, 3 vezes por semana utilizando o método gravimétrico de umidade atual (EMBRAPA, 1997).

3.9 Caracterização física do solo

a) Densidade e porosidade do solo

Depois da colheita do feijão as amostras indeformadas foram coletadas em um ponto por parcela em anéis volumétricos de 0,05 m de diâmetro e 0,04 m de altura, nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, para um total de 108 amostras. A microporosidade foi determinada em mesa de tensão e correspondeu à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de -0,006 MPa, após saturação (OLIVEIRA, 1968). A porosidade total e a densidade do solo foram obtidas pelo método do anel volumétrico, segundo EMBRAPA (1997) e, a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

b) Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo saturado (K_o)

No início do ensaio foi realizada a curva de retenção de água para caracterizar o solo e determinar o manejo de irrigação. No final do experimento as curvas de retenção de água foram obtidas para verificar se houve alteração em função dos tratamentos. Para o levantamento das curvas de retenção de água finais, foram coletadas em um ponto por parcela em anéis do tipo Köpeck nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, para um total de 108 amostras e levadas na câmara de pressão de Richards. A partir dos dados de umidade obtidos para cada ψ_m mensurado (0,1, 2, 6, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 300 e 1500 kPa), promovendo o ajuste dos pontos por meio do modelo matemático desenvolvido por Van GENUCHTEN (1980), mediante o programa Soil Water Retention Curve.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) foi determinada ao final do experimento em cada tratamento, com o permeâmetro modelo IAC. Foram realizadas 3 repetições por tratamento, nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, com um total de 108 medições. As medições foram realizadas com carga hidráulica de 0,05 m, até que o fluxo ficasse constante, quando três diferenças entre leituras consecutivas fossem iguais.

Para o cálculo de K_o foi utilizada a equação (1), desenvolvida por ELRICK et al. (1989). Na equação, os três termos do denominador representam, respectivamente, a contribuição da pressão hidráulica, a gravidade e a capilaridade para o total do fluxo externo do orifício. Para a solução matemática da equação, deve-se optar por um valor do parâmetro α o qual relaciona a textura e a estrutura do solo, sendo um índice de capilaridade. As estimativas do parâmetro α são dadas por ELRICK et al. (1989) e são apresentadas na Tabela 2.

$$k_o = \frac{CQ}{\left(2\pi H^2 + \pi a^2 C + \frac{2\pi H}{\alpha}\right)} \quad (1)$$

onde: K_o = condutividade hidráulica saturada no campo (LT^{-1}), α = parâmetro que relaciona a textura e a estrutura do solo (L^{-1}), Q = vazão de água medida (L^3T^{-1}), H = carga hidráulica colocada dentro do orifício (L), a = raio do orifício (L), C = fator adimensional, que relaciona a carga hidráulica e o raio do orifício ($L L^{-1}$). A condutividade hidráulica saturada nesta pesquisa foi expressa em $cm h^{-1}$.

Tabela 2. Valores de α para o cálculo da K_o .

$\alpha (cm^{-1})$	<i>Condições de porosidade</i>
0,36	Areias grossas, podem também incluir alguns solos com grande estrutura e, com grandes quantidades de macroporos
0,12	A maior parte dos solos estruturados desde argilas e francos; incluindo areias finas e grossas desestruturadas
0,04	Solos que têm textura fina e desestruturada
0,01	Materiais argilosos pouco estruturados ou compactados

c) Estabilidade de agregados em água

A estabilidade de agregados foi determinada pelo método descrito por KEMPER & CHEPIL (1965). As amostras foram coletadas em um ponto por parcela, em três profundidades (0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m), para um total de 108 amostras. As amostras foram secas ao ar e os agregados foram obtidos mediante manipulação com as mãos, aplicando força de tração, sendo usados por peneiramento os agregados que

passaram na peneira de 9,52 mm e ficaram retidos na de 4,76 mm. Foram pesadas 20 g dos agregados e colocados em contato com a água por cinco minutos. Para peneiramento dos agregados em água, foram utilizadas as peneiras com diâmetros de malha igual a 4,76, 2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 mm, sendo agitadas por 30 minutos. Os agregados foram separados nas seguintes classes: C1 (9,52-4,76 mm), C2 (4,76-2,0 mm), C3 (2,0-1,0 mm), C4 (1,0-0,5 mm), C5 (0,5-0,25 mm) e C6 (< 0,25 mm). O estado de agregação das amostras de solo foi avaliado pelo índice de diâmetro médio ponderado (DMP). Para obter o diâmetro médio ponderado, foi utilizada a seguinte equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i w_i) \quad (3)$$

Sendo x_i = diâmetro médio das classes, mm

W_i = proporção de cada classe em relação ao total.

A porcentagem de agregado por classe de tamanho e o diâmetro médio geométrico (DMG) foram calculados pelas seguintes expressões:

$$AGR_i (\%) = \frac{mAGR_i}{\sum_{i=1}^n AGR} * 100 \quad (4)$$

onde: $mAGR$ = massa agregados da classe i ; $\sum_{i=1}^n AGR$ = massa total de agregados.

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum (AGR * \ln(c_i))}{\sum AGR_i} \right] \quad (5)$$

onde: $\ln$ = Logaritmo neperiano; C_i = valor médio de classe de agregados i

d) Teor de água no solo e resistência do solo à penetração

Para determinar a resistência do solo à penetração foi importante avaliar a umidade do solo durante esta análise. Portanto, o teor de água no solo foi obtido pelo método gravimétrico em amostras deformadas (EMBRAPA, 1997), nas camadas de 0,00-0,10 m,

0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, em um ponto por parcela (total de 108 amostras). Para a determinação da resistência do solo à penetração, foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30^0 , que foi inserido ao solo até a profundidade de 0,45 m em um ponto por parcela (total de 36 pontos amostrados). A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida pela fórmula de STOLF (1991), a seguir:

$$R = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M + m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A} \quad (6)$$

onde R, é a resistência à penetração, kgf cm^{-2} ($\text{kgf cm}^{-2} * 0,098 = \text{MPa}$); M a massa do êmbolo, 4 kg ($Mg = 4 \text{ kgf}$); m a massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg ($mg = 3,2 \text{ kgf}$); h a altura de queda do êmbolo, 40 cm; x a penetração da haste do aparelho, cm/impacto, e A a área do cone, $1,29 \text{ cm}^2$.

3.10 Componentes de produção

A produtividade (kg ha^{-1}) foi calculada utilizando os dados da área útil de cada parcela. Foram avaliadas, em média, 30 plantas por m^2 ao centro de cada parcela (3 linhas), das quais foram retiradas aleatoriamente 3 plantas para determinar o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, matéria seca total da parte aérea (g), massa de 100 grãos (g) e índice de colheita (IC). O índice de colheita (IC) foi determinado por meio da relação entre a massa de grãos e a massa seca de toda a planta.

3.11 Análise estatística

Foi realizada análise exploratória dos dados, para obtenção das estatísticas descritivas dos atributos de solo e planta. Os resultados dos atributos do solo e de plantas foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade para a comparação de médias pelo programa SAS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Decomposição da cobertura morta, matéria orgânica e atributos físicos do solo

4.1.1 Decomposição da cobertura morta no solo e matéria orgânica

Ao avaliar os resultados de quantidade de resíduos de milho nos tratamentos ao longo do ciclo da cultura de feijão, as doses de nitrogênio não condicionaram diferenças significativas, o que indica que não influenciaram na decomposição de palha. Resultados semelhantes foram encontrados por GAMA-RODRIGUES et al. (2007), sendo que a adubação não influenciou significativamente a taxa de decomposição da braquiária.

Os dados apresentados correspondem às médias tendo em conta as quantidades de matéria morta, já que estas apresentaram diferenças significativas. A quantidade inicial de 4,0 Mg ha⁻¹ do resíduo de milho depositada sobre a superfície do solo foi reduzida em 52,5 %, a quantidade de 6,0 Mg ha⁻¹ foi reduzida em 38,3% e a quantidade de 10,0 Mg ha⁻¹ foi reduzida em 15%, no final do período experimental (Tabela 3), equivalendo a perdas médias mensais de material, respectivamente, de 0,70, 0,76 e de 0,50 Mg ha⁻¹. DOUGLAS JÚNIOR et al. (1980), STROO et al. (1989), STOTT et al. (1990) e BERTOL et al. (1998), dentre outros, também verificaram decomposição de resíduos vegetais de várias espécies ao longo do tempo.

Tabela 3. Quantidades de resíduo de milho na superfície do solo nos diferentes tratamentos ao longo do ciclo da cultura de feijão irrigado. (n = 9)

DIA	QUANTIDADE DE RESÍDUO DE MILHO (Mg ha ⁻¹)				
	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹	CV %
1	0,0 b	4,0 a	6,0 a	10,0 a	58.6
16	0,0 c	3,7 b	5,9 ab	10,0 a	59.8
24	0,0 c	3,5 b	5,6 ab	10,0 a	59.2
31	0,0 c	3,3 b	5,4 ab	9,9 a	59.3
37	0,0 d	3,0 c	5,0 b	9,9 a	61.0
51	0,0 d	2,5 c	4,5 b	9,5 a	62.6
65	0,0 d	2,3 c	4,3 b	9,2 a	60.6
80	0,0 d	2,1 c	4,0 b	8,8 a	59.8
94	0,0 d	1,9 c	3,7 b	8,5 a	60.2

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Por médio das equações de regressão, nota-se que a velocidade de decomposição do resíduo de milho foi menor no tratamento de 10,0 Mg ha⁻¹, cujo coeficiente de regressão foi igual a 0,0071, no tratamento de 6,0 Mg ha⁻¹ o coeficiente foi igual a 0,0106 e no tratamento de 4,0 Mg ha⁻¹ o valor foi de 0,0252.

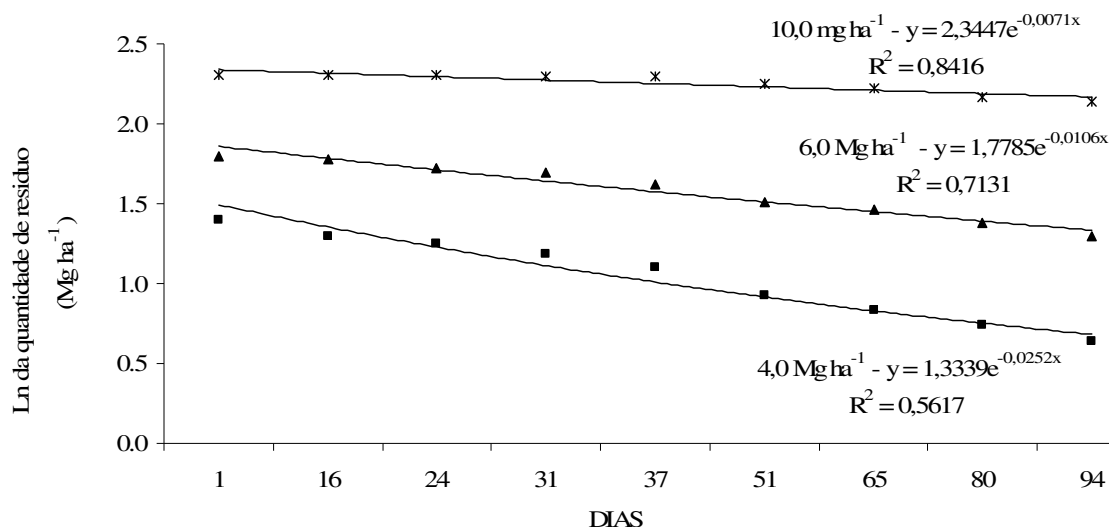


Figura 4. Relação entre o tempo e a quantidade de resíduo de milho na superfície do solo nos diferentes tratamentos ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado. (n = 81)

Os resultados das médias de porcentagem de cobertura morta durante o período de avaliação são apresentados na Tabela 4. Na média, as maiores porcentagens de cobertura do solo mantidas durante o ciclo da cultura do feijão, são apresentadas pelo tratamento Q₄ (10,0 Mg ha⁻¹ de palha). As diferentes porcentagens de quantidades de cobertura morta apresentam diferença significativa.

Tabela 4. Valores das médias das porcentagens de cobertura morta nos diferentes tratamentos no período avaliado. (n=27)

Tratamento	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹	CV %
0,0 kg ha ⁻¹ N	0,0 c	80,4 b	88,9 ab	95,7 a	8,8
50,0 kg ha ⁻¹ N	0,0 c	81,1 b	89,7 ab	96,5 a	6,7
120,0 kg ha ⁻¹ N	0,0 c	80,9 b	92,1 ac	96,4 a	8,3
CV %	0,0	16,0	10,2	5,5	-

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É importante ressaltar que as porcentagens de cobertura morta, ao final do ciclo da cultura do feijão, em todos os tratamentos apresentaram resultados satisfatórios. Isso garante proteção do solo para as culturas subseqüentes permitindo a continuidade do sistema plantio direto. BERTOL et al. (1998) estudando a persistência dos resíduos de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta, verificaram decréscimos na quantidade de resíduos de milho ao longo do tempo de decomposição. A menor quantidade de massa do resíduo de milho decomposto, a partir do quinto mês, pode ser explicada pela diminuição da atividade dos microrganismos nessa fase. Este comportamento é explicado, em parte, pelo N adicionado nos tratamentos, cujo resultado foi constatado também por TANAKA (1986), o que provavelmente resultou em maior atividade dos microrganismos nestes tratamentos.

Com relação ao coeficiente de variação, os valores tendo em conta as porcentagens de cobertura morta variam entre 5,5 e 16,0 % (Tabela 4) correspondendo à variabilidade entre baixa e média (WARRICK, 1998) nos diferentes tratamentos e ao longo do ciclo de avaliação os valores ficaram entre 58,6 e 62,6% correspondendo a uma variabilidade alta (Tabela 3).

Os resultados médios do teor de matéria orgânica não apresentaram diferenças significativas nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas, já que o tempo de avaliação não foi suficiente para promover maior aporte de matéria orgânica (Tabela 5). Mas ao avaliar o aporte ao longo do ciclo da cultura e nas diferentes profundidades, verificou-se diferenças significativas (Tabela 6).

Tabela 5. Valores médios do teor de matéria orgânica das profundidades avaliadas, nos diferentes tratamentos. (n = 18)

Tratamento	Matéria Orgânica (g dm ⁻³)				
	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹	CV %
0,0 kg há ⁻¹ N	4,24 a	4,17 a	4,26 a	4,42 a	16,0
50,0 kg ha ⁻¹ N	4,22 a	4,42 a	4,17 a	4,25 a	14,4
120,0 kg ha ⁻¹ N	4,20 a	4,36 a	4,31 a	4,46 a	15,3
CV %	13,3	15,1	17,0	15,6	-

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se incremento do teor de matéria orgânica no início do ciclo o que reflete o aporte da decomposição da palha, mas no transcorrer de tempo esse conteúdo é degradado pela ação dos microorganismos, irrigação e clima (Tabela 6). Evidências do efeito favorável da suplementação hídrica na atividade da microbiota foram obtidas por ANDRÉN et al. (1992), os quais verificaram maior taxa de decomposição da palha de cevada em sistema irrigado ($0,843\% \text{ dia}^{-1}$), em comparação ao não irrigado ($0,537\% \text{ dia}^{-1}$). Esses resultados evidenciam que condições de umidade mais favoráveis para a atividade microbiana podem refletir também em aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica em solos sob irrigação.

O tempo de adoção do sistema plantio direto tem forte relação com o teor de matéria orgânica do solo. Na área de estudo, esse tempo de adoção, não foi suficiente para prover acréscimo deste atributo no solo. Concordando com os resultados obtidos por ASSIS & LANÇAS (2005), os quais verificaram que o sistema plantio direto com 1, 4 e 5 anos de implantação apresentaram valores de matéria orgânica semelhantes ao sistema de preparo convencional em um Nitossolo Vermelho distroférico, somente o tratamento com 12 anos de plantio direto apresentou valores maiores.

Tabela 6. Valores médios do teor de matéria orgânica nos dias e nas profundidades avaliadas. (n = 36)

Dias após emergência	Matéria Orgânica (g dm^{-3})	
	Profundidade de 0,00-0,05 m	Profundidade de 0,05-0,10 m
30	4,79 aB	3,86 bAB
60	5,14 aA	4,01 bA
90	4,33 aC	3,62 bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.1.2 Indicadores Físicos

Os dados das médias de densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade, não apresentaram diferença significativa entre as diferentes profundidades e os tratamentos (Tabela 7). Isso porque o tempo de implantação do sistema

de plantio direto não foi suficiente para alterar o teor de matéria orgânica o qual apresenta forte influência nestes atributos do solo; indicando que talvez seja necessário um período de tempo mais longo de avaliação do experimento para que a rotação de culturas expresse seu benefício, em relação à sucessão. ASSIS & LANÇAS (2004) verificaram diminuição da densidade do solo de acordo com o tempo de adoção no sistema plantio direto, a partir dos 12 anos, sendo que se deve observar que os resultados relacionados com os sistemas de manejo do solo apresentam diversidade de respostas a um mesmo sistema, por causa das características do solo, da planta, do clima e outros. FERNANDES et al. (1983) complementa ainda que a diminuição da densidade do solo e a melhoria da estrutura da camada superficial do solo sob plantio direto, com o passar dos anos, ocorreu em parte, pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica. Isto mostra que o adequado manejo do solo pode minimizar ao mesmo eliminar os efeitos da compactação advindos do tráfego de máquinas e implementos na lavoura. Considerando a média da profundidade do solo estudada, os resultados observados de densidade do solo, concordam com os obtidos por BERTOL et al. (2000) e ALBUQUERQUE et al. (2001).

O espaço poroso do solo nos tratamentos estudados é composto predominantemente por microporos. A proporção ideal da distribuição de poros por tamanho, segundo KIEHL (1979) é de 2:1 (micro/macroporo), garantindo suficiente aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água. Analisando os diferentes tratamentos e as profundidades estudadas, observa-se que os dados estão muito próximos em relação à esta distribuição. Na média a porosidade total, em todos os tratamentos e profundidades, esteve acima de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Segundo KIEHL (1979), um solo ideal deve apresentar $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de volume de poros que, na capacidade de campo, teria $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ocupado pela água e $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ocupado pelo ar.

Alguns autores têm observado valores superiores de microporosidade no sistema de manejo plantio direto, principalmente próximo à superfície, como URCHEI et al. (1996), CARVALHO et al. (1999), GUIMARÃES (2000), STONE & SILVEIRA (2001). Os valores de macroporosidade na média das diferentes profundidades e tratamentos avaliados foram iguais ou acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, mínimo adequado para as trocas líquidas e gasosas dentre o ambiente externo e o solo e para o crescimento das raízes da maioria das culturas (ARGENTON et al. 2003; COSTA et al. 2003).

A densidade do solo é um atributo que apresenta baixa variabilidade e um coeficiente de variação inferior a 15% segundo WARRICK (1998). Os resultados são condizentes com essa afirmação, pois o CV variou de 3,4 a 8,8 %, e a maior variabilidade dos dados ocorreu na camada mais superficial do solo, de 0,0 a 0,05 m. com o valor de 8,8 % (Tabela 7). Isso pode estar associado ao sistema de amostragem, distribuído de forma homogênea, e que provavelmente incluiu locais de trânsito de máquinas agrícolas. A baixa variabilidade na densidade do solo tem sido verificada por diversos autores como SOUZA et al. (2001), UTSET & CID (2001), GUIMARÃES (2000), FIETZ (1998), COELHO FILHO (1998), TSEGAYE & HILL (1998), GONÇALVES (1997), FOLEGATTI (1996), GUIMARÃES (1993), dentre outros.

A porosidade total é outro parâmetro do solo para o qual se espera encontrar baixa variabilidade (WARRICK, 1998). De fato, os resultados mostram valores de CV variando de 5,2 a 8,9 % (Tabela 7). A microporosidade apresentou valores de CV correspondentes a uma variabilidade baixa já que os valores variaram entre 4,9 a 9,9 %. Com relação à macroporosidade, esta apresentou os valores de CV correspondentes a uma variabilidade média (WARRICK, 1998) com valores variando entre 22,4 a 27,7 % (Tabela 7).

Os dados de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e distribuição de tamanhos de poros dos agregados, para os tratamentos, são apresentados na Tabela 8. Pelos resultados da análise de variância, verificou-se que as diferentes doses de nitrogênio e quantidades de matéria morta não promoveram aumentos significativos nos índices de agregação. De acordo com UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION (1967) um solo com índice de agregação (DMP) acima de 0,5 mm apresenta alta estabilidade, são considerados relativamente resistentes ao esboroamento e à dispersão, sendo que, a permeabilidade à água e ao ar não é alterada.

Os valores de DMP não apresentaram diferenças significativas, já os valores de DMG não apresentam diferenças significativas entre os tratamentos, mas sim nas profundidades avaliadas, para cada tratamento (Tabela 9). Ao avaliar a distribuição de agregados nas diferentes profundidades nota-se que os valores para as porcentagens de agregados > 2 mm e < de 1 mm, apresentam diferenças significativas entre tratamentos e na profundidade de 0,00 a 0,05 m.

Tabela 7. Dados das médias de densidade do solo, porosidade total (Total), microporosidade (micro) e macroporosidade (macro) nas diferentes profundidades estudadas. (n = 3)

Tratamento (kg ha ⁻¹ – Mg ha ⁻¹)	Profundidade											
	0,00 - 0,05 m				0,05 - 0,10 m				0,10 - 0,15 m			
	Porosidade (m ³ m ⁻³)		DS (g cm ⁻³)		Porosidade (m ³ m ⁻³)		DS (g cm ⁻³)		Porosidade (m ³ m ⁻³)		DS (g cm ⁻³)	
	Total	micro	macro	-	Total	Micro	macro	-	Total	micro	macro	-
0,0 – 0,0	0,52	0,42	0,10	1,34	0,50	0,37	0,13	1,28	0,51	0,40	0,11	1,30
0,0 – 4,0	0,51	0,42	0,09	1,33	0,47	0,37	0,11	1,30	0,50	0,40	0,10	1,30
0,0 – 6,0	0,50	0,42	0,08	1,32	0,50	0,41	0,09	1,30	0,51	0,40	0,11	1,32
0,0 – 10,0	0,50	0,40	0,10	1,29	0,50	0,39	0,11	1,26	0,49	0,40	0,09	1,29
50 – 0,0	0,42	0,35	0,07	1,31	0,51	0,41	0,10	1,30	0,50	0,41	0,09	1,36
50 – 4,0	0,50	0,40	0,10	1,23	0,52	0,42	0,10	1,29	0,52	0,42	0,10	1,28
50 – 6,0	0,51	0,42	0,09	1,41	0,51	0,41	0,10	1,28	0,52	0,42	0,10	1,30
50 – 10,0	0,51	0,40	0,11	1,24	0,52	0,40	0,12	1,32	0,51	0,40	0,11	1,29
120 – 0,0	0,53	0,41	0,11	1,37	0,50	0,41	0,08	1,29	0,48	0,38	0,10	1,31
120 – 4,0	0,52	0,39	0,13	1,26	0,53	0,39	0,14	1,31	0,50	0,41	0,09	1,33
120 – 6,0	0,51	0,41	0,11	1,30	0,53	0,40	0,13	1,26	0,53	0,40	0,13	1,28
120 – 10,0	0,50	0,38	0,12	1,26	0,50	0,41	0,09	1,37	0,49	0,41	0,09	1,31
Média	0,50	0,40	0,10	1,31	0,51	0,40	0,11	1,29	0,50	0,40	0,10	1,30
CV %	8,9	9,9	27,7	8,8	5,2	7,5	23,9	3,7	5,3	4,9	22,4	3,4

Embora não tenha havido diferenças significativas entre os valores de DMP, é possível observar relação com os resultados apresentados de matéria orgânica (Tabela 6); o conteúdo de matéria orgânica diminuiu com a profundidade, pois o período de implantação do sistema de plantio direto não foi suficiente para o aporte de matéria orgânica em profundidade, afetando o diâmetro médio ponderado dos agregados que também diminuiu com o incremento da profundidade do solo. Isto confirmaria a importância da cobertura vegetal do solo e da matéria orgânica no estado de agregação do solo (TISDALL & OADES, 1982; CARVALHO et al., 1999; COSTA et al., 2003).

Tabela 8. Valores médios de DMP (mm), DMG (mm), porcentagem de agregados nas classes de tamanho >2 mm, 1-2 mm e < 1 mm nos diferentes tratamentos estudados. (n = 9)

Tratamento (kg ha ⁻¹ – Mg ha ⁻¹)	DMP (mm)	DMG (mm)	>2 mm (%)	1-2 mm (%)	< 1 mm (%)
0,0 – 0,0	1,96 a	1,02 a	38,5 a	18,1 a	43,4 a
0,0 – 4,0	2,11 a	1,03 a	38,9 a	22,2 a	38,9 a
0,0 – 6,0	2,06 a	1,02 a	38,5 a	16,4 a	45,1 a
0,0 – 10,0	2,10 a	1,03 a	39,7 a	18,7 a	41,5 a
50 – 0,0	2,03 a	1,02 a	37,8 a	16,0 a	46,2 a
50 – 4,0	2,13 a	1,02 a	39,7 a	18,2 a	42,1 a
50 – 6,0	1,73 a	0,99 a	30,0 a	17,0 a	53,0 a
50 – 10,0	2,33 a	1,04 a	45,0 a	17,9 a	37,1 a
120 – 0,0	1,77 a	1,01 a	34,0 a	19,2 a	46,8 a
120 – 4,0	2,15 a	1,03 a	42,3 a	18,3 a	39,4 a
120 – 6,0	2,26 a	1,04 a	44,0 a	18,5 a	37,5 a
120 – 10,0	2,16 a	1,04 a	43,1 a	14,7 a	41,1 a
CV %	23,7	3,6	35,3	28,7	27,2

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O valor de coeficiente de variação do DMP para os diferentes tratamentos, corresponde a variabilidade média. Em profundidade a camada correspondente a 0,00- 0,05 m apresentaram o valor de CV mais alto com 26,4 % (Tabela 9).

No que se refere ao DMG, os maiores valores foram observados na profundidade de 0,00-0,05 m para todos os tratamentos. SILVA et al. (2006) avaliando diferentes sistemas de manejo e qualidade estrutural de um Latossolo Roxo, observaram na camada subsuperficial os maiores valores de diâmetro médio geométrico (DMG) no preparo convencional e verificaram que o sistema de plantio direto propiciou agregados maiores e mais resistentes na camada superficial. ASSIS & LANÇAS (2005) avaliando os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo, observaram que a distribuição dos agregados dos solos sob plantio direto com 12 anos foi a que mais se aproximou a área de mata. DA ROS et al. (1997), em estudo comparativo entre sistemas de preparo após cinco anos de cultivo observaram que o DMG dos agregados no tratamento com plantio direto foi estatisticamente equivalente ao do campo nativo.

Tabela 9. Valores médios de DMP, DMG, porcentagens dos agregados nas classes > 2 mm, 1-2 mm e < 1 mm nas diferentes profundidades estudadas. (n = 36)

Profundidade (m)	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹	CV %
	DMP (mm)				
0,00-0,05	1,94 aA	2,18 aA	1,80 aA	2,17 aA	26,4
0,05-0,10	1,82 aA	2,32 aA	2,34 aA	2,33 aA	23,7
0,10-0,15	2,00 aA	1,88 aA	1,90 aA	2,08 aA	24,4
	DMG (mm)				
0,00-0,05	1,04 a A	1,06 aA	1,05 aA	1,07 aA	3,5
0,05-0,10	0,99 a B	1,01 aB	1,00 aB	1,02 aB	2,9
0,10-0,15	1,0 a AB	1,00 aB	1,00 aB	1,00 aB	2,6
	> 2 mm (%)				
0,00-0,05	45,8 bA	54,4 abA	51,7 abA	59,1 aA	23,6
0,05-0,10	32,9 aA	34,6 aB	32,9 aB	37,0 aB	31,8
0,10-0,15	32,1 aA	31,9 aB	27,8 aB	31,6 aB	26,8
	1-2 mm (%)				
0,00-0,05	15,3 aA	15,9 aA	14,2 aA	13,3 aA	27,7
0,05-0,10	17,6 aA	22,4 aA	18,6 aA	18,8 aA	41,4
0,10-0,15	20,3 aA	20,4 aA	19,1 aA	19,4 aA	19,3
	< 1 mm (%)				
0,00-0,05	38,8 aB	29,7 abB	34,1 abB	27,6 bB	34,0
0,05-0,10	49,9 aA	42,9 aA	48,4 aA	44,2 aA	21,0
0,10-0,15	47,5 aAB	47,6 aA	53,1 aA	48,9 aA	16,8

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação aos valores de coeficiente de variação o DMG apresenta valor de variabilidade baixo (3,6 %) nos diferentes tratamentos avaliados (Tabela 8). O valor de 3,5 % corresponde à maior variabilidade encontrada na profundidade de 0,00 -0,05 m (Tabela 9). Já para os valores das porcentagens dos diferentes diâmetros avaliados encontrou-se que para os dados das porcentagens >2 mm a variabilidade foi média. Em profundidade o maior valor foi encontrado na camada de 0,05-0,10 m com valor de 31,8 %. Para as porcentagens entre 1-2 mm a variabilidade foi média. A profundidade de 0,05 – 0,10 m apresentou a maior variabilidade com 41,4 %. Para as porcentagens < 1 mm os valores de variabilidade foi médio. Já em profundidade foi encontrada maior variabilidade na profundidade de 0,00 - 0,05 m com valor de 34,0 % (Tabela 8 e 9).

Para a análise de resistência do solo à penetração foi tomado como referência só as quantidades de palha, já que a quantidade de nitrogênio não apresentou influência neste atributo por meio da análise estatística. Os tratamentos com aplicação de resíduo de milho apresentaram menores valores de resistência do solo à penetração em relação ao estado inicial da área e ao tratamento sem aplicação de palha (Figura 5). A diminuição dos valores de resistência do solo à penetração está relacionada à manutenção do teor de água no solo proporcionado pela cobertura do solo, considerando que o teor de água no solo exerce forte influência nos resultados da resistência do solo à penetração (STOLF, 1991).

As operações agrícolas, quando realizadas fora da condição de teor ideal de água no solo, provocam aumento da sua área compactada, o que pode reduzir a infiltração e, conseqüentemente, a disponibilidade de água para as plantas, comprometendo a produtividade (SECCO et al., 2004). Nota-se que a partir da profundidade de 0,00-0,10 m os valores de resistência do solo à penetração foram menores no tratamento com aplicação de 10 Mg ha⁻¹ de resíduo de milho, sendo que este tratamento apresentou um maior conteúdo de água no solo nas diferentes profundidades avaliadas (Tabelas 10 e 11). Os valores médios encontrados para a resistência do solo à penetração estão compreendidos na classe alta, nas profundidades em estudo, de acordo com SOIL SURVEY STAFF (1993).

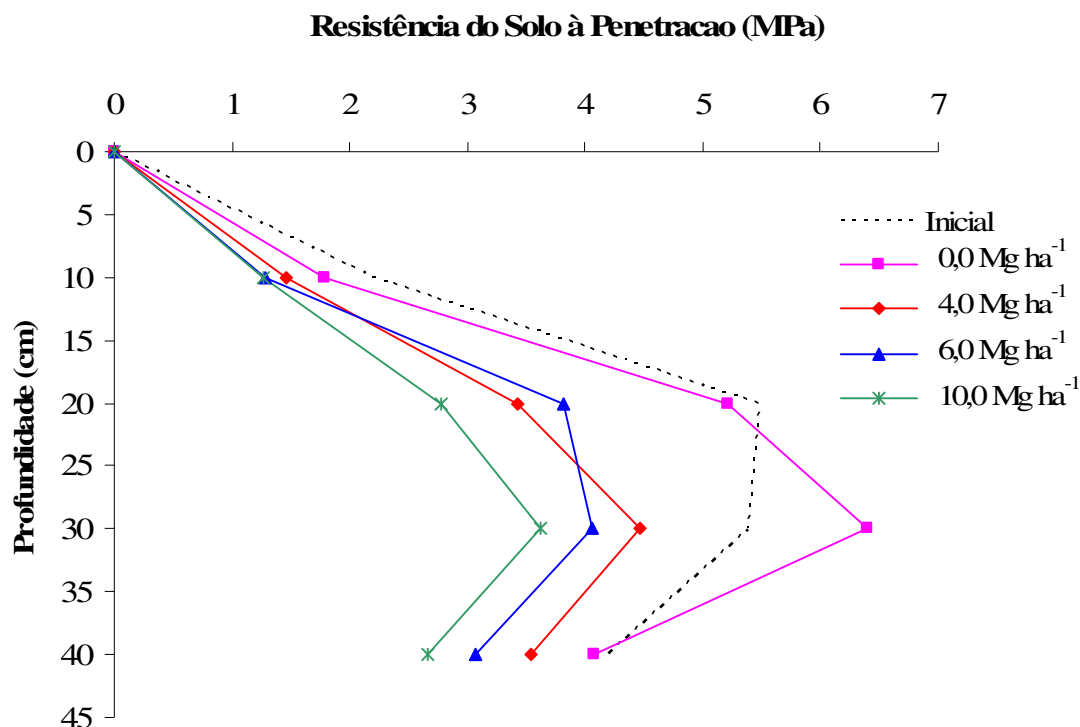


Figura 5. Valores de resistência do solo à penetração nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas.

A compactação do solo é mais prejudicial em solo seco e, em condições de maior teor de água no solo pode haver crescimento radicular em valores de resistência do solo à penetração superior a 4,0 MPa (DEXTER, 1987). Portanto, a manutenção da cobertura do solo é fundamental para o maior desenvolvimento do sistema radicular e aumento da produtividade da cultura do feijão.

Os valores das médias de resistência do solo à penetração e teor de água no solo correspondente ao perfil estudado, são apresentados na Tabela 10 e com referência à profundidade estudada, na Tabela 11. Observa-se diferença entre as médias nos diferentes tratamentos, refletindo influência da quantidade de matéria morta do solo ao longo do perfil. Com relação ao teor de água no solo, a partir da profundidade de 0,25 m só é apresentada diferença significativa com relação ao tratamento sem presença de palha, pois a manutenção do teor de água no solo foi influenciada pela quantidade de palha nas profundidades iniciais. Para a cultura de feijão isso é importante, pois grande quantidade do sistema radicular desta cultura explora esta camada. Resultados obtidos por PIRES et al.

(1991) para fins de manejo de irrigação, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, observaram que é adequado considerar a profundidade efetiva do sistema radicular de 0,30 m para o feijoeiro, onde se concentram mais de 80% das raízes finas. A partir dessa profundidade, ocorre drástica redução na distribuição percentual das raízes. Esse dado coincide com o obtido por REICHARDT et al. (1974), que trabalhando em Latossolo Roxo, verificaram que 90% das raízes estavam nos primeiros 0,30 m do perfil do solo.

Tabela 10. Valores médios da resistência do solo à penetração e teor de água no solo correspondente ao perfil avaliado. (n = 81)

Tratamento (palha)	Resistência do solo à Penetração (MPa)	Teor de água no solo (g g ⁻¹)
0,0 Mg ha ⁻¹	4,03 a	0,23 b
4,0 Mg ha ⁻¹	2,97 ab	0,25 ba
6,0 Mg ha ⁻¹	2,82 b	0,25 ba
10,0 Mg ha ⁻¹	2,39 b	0,26 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os menores valores de resistência do solo à penetração na camada superficial (0,00-0,05 m) foram conseqüências do não-revolvimento do solo nessa profundidade em plantio direto e pelo seu maior aporte de matéria orgânica. A partir da profundidade de 0,30 m, não houve diferença entre os tratamentos, provavelmente devido à pouca influência que o manejo do solo possui nessa camada.

Os valores elevados de resistência do solo à penetração na camada de 0,15-0,30 m, nos tratamentos, não chegam a comprometer a cultura instalada, devido à maior continuidade de poros, homogeneidade do solo e à maior atividade microbiana que normalmente ocorrem no plantio direto (ARSHAD et al., 1996). EHLERS et al. (1983) relatam que valores de resistência do solo à penetração na ordem de 5,0 MPa são admitidos em plantio direto, pois as raízes crescem por canais contínuos deixados pela fauna do solo e pelo sistema radicular decomposto. Segundo CAMARGO & ALLEONI (1997), valores acima de 2,5 MPa de resistência do solo à penetração, fazem com que a planta direcione maior quantidade de fotoassimilados para o desenvolvimento radicular, em detrimento do aumento da produtividade. WUTKE et al. (2000) registrou médias máximas de resistência

do solo à penetração de 5,0 a 7,0 MPa, entre as profundidades de 0,20 a 0,35 m, para o feijoeiro irrigado sob diferentes rotações de culturas em três anos de ensaio, porém, a profundidade efetiva da cultura teve um desempenho semelhante ao de outros autores como PIRES (1991) e STONE & SILVEIRA (1999).

Tabela 11. Valores médios da resistência do solo à penetração e teor de água no solo nas diferentes profundidades estudadas. (n =9)

Profundidade (m)	Resistência à Penetração (MPa)				Teor de água no solo (g g ⁻¹)			
	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹
0,00-0,05	0,88 a	0,82 a	0,67 a	0,70 a	0,25 c	0,26 bc	0,27 ab	0,28 a
0,05-0,10	2,69 a	2,10 a	1,89 a	1,82 a	0,25 c	0,26 bc	0,27 ab	0,28 a
0,10-0,15	3,98 a	2,93 a	3,13 a	2,63 a	0,23 c	0,24 bc	0,25 b	0,27 a
0,15-0,20	6,46 a	3,91 b	4,51 ab	2,91 b	0,22 c	0,24 bc	0,25 ab	0,26 a
0,20-0,25	7,12 a	4,60 b	4,26 b	3,88 b	0,22 c	0,24 b	0,25 ab	0,26 a
0,25-0,30	5,68 a	4,31 ab	3,84 ab	3,36 b	0,22 b	0,24 a	0,25 a	0,25 a
0,30-0,35	4,31 a	3,90 a	3,60 a	3,00 a	0,22 b	0,24 a	0,25 a	0,25 a
0,35-0,40	3,84 a	3,18 a	2,53 a	2,32 a	0,22 b	0,24 a	0,25 a	0,25 a
0,40-0,45	1,29 a	1,00 a	0,96 a	0,89 a	0,22 b	0,24 a	0,25 a	0,25 a
CV %	66,2	59,6	64,9	58,8	9,4	6,8	8,7	8,0

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a resistência do solo à penetração, a medida do coeficiente de variação oscilou, em geral, entre 58,8 e 66,2 % (Tabela 11) o que permite sua classificação como de variabilidade alta, segundo WARRICK (1998). Existe ampla diversidade das condições de amostragem, as quais interferem no resultado final, dificultando a identificação de tendências consistentes e comparações. Dentre essas condições, destacam-se as seguintes: *umidade* no momento da amostragem (UTSET & CID, 2001); *a época da coleta de dados*, que pode ser logo em seguida ao preparo (MAIA, 1999), no florescimento ou na formação de vagens (TAVARES FILHO et al., 2001, WUTKE et al, 2000, DE MARIA et al., 1999, STONE & SILVEIRA, 1999) ou, ainda, após a colheita (CASTRO, 1995, GRANT & LAFOND, 1993); *local da amostragem na parcela*, que pode ser na linha da cultura (BEUTLER et al., 2001, SILVA et al., 2000) ou entre linhas (GÓMEZ et al., 1999,

TABOADA et al., 1998); *distribuição espacial dos pontos de amostragem*, os quais podem-se distribuir homogeneamente em malha (UTSET & CID, 2001, MAIA, 1999) ou de maneira casualizada (TAVARES FILHO et al., 2001); e, por fim, o *tipo de equipamento e o método utilizados*, como, por exemplo, penetrômetro de impacto (TAVARES FILHO et al., 2001, PEDROTTI et al., 2001, DE MARIA et al., 1999, STONE & SILEIRA, 1999, CASTRO, 1995), penetrógrafo eletrônico, com velocidade controlada manual (MAIA, 1999) ou mecanicamente (IMHOFF et al., 2000), e, ainda, penetrógrafo com controle manual de velocidade (LUCARELLI, 1997).

Pelos motivos apresentados, encontram-se resultados de resistência do solo à penetração com coeficiente de variação indicando *variabilidade baixa* (DE MARIA et al., 1999), *variabilidade de baixa a média*, dependendo da profundidade (CASTRO, 1995) ou condição de umidade do solo (UTSET & CID, 2001), *variabilidade média* (ARZENO, 1990), *variabilidade de média a alta* (MAIA, 1999) e *variabilidade alta* (BERTOL et al., 2001), segundo a classificação de WARRICK (1998). SOUZA et al. (2001) avaliaram a resistência do solo à penetração em Latossolo Vermelho distrófico cultivado com plantio direto e os valores de coeficiente de variação para as camadas do solo de 0,00 a 0,05 m e de 0,15 a 0,20 m foram de 32,1 e 21,0% respectivamente. Dentre os atributos medidos, o da resistência do solo à penetração apresentou uma das maiores variabilidades.

Os resultados da umidade do solo no momento de avaliação da resistência de solo à penetração apresentaram uma variabilidade baixa (Tabela 11), segundo a classificação de WARRICK (1998) com valores entre 6,8 a 9,4 %. SOUZA et al. (2001) avaliaram a umidade durante ensaio de resistência à penetração do solo, encontrando um coeficiente de variação de 6,4 e 3,9 % para as camadas de 0,00 a 0,05 e de 0,15 a 0,20 m respectivamente.

Em relação à condutividade hidráulica saturada nos diferentes tratamentos estudados, na Tabela 12, são apresentadas suas médias. Observa-se que não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos. Em profundidade o tratamento de 4,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta apresenta diferenças significativas na profundidade de 0,00 a 0,05 m, o que indica que o conteúdo de palha começa a ter influência no movimento de água no solo. O valor da condutividade hidráulica do solo saturado diminui com a profundidade. Os valores médios encontrados correspondem a classe rápida de k_{θ} para as profundidades estudadas

(SOIL SURVEY STAFF, 1993). Concordando com o conteúdo de macroporos os quais permitem ter rapidez na percolação de água no perfil.

Tabela 12. Valores médios da condutividade hidráulica do solo saturado nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas. (n = 9)

Tratamento e profundidade	Condutividade Hidráulica (cm h⁻¹)				
	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹	CV %
0,0 kg ha ⁻¹ N	7,1 a A	8,0 a A	6,5 a A	2,6 a A	88,8
50,0 kg ha ⁻¹ N	12,7 a A	15,2 a A	3,74 a A	10,6 a A	62,4
120,0 kg ha ⁻¹ N	4,5 a A	5,9 a A	5,8 a A	4,8 a A	68,1
0,00-0,05 m	9,8 ab A	15,3 a A	7,5 b A	8,1 b A	83,5
0,05-0,10 m	8,1 a A	8,0 a B	3,4 a A	4,5 a A	99,6
0,10-0,15 m	6,3 a A	5,9 a B	5,2 a A	5,4 a A	92,0
CV %	77,0	90,0	97,1	97,0	-

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se alta variabilidade dos dados de condutividade hidráulica saturada com coeficientes de variação entre 77,0 e 97,0 % nos diferentes tratamentos (Tabela 12). Com relação à profundidade se encontra o maior valor de variabilidade na profundidade de 0,05 - 0,10 m com valor de 99,6%. Sendo estes valores os mais altos de variabilidade encontrados na pesquisa. Estudos têm sugerido que a condutividade hidráulica saturada é uma das propriedades do solo com maior variabilidade (WARRICK, 1998). Essa afirmação tem sido corroborada por outros autores, como GUIMARÃES (2000) e LIMA & SILANS (1999). TSEGAYE & HILL (1998) encontraram altos valores de coeficiente de variação da condutividade hidráulica saturada, atingindo 172,9 e 231,4% para as profundidades sujeitas à ação dos implementos agrícolas.

4.2 Decomposição da cobertura morta e teor de água do solo

Os valores médios do teor de água no solo para os tratamentos são apresentados na Tabela 13. Observa-se diferença significativa ao comparar as quantidades de palha na mesma quantidade de nitrogênio, mas não têm diferença significativa comparando as mesmas quantidades de palha, nas diferentes doses de nitrogênio. Quanto maior a

quantidade de matéria morta, maior é o teor de água no solo. DERPSCH et al. (1991) verificaram que a maior disponibilidade de água no solo sob plantio direto deve-se, principalmente, à diminuição das perdas por evaporação e ao aumento da taxa de infiltração, em função da cobertura morta sobre a superfície do solo. MELO FILHO & SILVA (1993) em milho, ANDRADE et al. (1994) em soja, e STONE & SILVEIRA (1999) no feijoeiro, verificaram maior economia de água no sistema plantio direto, em comparação a outros sistemas de preparo, em que não havia palha na superfície do solo.

Tabela 13. Valores médios do teor de água no solo nos diferentes tratamentos estudados ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado. (n = 240)

Tratamento	Umidade Gravimétrica (g g ⁻¹)			
	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹
0,0 kg ha ⁻¹ N	0,23 bA	0,25 abA	0,25 aA	0,27 aA
50,0 kg ha ⁻¹ N	0,23 bA	0,24 abA	0,26 aA	0,27 aA
120,0 kg ha ⁻¹ N	0,24 aA	0,25 aA	0,25 aA	0,25 aA
Média	0,24 c	0,25 b	0,25 ab	0,26 a
CV %	15,0	12,7	12,2	11,1

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao longo do ciclo da cultura de feijão é possível verificar que a manutenção do teor de água no solo é maior no tratamento de 10,0 Mg ha⁻¹ de cobertura morta (Figura 6). Segundo STONE & MOREIRA (2000) para a cultura de feijão o teor de água no solo mínimo para o adequado crescimento e boa produtividade é de 0,23 g g⁻¹ e, na Figura 7, observa-se que os tratamentos com aplicação de resíduo de milho (4,0, 6,0 e 10,0 Mg ha⁻¹) ficaram acima desse requerimento ao longo do ciclo da cultura do feijão, onde o tratamento sem palha (0,0 Mg ha⁻¹) apresentou épocas que o conteúdo de água no solo fica fora do valor mínimo do teor de água.

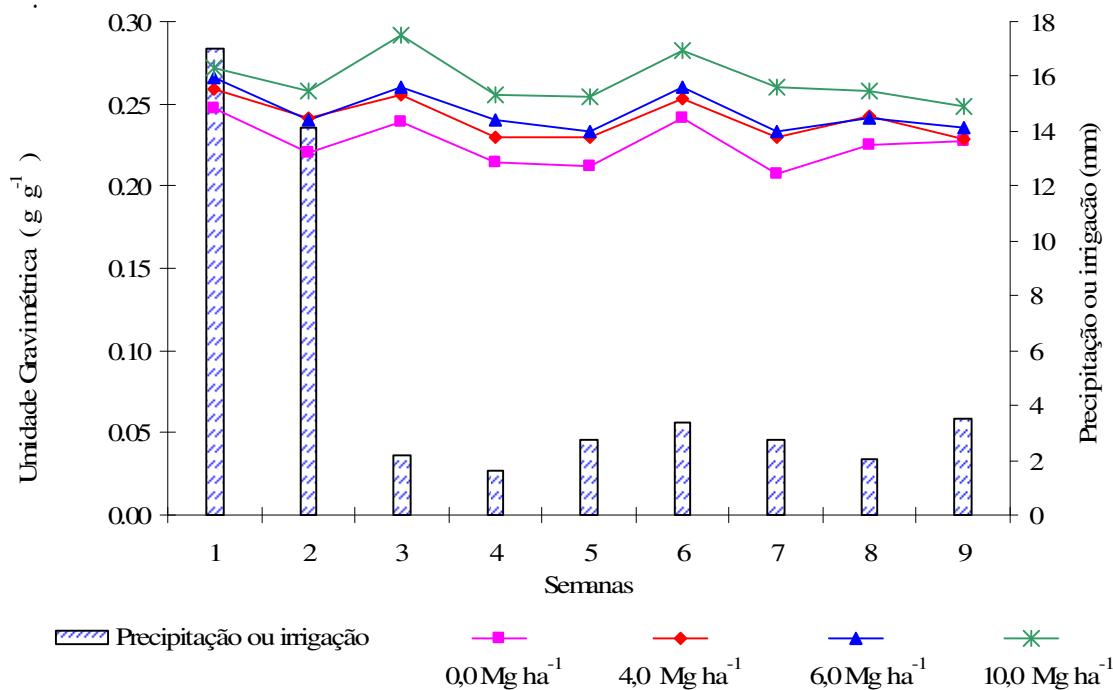


Figura 6. Teor de água no solo nos diferentes tratamentos ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado na profundidade de 0,20 m.

O coeficiente de variação tendo em conta os tratamentos avaliados, apresentou valores entre 11,1 e 15,0 % a qual se encontra na variabilidade baixa e média (Tabela 13), segundo a classificação proposta por WARRICK (1998).

Na Figura 7 são apresentados os valores médios de tensão de água no solo para cada tratamento ao longo do ciclo da cultura de feijão nas diferentes fases vegetativas da cultura. A tensão média de água no solo foi de 0,28 kPa para o tratamento de 0,0 Mg ha⁻¹, 0,27 kPa para o tratamento de 4,0 Mg ha⁻¹, 0,18 kPa para o de 6,0 Mg ha⁻¹ e 0,20 kPa para o de 10,0 Mg ha⁻¹. Foram feitas 17 irrigações ao longo do ciclo da cultura, acumulando um valor de 118,08 mm. Foi difícil comparar esse resultado com dados de literatura onde apresentam lâminas de irrigação para a cultura do feijão, devido à heterogeneidade das lâminas utilizadas nas pesquisas tendo em conta que o ano de avaliação foi atípico com relação aos valores de precipitação na época de inverno. No estudo desenvolvido por ANDRADE et al. (2002), em sistema plantio direto, verificaram-se lâminas de 182,5 a 149,9 mm para coberturas do solo de 75 e 100%, respectivamente.

Observa-se que no mês inicial da cultura todos os tratamentos têm o mesmo

comportamento, só começando a ter diferenças, na metade da fase de florescimento onde o requerimento hídrico da cultura começa a ser maior. Na fase desenvolvimento vegetativo os valores de tensão encontrados foram inferiores à tensão estabelecida para reinício da irrigação -35 kPa em todos os tratamentos, sendo que a quantidade de água fornecida em sua maioria pela precipitação natural foi suficiente para atender a demanda da cultura neste período. Nesta fase o consumo de água pela planta é relativamente baixo em relação aos demais estádios de desenvolvimento, facilitando o controle das tensões e lâminas de irrigação aplicadas no campo. Na metade da fase de florescimento os valores de tensão começam a aumentar no tratamento de 4,0 Mg ha⁻¹, atingindo valores superiores ao correspondente à tensão para reinício da irrigação.

Os maiores valores de tensão consecutivos ocorrem praticamente no mesmo período para todos os tratamentos, a partir da metade da fase de florescimento, com os maiores valores encontrados no tratamento 0,0 Mg ha⁻¹, sendo que nestas fases a demanda de água exigida pela cultura é elevada, refletindo em maior quantidade de água aplicada via irrigação, dado que na fase de florescimento é maior o crescimento radicular da cultura e alta exigência de água e nutrientes (MASSIGNAM et al., 1998).

Na fase enchimento de grãos e maturação fisiológica ocorreu maior variação das leituras dos tensiômetros dentro das parcelas experimentais, que num determinado momento após a irrigação apresentava valores dentro da faixa esperada de umidade e em outros valores muito acima, dificultando seu controle em campo. Já na metade da fase de maturação fisiológica as tensões tenderam a crescer em todos os tratamentos, mas optou-se por cessar a irrigação para acelerar o processo de maturação das plantas. Os resultados de tensiometria da cobertura vegetal mostraram que o manejo da água adotado não propiciou períodos de deficiência hídrica severa na cultura ao longo do ciclo do feijoeiro.

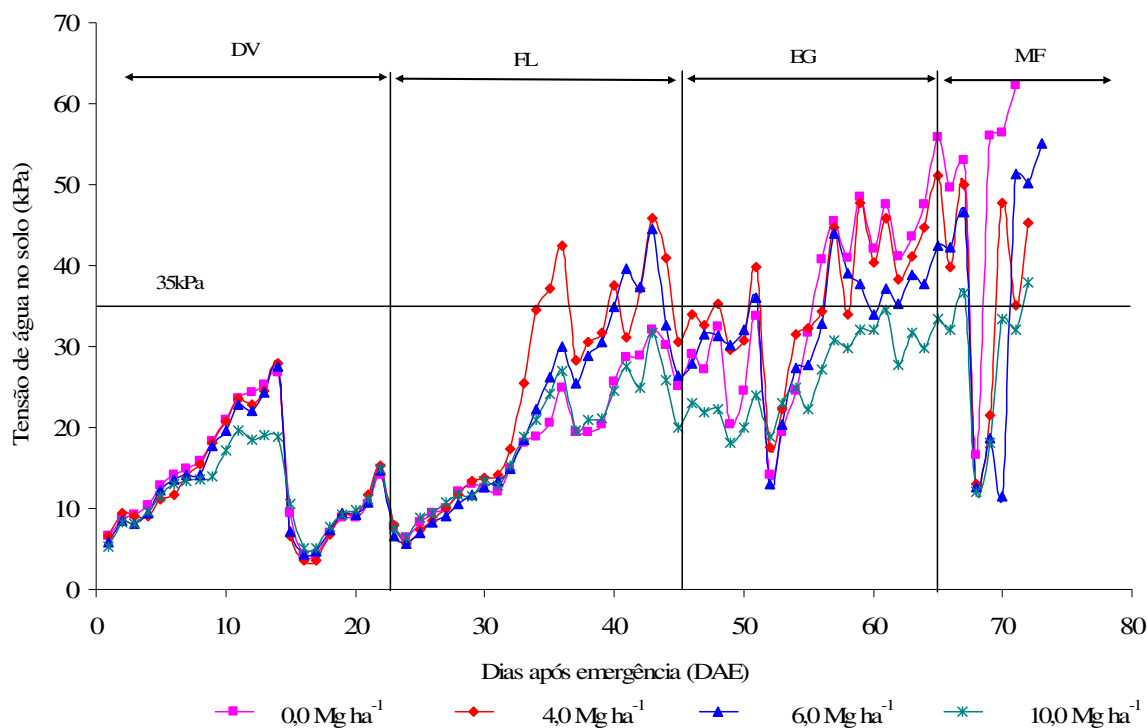


Figura 7. Valores de tensões médias diárias obtidas ao longo do ciclo da cultura de feijão para os tratamentos em cada estágio de desenvolvimento da cultura. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica. (n = 9)

Na Figura 8 são apresentadas às curvas de retenção de água no solo sob diferentes tensões para os tratamentos nas profundidades estudadas. Estas foram semelhantes nas profundidades e não foram influenciadas pelos tratamentos estudados. Devido provavelmente o solo ter comportamento homogêneo ao longo do perfil avaliado, característica típica do Latossolo Vermelho distroférico. O armazenamento de água variou de 0,49 a 0,54 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na condição de solo saturado (0 kPa). A quantidade de água presente no potencial de -10 kPa, referida na literatura como capacidade de campo para solos com textura argilosa variou de 0,38 a 0,39 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na camada superficial (0,00-0,05 m), de 0,36 a 0,40 na camada de 0,05 a 0,10 e, de 0,38 a 0,41 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ na camada de 0,10 a 0,15 m. No potencial de -1.500 kPa, os teores de água variaram de 0,24 a 0,28 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ nas camadas estudadas. Esse armazenamento tem relação aos valores da porcentagem de microporos, que permite ter boa retenção de água.

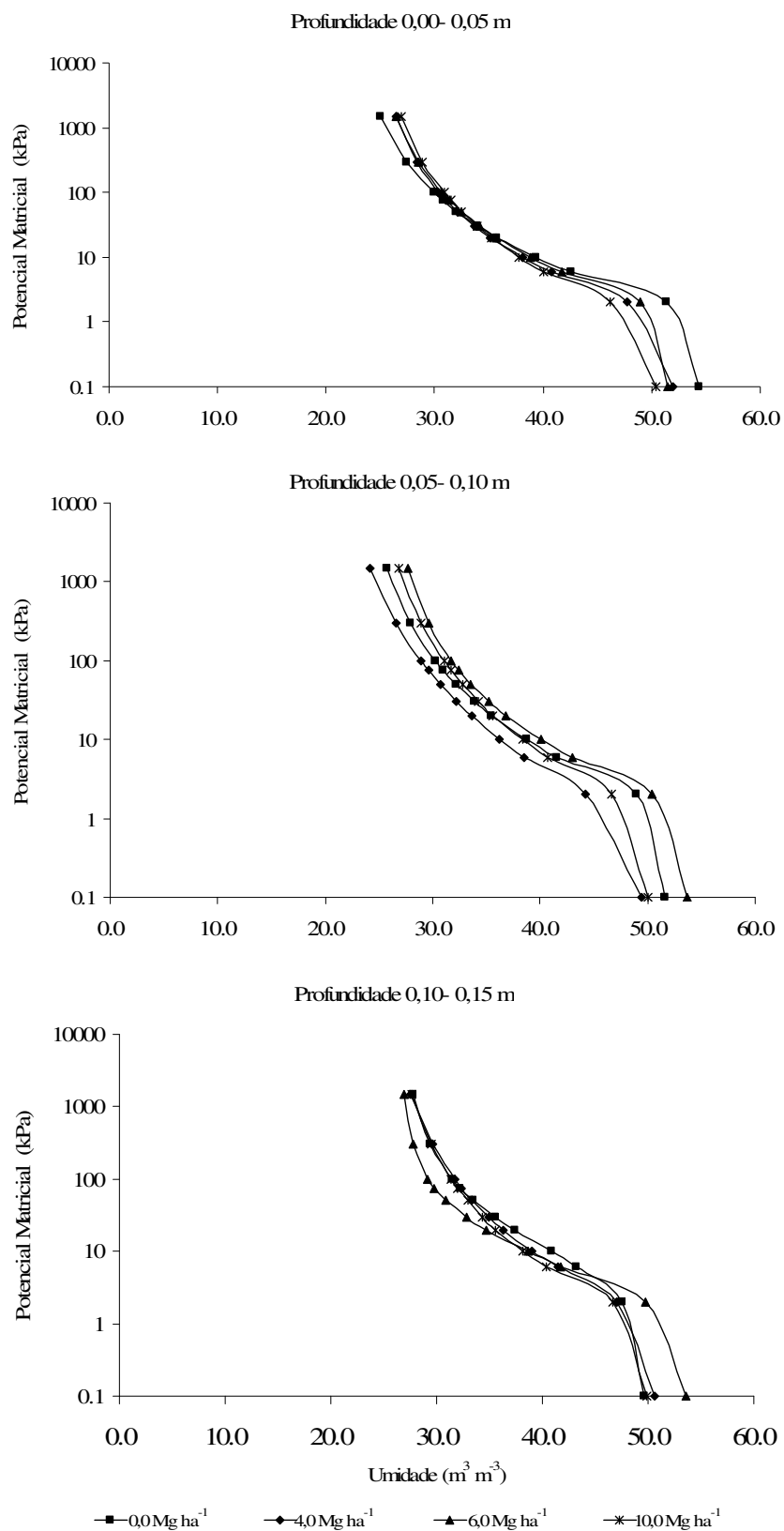


Figura 8. Curvas de retenção de água no solo nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas.

As variações observadas entre as curvas podem ser relacionadas à influência da estrutura e composição dos materiais em termos de matéria orgânica e argila, o que determina alterações na quantidade e distribuição de poros. Nesse caso, a compactação provocada pelo uso agrícola normalmente ocasiona redução na macroporosidade (SILVA et al., 1986) podendo haver, em muitos casos, maior volume de microporos, o que aumentaria a capacidade de armazenamento de água (BERTOL & SANTOS, 1995).

Na Tabela 14 são apresentados os dados das médias de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e disponibilidade total de água nos tratamentos e nas profundidades estudadas. Os valores de disponibilidade total de água variaram de 0,10 a 0,14 m³ m⁻³ e não foram afetados pelos tratamentos avaliados. Esses valores estão abaixo da capacidade ideal de armazenamento de água no solo que, conforme sugerido por REYNOLDS (2002), situa-se entre 0,15 e 0,20 m³ m⁻³. Essa é uma propriedade do solo de vital importância na economia de água das plantas (REICHARDT, 1996). As médias dos valores são maiores em superfície (profundidade de 0,00 a 0,05 m) provavelmente em decorrência dos teores de matéria orgânica (CARVALHO et al., 1999) e pela menor evaporação da água favorecida pela cobertura do solo (COSTA et al., 2003).

Tabela 14. Valores médios da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) nas diferentes profundidades estudadas. (n = 9)

Profundidade (m)	Tratamento (palha)	θ_{cc} (10kPa) (m ³ m ⁻³)	θ_{pmp} (1500kPa) (m ³ m ⁻³)	AD (m ³ m ⁻³)
0,00 – 0,05	0,0 Mg ha ⁻¹	0,39	0,25	0,14
	4,0 Mg ha ⁻¹	0,38	0,26	0,12
	6,0 Mg ha ⁻¹	0,38	0,26	0,12
	10,0 Mg ha ⁻¹	0,38	0,27	0,11
0,05 – 0,10	0,0 Mg ha ⁻¹	0,39	0,26	0,13
	4,0 Mg ha ⁻¹	0,36	0,24	0,12
	6,0 Mg ha ⁻¹	0,40	0,28	0,12
	10,0 Mg ha ⁻¹	0,38	0,27	0,11
0,10 – 0,15	0,0 Mg ha ⁻¹	0,41	0,28	0,13
	4,0 Mg ha ⁻¹	0,39	0,28	0,11
	6,0 Mg ha ⁻¹	0,39	0,27	0,12
	10,0 Mg ha ⁻¹	0,38	0,28	0,10

4.3 Cobertura morta e a temperatura do solo

Na Figura 9 são apresentados os dados médios de temperatura máxima e mínima do ar, amplitude térmica do ar e precipitação ou irrigação para cada estágio de desenvolvimento da cultura de feijão. A temperatura atmosférica apresentou amplitude de variação de 15 °C, o que influenciou a decomposição do resíduo de milho. O efeito da temperatura sobre a decomposição de resíduos vegetais de trigo também foi constatado por DOUGLAS JÚNIOR et al. (1980) e TANAKA (1986).

Nas Figuras 10 e 11 são apresentados os dados das amplitudes térmicas nas diferentes fases da cultura para as profundidades de 0,15 e 0,30 m, respectivamente. Observa-se que os valores das amplitudes térmicas são maiores na profundidade de 0,15 m comparadas com as da profundidade de 0,30 m, concordando com os resultados obtidos por VAREJÃO-SILVA (2001), que relata que a amplitude térmica diária do solo será tanto menor quanto maior a profundidade avaliada. Isto é explicado também, pela presença de cobertura do solo que atua como fator microclimático. Solos desnudos ficam sujeitos a grandes variações térmicas diárias nas camadas mais superficiais, em dias de alta irradiância. A existência de cobertura com vegetação ou com resíduos vegetais modifica o balanço de energia, pois a cobertura intercepta a radiação solar antes de atingir o solo (PEREIRA et al., 2002).

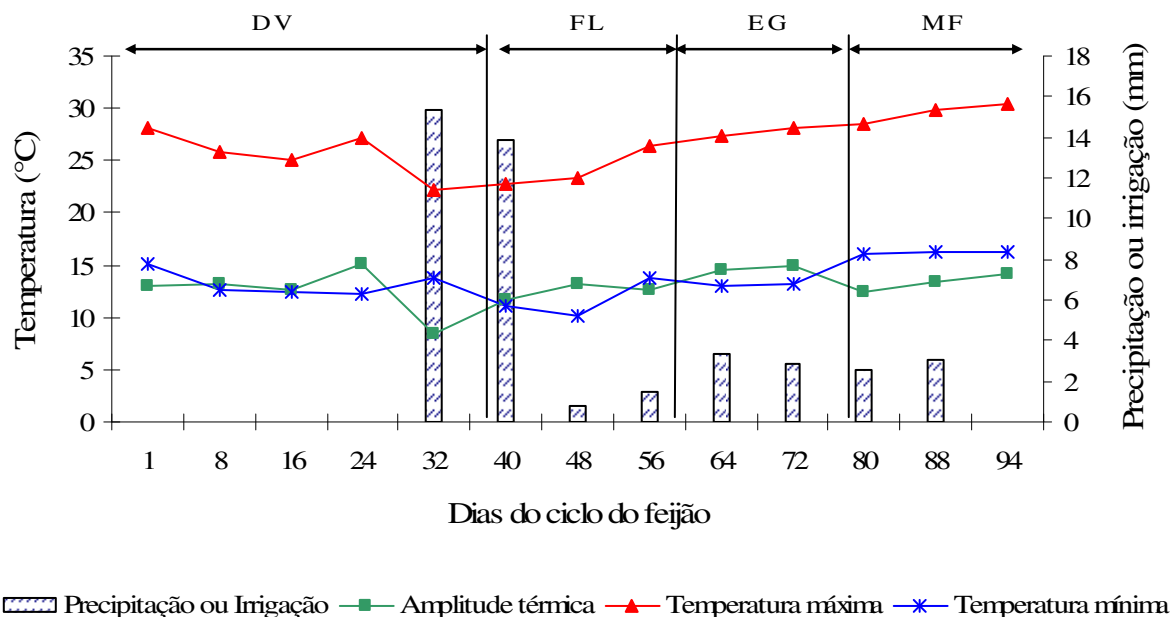


Figura 9. Valores médios de temperatura do ar máxima e mínima, amplitude térmica do ar e precipitação ou irrigação para cada estágio de desenvolvimento da cultura de feijão. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica.

O tratamento com maior quantidade de resíduo na superfície do solo apresentou menor oscilação da temperatura principalmente às 15 h o que interfere nos dados das amplitudes térmicas. O efeito da palha na superfície evitou que o solo se aquecesse em proporções iguais ao solo da área sem cobertura. Tais dados salientam a importância da cobertura vegetal na diminuição da temperatura máxima do solo, haja vista que a palha apresenta baixa condutividade térmica e alta refletividade dos raios solares (HILLEL, 1998). TREVISAN et al. (2002) verificaram que a palha de aveia diminuiu a amplitude térmica a 0,10 e a 0,20 m de profundidade durante o ano todo, comparada com o solo que permaneceu sem cobertura morta. SIDIRAS & PAVAN (1985) observaram efeito significativo da cobertura do solo na temperatura do solo a 0,03 e 0,06 m, com a seguinte ordem na temperatura: preparo convencional > plantio direto > cobertura permanente.

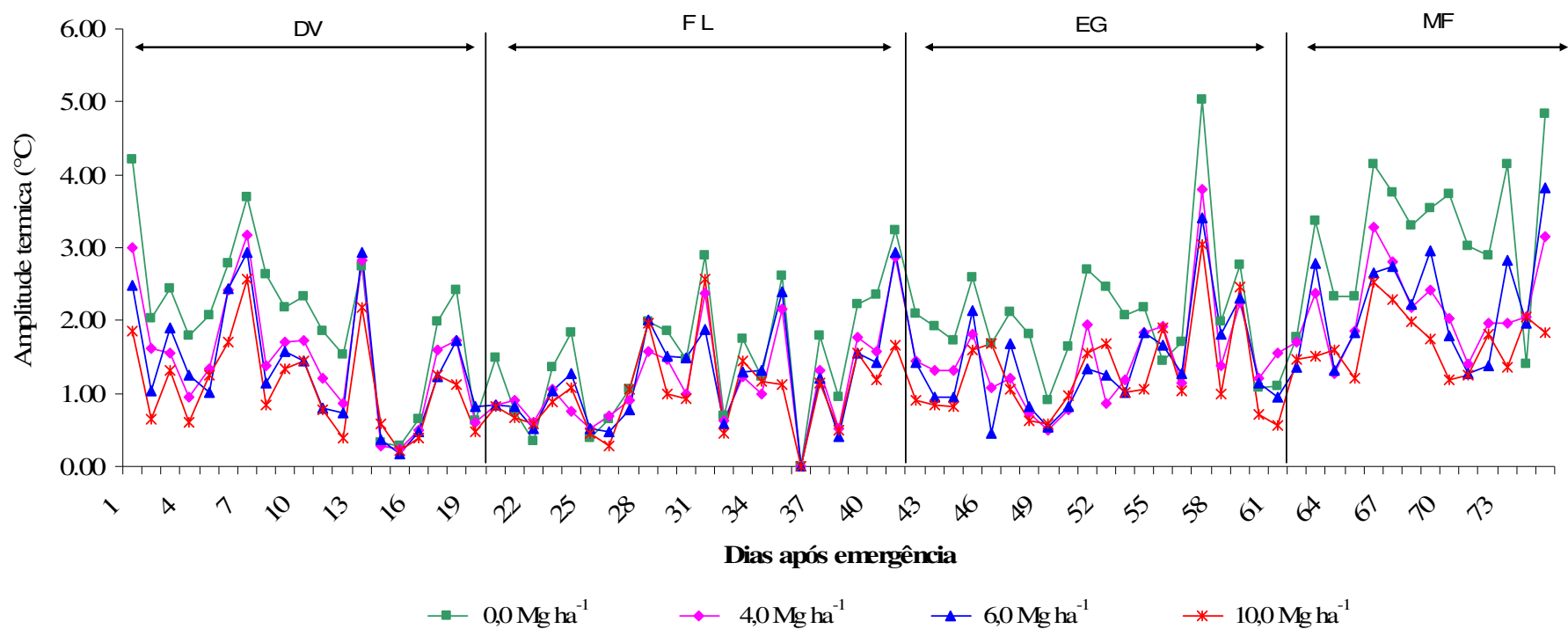


Figura 10. Valores das amplitudes térmicas do solo ao longo do ciclo da cultura do feijão nos diferentes tratamentos na profundidade de 0,15 m. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica.

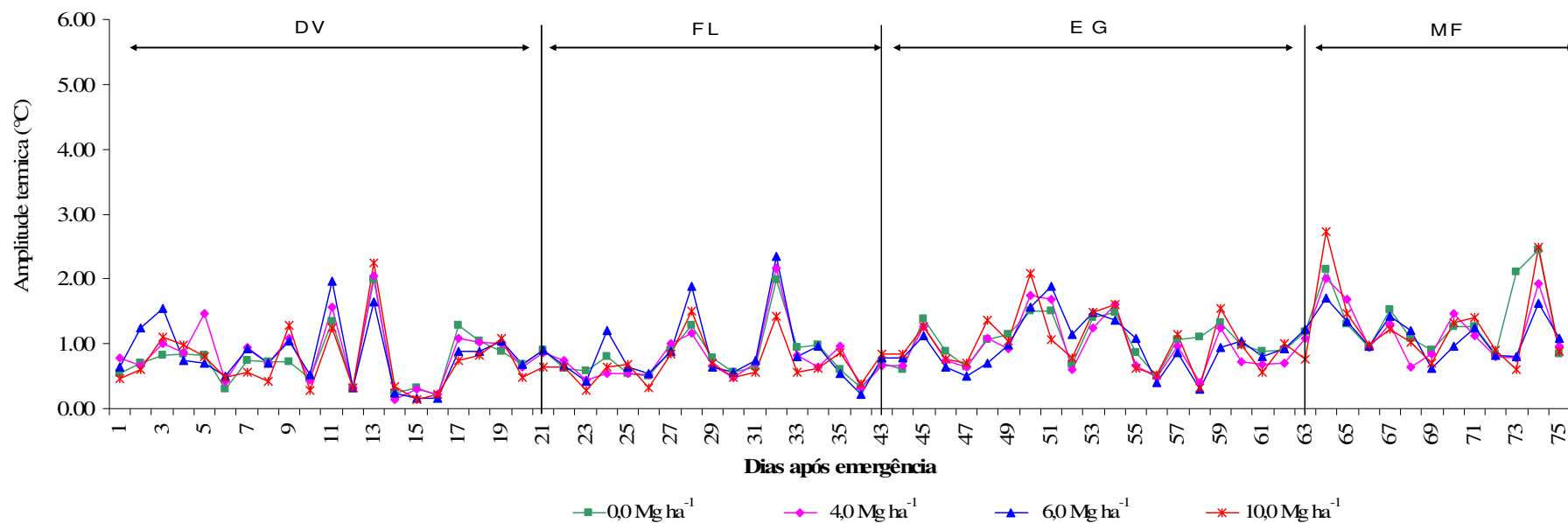


Figura 11. Valores das amplitudes térmicas do solo ao longo do ciclo da cultura do feijão nos diferentes tratamentos na profundidade de 0,30 m. DV = Desenvolvimento Vegetativo, FL = Florescimento, EG = Enchimento de Grãos, MF = Maturação Fisiológica.

Os resultados obtidos nesta pesquisa concordam com os observados por BERTOL et al. (2004a), que verificaram nos tratamentos sem aplicação de resíduo de milho uma amplitude de variação mensal da temperatura do solo de 12°C e, os tratamentos com cobertura apresentaram uma amplitude de temperatura 20% menor do que os tratamentos sem resíduo, explicado pelo efeito da cobertura que protegeu a superfície do solo. PACÍFICO (1975) também estudou a temperatura de um solo classificado como Latossolo Vermelho e, constatou que as maiores amplitudes diárias de temperatura ocorrem a 0,05 m (até 14°C) tendendo a se estabilizar a 0,20 m (próximas de 2°C). As temperaturas nestas profundidades também foram estudadas por ALVAREZ (1998).

Os resultados de temperatura do solo estão coerentes com os dados do teor de água no solo, pois em sistemas de manejo conservacionistas, que mantêm os resíduos na superfície do solo, reduzem as temperaturas máximas e a amplitude diária, com reflexos positivos na conservação do teor de água no solo, resultados semelhantes foram observados por BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990). Normalmente, nos solos cultivados em sistemas conservacionistas, com resíduos mantidos na superfície, a temperatura máxima e a amplitude térmica são menores com reflexos na umidade, especialmente nos primeiros centímetros do solo, conforme relatado por SALTON & MIELNICZUK (1995) e COSTA et al. (2003). Estas alterações no perfil interferem nas taxas de decomposição da matéria orgânica (SILVA et al., 1998) e, conforme ROSENZWEIG & HILLEL (2000), na emissão para a atmosfera de gases como CO₂, metano e óxido nitroso os quais interferem no clima.

Observa-se na Tabela 15 que os valores médios das amplitudes térmicas apresentam diferenças significativas só na profundidade de 0,15 m nos tratamentos avaliando as quantidades de cobertura morta do solo, não tendo interferência das doses de nitrogênio. Segundo VAREJÃO-SILVA (2001), a variação diária da temperatura do solo depende do tipo de cobertura presente na superfície, já que esta interfere no suprimento de energia oriunda do sol. Para uma dada classe de solo, a amplitude térmica diária, a uma determinada profundidade com algum tipo de cobertura morta, contribui para reduzir sensivelmente a amplitude térmica diária do solo.

Tabela 15. Valores médios da amplitude térmica do solo nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas. (n = 33)

Tratamento	Amplitude térmica (°C) do solo na profundidade de 0,15 m			
	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹
0,0 kg ha ⁻¹ N	2,47 a A	1,55 b A	1,51 b A	1,26 b A
50,0 kg ha ⁻¹ N	2,07 a AB	1,68 ab A	1,45 b A	1,18 b A
120,0 kg ha ⁻¹ N	1,92 a B	1,44 ab A	1,62 ab A	1,33 b A
CV %	38,9	38,8	40,8	34,3
Tratamento	Amplitude térmica (°C) do solo na profundidade de 0,30 m			
	0,0 Mg ha ⁻¹	4,0 Mg ha ⁻¹	6,0 Mg ha ⁻¹	10,0 Mg ha ⁻¹
0,0 kg ha ⁻¹ N	0,91 a A	0,88 a A	0,91 a A	0,85 a A
50,0 kg ha ⁻¹ N	0,96 a A	0,88 a A	0,81 a A	0,87 a A
120,0 kg ha ⁻¹ N	0,91 a A	0,88 a A	0,94 a A	0,91 a A
CV %	49,2	44,8	42,5	43,1

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No transcorrer do ciclo da cultura do feijão os valores das médias das amplitudes térmicas dos tratamentos só apresentam diferenças significativas algumas semanas na profundidade de 0,15 m (Tabela 16). Isto ocorreu provavelmente devido ao desenvolvimento da cultura de feijão, a qual gera uma cobertura no solo atuando similar à cobertura morta. Este resultado também foi constatado por VASCONCELOS (2002) que trabalhando com dois sistemas de colheita (crua mecanizada e queimada manual) sob cultivo de cana-de-açúcar, verificou a diminuição das amplitudes térmicas e temperaturas ao longo do perfil do solo, pelo aumento da cobertura foliar.

Com relação ao coeficiente de variação, as amplitudes térmicas apresentaram valores entre 34,3 e 40,8 % de variabilidade, na profundidade de 0,15 m a qual se encontra na variabilidade média. Na profundidade de 0,30 m os valores de variabilidade se encontram entre 42,5 e 49,2 % sendo esta uma variabilidade entre média e alta (Tabela 15).

Tabela 16. Valores médios da amplitude térmica nos diferentes tratamentos, profundidades e semanas de avaliação ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado. (n = 9)

Dia	Amplitude térmica (°C) na profundidade de 0,15 m			
	0,0 Mg ha ⁻¹ de palha	4,0 Mg ha ⁻¹ de palha	6,0 Mg ha ⁻¹ de palha	10,0 Mg ha ⁻¹ de palha
1	2,72 a	2,00 ab	1,86 bc	1,42 c
2	2,02 a	1,47 a	1,31 a	1,09 a
3	1,17 a	0,92 a	0,86 a	0,70 a
4	1,09 a	0,87 a	0,95 a	0,90 a
5	1,78 a	1,40 a	1,49 a	1,24 a
6	2,11 a	1,58 ab	1,49 ab	1,16 b
7	1,82 a	1,13 ab	1,07 b	1,03 b
8	2,03 a	1,38 a	1,30 a	1,31 a
9	2,44 a	2,03 ab	1,97 ab	1,53 b
10	3,30 a	2,26 b	2,21 b	1,79 b
11	3,26 a	2,11 b	2,25 b	1,66 b
Dia	Amplitude térmica (°C) na profundidade de 0,30 m			
	0,0 Mg ha ⁻¹ de palha	4,0 Mg ha ⁻¹ de palha	6,0 Mg ha ⁻¹ de palha	10,0 Mg ha ⁻¹ de palha
1	0,68 a	0,87 a	0,89 a	0,71 a
2	0,84 a	0,93 a	0,93 a	0,88 a
3	0,76 a	0,73 a	0,67 a	0,58 a
4	0,74 a	0,71 a	0,89 a	0,70 a
5	0,93 a	0,92 a	0,94 a	0,74 a
6	0,32 a	0,31 a	0,21 a	0,37 a
7	0,92 a	0,85 a	0,79 a	0,97 a
8	1,13 a	1,15 a	1,27 a	1,16 a
9	1,06 a	0,83 a	0,87 a	0,90 a
10	1,30 a	1,27 a	1,17 a	1,35 a
11	1,50 a	1,12 a	1,14 a	1,25 a

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4 Indicadores de produção

Nas Tabelas 17 e 18 são apresentados os dados das médias dos componentes da produção tendo em conta a influência da quantidade de nitrogênio e palha, respectivamente. A produção total (PT) apresenta diferença significativa nos tratamentos sendo que os maiores valores da produção total, corresponderam ao tratamento com maior quantidade de nitrogênio aplicado (120 kg ha⁻¹) e maior quantidade de cobertura morta (10,0 Mg ha⁻¹). Com relação ao número de plantas por m² (NP) e a massa de 100 grãos (Pg), só apresentam diferença significativa em relação a quantidade de cobertura morta. O número de vagens por planta (Nv)

apresenta diferença entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram encontrados por ANDRADE et al. (2002), que apresentaram valores de 11,7 para feijão cultivado em sistema plantio direto com 100% de cobertura do solo e superiores aos obtidos por MEDEIROS et al. (2000), com a variedade IAC Carioca, que obteve 10,1 vagens por planta.

Os valores da massa da parte aérea (Ppa), massa da parte aérea total (Ppat), e o índice de colheita (IC), só apresentaram diferença significativa considerando a quantidade de nitrogênio (Tabela 17). Os valores de número de grãos por vagens (Ngv) e massa de grão total (Pgt) não apresentaram diferença significativa nos tratamentos estudados. Os resultados de número de grãos por vagens encontrados por MEDEIROS (2002) também não apresentaram diferenças significativas para os tratamentos estudados tendo valores entre 4,1 a 4,5 sendo estes inferiores aos encontrados neste experimento.

Observa-se que, mesmo aplicando 120 kg ha^{-1} de Nitrogênio, não foi possível alcançar a produtividade máxima da cultura cuja potencialidade para esta variedade é de 4.000 kg ha^{-1} (Tabela 17). SILVA et al. (2004), avaliando manejo do solo e adubação nitrogenada em feijoeiro de inverno, obtiveram produtividades influenciadas pelas doses de nitrogênio e, incrementos significativos foram obtidos com aplicação de 75 a $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, porém, tais incrementos não foram suficientes para expressar a dose ideal de N aplicado em cobertura, a fim de se obter a produtividade máxima o que, provavelmente, pode estar relacionado com o próprio manejo de irrigação, ou seja, quando as condições hídricas são satisfatórias, além da garantia do potencial de alta produtividade, existe maior eficiência de resposta ao nitrogênio aplicado, tornando a adubação mais econômica.

Segundo ROSOLEM (1987), se por um lado às boas condições de umidade no solo tornam os nutrientes mais disponíveis, melhorando a eficiência do fertilizante aplicado, por outro lado, a planta cresce mais, e a evapotranspiração é aumentada, o que leva a maior exigência da planta em nutrientes, e conseqüentemente maior produtividade.

Na pesquisa realizada por BARBOSA FILHO & SILVA (2000), foi observado que o feijoeiro responde à adubação nitrogenada em cobertura, alcançando produtividade de grãos máxima na ordem de 3.170 kg ha^{-1} com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, onde o número de parcelamento do nitrogênio em cobertura não afetou a produtividade do feijoeiro. Já, para BARBOSA et al. (2001), o feijoeiro cultivado sob sistema de irrigação pode responder a dose de nitrogênio em cobertura acima de 150 kg ha^{-1} . Em trabalho realizado por

STONE & MOREIRA (2001), que avaliaram a resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo, verificaram que, mesmo aplicando 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, não foi possível a obtenção da máxima produtividade do feijoeiro.

Tabela 17. Valores médios dos componentes da produção e quantidades de nitrogênio aplicado nos tratamentos estudados. (n = 12)

Tratamento (kg ha ⁻¹ N)	Componentes da produção do feijão irrigado								
	Pt (kg ha ⁻¹)	NP	Pg (g)	Nv	Ppa (g)	Ngv	Ppat (g)	Pgt (g)	IC
0,0	2327 b	29,6 a	22,7 a	12,0 a	7,9 ab	5,1 a	27,9 ab	42,0 a	63,6 a
50,0	2613 b	31,8 a	21,9 a	10,5 a	6,9 b	5,0 a	20,8 b	34,5 a	62,1 ab
120,0	3287 a	30,6 a	21,6 a	13,3 a	9,6 a	4,8 a	28,7 a	43,3 a	59,7 b
CV %	21,6	17,1	3,9	25,3	25,2	8,0	25,2	31,2	4,0

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Pt = Produção total; NP = Número de plantas por m²; Pg = Massa de 100 grãos; Nv = Número de vagens por planta; Ppa = Massa da parte aérea; Ngv = Número de grãos por vagens; Ppat = Massa da parte aérea total; Pgt = Massa grãos total; IC = Índice de colheita.

Em um experimento conduzido por GUERRA et al. (2000), o máximo rendimento do feijoeiro ocorreu quando as irrigações foram feitas a -41 kPa, e com aplicação de 160 kg ha⁻¹ de Nitrogênio. Portanto, o máximo rendimento de feijão foi obtido com a maior disponibilidade de água para as plantas, ou seja, com a menor tensão de água testada no solo. Diante de tal situação, as irrigações devem ser realizadas mais freqüentemente, mostrando que o manejo de irrigação pode ser um fator limitante à adubação nitrogenada e que pode haver interação entre adubação e irrigação, indicando que cada sistema de produção deve ser estudado de maneira particular, principalmente em áreas sob plantio direto.

Com relação aos dados de coeficiente de variação a produção total apresentou variação de 21,6 % avaliando os tratamentos com aplicação de Nitrogênio e variação de 24,6 % tendo em conta as quantidades de cobertura morta, sendo esta variabilidade média. O número de plantas por m² apresentou uma variabilidade média, com valores de 16,5 e 17,1 % entre os diferentes tratamentos. A massa de 100 grãos, o número de grãos por vagens e o índice de colheita ficaram na faixa de variabilidade baixa nos diferentes tratamentos avaliados. O número de vagens por planta, a massa da parte aérea, a massa da parte aérea total e a massa de grãos total, apresentaram variabilidade média nos diferentes tratamentos (Tabelas 17 e 18).

Tabela 18. Valores médios dos componentes da produção nos diferentes tratamentos estudados. (n = 12)

Tratamento (palha)	Componentes da produção do feijão irrigado								
	Pt (kg ha ⁻¹)	NP	Pg (g)	Nv	Ppa (g)	Ngv	Ppat (g)	Pgt (g)	IC
0,0 Mg ha ⁻¹	2400 b	30,9 ab	21,2 b	10,8 a	6,9 a	4,9 a	20,9 a	35 6 a	62,9 a
4,0 Mg ha ⁻¹	2713 ab	27,7 b	22,2 ab	12,8 a	8,8 a	4,7 a	26,5 a	41,1 a	60,8 a
6,0 Mg ha ⁻¹	2700 ab	30,0 ab	22,4 a	11,9 a	8,3 a	5,2 a	24,8 a	40,5 a	61,1 a
10,0 Mg ha ⁻¹	3167 a	34,1 a	22,0 ab	12,2 a	8,5 a	5,0 a	25,6 a	42,7 a	62,2 a
CV %	24,6	16,5	3,6	25,9	25,8	7,5	25,8	30,2	4,6

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Pt = Produção total; NP = Número de plantas por m²; Pg = Massa de 100 grãos; Nv = Número de vagens por planta; Ppa = Massa da parte aérea; Ngv = Número de grãos por vagens; Ppat = Massa da parte aérea total; Pgt = Massa grãos total; IC = Índice de colheita.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, chega-se as seguintes conclusões:

Nos tratamentos com aplicação de resíduos de milho na superfície do solo (4,0, 6,0 e 10,0 Mg ha⁻¹) houve maior manutenção no teor de água no solo ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado, comparando com a condição de superfície do solo descoberta.

A decomposição do resíduo de milho foi semelhante em todos os tratamentos avaliados, refletindo uma taxa de decomposição baixa o que garante boa cobertura ao longo do ciclo da cultura e favorece as culturas subseqüentes.

Os resíduos vegetais no solo aumentam o sue teor de matéria orgânica nos primeiros 2/3 do ciclo da cultura de feijão, diminuindo no final do ciclo.

No tratamento com a maior dose de resíduos de cobertura morta na superfície do solo houve diminuição da resistência do solo à penetração, aumento no teor de água no solo e menores diferenças de temperatura ao longo do ciclo da cultura do feijão irrigado, quando comparado com o tratamento testemunha (sem cobertura).

O tratamento com a maior quantidade de resíduo de milho e a maior quantidade de nitrogênio na superfície do solo proporcionou a maior produção de feijão quando comparado com o tratamento sem cobertura e sem aplicação de nitrogênio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p.175-185, 2001.

ALVAREZ, I. A. **Comparação entre o desenvolvimento de cana crua e cana queimada em dois ciclos de crescimento**. Piracicaba, 1998. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo.

ANDRADE, A.P.; WOLFE, D.W.; FERERES, E. Sistemas de preparo do solo: I. Efeito sobre o conteúdo de água e temperatura do solo na cultura da soja. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10, 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.184-185. 1994.

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, p.35-38, 2002.

ANDRÉN, O.; STEEN, E.; RAJKAI, K. Modeling the effects of moisture on barley straw and root decomposition in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.24, p.727-736, 1992.

ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p.101-137.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistema de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.27, p.1085-1096, 2003.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Science Society of America, (SSSA, Special Publication, 49). p.123-41, 1996.

ARZENO, J.L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo - distrófico**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 259 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1990.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Efeito do tempo de adoção do sistema plantio direto na densidade do solo máxima e umidade ótima de compactação de um Nitossolo Vermelho Distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.337-345, 2004.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p.515-522, 2005.

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

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado. In: Circular Técnica 49 – **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antonio de Goiás, 2001. p.7. disponível em: http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/circular tecnica/circ_49.pdf. Acessado em: 02/07/2008

BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.692-697, 1993.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Física de suelos**. Barcelona: Hispano-Americana, 1973. 73p.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um CAMBISSOLO Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J. PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um LATOSSOLO Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.677-683, 2004.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.949-956, 2001.

BERTIN, E.G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.27, p.379-386, 2005.

BERTOL, I.; SANTOS, J.C.P. Uso do solo e propriedades físico- hídricas no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, p.263-267, 1995.

BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A.S. Persistência de resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.705-712, 1998.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F.; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico Álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.91-95, 2000.

BERTOL, I., BEUTLER, J.F., LEITE, D., BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n.3, p.555-60, 2001.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Decomposição do resíduo de milho e variáveis relacionadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.369-375, 2004a.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.155-163, 2004b.

BEUTLER, A.N., SILVA, M.L.N., CURTI, N., FERREIRA, M.M., CRUZ, J.C., PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.167-77, 2001.

BONA, F.D.; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.911-920, 2006.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G.F.; BORGES, E.V.S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em Latossolo Vermelho-Escuro de textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p.1663-1667, 1999.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNIKZUK, L. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.369-374, 1990.

BROWN, P.L.; DICKEY, D.D. Losses of wheat straw residue under simulated field conditions. **Soil Science Society**, Amsterdam, v.34, p.118-121, 1970.

BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1167-1173, 1994.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 132p. 1997.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 19 p.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.121-126, 1995.

CASTRO, O.M.; MARIA, I.C.; NASCIMENTO, P.C. Influência da cobertura morta do solo no controle de plantas daninhas, temperatura e umidade do solo em diversos tipos de preparo. In: ENCONTRO PAULISTA DE PLANTIO DIRETO, 2., 1989. **Anais...** Piracicaba: FEALQ/ESALQ-USP, p.167-169. 1989.

CASTRO, O.M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 174 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ, USP, 1995.

CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M.S.; COSTA, L.M. Comportamento físico- hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.257-265, 1999.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milho e crotalária. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.27, p.575-580, 2005.

CECÍLIO, R.A.; PRUSHY, F.F. Reforço contra a erosão. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v.35, p.10-13, 2004.

CERETTA, C.A. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto: sucessão aveia/milho. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2., 1998, Ijuí, RS. **Anais...** Passo Fundo, RS, Editora Aldeia Norte, 1998. p.49-62.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, p.49-54, 2002.

COELHO FILHO, M.A. **Variabilidade espacial aplicada ao manejo de irrigação por microaspersão em lima ácida “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tanaka)**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.425-432, 1999.

COSENTINO, D.; CONSTATINI, A.; SEGAT, A.; FERTIG, M. Relationships between organic carbon fraction and physical properties of an argentine soil under three tillage systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.981-986, 1998.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.527-535, 2003.

CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station. 142p. Bulletin, 670. 1942.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.69-116, 1997.

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma de estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.241-247, 1997.

DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Longterm tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.51, p.71-79, 1999.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, p.761-773, 1985.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, V. **Controle de erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Instituto Agrônômico do Paraná, 272p. 1991.

DEXTER, A.R. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.98, p.303-312, 1987.

DOUGLAS JÚNIOR., C.L.; ALLMARAS, R.R.; RASMUSSEN, P.E.; RAMIG, R.E.; ROAGER JÚNIOR., N.C. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.833-837, 1980.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BOHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.3, p.261-75, 1983.

ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W.D.; TAN, K.A. Hydraulic conductivity measurement in the unsaturated zone using improved well analyses. **Ground Water Monitoring**. Review, part 9, p.184-193. 1989.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Brasília: Embrapa produção da informação, 2006. 163p.

ENTZ, M.; BARON, V.S.; CARR, P.M.; MEYER, D.W.; SMITH, S.R.; McCAUGHEY, W.P. Potential of forages to diversify cropping systems in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.240-250, 2002.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.69-116, 1997.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argioquoll e Typic Hapludaf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 7, p.329-333, 1983.

FLECHA, A.M.T. **Possibilidade de manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho, em sucessão a aveia preta no sistema plantio direto**. Santa Maria, 2000. 37 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

FIETZ, C.R. **Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irrigação por aspersão**. 1998. 97p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FOLEGATTI, M.V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**. 1996. 84p. Tese (Livre Docência, Especialidade em Engenharia de Água e Solo, Conjunto de disciplinas Hidráulica e Irrigação) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GAMA-RODRIGUEZ, A.C.; GAMA-RODRIGUEZ, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1421-1428, 2007.

GARCIA, R.N.; FORNASIERI FILHO, D.; ROSSATO JÚNIOR, J.A.S. Influência de cultura de cobertura morta e nitrogênio sobre os componentes produtivos da cultura do feijoeiro de inverno em sucessão a cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. (CD-ROM)

GASPARIM, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S.L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.27, p.107-115, 2005.

GENRO JÚNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um LATOSSOLO Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.28, p.477-484, 2004.

GILMOUR, J.T.; MAUROMOUSTAKOS, A.; GALE, P.M. NORMAN, R.J. Kinetics of crop residue decomposition: variability among crops and years. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p.750-755, 1998.

GÓMEZ, J.A., GIRÁLDEZ, J.V., PASTOR, M., FERERES, E. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.52, p.167-175, 1999.

GONÇALVES, A.C.A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação**. 1997. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, CA. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.307-313, 1999.

GRANT, C.A., LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.73, p.223-32, 1993.

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, p.1229-1236, 2000.

GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo**. 1993. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. London: Academic Press, 1998. 771p.

HOUSE, G.J.; STINNER, R.E. Decomposition of plant residues in no-tillage agroecosystems: influence of litterbag mesh size and soil arthropods. **Pedobiologia**, v.30, p.351-360, 1987.

IMHOFF, S., SILVA, A.P., TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1493-1500, 2000.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society Agronomy, p.499-510. 1965.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo e planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 262p. 1979.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. **Implantação e Manejo do Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36p. (Embrapa Trigo, Documentos, 20).

LAL, R. Management of clay soils for erosion control. **Tropical Agriculture**, Cali, v.59, p.133-138, 1982.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v.43, p.81-107, 1997.

LAL, R.; PIERCE, F.J. **The vanishing resource**. In: LAL, R.; PIERCE, F.J. (Eds.). Soil management for sustainability. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.1-15. 1991.

LAURANI, R.A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; SOARES, D.S.; RIBON, A.A. Distribuição de poros de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico na fase de implantação de um sistema de plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, p.347-354, 2004.

LIMA, C.A.G., SILANS, A.P. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.2311-2320, 1999.

LUCARELLI, J.R.F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LYON, D.J. Sunflower residue weight and ground cover loss during Summer fallow. **Journal Soil Water Conservation**, v.53, p.71-73, 1998.

MAIA, J.C.S. **Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo**. 1999. 158 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D., ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.181, p.71-82, 1996.

MASSIGNAM, A.M.; VIEIRA, H.J.; HEMP, S.; DITTRICH, R.C.; FLESCHE, R.D.; VICTORIA, F.B. Ecofisiologia do feijoeiro. I. Determinação do período mais crítico à deficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, p.35-39, 1998.

McINTYRE, D.S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v.85, p.185-189, 1958.

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

MEDEIROS, G.A. **Influência do manejo de um Latossolo Vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 124 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MELLO, J.C.A. **Granulometria e doses de calcário domolítico em sistema de plantio convencional e direto, cultivado com milho**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

MELO FILHO, J.F.; SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.291-297, 1993.

MERTEN, G.H.; FERNANDES, F.F. **Manejo do solo de baixa aptidão**. In: DAROLT, M.R. Plantio direto: Pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, p.43-64, 1998.

MOTA F. S. **Meteorologia Agrícola**. 7^a ed. São Paulo: Nobel, 1989. p.181-185.

MULLER, M.; CECCON, G.; ROSOLEM, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.531-538, 2001.

OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, p.197-200, 1968.

PACÍFICO, C. E. A. **Compactação de toletes de cana-de-açúcar (Saccharum spp.): efeito no número de rebentos e temperatura do solo**. Jaboticabal, 1975. 37 p. Trabalho de Graduação - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1975.

PEDROTTI, A., PAULETTO, E.A., CRESTANA, S., FERREIRA, M.M., DIAS JUNIOR, M.S., GOMES, A.S., TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um PLANOSSOLO submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.521-529, 2001.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia. Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária. 2002. 107p.

PIASKOWSKI, S.R.; RONZELLI JÚNIOR, P.; DAROS, E. & KOEHLER, H.S. Adubação nitrogenada em cobertura para o feijoeiro em plantio direto na palha. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.2, p.67-72, 2001.

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

RAIJ, VAN B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 285p. 2001.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba: USP/ESALQ. 1996. 513p.

REICHARDT, K; LIBARDI, P.L.; SANTOS, J.M. **Analysis of soil-water movement in the field: II**. Water balance in a snap bean crop. Piracicaba: CENA, 1974. 19 p. (Boletim Científico, 22).

REICHARDT, K.; TIMM L. C. **Solo, Planta e Atmosfera. Conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478p.

REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANDDALE, G.W.; DOUGLAS, C.L.; RASMUNSEN, P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.50, p.253-262, 1995.

REYNOLDS, W.D. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, p.131-146, 2002.

ROSENZWEIG, C.; HILLEL, D. Soil and global climate change: Challenges and opportunities. **Soil Science**, Baltimore, v.165, p.47-56, 2000.

ROSOLEM, C.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba: Potafós, 93 p, 1987.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, p.259-266, 1994.

SALET, R.L.; VARGAS, L.K.; ANGHINONI, E. A. Porque a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Passo Fundo, RS. **Anais....** Passo Fundo, RS: Aldeia Norte, 1997. 217p.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.313-319, 1995.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O.; LHAMBY, J.C.B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação de culturas com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.449-454, 1995.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, p.477-486, 2003.

SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N. **O meio ambiente e o plantio direto**. Goiânia: APDC, 1997. 18p.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um LATOSSOLO submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.797-804, 2004.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; HEINZMANN, F. Influência da adubação verde de inverno e seu efeito residual sobre o rendimento nas culturas de verão, em Latossolo Roxo distrófico. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.2, p.4-5, 1984.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.

SIDIRAS, N.; ROTH, C.H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.9, p.161-168, 1987.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.91-95, 1986.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J.M.; CARVALHO, A.M. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, p.649-654, 1997.

SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M.; CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.97-103, 1998.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.795-801, 2000.

SILVA, T.R.B. **Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema plantio direto**. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

SILVA, M.G.; ARF, O.; SA, M.E. Nitrogen fertilization and soil management of winter common bean crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, p.307-312, 2004.

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**, Viçosa, v.30, p.391-399, 2006.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.395-401, 2001.

SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; KLIEMANN, H.J.; ZINMERMANN, J.P. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.377-381, 2005.

SIX, J.; ELLIOT, E.T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J.W. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p.1367-1377, 1998.

SMITH, J.H.; DOUGLAS, C.L. Wheat straw decomposition in the field. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.35, p.269-272, 1971.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, 437p. (Handbook, 18), 1993.

SORATTO, R.P.; SILVA, T.R.B.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em plantio direto. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.10, p.89-99, 2001.

SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.895-901, 2004.

SOUZA, Z.M., SILVA, M.L.S., GUIMARÃES, G.L., CAMPOS, D.T.S., CARVALHO, M.P., PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.699-707, 2001.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

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

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, 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, p.473-481, 2001.

STONE, L.F., SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.395-401, 2001.

STOTT, D.E.; STROO, H.F.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I.; UNGER, P.W. Wheat residue loss from fields under no-till management. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v54, p92-98, 1990.

STROO, H.F.; BRISTOW, K.L.; ELIOT, L.F.; PAPENDICK, R.I.; CAMPBELL, G.S. Predicting rates of wheat residue decomposition. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v53, p91-99, 1989.

TABOADA, M.A., MICUCCI, F.G., COSENTINO, D.J., LAVADO, R.S. Comparasion of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.49, p.57-63, 1998.

TANAKA, D.L. Wheat residue loss for chemical and stubblemulch fallow. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.50, p.434-440, 1986.

TAVARES FILHO, J., BARBOSA, G.M.C., GUIMARÃES, M.F., FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.725-730, 2001.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic metter and water – stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Lethbridge, v.33, p.141- 163, 1982.

TORRES, J.L.R.; FABIAN, A.J.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I. Influência de plantas de cobertura na temperatura e umidade do solo na rotação milho-soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, p.107-113, 2006.

TREVISAN, R.; HERTER, F.G.; PEREIRA, I.S. Variação da amplitude térmica do solo em pomar de pessegueiro cultivado com aveia preta (*Avena sp.*) e em sistema convencional. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.8, p.155-157, 2002.

TSEGAYE, T., HILL, R.L. Intensive tillage effects on spatial variability on soil physical. **Soil Science**, v.163, n.2, p.143-154, fev. 1998.

UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION. 1967. Reclamation instructions. Series 510 **Land Classification Techniques and Standards**.

URCHEI, M.A., RODRIGUES, J.D., STONE, L.F., CHIEPPE JR., J.B. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, sob pivô central. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.3, 1996.

UTSET, A., CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsolo at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, v.61, p. 193-202, 2001.

Van GENUCHTEN, M. TH. A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Amsterdam, v.44, p.892-898, 1980.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. 2 ed. Brasília: Pax, 2001. p.101-108.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 65 p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Eds). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p.123-152. 1998.

WARRICK, A.W. Spatial variability. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 1998. p. 655-675.

WIETHÖLTER, S. **Adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. 44p.

WILLIAM, S.; WEIL, R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.68, p.1403-1409, 2004.

WUTKE, E.B.; FANCELLI, E.B.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; AMBROSANO, G.M.B. Rendimento do feijoeiro irrigado em rotação com culturas graníferas e adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v.57, p.325-338, 1998.

WUTKE, E.B., ARRUDA, F.B., FANCELLI, A.L., PEREIRA, J.C.V.N.A., SAKAI, E., FUJIWARA, 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, p.621-633, 2000.

YANO, E.H. **Sistemas integrados de produção: manejo do solo, culturas de inverno e verão**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

APÊNDICE

Tabela 1A. Estatísticas para os dados de matéria orgânica dos dias avaliados ao longo do ciclo da cultura de feijão irrigado.

DIA	n	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
30	72	4,31	0,58	13,47	3,37	5,69
60	72	4,58	0,72	15,69	3,37	6,16
90	72	3,98	0,51	12,89	3,07	5,26

Média = Média aritmética, DP = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de variação,

Tabela 2A, Estatísticas para os dados de densidade do solo, porosidade total (P Total), microporosidade (micro) e macroporosidade (macro) nos diferentes tratamentos avaliados,

Tratamento (kg ha⁻¹ – Mg ha⁻¹)	Variável	n	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
0,0 – 0,0	Densidade	9	1,31	0,08	6,11	1,21	1,48
	P Total	9	0,51	0,03	4,96	0,47	0,54
	Micro	9	0,40	0,04	9,80	0,31	0,43
	Macro	9	0,12	0,03	29,07	0,06	0,17
0,0 – 4,0	Densidade	9	1,31	0,03	2,34	1,26	1,36
	P Total	9	0,50	0,03	6,65	0,42	0,53
	Micro	9	0,40	0,04	9,88	0,31	0,45
	Macro	9	0,10	0,02	23,41	0,05	0,13
0,0 – 6,0	Densidade	9	1,31	0,06	4,92	1,23	1,41
	P Total	9	0,51	0,02	4,19	0,48	0,54
	Micro	9	0,41	0,02	4,38	0,38	0,43
	Macro	9	0,10	0,03	26,00	0,07	0,15
0,0 – 10,0	Densidade	9	1,28	0,09	6,78	1,17	1,47
	P Total	9	0,49	0,02	3,93	0,47	0,53
	Micro	9	0,40	0,02	4,21	0,37	0,42
	Macro	9	0,10	0,02	22,36	0,08	0,14
50 – 0,0	Densidade	9	1,33	0,06	4,17	1,24	1,39
	P Total	9	0,48	0,08	17,44	0,26	0,53
	Micro	9	0,39	0,07	17,92	0,21	0,45
	Macro	9	0,09	0,02	20,80	0,06	0,11
50 – 4,0	Densidade	9	1,27	0,05	4,14	1,16	1,32
	P Total	9	0,51	0,02	4,02	0,49	0,55
	Micro	9	0,41	0,03	6,05	0,38	0,45
	Macro	9	0,10	0,02	15,81	0,08	0,12
50 – 6,0	Densidade	9	1,33	0,15	10,91	1,21	1,71
	P Total	9	0,51	0,02	4,49	0,48	0,54
	Micro	9	0,42	0,02	5,05	0,37	0,45
	Macro	9	0,10	0,02	25,15	0,06	0,14
50 – 10,0	Densidade	9	1,28	0,07	5,32	1,18	1,39
	P Total	9	0,51	0,02	3,09	0,50	0,54

Continuação...

Tratamento (kg ha⁻¹ – Mg ha⁻¹)	Variável	n	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
50 – 10,0	Micro	9	0,40	0,01	2,17	0,39	0,41
	Macro	9	0,11	0,02	17,70	0,08	0,14
120 – 0,0	Densidade	9	1,32	0,05	4,03	1,25	1,42
	P Total	9	0,50	0,03	6,66	0,43	0,55
120 – 4,0	Micro	9	0,40	0,03	8,22	0,32	0,43
	Macro	9	0,10	0,02	17,84	0,07	0,12
	Densidade	9	1,30	0,09	6,98	1,08	1,41
	P Total	9	0,52	0,02	4,43	0,47	0,55
120 – 6,0	Micro	9	0,40	0,01	3,09	0,38	0,41
	Macro	9	0,12	0,03	25,73	0,06	0,16
	Densidade	9	1,29	0,05	3,55	1,21	1,32
	P Total	9	0,52	0,02	3,94	0,50	0,56
120 – 10,0	Micro	9	0,40	0,02	5,30	0,37	0,43
	Macro	9	0,12	0,03	23,47	0,07	0,17
	Densidade	9	1,31	0,09	6,62	1,17	1,41
	P Total	9	0,50	0,01	2,98	0,48	0,52
	Micro	9	0,40	0,02	5,64	0,36	0,43
	Macro	9	0,10	0,03	27,44	0,08	0,16

Média = Média aritmética, DP = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de variação,

Tabela 3A, Estatísticas para os dados de resistência do solo à penetração (RP) e umidade (U) nas diferentes profundidades avaliadas,

Profundidade (m)	Variável	n	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
0,00 – 0,05	RP	36	0,77	0,27	35,03	0,55	1,41
	U	36	26,98	1,76	6,53	23,26	30,74
0,05 – 0,10	RP	36	2,13	0,66	30,92	1,09	3,43
	U	36	26,88	2,05	7,64	22,02	30,74
0,10 – 0,15	RP	36	3,17	1,33	42,12	1,35	6,61
	U	36	24,91	2,16	8,68	20,83	30,56
0,15 – 0,20	RP	36	4,45	2,39	53,74	1,59	1,01
	U	36	24,71	1,91	7,75	20,83	29,08
0,20 – 0,25	RP	36	0,77	0,27	35,03	0,55	1,41
	U	36	26,98	1,76	6,53	23,26	30,74
0,25 – 0,30	RP	36	4,97	2,28	45,93	1,85	1,01
	U	36	24,28	2,20	9,05	19,73	28,47
0,30 – 0,35	RP	36	4,30	1,78	41,47	1,32	9,20
	U	36	24,10	2,18	9,03	19,73	28,47
0,35 – 0,40	RP	36	3,70	1,53	41,37	0,37	7,76
	U	36	24,10	2,18	9,03	19,73	28,47
0,40 – 0,45	RP	36	2,97	1,32	44,57	0,37	7,47
	U	36	24,10	2,18	9,03	19,73	28,47

Média = Média aritmética, DP = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de variação,

Tabela 4A, Estatísticas para os dados de conteúdo de umidade (g g^{-1}) do solo ao longo do ciclo da cultura de feijão irrigado,

Avaliações (dias)	n	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
1	108	0,277	0,030	10,83	0,12	0,43
2	108	0,255	0,033	12,82	0,17	0,48
3	108	0,252	0,022	8,60	0,17	0,3
4	108	0,243	0,025	10,21	0,19	0,38
5	108	0,229	0,026	11,27	0,1	0,28
6	108	0,235	0,027	11,61	0,13	0,29
7	108	0,290	0,016	5,41	0,26	0,34
8	108	0,295	0,023	7,98	0,27	0,48
9	108	0,257	0,018	7,15	0,22	0,31
10	108	0,243	0,022	9,11	0,15	0,29
11	108	0,220	0,033	14,95	0,03	0,38
12	108	0,236	0,023	9,63	0,19	0,31
13	108	0,243	0,029	12,11	0,13	0,39
14	60	0,226	0,038	16,83	0,07	0,4
15	107	0,231	0,028	12,14	0,14	0,3
16	109	0,276	0,022	8,15	0,22	0,32
17	108	0,275	0,023	8,49	0,19	0,33
18	108	0,257	0,025	9,59	0,2	0,31
19	108	0,276	0,029	10,38	0,13	0,35
20	108	0,231	0,024	10,40	0,18	0,29
21	107	0,230	0,031	13,61	0,16	0,31
22	108	0,247	0,027	11,13	0,17	0,33
23	108	0,253	0,026	10,20	0,2	0,31
24	108	0,240	0,027	11,15	0,17	0,31
25	108	0,249	0,032	12,69	0,05	0,36
26	108	0,224	0,032	14,40	0,1	0,32
27	108	0,235	0,029	12,49	0,14	0,32

Média = Média aritmética, DP = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de variação,

Tabela 5A, Estatísticas para os dados dos tensiômetros nos diferentes tratamentos avaliados,

Tratamento (kg ha⁻¹ – Mg ha⁻¹)	n	Média	DP	CV (%)	Mínimo	Máximo
0,0 – 0,0	213	0,37	0,27	71,97	0,04	0,9
0,0 – 4,0	215	0,19	0,12	64,50	0,02	0,57
0,0 – 6,0	217	0,16	0,13	82,04	0,01	0,88
0,0 – 10,0	217	0,15	0,12	81,33	0,02	0,84
50 – 0,0	216	0,33	0,25	77,73	0,02	0,88
50 – 4,0	215	0,34	0,32	93,42	0,02	0,92
50 – 6,0	218	0,16	0,11	69,62	0,01	0,63
50 – 10,0	219	0,13	0,07	55,44	0,02	0,45
120 – 0,0	176	0,12	0,06	50,57	0,01	0,4
120 – 4,0	213	0,27	0,22	82,52	0,01	0,9
120 – 6,0	214	0,22	0,20	90,93	0,01	0,92
120 – 10,0	213	0,32	0,30	94,23	0,01	0,93

Média = Média aritmética, DP = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de variação,