**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação do solo em duas épocas cultivado com milho sob manejo
ecológico e convencional**

Rodrigo Henriques Longaresi

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2014**

Rodrigo Henriques Longaresi
Engenheiro Agrônomo

**Avaliação do solo em duas épocas cultivado com milho sob manejo ecológico
e convencional**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Longaresi, Rodrigo Henriques

Avaliação do solo em duas épocas cultivado com milho sob manejo ecológico e convencional / Rodrigo Henriques Longaresi. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

75 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.
Bibliografia.

1. Física do solo 2. Irrigação 3. Rendimento do milho 4. Sistemas de manejo
I. Título

CDD 633.15
L848a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Aos meus pais Paulo e Elizabete pela
dedicação na criação dos seus filhos,
carinho e incentivo incondicional aos estudos*

*À minha esposa Dayana pelo apoio,
compreensão e incentivo*

Dedico

*Ao Centro de Pesquisa Mokiti Okada pela nobreza e coragem na busca
por uma Agricultura sustentável que contemple a saúde e felicidade
dos seres humanos*

*A todos os Agricultores e profissionais que compartilham deste
objetivo*

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, alegria e permissão em exercer esta profissão.

Ao professor Marcos Vinícius Folegatti pela orientação, disposição, amizade e confiança em mim depositada.

Ao Centro de Pesquisa Mokiti Okada na pessoa do coordenador geral Luiz Carlos Demattê Filho pela bolsa concedida, permissão e apoio na realização deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia de Biossistemas e a todos os funcionários que me receberam muito bem abrindo as portas para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

Aos coordenadores de pesquisa do CPMO Sérgio Kenji Homma e Paulo Roberto Ribeiro Chagas que me apoiaram e encorajaram durante esta jornada.

Ao técnico de laboratório do Departamento de Engenharia de Biossistemas Gilmar Batista Grigolon pela colaboração e orientação para realizar as amostragens de solo.

A toda equipe do Setor Solos do CPMO e à equipe de campo que colaboraram de forma incondicional para a realização desta pesquisa: Diego Pelizari, Juliana Scoton, Amália Busoni, Bruno Picareli, Wesley Fialho, Mauro Moraes e Jamil Gomes. Muito obrigado pela ajuda!

Aos amigos do Departamento de Engenharia de Biossistemas João Paulo, Hermes e Marcos Amaral que sempre me ajudaram nos momentos em que encontrei dificuldades.

Ao produtor Sr. Geraldo Alves de Ramos por colaborar gentilmente cedendo parte da área de seu Sítio para a realização deste estudo. Obrigado!

A todas as pessoas não citadas e que de alguma forma colaboraram nesta pesquisa. Meus sinceros agradecimentos.

“Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem de sucesso”

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DETABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 DESENVOLVIMENTO	21
2.1 Revisão Bibliográfica	21
2.1.1 Alterações dos atributos físicos pelos sistemas de manejo.....	21
2.1.2 Densidade do solo.....	22
2.1.3 Resistência do solo à penetração das raízes	23
2.1.4 Porosidade do solo.....	25
2.1.5 Agregação do solo	26
2.1.6 Taxa de infiltração da água no solo.....	28
2.1.7 Rendimento do milho sob diferentes manejos.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Localização do experimento.....	31
3.2 Histórico de manejo e caracterização das áreas em estudo	31
3.2.1 Centro de Pesquisa Mokiti Okada	31
3.2.2 Sítio Camaquã.....	32
3.3 Análise química do solo da área experimental.....	32
3.4 Granulometria do solo da área experimental.....	33
3.5 Temperatura, umidade relativa e precipitação da área experimental	33
3.6 Tratamentos e instalação	35
3.6.1 Tratamento MEI.....	35
3.6.2 Tratamento MENI	37
3.6.3 Tratamento MSQ	37
3.7 Amostragem do solo	37
3.8 Atributos físicos do solo.....	38
3.8.1 Microporosidade.....	39
3.8.2 Densidade de partículas.....	39
3.8.3 Densidade do solo.....	40
3.8.4 Porosidade total	40
3.8.5 Macroporosidade.....	40

3.8.6 Umidade do solo	40
3.8.7 Resistência do solo à penetração das raízes	41
3.8.8 Agregados do solo	41
3.8.9 Taxa de infiltração de água no solo	42
3.9 Rendimento	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Densidade do solo	45
4.2 Resistência mecânica a penetração das raízes e umidade do solo	46
4.3 Microporosidade	49
4.4 Porosidade total	50
4.5 Macroporosidade	51
4.6 Agregados do solo	53
4.7 Infiltração da água no solo	54
4.8 Rendimento	56
5 CONCLUSÕES.....	59
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS	63
ANEXO.....	73

RESUMO

Avaliação do solo em duas épocas cultivado com milho sob manejo ecológico e convencional

A intensificação da agricultura está causando a degradação do ambiente agrícola, dos recursos hídricos e do solo. O manejo ecológico de solo e planta do Centro de Pesquisa Mokiti Okada (CPMO) tem como objetivo proporcionar ao agricultor, alternativas viáveis para atividade agrícola sustentável. Este sistema de manejo deve compensar a ausência dos insumos agrícolas - tradicionalmente utilizados na agricultura convencional - através da manutenção da qualidade física, química e microbiológica do solo. Esta pesquisa foi realizada no CPMO e no Sítio Camaquã, propriedade vizinha com solo de características similares. Os objetivos foram: i) caracterizar os atributos físico-hídricos do solo nos sistemas de manejo adotados; ii) verificar o efeito dos manejos nos atributos físico-hídricos do solo; iii) quantificar o rendimento do milho em cada sistema de manejo. Os tratamentos foram: manejo ecológico irrigado (MEI); manejo ecológico não irrigado (MENI) e manejo usual do Sítio Camaquã (MSQ). Cada tratamento foi composto por 8 parcelas com 54 m² cada, para determinação da produtividade. Para determinação dos parâmetros físico-hídricos realizou-se amostragem do solo em duas épocas do ciclo do milho: 50 dias após a semeadura (50 DAS) e 140 DAS, ambas nas parcelas. Dentre os tratamentos com sistema de manejo ecológico, o MEI apresentou os melhores resultados: a densidade do solo diminuiu significativamente de 1,37 para 1,32 g.cm⁻³ e 1,26 para 1,22 g.cm⁻³ a 10 e 30 cm respectivamente da amostragem 50 para 140 DAS; a porosidade total aumentou significativamente de 51 para 55% e 54 para 57% a 10 e 30 cm respectivamente da amostragem 50 para 140 DAS. O tratamento MSQ se mostrou susceptível a processos de degradação devido ao manejo adotado, de elevada mobilização do solo: as médias de densidade, diâmetro médio geométrico, porosidade total e macroporosidade da amostragem 50 DAS para 140 DAS a 10 cm de profundidade variaram significativamente de 1,23 para 1,41 g.cm⁻³; 1,58 para 1,29 mm; 55 para 49% e 24 para 13% respectivamente. O rendimento do milho foi 5,0; 4,1 e 4,8 t.ha⁻¹ nos tratamentos MEI, MENI e MSQ respectivamente.

Palavras-chave: Física do solo; Irrigação; Rendimento do milho; Sistemas de manejo

ABSTRACT

Soil assessment at the two different stages of a maize crop under ecological and conventional system

The intensification of agriculture is causing the degradation of agricultural environment, water resources and soil. The soil and plant ecological management of Mokiti Okada Research Center (CPMO) has as a goal to provide viable alternatives of techniques for sustainable agriculture. This proposed management must compensate the no use of agricultural input, traditionally applied in a conventional model, through the maintenance of the soil physical, chemical and microbiological quality. This assay was performed in the CPMO experimental field and in an adjacent area, belonging to the neighbor Camaquã farm, whose soil characteristic is similar. The aims of this work were: i) to characterize soil physic-hydric attributes; ii) to survey the effect from crop system on the soil physic-hydric attributes; iii) to quantify the maize yield of the treatments. The treatments were: ecological crop system with irrigation (ECSI); ecological crop system without irrigation (ECSNI); conventional crop system (CCS) as usual in the Camaquã farm. Each treatment was comprised of 8 plots with 54 m², where the grain yield was measured. Soil cores were sampled from the plots, at the two different growth stages, in order to survey the soil physics parameters: at 50 days after sowing (DAS) and 140 DAS. Among ecological crop system the ECSI treatment showed the best results. The soil bulk density decreased significantly from 50 to 140 DAS at 10 and 30 cm depth (1.37 to 1.32 g.cm⁻³ and 1.26 to 1.22 g.cm⁻³). The soil total porosity increased significantly at the same time and depth (51 to 55% and 54 to 57%). The soil of the CCS treatment showed it was susceptible to degradation pressures from usual high soil tillage management. At the 10 cm depth there were significantly differences between 50 to 140 DAS to bulk density (1.23 to 1.41 g.cm⁻³), mean geometric diameter (1.58 to 1.29 mm), total porosity (55 to 49%) and macro porosity (24 to 13%). The grain yields were: 5.0, 4.1 and 4.8 t.ha⁻¹ to ECSI, CSNI and CCS treatments, respectively.

Keywords: Soil physics; Irrigation; Maize grain yield; Crop system

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%) durante o período do experimento.....	34
Figura 2 - Precipitação (mm) durante o período do experimento	34
Figura 3 - Área experimental e disposição das parcelas nos tratamentos	35
Figura 4 - Irrigação (mm), precipitação (mm) e disponibilidade real de água (DRA) (mm) no tratamento MEI durante o experimento.....	36
Figura 5 - Amostrador tipo castelinho e anel de inox utilizado na amostragem.....	38
Figura 6 - Resistência mecânica do solo à penetração nos tratamentos estudados, 50 e 140 DAS no perfil de 0 a 60 cm de profundidade.....	47
Figura 7 - Taxa de infiltração de água no solo (mm.h^{-1}) dos tratamentos estudados após a colheita do milho.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química do solo das áreas do CPMO e do Sítio Camaquã no perfil de 0 - 20 cm anterior à instalação do experimento.....	33
Tabela 2 - Granulometria do solo das áreas do CPMO e do Sítio Camaquã a 10, 30 e 50 cm de profundidade.....	33
Tabela 3 - Valores médios da densidade do solo (g.cm^{-3}) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS.	45
Tabela 4 - Valores médios da umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações a 50 e 140 DAS	48
Tabela 5 - Valores médios da microporosidade (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS....	50
Tabela 6 - Valores médios da porosidade total do solo (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS.....	51
Tabela 7 - Valores médios da macroporosidade (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS....	53
Tabela 8 - Valores médios do diâmetro médio geométrico (mm) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS.....	53
Tabela 9 - Equações da velocidade de infiltração da água no solo e valores da velocidade de infiltração básica no solo nos tratamentos MEI, MENI e MSQ	55
Tabela 10 - Valores médios da população de plantas nas parcelas nos tratamentos MEI, MENI e MSQ, quantificados nas épocas 20, 42 e 140 DAS	56

Tabela 11 - Rendimento das parcelas e total (kg.ha^{-1}) dos tratamentos MEI, MENI e MSQ com a umidade corrigida para 13%	57
--	----

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de preparo e manejo do solo que utilizam elevada mobilização podem alterar suas características devido à modificação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Segundo a filosofia da Agricultura Natural proposta por Mokiti Okada, o desenvolvimento de uma planta é resultado de como o solo é manejado. De forma geral nos trabalhos realizados pelo Centro de Pesquisa Mokiti Okada (CPMO) junto aos agricultores, observam-se problemas de qualidade do solo. Estes problemas advêm do manejo adotado, seja por excesso de agroquímicos, pelo uso inadequado de implementos agrícolas ou mesmo por técnicas ecológicas empregadas de forma inadequada.

A intensificação da agricultura e dos sistemas de manejo adotados para elevar a produtividade das culturas vem degradando as áreas agrícolas. Esta degradação ocorre através da perda de solo por processos erosivos e contaminação dos corpos d'água por fertilizantes e pesticidas. O acompanhamento temporal dos atributos físico-hídricos do solo é importante para monitorar o impacto gerado pelos sistemas de manejo bem como direcionar sua recuperação ou manutenção visando a sustentabilidade do ambiente agrícola.

Os atributos físico-hídricos não são fatores diretos de crescimento de plantas como água e temperatura. Contudo, são determinantes nos processos de absorção de nutrientes, trocas gasosas, drenagem e disponibilidade de água do solo às plantas. Dentre os atributos físico-hídricos que denotam a qualidade do solo estão a porosidade, densidade, resistência mecânica à penetração das raízes, estrutura e estabilidade dos agregados e a infiltração da água no solo.

No sistema de manejo de solo e planta proposto pelo CPMO, a ausência de fertilizantes deve ser compensada pelo crescimento vigoroso do sistema radicular: a expansão da rizosfera oferece às raízes, condições físicas, químicas e biológicas adequadas ao desenvolvimento da cultura.

A utilização de sistemas de manejo que preservem e melhorem a qualidade do solo podem contribuir para a não utilização de agroquímicos nas culturas. O objetivo deste processo é viabilizar economicamente modelos ecológicos de produção tornando-os sustentáveis e economicamente viáveis aos agricultores.

O solo da área experimental do CPMO está livre de agroquímicos e compostagem há 23 anos. O solo é mobilizado na camada de 0 – 10 cm no preparo

para incorporação do mato e restos culturais. Desta forma, torna-se interessante conhecer os atributos físico-hídricos neste ambiente agrícola de produção.

A hipótese deste estudo baseia-se na premissa de que o manejo ecológico do solo e planta da Agricultura Natural proposta por Mokiti Okada melhore ou preserve os atributos físico-hídricos do solo, proporcionando condições adequadas ao desenvolvimento da cultura do milho variedade própria.

Os objetivos deste estudo foram: i) determinar os atributos físico-hídricos de um solo submetido a manejos distintos: ecológico irrigado, ecológico não irrigado e convencional; ii) verificar o efeito dos manejos nos atributos físicos-hídricos do solo; iii) quantificar o rendimento do milho variedade proporcionada em cada sistema.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Alterações dos atributos físicos pelos sistemas de manejo

O sistema de manejo aplicado interfere diretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CARNEIRO et al., 2009), que são comumente utilizados como indicadores da qualidade física do solo (MOTA et al., 2013). O preparo do solo em condições inadequadas de umidade (OADES, 1993), fertilizantes que deixam como resíduos cátions dispersantes da argila são exemplos de condição de manejo que provocam a destruição da estrutura do solo (KIEHL, 1979).

Assim, o interesse em avaliar a qualidade física do solo tem sido incrementado por considerá-lo um componente fundamental na manutenção e, ou, sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (BAVOSO et al., 2012).

Vários autores concluíram que os atributos físicos do solo são alterados de acordo com o preparo do solo bem como o manejo adotado (DE MARIA et al., 1999; SILVA et al., 2000; TORMENA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2004; RÓS et al., 2013) interferindo direta e indiretamente na produção vegetal e na qualidade ambiental (SILVEIRA et al., 2010). Sistemas conservacionistas melhoraram os atributos físicos do solo enquanto que o preparo convencional do solo os depaupera (FLORES et al., 2008) devido ao seu contínuo revolvimento (COSTA et al., 2006). O maior desafio é descrever as relações entre os atributos físicos do solo e sua resposta na planta, de forma que a relação ou modelo preserve a sensibilidade entre a causa e o efeito (GUBIANI, 2008).

As operações de preparo do solo são realizadas para criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas. Entretanto, as condições de umidade durante o preparo (OADES, 1993), o teor de argila e de matéria orgânica do solo, a profundidade de mobilização e o tipo de implemento utilizado podem levar a modificações da estrutura do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes (DE MARIA et al., 1999).

As condições ideais para manejo durante a condução do sistema devem merecer especial atenção, pois é possível ocorrer aumento de densidade do solo e resistência mecânica à penetração e redução da macroporosidade devido às

pressões provocadas pelas rodas das máquinas e pelo pisoteio animal, influenciadas pela umidade do solo (ARATANI, 2008).

A determinação de valores críticos para os atributos físicos do solo tem inúmeros obstáculos, pois não são determinantes diretos do crescimento das plantas, diferentemente dos fatores abióticos como ar, água e temperatura, que influenciam diretamente as culturas (BONINI et. al., 2011). Entretanto, trabalhos que tem por objetivo monitorar a qualidade do solo através dos atributos físicos são fundamentais para direcionar o manejo adequado ao ambiente visando sua conservação e produtividade (MOTA et al., 2013) uma vez que suas propriedades modificam-se com o tempo e sistema de manejo praticado (BARCELOS et al., 1999).

A literatura sugere vários atributos físicos para determinar a qualidade do solo como a porosidade (COSTA et al., 2006), densidade (DE MARIA et al., 1999), agregação do solo (SIX, et al., 2000), infiltração da água (BEUTLER et al., 2001) e a resistência mecânica a penetração (DE MARIA et al., 1999).

Kamiyama et al. (2011) estudando a qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais concluíram que apesar do sistema orgânico apresentar maior teor de matéria orgânica, a qualidade física do solo não diferiu entre os sistemas.

2.1.2 Densidade do solo

O aumento da densidade do solo reduz a taxa de difusão do oxigênio nos poros do solo através da diminuição do espaço poroso e também por alterar o tamanho, a tortuosidade e continuidade dos poros, que interliga as faces do ambiente radicular e conseqüentemente, o rendimento das culturas (KIEHL, 1979).

Os problemas de compactação são mais comuns em áreas submetidas por vários anos à mecanização intensiva por processos convencionais (ASSIS e LANÇAS, 2005; MUZILLI, 2006) principalmente quando há tráfego excessivo realizado de forma indiscriminada sob diferentes condições de umidade do solo (LIBARDI e KLEIN, 2002).

A compactação do solo ocasionada pelo tráfego de máquinas pode atingir níveis tão mais altos e negativos às funções primordiais do solo conforme o desrespeito à capacidade de suporte do solo e/ou ao uso do mesmo em condições

desfavoráveis no conteúdo de água presente, ocasionando grandes deformações de solo (SEQUINATTO, 2010).

Tormena et al. (1998) e Tormena et al. (1999) observaram que a densidade não é limitante ao crescimento do milho até de $1,28 \text{ g.cm}^{-3}$ e $1,27 \text{ g.cm}^{-3}$ respectivamente. Stone e Silveira (2001); Rossetti et al. (2013) estudando a qualidade física de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo, verificaram que em todas as profundidades amostradas, a densidade do solo foi menor no sistema convencional de preparo do solo comparado a áreas de plantio direto. Flores et al. (2008) estudando a recuperação de Argissolo Vermelho através de plantio direto observaram valores de densidade de 1,39; 1,50 e $1,49 \text{ g.cm}^{-3}$ em cultivo convencional nas camadas de 0-5, 10-15 e 20-25 cm respectivamente. Reichert et al. (2009) verificaram que densidades acima de $1,36 \text{ g.cm}^{-3}$ podem comprometer o crescimento radicular e a produtividade das culturas.

Solos compactados possuem a infiltração da água no solo (SECCO et al., 2004), a germinação das sementes, as trocas gasosas e o volume de solo explorado pelas raízes, prejudicados e mais pronunciados à medida que há estiagem após a semeadura. A compactação pode tornar as condições do solo anaeróbias, aumentando as perdas de nitrogênio para atmosfera (FILHO e ANDRADE, 2006).

O decréscimo na produção da lavoura reflete os efeitos do adensamento do solo sobre o sistema radicular das plantas, que podem incluir interações complexas entre a resistência do solo a penetração mecânica, a disponibilidade de água e nutrientes, a aeração e a atividade microbiana. Caso o fornecimento de água, ar e nutrientes for suficiente e as raízes conseguirem se aprofundar o crescimento das plantas não será prejudicado pelos efeitos da compactação (MUZILLI, 2006).

2.1.3 Resistência do solo à penetração das raízes

Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes (RIBON et al., 2003; SILVEIRA et al., 2010) e seu crescimento, movimento da água no solo e controle dos nutrientes (VAZ e HOPMANS, 2001).

Um dos indicadores de compactação no solo é a resistência do solo à penetração (GENRO JUNIOR et al., 2004), que descreve a resistência física que o

solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (PEDROTTI et al., 2001). Ela está diretamente correlacionada com vários atributos e condição do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da determinação (STOLF et al., 1983).

Valores elevados de resistência mecânica à penetração podem comprometer a percolação da água no perfil do solo afetando o crescimento das raízes podendo, em alguns casos, comprometer a produtividade das culturas. Contudo, não existe consenso sobre o valor acima do qual ocorrem restrições (SECCO et al., 2004; COSTA et al., 2006).

O penetrômetro de cone ou dinâmico é um equipamento prático e muito utilizado em campo para determinação de camadas compactadas. Suas vantagens são a facilidade de utilização e velocidade de uso, baixo custo do equipamento e manutenção, forte correlação com os atributos físicos do solo e a possibilidade de medidas diretas no campo com número de repetições (TORMENA e ROLOFF, 1996; HERRICK e JONES, 2002). Entretanto, a determinação da resistência do solo à penetração das raízes apresenta algumas dificuldades como a necessidade de mensuração da umidade (STOLF et al., 1983) no decorrer das profundidades avaliadas que pode ser agravada, principalmente quando há presença de plantas na área (KLEIN, 2008). Vaz e Hopmans (2001) utilizaram uma sonda TDR no cone do penetrômetro com objetivo de determinar a umidade no longo do perfil do solo concluindo que a proposta foi adequada para tal.

Pereira et al. (2002) estudando a resistência de um Latossolo Roxo à penetração em função dos sistemas de cultivo plantio direto e sistema convencional e teor de água do solo, concluíram que a umidade de 33% proporcionou menores níveis de resistência mecânica à compactação com maiores valores no sistema plantio direto; teores de umidade de 37 e 39% propiciaram acréscimo na resistência mecânica à compactação com níveis maiores no sistema plantio direto.

Gubiani (2008) estudou a variação da umidade do solo e o tempo para as condições físico-hídricas indicarem restrição ao crescimento de plantas e sua relação com a produtividade do feijão. A conclusão foi que as existências de camadas compactadas não necessariamente causam redução significativa na produtividade das culturas se a mesma for conduzida sob boas condições de umidade.

Maiores valores de resistência mecânica à penetração das raízes estão sendo encontrados em cultivos sob plantio direto na camada de 20-30 cm (BEUTLER et al., 2001; COSTA et al., 2006; COLLARES et al., 2008) comparados cultivos convencionais (DE MARIA et al., 1999).

O monitoramento periódico do estado de compactação do solo por meio da resistência à penetração é uma forma prática de avaliação dos efeitos dos diferentes sistemas de manejo na estrutura do solo e no crescimento radicular das diferentes culturas, permitindo assim pesquisas e avaliações na propriedade rural (RIBON e TAVARES FILHO, 2008).

2.1.4 Porosidade do solo

A porosidade total é uma das propriedades físicas mais relevantes do solo no que diz respeito ao crescimento e desenvolvimento das culturas. Porosidade é o volume de vazios ou ainda o espaço do solo não ocupado pelos componentes orgânicos ou inorgânicos. O arranjo ou a geometria das partículas do solo determinam a quantidade e natureza dos poros existentes. A porosidade depende, principalmente, da textura e da estrutura dos solos (KIEHL, 1979). Os poros resultam do arranjo das partículas elementares do solo (BEUTLER et al., 2005). O volume total de poros determina a quantidade de água que pode ser armazenada no solo (DEXTER, 1988). Quando o solo está saturado, a maioria dos poros encontra-se cheio de água. Nesta condição, o movimento da água é facilitado devido à menor atração que está submetida (FARIA, 2006).

A permeabilidade do solo depende, dentre outros fatores, da quantidade, da continuidade e do tamanho de poros (BEUTLER et al., 2001).

Inúmeras classificações do diâmetro de poros foram citadas na literatura (LIBARDI e KLEIN, 2002), destacando-se uma forma mais simplificada que separa os poros em duas classes: macroporos, quando os poros têm diâmetro maior do que 0,06 mm, e microporos, quando os poros são menores do que 0,06 mm (KIEHL, 1979).

Sabe-se que a macroporosidade é responsável pela taxa de infiltração da água no solo e pelas trocas gasosas do solo com a atmosfera e, portanto, possui reflexo no rendimento das culturas. O processo de trocas gasosas ocorre quando a água proveniente da irrigação ou da precipitação percola no solo expulsando os

gases presente nos poros e adiciona outros que se encontram dissolvidos na água ou presentes na atmosfera. Após a saturação do solo, ocorre a drenagem do excesso de água para camadas profundas até que a umidade atinja capacidade de campo. Os microporos exercerão a função de reter a água necessária ao desenvolvimento das plantas (KIEHL, 1979; LIBARDI e KLEIN, 2002).

A água disponível é aquela que se encontra em poros médios do solo. Estes poros devem ser tão pequenos que não a percam pela força da própria gravidade, porém, devem ser tão grandes que a planta possa retirá-la com toda facilidade, o que ocorre entre 0,1 e 0,5 atm. Os macroporos por sua vez estão livres, contendo apenas gases que foram renovados (PRIMAVESI, 1999).

Beutler et al. (2001); Stone e Silveira (2001); Lanças e Assis (2005) verificaram decréscimo da porosidade total na camada de 0-20 cm em áreas sob plantio direto comparadas ao cultivo convencional devido ao tráfego de máquinas e não revolvimento do solo. Já Rossetti et al. (2013) observou esta tendência até a profundidade de 10 cm, entretanto, na camada de 10-20 cm, os valores de porosidade total se aproximam.

O desenvolvimento de macroporos é importante para manutenção da umidade e aeração do solo, que são críticos para a sobrevivência da biota e a realização dos seus processos metabólicos, em sua maioria aeróbia e necessitando um volume mínimo de 10% para aeração (FILHO e ANDRADE, 2006).

2.1.5 Agregação do solo

A estabilidade dos agregados é utilizada como indicador da estrutura do solo sendo uma propriedade importante porque faz a mediação entre muitos processos biológicos e físicos do solo. Ela determina a porosidade e infiltração, consequentemente a água disponível para as plantas e a susceptibilidade à erosão (SIX et al., 2000). A melhor estrutura dos solos é encontrada sob condições naturais sendo que a estrutura de solos sob cultivo intenso é deteriorada (VEIGA et al., 2009). Uma boa estrutura para o crescimento de plantas deve conter poros para o armazenamento da água disponível para as plantas, circulação de água e ar e ser abrigo para o crescimento das raízes (OADES, 1984).

O solo é constituído de partículas primárias, que são classificadas como areia, silte e argila, em função do seu tamanho. A agregação é resultado do

rearranjo das partículas primárias. Já o arranjo das partículas primárias com as secundárias irá formar a estrutura do solo que afetará diretamente o crescimento das plantas pelo maior ou menor suprimento de água e oxigênio (SOUZA, 2008). A estrutura do solo é estabilizada pela interação entre numerosos fatores, entre eles, a fração mineral, a fauna do solo, microrganismos, raízes, agentes inorgânicos e variáveis ambientais como os principais fatores envolvidos na formação e estabilidade de agregados do solo (SALTON et al., 2008).

Para que haja a formação dos agregados e boa estruturação do solo é necessária a ação de agentes ligantes como a matéria orgânica na forma de húmus, cátions polivalentes, aluminossilicatos, hifas de fungos e raízes (KIEHL, 1979). A matéria orgânica atua sobre a agregação do solo, desencadeando alterações nas demais propriedades físicas do solo como a porosidade, importantes na almejada capacidade do solo em desempenhar adequadamente suas funções perante a produção agrícola sustentável (SEQUINATTO, 2010).

A agregação pode ser feita por hifas de fungos que envolvem as partículas de solo, ou por bactérias e algas, pela excreção de material cimentante que “cola” as partículas do solo (FILHO e ANDRADE, 2006). Os agentes ligantes podem ser transitórios, temporários e permanentes. Os transitórios são compostos por polissacarídeos, resíduos de decomposição de raízes, resíduos vegetais e animais, além da exsudação radicular; os agentes temporários são afetados pelo manejo do solo, e são representados pelas hifas de fungos e raízes possuindo papel fundamental na formação e estabilização dos macroagregados; os agentes ligantes persistentes são compostos orgânicos em elevado grau de decomposição, que formam complexos organominerais (TISDALL e OADES, 1982) e tem grande importância na formação e estabilização dos microagregados, pois resistem aos ataques de microrganismos decompositores, sendo importantes na formação e estabilização de agregados determinando estrutura adequada ao solo (SOUZA, 2008).

Os solos com agregados estáveis maiores são considerados estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo uma vez que a agregação colabora para a aeração do solo, trocas gasosas e a infiltração de água devido ao aumento da macroporosidade entre os agregados, além de garantirem a microporosidade e a retenção de água dentro dos agregados (DEXTER, 1988).

Se o solo não for bem estruturado, faltará água e oxigênio e, os nutrientes, mesmo em quantidades suficientes, serão inoperantes. A estrutura do solo é uma propriedade que atua como importante fator na aeração, garantindo um fluxo de oxigênio capaz de contrabalancear o excesso de gás carbônico do ar do solo, eliminado pelas raízes e microrganismos (KIEHL, 1979).

Maiores índices de agregação estão sendo observados em sistemas de cultivo conservacionista como o plantio direto (ASSIS e LANÇAS, 2005; WENDLING et al., 2005; PORTELLA et al., 2012; ROSSETTI et al., 2013) e solos sob pastagens (SALTO et al., 2008) quando comparados a solos cultivados de forma convencional. Calonego e Rosolem, (2008) observaram aumento na agregação do solo ao utilizar triticales no outono - inverno enquanto que no cultivo de primavera – verão houve decréscimo na agregação quando não se utilizou plantas de cobertura e procedeu-se escarificação como preparo do solo.

O processo de fragmentação e desarranjo dos agregados na camada arável causa de forma progressiva a descontinuidade da porosidade e o aumento da densidade do solo, restringindo sua permeabilidade ao ar, a infiltração das águas de chuva e o desenvolvimento das raízes das plantas (MUZILLI, 2006) deixando o solo mais susceptível aos processos erosivos (WENDLING et al., 2005).

2.1.6 Taxa de infiltração da água no solo

A infiltração é o processo dinâmico de penetração vertical pelo qual a água atravessa a superfície do solo (GONDIN et al., 2010; BRANDÃO et al., 2006) em dada condição e tempo, podendo absorver a água da chuva ou de irrigação aplicada em determinada taxa (SALES et al., 2009).

O processo de infiltração é de importância prática, pois, muitas vezes, determina o balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial, responsável pelo fenômeno da erosão durante precipitações pluviais (PANACHUKI et al., 2006). O conhecimento da capacidade de infiltração de água no solo e suas relações com as propriedades do solo são de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (REICHARDT e TIMM, 2004).

A taxa de infiltração de água no solo é extremamente importante, pois colabora para a redução da erosão (BONINI et al., 2011) e do selamento superficial e é altamente influenciada pelas características físicas do solo como textura,

porosidade e tamanho dos poros (VILARINHO et al., 2013). O valor constante que a taxa de infiltração atinge com o decorrer do tempo é conhecido como velocidade de infiltração básica (VIB) (BERNARDO, 2006). Dados de VIB são imprescindíveis nos modelos utilizados para a descrição da infiltração de água no solo e dependem do selamento superficial provocado pelo impacto das gotas de chuva na superfície do solo (SOBRINHO et al., 2003).

O conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo é fundamental na compreensão dos problemas relativos às áreas irrigadas, drenagem, sendo importante para a conservação do solo e da água, o entendimento do processo de infiltração e de suas relações com as propriedades físicas do solo (PRUSK et al., 2007).

Bono et al. (2012) estudando a infiltração da água em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo, verificaram que o uso do solo com pastagens possuem maior capacidade de infiltração comparados aos sistemas de lavoura contínua e integração lavoura pecuária devido ao enraizamento proporcionado pelo manejo nutricional realizado na pastagem e não mobilização do solo.

Prusk et al. (1997) estudando a infiltração da água em um Latossolo Roxo concluíram que o método dos anéis concêntricos superestima a taxa de infiltração quando comparado ao simulador de chuva devido a maior variabilidade da amostra, 707 cm² nos anéis concêntricos contra 8100 cm² no simulador de chuvas e menor selamento superficial observado no método dos anéis comparado ao simulador de chuva.

O processo de infiltração da água no solo pode ser descrito por equações ou modelos, alguns desenvolvidos a partir de considerações físicas, enquanto outros o são de forma empírica. Um modelo empírico muito empregado, principalmente em manejo de irrigação, é a equação de Kostiakov-Lewis normalmente utilizada para a estimativa da infiltração acumulada (PANACHUKI et al., 2006).

2.1.7 Rendimento do milho sob diferentes manejos

Silva et al. (2003) estudando a produtividade do milho em Argissolo Vermelho Amarelo em Santa Maria – RS sob sistema de preparo convencional e

incorporação de aveia preta com 5,0 t.ha⁻¹ e 300 Kg.ha⁻¹ de superfosfato triplo, obtiveram produtividade de 5,8 t.ha⁻¹.

Dourado Neto et al. (2003) estudando o efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade do milho, concluíram que sob população de 40.000 plantas e espaçamento de 0,4 m, a produtividade foi de 8; 8,5; e 9 t.ha⁻¹ nos genótipos DKB 911, AG 7575 e AG 1051 respectivamente.

Dos Santos et al. (2013) testando diferentes doses de nitrogênio para obtenção da máxima produtividade, concluíram que no sistema plantio direto a dose de 316 Kg.ha⁻¹ de nitrogênio propiciou 14,5 t.ha⁻¹ enquanto que no plantio convencional, a dose de 340 Kg.ha⁻¹ de nitrogênio propiciou 16,7 t.ha⁻¹.

Goes et al. (2013) testando fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno concluíram que o uso de 103,8 e 85,2 Kg de nitrogênio na forma de ureia e sulfato de amônio, produziram 8,0 e 6,9 t.ha⁻¹ respectivamente.

Correa et al. (2011) estudando o desempenho agrônômico do milho orgânico sob diferentes combinações de adubação orgânica e consórcio com adubação verde, obtiveram produtividade de 6 t.ha⁻¹.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido na área de cultivo ecológico de grãos da Fazenda Serra Dourada (Centro de Pesquisa Mokiti Okada) e na área de plantio de milho da propriedade vizinha, Sítio Camaquã, ambos no município de Ipeúna, Estado de São Paulo. O solo das propriedades é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). As coordenadas geográficas são 22°40'23" de latitude sul, 47°68'09" de longitude oeste e 640 metros de altitude. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima na região é Cwa, ou seja, tropical úmido com seca no inverno e úmido no verão.

3.2 Histórico de manejo e caracterização das áreas em estudo

As áreas destinadas à semeadura do milho para o experimento são contíguas, separadas por divisa física que determina o perímetro da Fazenda Serra Dourada e do Sítio Camaquã.

3.2.1 Centro de Pesquisa Mokiti Okada

A área cultivada com o milho variedade melhorada é certificada como isenta de agroquímicos, conforme determina a Lei dos Orgânicos nº10.831 de 2003. O preparo do solo é realizado com uso de grade aradora e niveladora. Nos últimos quinze anos a área não recebe calagem e outros corretivos específicos, tendo sido aplicadas apenas duas parcelas de rocha basáltica moída na ordem de 1000 kg.ha⁻¹ no período. O milho variedade melhorada vem sendo semeado consecutivamente com sementes retirada da própria área desde 2005.

No intervalo das safras do milho (outubro a março) é cultivado feijão no período de março a julho seguido de pousio. Em outubro o solo é preparado com aplicação de 500 kg.ha⁻¹ de composto orgânico Bokashi® (Anexo) sobre ervas espontâneas, revolvendo-se com grade aradora e ajustes com grade niveladora. O Bokashi é um condicionador orgânico de solo formado por diversos farelos que são

submetidos à fermentação predominantemente láctea utilizando-se de microrganismos específicos para tal.

A semeadura é realizada em espaçamento de 0,9 m entrelinha com densidade de 60 mil plantas.ha⁻¹. Em complemento, o cultivo mecânico do mato nas entrelinhas do milho é realizado 40 dias após a semeadura (DAS) com aplicação opcional de 250 kg.ha⁻¹ de Bokashi.

3.2.2 Sítio Camaquã

O Sítio Camaquã de propriedade do Sr. Geraldo Alves de Ramos iniciou as atividades em 2008 quando a área ocupada com eucalipto foi cortado e destocado. No período de 2008 a 2010, a área ficou em pousio com braquiária de surgimento espontâneo. Na safra de 2010 - 2011 a braquiária foi dessecada com Glifosato na dose de 2,5 L.ha⁻¹. O solo foi preparado com grade aradora (3x). Foi semeado o milho Dekalb 390 em 7,5 ha com densidade de 59 mil plantas.ha⁻¹. Foram utilizados 350 Kg.ha⁻¹ do adubo 04-30-10 na semeadura e 260 Kg.ha⁻¹ do adubo 00-25-20 em cobertura. A produtividade foi de 4,8 ton.ha⁻¹

Na safra 2011 - 2012 as ervas espontâneas da área foram dessecadas com Glifosato na dose de 2,5 L.ha⁻¹. Foi aplicado 4 ton.ha⁻¹ de calcário seguido de 2 gradagens. Foi semeado o milho Dekalb 390 em 9,5 ha. A densidade de plantas utilizada seria a mesma da safra anterior, entretanto o produtor não utilizou o disco de plantio adequado verificando-se após a emergência das plantas estando final de 100 mil plantas.ha⁻¹. O solo foi preparado com grade aradora (3x). Foram utilizados 600 Kg.ha⁻¹ de 4-14-8 na semeadura. Em cobertura foi utilizado 230 Kg.ha⁻¹ do adubo 00-25-20 e 110 Kg.ha⁻¹ de Sulfato de amônio. Aos 45 DAS foram pulverizados os adubos foliares Kymon Plus de acordo com a dosagem indicada pelo fabricante. A produtividade foi de 3,8 ton.ha⁻¹.

3.3 Análise química do solo da área experimental

A análise química do solo para conhecimento da fertilidade das áreas do CPMO e do Sítio Camaquã, foram determinadas no laboratório do CPMO (Tabela 1) em agosto de 2012 de acordo com Raij et al., (2001).

Tabela 1 – Análise química do solo das áreas do CPMO e do Sítio Camaquã no perfil de 0 - 20 cm anterior à instalação do experimento

Área	pH	H+Al	Ca	Mg	K	V	MO	P*	B	Mn	Cu	Zn
	H ₂ O	-----cmol-----				-----%-----		-----mg.dm ⁻³ -----				
CPMO	6,3	2,1	5,2	2,1	0,65	79,0	3,6	49,0	0,3	16,0	2,5	10,0
S. Camaq.	6,0	2,9	4,1	2,0	0,40	70,0	3,3	11,0	0,3	24,5	1,5	3,0

* Fósforo resina.

3.4 Granulometria do solo da área experimental

A granulometria do solo das áreas do CPMO e do Sítio Camaquã foi determinada no laboratório do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Esalq/USP (Tabela 2) em agosto de 2012.

Tabela 2 – Granulometria do solo das áreas do CPMO e do Sítio Camaquã a 10, 30 e 50 cm de profundidade

Propriedade	Profundidade (cm)	Argila	Silte	Areia
		g.kg ⁻¹		
CPMO	10	442,7	90,3	467,1
	30	520,7	65,1	414,3
	50	541,3	67,6	391,2
S. Camaquã	10	388,0	77,0	535,0
	30	460,2	58,3	481,5
	50	476,8	58,6	464,6

3.5 Temperatura, umidade relativa e precipitação da área experimental

Os dados médios de temperatura e umidade relativa do ar apresentados na Figura 1 foram coletados por sensores de uma estação meteorológica automática com transmissão dos dados via rádio localizada no CPMO.

Figura 1 – Médias de temperatura (°C) e umidade relativa (%) durante o período do experimento

Os dados de precipitação foram registrados por um pluviômetro, conforme apresentado na Figura 2, localizado no mesmo perímetro da estação meteorológica.

Figura 2 – Precipitação (mm) durante o período do experimento

Os dados de temperatura, umidade relativa e precipitação foram tabulados todos os dias durante a realização do experimento às nove horas da manhã.

3.6 Tratamentos e instalação

Os tratamentos foram da seguinte forma: MEI – tratamento manejado de forma ecológica e irrigado, localizado na área do CPMO; MENI – tratamento manejado de forma ecológica e não irrigado, localizado na área do CPMO; MSQ – tratamento manejado segundo o Sítio Camaquã, localizado no Sítio Camaquã. Cada tratamento contou com 8 parcelas de 54 m² cada (10 metros de comprimento no sentido da linha de semeadura e 5,4 metros no sentido da entre linha). Os tratamentos foram semeados no dia 16/10/2013 em espaçamento de 0,9 m entre linhas, população de 50.000 plantas.ha⁻¹ com expectativas de 20% de perdas e a 5 cm de profundidade.

Foi utilizada plantadeira a vácuo Jumil JM2670. A colheita foi realizada dia 6/03/2013. A semente de milho foi uma variedade derivada de seleção do AL Bandeirantes da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI.

Houve limitações no delineamento experimental pelo fato de não conseguir aleatorizar as parcelas uma vez que os manejos eram distintos e cada qual em sua área. Desta forma, a disposição das parcelas deste estudo foi conforme Figura 3 a seguir.

Figura 3 – Área experimental e disposição das parcelas nos tratamentos

3.6.1 Tratamento MEI

Para o preparo do solo foram aplicados 470 Kg.ha⁻¹ de Bokashi com Distribuidora Vicon®. Após, foi utilizado grade aradora para incorporação do

Bokashi® com as ervas daninhas e restos vegetais remanescentes de safras passadas. Após utilizou-se grade leve para nivelamento com objetivo de se obter melhor qualidade na semeadura. Após 27 DAS, foi realizado cultivo com cultivador/adubador para controle das ervas daninhas nas entrelinhas e para aplicação de 500 Kg.ha⁻¹ de Bokashi®.

O manejo da irrigação foi realizado através do método do Tanque Classe A, sensores para coleta de umidade, velocidade do vento e auxílio de planilha Excel® desenvolvida para o cálculo do balanço hídrico (BH) neste estudo. Assim foi possível determinar o momento e a quantidade da lâmina a ser aplicada em turnos de rega variável. As irrigações realizadas, precipitação e a disponibilidade real de água (DRA) para a cultura durante o experimento encontram-se na Figura 4.

Figura 4 – Irrigação (mm), precipitação (mm) e disponibilidade real de água (DRA) (mm) no tratamento MEI durante o experimento

Para aplicação da lâmina determinada pelos cálculos do balanço hídrico, foram utilizados mini canhões da marca Pluvio 150, que propiciaram uma lâmina de 13 mm.h⁻¹ operados com pressão de 30 mca. A malha de irrigação foi montada com os mini canhões em quadrados sendo estes submetidos à avaliação da uniformidade de distribuição, resultando em coeficientes de uniformidade de 85%.

Anterior ao início do experimento, os dados de curva de retenção na área do CPMO indicavam os seguintes valores para o perfil de solo de 0 a 30 cm de

profundidade: capacidade de campo (CC) de 43,4%; ponto de murcha permanente (PMP) de 32,4% e densidade do solo de $1,38 \text{ g.cm}^{-3}$.

No período de 1 a 23 DAS utilizou-se para o cálculo da DRA, a capacidade de retenção de água no solo no valor de $1,52 \text{ mm H}_2\text{O.cm de solo}^{-1}$ no perfil de 0 a 20 cm de profundidade e fator de disponibilidade de 0,6. No 24º ao 100º DAS utilizou-se para o cálculo da DRA, a mesma capacidade de retenção de água e fator de disponibilidade, entretanto para um perfil de 0 a 30 cm de profundidade.

Os valores de DRA foram recompostos à medida que se aproximava de valores críticos, considerados neste estudo próximos a 3 mm, através da reposição da lâmina via irrigação ou precipitação. Foram realizadas 11 irrigações durante o ciclo do milho que, somadas, totalizam 240 mm. A precipitação no período foi cerca de 740 mm.

3.6.2 Tratamento MENI

O tratamento MENI foi submetido ao mesmo preparo de solo e manejo da cultura do MEI, excetuando-se a irrigação, que não houve.

3.6.3 Tratamento MSQ

No tratamento MSQ foi mantido o manejo usual adotado pelo Sítio Camaquã. O manejo foi o convencional realizado pelo produtor. Foi realizada 5 gradagens para o preparo do solo e 1 passada de grade leve para nivelamento. Na semeadura foram utilizados 400 Kg.ha^{-1} da formulação 4-30-10 na linha de plantio e 400 Kg.ha^{-1} da formulação 18-0-18 em cobertura, aos 24 DAS. No controle do mato foi realizada 1 aplicação de $2,5 \text{ L.ha}^{-1}$ Glifosato, 40 dias antes da semeadura e 1 aplicação aos 18 DAS. Não foi realizado o controle de insetos praga.

3.7 Amostragem do solo

Para avaliação dos parâmetros físicos o solo foi amostrado de forma indeformada nas parcelas dos tratamentos, nas profundidades de 10, 30 e 50 centímetros e em dois momentos: 50 DAS, correspondente ao início do

florescimento e 140 DAS correspondente a colheita do milho. Para tal, foram abertas trincheiras de 60 cm de profundidade x 80 cm de comprimento x 70 cm de largura.

A amostragem com estrutura preservada foi realizada na linha de plantio com “castelinho” e anéis volumétricos de inox de 2,5 cm de altura e 5 cm de diâmetro em média, conforme Figura 5. O centro do anel foi posicionado nas profundidades amostradas. Após a coleta, os anéis foram identificados, envoltos por papel alumínio e acondicionados em caixa de isopor com gelo para preservar a umidade atual das amostras até serem pesadas no laboratório.

Foi realizada amostragem de monolitos na linha de plantio para determinação dos agregados do solo.

Para fins de comparação entre os tratamentos submeteram-se os dados à análise de variância ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey. Após a segunda amostragem foi aplicado teste t para fins de comparação do mesmo tratamento nos dois tempos de amostragem. Para ambas as análises utilizou-se o programa computacional Assistat.

Figura 5 – Amostrador tipo castelinho e anel de inox utilizado na amostragem

3.8 Atributos físicos do solo

A determinação dos parâmetros porosidade (macroporosidade, microporosidade e porosidade total), densidade do solo e densidade de partículas e

umidade do solo foram realizadas a partir de uma única amostra indeformada em suas respectivas profundidades.

3.8.1 Microporosidade

A microporosidade do solo foi determinada segundo metodologia da EMBRAPA (1997) de acordo com a eq. (1). Após a coleta, as amostras foram levadas ao laboratório e pesadas. Após foram saturadas por 24 horas, pesadas e levadas à mesa de tensão onde permaneceram por 24 horas sob 60 cm.c.a. Decorrido este período foram pesadas novamente e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada à 105° C por 24 horas. Os anéis foram pesados e descontados do seu peso, o peso do anel para determinação da amostra seca. Posteriormente foi determinado o volume dos anéis com auxílio de paquímetro digital.

$$\text{microporosidade (\%)} = 100 \frac{(\text{msmt} - \text{mss})}{\text{vt}} \quad (1)$$

Onde mss = massa do solo seco por 24 horas (g); msmt = massa do solo após submissão a 60 cm.c.a (g) na mesa de tensão e vt = volume total do anel (cm³).

3.8.2 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi determinada segundo metodologia de Camargo et al. (1986) de acordo com a eq. (2). Após secar o solo por 24 horas, pesou-se 20 g de terra fina seca em estufa a 105 °C transferindo esta alíquota para balão volumétrico de 50 ml. No balão foram acrescentados 25 ml de álcool etílico, agitado e deixado em repouso por 24 horas. Com auxílio de uma bureta, completou-se o volume do balão para 50 ml.

$$\text{dp (g.cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{mss}}{(50 - \text{vae})} \quad (2)$$

Onde mss = massa do solo seco por 24 horas (g); vae = volume de álcool etílico gasto para completar o balão (ml).

3.8.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada segundo metodologia da EMBRAPA (1997) de acordo com a eq. (3).

$$ds \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} = \frac{mss}{vt} \quad (3)$$

Onde mss = massa do solo seco por 24 horas (g) e vt = volume total do anel (cm³).

3.8.4 Porosidade total

A porosidade total do solo foi determinada segundo metodologia da EMBRAPA, (1997) de acordo com a eq. (4).

$$\text{porosidade total (\%)} = 100 \frac{(dp - ds)}{ds} \quad (4)$$

Onde dp = densidade de partículas (g.cm⁻³) e ds = densidade do solo (g.cm⁻³).

3.8.5 Macroporosidade

A macroporosidade do solo foi determinada segundo metodologia da EMBRAPA (1997) de acordo com a eq. (5).

$$\text{macroporosidade (\%)} = \text{porosidade total} - \text{microporosidade} \quad (5)$$

3.8.6 Umidade do solo

As umidades gravimétrica e volumétrica foram determinadas segundo EMBRAPA, (1997) de acordo com as eq. (6) e (7) a seguir. Os anéis contendo as

amostras indeformadas destinados aos cálculos de densidade e porosidade foram pesados para conhecimento da umidade em que a amostra foi coletada no campo e posteriormente, secos a 105 °C por 24 horas propiciando o cálculo da umidade.

$$\theta \text{ (g.g}^{-1}\text{)} = 100 \frac{(msu - mss)}{mss} \quad (6)$$

$$Uv \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)} = \theta \times ds \quad (7)$$

Onde msu = massa do solo úmido (g) e mss = massa do solo seco durante 24 horas a 105° C (g).

3.8.7 Resistência do solo à penetração das raízes

Para determinar a resistência do solo à penetração de raízes, foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar desenvolvido por Stolf (1984). Os cálculos foram realizados de acordo com Stolf (1991). Em comunicação pessoal com o professor Rubismar Stolf, foi recomendado utilizar uma planilha em Excel - VBA desenvolvida por Stolf (2011) para confecção de gráficos e tabelas. Neste estudo, a resistência mecânica à penetração das raízes foi avaliada até a profundidade de 60 cm.

3.8.8 Agregados do solo

Para determinação da distribuição das classes dos agregados os monolitos foram secos ao ar por 24 horas e destorroadas manualmente para separação dos agregados maiores em tamanho menor. Em seguida esses agregados foram passados pelas peneiras de 8 e 4 mm, separando-se a fração retida entre estas classes. Dessa fração, foram retirados 25 g para realização do teste de estabilidade de agregados e o restante foi utilizado para determinação da umidade da amostra, seca em estufa por 24 horas a 105 °C. As amostras para determinação dos agregados foram colocadas em peneira de 2 mm sobre uma bandeja contendo água para umedecê-las por capilaridade e, após, levada para oscilação vertical com outras cinco peneiras de 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,106 mm, ambas abaixo da peneira de 2

mm e nesta ordem. No aparelho de oscilação vertical, as amostras foram agitadas por 10 minutos com 39 oscilações. min^{-1} . Ao término da oscilação o conteúdo de cada peneira foi transferido com auxílio de piceta para placas de petri. Estas foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas e após, pesadas. O método baseia-se em medir a quantidade e distribuição dos agregados estáveis em água, relacionando-os com os agregados que não desintegram pela tamisação, proposto por Kemper e Chepil (1965). A estabilidade dos agregados será expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG), segundo a eq. (8) proposta por Mazurak (1950):

$$\text{DMG} = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \log \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (8)$$

Onde w_i = massa dos agregados retidos em cada uma das 5 classes (g) e $\log \bar{x}_i$ = logarítmo do diâmetro médio das classes de peneiras utilizadas (mm).

3.8.9 Taxa de infiltração de água no solo

Foi realizada após a colheita através do Método do Infiltrômetro de Anel (ou Cilindros Concêntricos) que consiste em dois anéis de 50 cm de altura sendo o maior com 50 cm de diâmetro e o menor com 25 cm de diâmetro (medidas médias), instalados a 10 cm de profundidade no solo, de forma concêntrica, ou seja, o menor dentro do maior, nivelados em relação ao solo. Foi colocada uma sacola plástica no interior do anel interno a fim de evitar a infiltração inicial enquanto é colocado água em seu interior. Após completa-se com água o anel externo, retira-se o plástico do anel interno e com uma régua graduada iniciam-se as leituras da lâmina d'água no cilindro menor. Os intervalos de tempo foram os seguintes: 10 leituras de 1; 2 e 5 minutos, 6 leituras de 10 e 15 minutos, 3 leituras de 20 minutos e 5 leituras de 30 minutos. Para determinação da Taxa de Infiltração foi utilizado o modelo empírico desenvolvido por Kostiaikov, de acordo com a eq. (9), que denota o volume de água que infiltra no solo em função do tempo. O método é descrito por Bernardo (2006) onde:

$$I = K \cdot T^a \quad (9)$$

Onde: I = infiltração acumulada; K = constante dependente do solo; T = tempo de infiltração (min) e a = constante dependente do solo.

A velocidade de infiltração (VI) é a derivada da infiltração acumulada em função do tempo de acordo com as eq. (10) e (11):

$$VI = \frac{DI}{DT} \quad (10)$$

Ou seja

$$VI = K \cdot a \cdot T^{a-1} \quad (11)$$

A determinação dos coeficientes K e a foi realizado utilizando-se a regressão linear. A eq. da infiltração (9) é uma equação exponencial e foi transformada em uma equação linear aplicando-se logaritmo, conforme eq. (12):

$$\log I = \log K + a \cdot \log T \quad (12)$$

A equação da infiltração apresentada desta forma é uma equação do tipo $Y = A + BX$. Os valores de A e B foram determinados pelas eq. (13) e (14):

$$A = \frac{\sum X \cdot \sum XY - \sum X^2 \cdot \sum Y}{(\sum X)^2 - m \cdot (\sum X)^2} \quad (13)$$

$$B = \frac{\sum X \cdot \sum Y - m \cdot \sum XY}{(\sum X)^2 - m \cdot (\sum X)^2} \quad (14)$$

Onde $Y = \log I$; $A = \log K$, então $K = \text{antilog } A$, $K = 10^A$; $B = a$, então $a = B$; $X = \log T$ e m = número de pares de dados I e T .

3.9 Rendimento

As parcelas foram colhidas manualmente para estimativa do rendimento do milho variedade. Foi colhida toda a área da parcela, inclusive espigas de plantas acamadas. As espigas foram debulhadas com máquina debulhadora para evitar a perda de grãos. Após a debulha, os grãos foram peneirados para retirar restos de

sabugos, palhas e outras impurezas. Uma amostra de 200 g de cada parcela foi retirada para análise do teor de umidade em que se encontravam os grãos no momento da colheita. O peso dos grãos foi corrigido para 13% de umidade.

Os dados do rendimento foram submetidos à análise de variância ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey. Foi utilizado o programa computacional SISVAR[®].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do solo

A análise estatística da densidade do solo revelou diferenças significativas entre os tratamentos e as profundidades amostradas. Os valores médios da densidade do solo (g.cm^{-3}) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ observados nas épocas de avaliação 50 e 140 DAS encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios da densidade do solo (g.cm^{-3}) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS

Profundidade (cm)	Tratamento	Densidade do solo (g.cm^{-3})		DMS	CV
		50 DAS	140 DAS		
10	MEI	1,33 ABa	1,33 Aa	0,10	7,0
	MENI	1,38 Aa	1,36 Aa	0,10	6,5
	MSQ	1,23 Bb	1,41 Aa	0,08	5,9
-----DMS-----		0,12	0,09	--	--
-----CV(%)-----		7,7	5,0	--	--
30	MEI	1,37 Aa	1,32 Ab	0,05	3,2
	MENI	1,40 Aa	1,30 Ab	0,05	3,4
	MSQ	1,41 Aa	1,34 Aa	0,08	5,3
-----DMS-----		0,08	0,05	--	--
-----CV(%)-----		4,7	3,30	--	--
50	MEI	1,26 Aa	1,22 Ab	0,04	3,0
	MENI	1,24 Aa	1,23 Aa	0,06	4,7
	MSQ	1,31 Aa	1,23 Ab	0,08	6,0
-----DMS-----		0,09	0,06	--	--
-----CV(%)-----		5,5	3,8	--	--

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na COLUNA não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de mesma letra minúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste t a 5%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

A dispersão dos valores médios da densidade foi baixa nas profundidades estudadas, com coeficiente de variação igual ou menor que 7%, concordando com Warrick e Nielsen (1980) de que este atributo físico não apresenta grandes variabilidades, geralmente com CV menores que 12%.

A 50 DAS e 10 cm de profundidade os valores médios da densidade do solo nos tratamentos MEI, MENI e MSQ foram respectivamente 1,33, 1,38 e 1,23 g.cm^{-3} .

A 140 DAS e 10 cm de profundidade houve acréscimo significativo no valor médio da densidade no MSQ em relação à amostragem 50 DAS. O preparo convencional do solo com grade aradora utilizada por muitas vezes consecutivamente no mesmo ano agrícola, “pulveriza” o solo (MOTA et al., 2013). Após acomodação natural, a desagregação causada pela gradagem e a não reestruturação do solo durante o cultivo do milho, resultaram no acréscimo da densidade do solo de 1,23 para 1,41 g.cm⁻³, considerado crítico para solos de textura argilosa (REYNOLDS, et al., 2002). Reichert et al. (2003) propuseram o valor de 1,3 a 1,4 g.cm⁻³ para solos argilosos não havendo consenso sobre um valor de densidade crítica, a partir da qual o desenvolvimento das culturas são afetados (SECCO et al., 2009).

A 140 DAS e 30 cm de profundidade, verificou-se decréscimo significativo nos valores médios das densidades nos tratamentos MEI e MENI em relação aos 50DAS. Os valores variaram de 1,37 para 1,32 g.cm⁻³ no MEI e 1,40 para 1,30 g.cm⁻³ no MENI. A 140 DAS e 50 cm de profundidade, o decréscimo foi verificado nos tratamentos MEI e MSQ com valores variando de 1,26 para 1,22 g.cm⁻³ e 1,31 para 1,23 g.cm⁻³ nos tratamentos MEI e MSQ respectivamente. O crescimento das raízes do milho pode contribuir para a formação de bioporos que persistem no sistema após a colheita fazendo com que a densidade nestas camadas diminua.

4.2 Resistência mecânica a penetração das raízes e umidade do solo

Os valores médios da resistência mecânica do solo à penetração (MPa) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ observados nas avaliações a 50 e 140 DAS, encontram-se na Figura 6.

A resistência mecânica à penetração é influenciada pela umidade, (TORMENA et al., 1998; SMITH et al., 1997) e não está estabelecido quantitativamente a relação entre esta e a resistência mecânica à penetração das raízes (GENRO JUNIOR et al., 2004).

Figura 6 – Resistência mecânica do solo à penetração nos tratamentos estudados, 50 e 140 DAS no perfil de 0 a 60 cm de profundidade

As médias de umidade volumétrica dos tratamentos foram significativas aos 50 e 140 DAS nas profundidades de 10, 30 e 50 cm (Tabela 4). O ciclo de umedecimento e secamento do solo são dinâmicos, ou seja, modificam-se rapidamente no tempo sendo difícil a realização do teste em campo, pois com a variação da umidade, a resistência mecânica à penetração pode passar da condição limitante para não limitante e vice versa (SECCO et al., 2009).

Aos 50 DAS e 10 cm de profundidade, a resistência mecânica à penetração foi de 0,5; 1,2 e 2,0 MPa nas umidades de 0,36; 0,30 e 0,18 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$; a 30 cm de profundidade, a resistência mecânica à penetração foi de 2,5; 3,5 e 4,5 MPa nas umidades de 0,39; 0,35 e 0,29 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e a 50 cm de profundidade, a resistência mecânica à penetração foi de 1,5; 3,2 e 3,5 MPa nas umidades de 0,39; 0,35 e 0,29 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ respectivamente nos tratamentos MEI, MENI e MSQ.

A diminuição do teor de água aumenta a resistência do solo à penetração (SMITH, et al., 1997), fazendo com que as raízes em expansão experimentem um impedimento mecânico cada vez maior (COLLARES et al., 2008) restringindo seu crescimento nestas camadas bem como da sua parte aérea (MONTAGU et al., 2001). Com menor volume de solo explorado, a cultura pode passar por estresse de ordem hídrica e pode ter a absorção de nutrientes comprometida produzindo plantas

que não são biologicamente integrais e, portanto, susceptíveis ao ataque de pragas e doenças (PRIMAVESI, 1999).

Tabela 4 – Valores médios da umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações a 50 e 140 DAS

Profundidade (cm)	Tratamento	Umidade volumétrica ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$)	
		50 DAS	140 DAS
10	MEI	0,36 A	0,34 AB
	MENI	0,30 B	0,31 B
	MSQ	0,18 C	0,35 A
	-----DMS-----	0,04	0,03
	-----CV(%)-----	12,7	7,2
30	MEI	0,39 A	0,38 A
	MENI	0,35 B	0,31 B
	MSQ	0,29 C	0,32 AB
	-----DMS-----	0,04	0,07
	-----CV(%)-----	8,5	17,1
50	MEI	0,42 A	0,38 A
	MENI	0,34 B	0,39 A
	MSQ	0,31 B	0,32 B
	-----DMS-----	0,04	0,03
	-----CV(%)-----	7,8	7,4

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na COLUNA não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

Aos 50 DAS os tratamentos atingiram limite crítico de resistência mecânica à penetração das raízes, acima de 2,0 MPa que podem comprometer o crescimento radicular das culturas (TAYLOR et al., 1966) nas profundidades de 20, 15 e 10 cm de profundidade respectivamente nos tratamentos MEI, MENI e MSQ. Aos 140 DAS o limite crítico foi atingido a 10 cm de profundidade em todos os tratamentos, entretanto, não é possível informar sobre a duração do período em que a cultura permaneceu sob resistência mecânica à penetração das raízes acima de 2 MPa e nem qual a intensidade acima dos 2 MPa (GUBIANI, 2008).

Reichert et al. (2009) concluiu que 2,0 MPA não necessariamente pode restringir o crescimento da raiz ou da cultura e deve ser ajustado de acordo com a textura do solo e seu sistema de cultivo. A irrigação realizada no tratamento MEI manteve a umidade dentro dos limites sendo uma das estratégias para a

manutenção da resistência do solo à penetração abaixo do limite restritivo ao crescimento e desenvolvimento das plantas (BLAINSKI et al., 2008; GUBIANI, 2008).

Aos 140 DAS e 10 cm de profundidade, a resistência mecânica à penetração foi de 2,0 MPa para todos os tratamentos nas umidades de 0,34; 0,31 e 0,35 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$; a 30 cm de profundidade, a resistência mecânica à penetração foi de 2,2; 2,0 e 2,5 MPa nas umidades de 0,38; 0,31 e 0,32 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e a 50 cm de profundidade, a resistência mecânica à penetração foi de 1,8; 2,0 e 2,0 MPa nas umidades de 0,38; 0,39 e 0,32 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ respectivamente nos tratamentos MEI, MENI e MSQ concordando com os resultados obtidos por Ribon et al. (2003) e Silveira et al. (2010) que verificaram menores valores de resistência mecânica à penetração em maiores teores de umidade. Precipitações ocorridas em volume e distribuição satisfatórias (Figura 4) para o período colaboraram para a aproximação dos valores da umidade e resistência mecânica à penetração nos tratamentos (MAZURANA et al., 2013).

4.3 Microporosidade

Os valores médios da microporosidade (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ nas épocas de avaliação 50 e 140 DAS encontram-se na Tabela 5.

Aos 50 DAS e 50 cm de profundidade houve diferença significativa na microporosidade com valores médios de 41, 39 e 36% respectivamente nos tratamentos MEI, MENI e MSQ. Aos 140 DAS houve diferença significativa a 10 e 30 cm de profundidade, a saber: 38, 36 e 36%; 41, 39 e 37% respectivamente nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10 e 30 cm de profundidade.

Houve acréscimo significativo da microporosidade de 50 para 140 DAS nos tratamentos MEI e MSQ a 10 cm. No tratamento MEI o acréscimo deve-se ao aumento da porosidade total e decréscimo dos macroporos. No tratamento MSQ o acréscimo foi resultado da elevada densidade verificada aos 140 DAS (Tabela 3), concordando com resultados obtidos por (BONINI et al., 2011 e SILVEIRA JUNIOR et al., 2012).

Tabela 5 – Valores médios da microporosidade (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS

Prof. (cm)	Tratamento	50 DAS	140 DAS	DMS	CV
Microporosidade (%)					
10	MEI	35 Ab	38 Aa	2,5	6,3
	MENI	33 Aa	36 Ba	3,3	8,9
	MSQ	32 Ab	36 Ba	2,3	6,5
	-----DMS-----	3,6	2,4	--	--
	-----CV(%)-----	8,6	6,0	--	--
30	MEI	38 Aa	41 Aa	2,9	6,9
	MENI	37 Aa	39 ABa	2,2	5,4
	MSQ	36 Aa	37 Ba	2,0	5,4
	-----DMS-----	3,0	2,7	--	--
	-----CV(%)-----	6,4	5,5	--	--
50	MEI	41 Aa	39 Aa	6,0	14,0
	MENI	39 ABb	44 Aa	3,8	8,6
	MSQ	36 Bb	39 Aa	2,0	5,0
	-----DMS-----	2,8	6,6	--	--
	-----CV(%)-----	5,6	12,9	--	--

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na COLUNA não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de mesma letra minúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste t a 5%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

No geral os valores de microporos foram maiores que os propostos por Kiehl (1979) de 33% ou 2/3 da porosidade total.

4.4 Porosidade total

Os valores médios da porosidade total (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ nas épocas de avaliação 50 e 140 DAS encontram-se na Tabela 6.

Houve diferenças significativas entre os tratamentos a 10 cm de profundidade. As médias apresentaram os seguintes valores: 51, 50 e 55%; 53, 52 50% respectivamente nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 50 e 140 DAS. A operação de gradagem em diferentes intensidades nos tratamentos demonstra a eficiência dessa prática na mobilização do solo e consequente formação de poros (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012) na camada superficial do solo. Nas camadas subjacentes onde a mobilização por implementos não ocorre, não se observa diferenças significativas (STONE e SILVEIRA, 2001).

Tabela 6 – Valores médios da porosidade total do solo (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS

Prof. (cm)	Tratamento	50 DAS	140 DAS	DMS	CV
Porosidade total (%)					
10	MEI	51 ABa	53 Aa	3,2	5,7
	MENI	50 Ba	52 Aa	3,7	6,8
	MSQ	55 Aa	50 Bb	3,7	6,6
	-----DMS-----	5,0	3,0	--	--
	-----CV(%)-----	7,5	4,9	--	--
30	MEI	51 Ab	55 Aa	1,6	2,9
	MENI	50 Ab	54 Aa	2,6	4,7
	MSQ	49 Aa	53 Aa	3,5	6,4
	-----DMS-----	3,9	2,1	--	--
	-----CV(%)-----	6,2	3,1	--	--
50	MEI	54 Ab	57 Aa	1,4	2,4
	MENI	55 Aa	57 Aa	2,2	3,7
	MSQ	53 Ab	57 Aa	3,3	5,7
	-----DMS-----	3,6	2,3	--	--
	-----CV(%)-----	5,2	3,2	--	--

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na COLUNA não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de mesma letra minúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste t a 5%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

Houve diferenças significativas nos valores médios da porosidade total a 30 cm de profundidade nos valores da amostragem 50 DAS para 140 DAS de 51 para 55% e 50 para 54% nos tratamentos MEI e MENI respectivamente. Contribui para o acréscimo na porosidade total, a decomposição das raízes do milho formando galerias de poros permanentes conferindo ao solo maior porosidade e menor densidade (MENDONÇA et al., 2013). O mesmo ocorreu a 50 cm de profundidade nos tratamentos MEI e MSQ.

A porosidade total nos tratamentos ficou acima do valor preconizado por Kiehl (1979) como ideal que é de 50%.

4.5 Macroporosidade

Os valores médios da macroporosidade (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ nas épocas de avaliação 50 e 140 DAS encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios da macroporosidade (%) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS

Prof. (cm)	Tratamento	50 DAS	140 DAS	DMS	CV
Macroporosidade (%)					
10	MEI	16 Ba	15 Aa	3,6	21,8
	MENI	17 ABa	16 Aa	5,9	33,1
	MSQ	24 Aa	13 Ab	4,0	20,0
	-----DMS-----	7,0	3,0	--	--
	-----CV(%)-----	29,6	15,9	--	--
30	MEI	13 Aa	14 Aa	2,7	18,4
	MENI	12 Aa	15 Aa	3,2	22,0
	MSQ	13 Aa	15 Aa	3,7	24,0
	-----DMS-----	4,8	2,3	--	--
	-----CV(%)-----	29,5	12,3	--	--
50	MEI	13 Aa	15 ABa	2,7	17,8
	MENI	17 Aa	15 Ba	3,0	17,2
	MSQ	17 Aa	18 Aa	4,0	22,0
	-----DMS-----	4,7	3,0	--	--
	-----CV(%)-----	23,7	14,5	--	--

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na COLUNA não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de mesma letra minúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste t a 5%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

Aos 50 DAS houve diferença significativa a 10 cm de profundidade com valores médios de 16, 17 e 24% respectivamente nos tratamentos MEI, MENI e MSQ. A maior média observada no tratamento MSQ a 50 DAS foi resultado dos trabalhos de preparo do solo nesta camada, que foi pulverizado pelo repetido processo de gradagem, possibilitando assim, maior quantidade de poros (CRUZ et al., 2003; PEDROTTI et al., 2001) decrescendo aos 140 DAS para 13% devido a degradação estrutural do solo e posterior adensamento (DIAS JÚNIOR e PIERCE, 1996). A redução do volume de macroporos do solo pode restringir o fluxo de água e nutrientes na zona de desenvolvimento radicular (SILVEIRA JUNIOR et al., 2012).

Rós et al. (2013) e Tormena et al. (2002) estudando as propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo observaram aumento significativo da macroporosidade quando o solo foi revolvido.

Kiehl (1979) considera valores de 13 a 15%, adequados ao crescimento de plantas e à drenagem. Para Drewry, et al. (2008) um solo fisicamente adequado ao

crescimento de plantas deve apresentar, no mínimo, 10 % de macroporos, a fim de que se mantenham os níveis adequados de aeração do solo.

4.6 Agregados do solo

Os valores médios do diâmetro médio geométrico (DMG) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ nas épocas de avaliação 50 e 140 DAS encontram-se na Tabela 8.

Observa-se decréscimo significativo do DMG a 10 cm no tratamento MSQ, da avaliação 50 para 140 DAS. Os valores médios foram respectivamente de 1,58 para 1,29 mm. A ação contínua dos implementos de discos provoca o fracionamento e a desestruturação do solo favorecendo a oxidação da matéria orgânica (MOTA et al., 2013), tornando os agregados menores e menos estáveis (MUZILLI, 2006) durante o ciclo da cultura.

Tabela 8 – Valores médios do diâmetro médio geométrico (mm) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ a 10, 30 e 50 cm de profundidade nas avaliações 50 e 140 DAS

Profundidade (cm)	Tratamento	DMG (mm)		DMS	CV
		50 DAS	140 DAS		
10	MEI	1,49 Aa	1,55 Aa	0,34	21,1
	MENI	1,43 Aa	1,33 Aa	0,17	11,9
	MSQ	1,58 Aa	1,29 Ab	0,22	14,5
	-----DMS-----	0,24	0,35	--	--
	-----CV(%)-----	12,9	20,0	--	--
30	MEI	1,43 Aa	1,22 Aa	0,35	24,6
	MENI	1,03 Aa	1,07 Aa	0,27	24,0
	MSQ	1,05 Aa	1,03 Aa	0,42	37,8
	-----DMS-----	0,47	0,35	--	--
	-----CV(%)-----	31,6	25,4	--	--
50	MEI	1,10 Aa	0,82 Ab	0,20	20,2
	MENI	0,77 Ba	0,77 Aa	0,18	22,0
	MSQ	0,88 ABa	0,76 Aa	0,12	14,2
	-----DMS-----	0,22	0,19	--	--
	-----CV(%)-----	19,2	19,1	--	--

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na COLUNA não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Médias seguidas de mesma letra minúscula na LINHA não diferem entre si pelo teste T a 5%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

O impacto da chuva sobre o solo fracionado também favoreceu o decréscimo do DMG. Panachuki et al. (2011) estudando a aplicação de chuvas simuladas em Latossolo Vermelho desprovido de resíduo vegetal, observou decréscimo no DMG de 4,15 para 3,19 mm após a aplicação destas.

Pinheiro et al. (2003) estudando a distribuição das classes dos agregados e da matéria orgânica em Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo, verificaram que o cultivo convencional apresentou DMG de 0,9 mm na camada de 5 a 10 cm de profundidade; Assis e Lanças (2005) estudando os atributos físicos sob cultivo convencional encontram valores de DMG de 0,83 e 0,96 mm sob nas camadas de 0-5 e 5-10 cm respectivamente. Segundo os autores, este sistema de cultivo quebram os macroagregados, expondo a matéria orgânica que estava protegida contra a oxidação.

4.7 Infiltração da água no solo

A Figura 7 refere-se à velocidade de infiltração (VI) de água no solo. A Tabela 9 mostra as equações da VI bem como os valores da velocidade de infiltração básica no solo (VIB) nos tratamentos MEI, MENI e MSQ.

O tratamento MENI foi o que iniciou o teste com maior taxa de infiltração, com cerca de 2700 mm.h^{-1} , seguido do MEI com 1700 mm.h^{-1} e do MSQ com 430 mm.h^{-1} . A porosidade, densidade (SALES et al., 1999; VILARINHO et al., 2013), o manejo adotado e a cobertura vegetal (PANACHUKI et al., 2006) determinam a velocidade de infiltração e drenagem no solo.

O tratamento MSQ apresentou a menor taxa de infiltração de água no solo. A VIB do solo foi atingida aos 150 min decorridos do início da avaliação no tratamento MSQ com taxa de 40 mm.h^{-1} e aos 300 min nos tratamentos MEI e MENI com taxa de 300 mm.h^{-1} para ambos (Tabela 10). De acordo com Bernardo, (2006) estes valores de VIB são considerados altos, entretanto, métodos que não consideram o impacto da chuva podem superestimar a infiltração da água (POTT e DE MARIA, 2003). Vilarinho et al. (2013) determinando a VIB em Latossolo Vermelho encontrou valores de 360 mm.h^{-1} após 419 min.

Figura 7 – Taxa de infiltração de água no solo (mm.h⁻¹) dos tratamentos estudados após a colheita do milho

Tabela 9 – Equações da velocidade de infiltração da água no solo e valores da velocidade de infiltração básica no solo nos tratamentos MEI, MENI e MSQ

Tratamento	Equação da VI (mm.h ⁻¹)	VIB (mm.h ⁻¹)
MEI	VI = 1719,7 T ^{-0,442}	300
MENI	VI = 2697,2 T ^{-0,513}	300
MSQ	VI = 424,01 T ^{-0,404}	40

A infiltração da água em Latossolos, em condições normais é geralmente elevada devido ao seu horizonte B longo e permeável (VILARINHO et al., 2013) e possuírem intensa microagregação que lhes confere características de solos arenosos (KLEIN, 2008), entretanto, esta infiltração pode ser reduzida quando ocorrem camadas compactadas, devido à redução da macroporosidade (BONINI et. al., 2011). O tratamento MSQ apresentou selamento superficial que, segundo Brandão et al. (2006) pode reduzir a infiltração da água no solo devido a formação de uma fina camada adensada na superfície capaz de reduzir a infiltração em até 90% (CHAVES et al., 1993).

4.9 Rendimento

A Tabela 10 mostra que aos 20 dias após a emergência (DAE) houve diferenças significativas nas médias de população das plantas dos tratamentos. As sementes apresentaram baixo vigor em campo, após a germinação. Ao desenterrar as linhas de semeadura verificou-se que algumas sementes ao iniciarem o processo de germinação, apodreceram. Não foi constatada a presença de insetos praga na cultura que justifiquem as perdas. Houve grande presença de mato como a trapoeraba, carrapichão e corda de viola no tratamento MENI. Em ambos os tratamentos localizados no CPMO, houve necessidade de limpeza manual do mato aos 90 DAS.

Tabela 10 – Valores médios da população de plantas nas parcelas nos tratamentos MEI, MENI e MSQ, quantificados nas épocas 20, 42 e 140 DAS.

Tratamento	População de plantas		
	20 DAS	42 DAS	140 DAS
MEI	40.741 a	36.968 a	35.648 a
MENI	35.926 b	33.356 a	31.296 a
MSQ	39.306 a	37.083 a	34.306 a
CV	5,3	10,9	14,1
DMS	2.575	4.940	6.019

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

Aos 140 DAS a população semeada de 50.000 plantas foi reduzida para cerca de 70% nos tratamentos MEI e MSQ e 60% no tratamento MENI. Não houve diferenças significativas na população de plantas aos 140 DAS.

De acordo com a Tabela 11, o MSQ foi o tratamento que apresentou menor variação no rendimento das parcelas enquanto o MEI apresentou o maior rendimento. As parcelas 6 e 7 no tratamento MEI e 5, 6, 7 e 8 no MENI apresentaram rendimentos abaixo das demais parcelas nos respectivos tratamentos.

Tabela 11 – Rendimento das parcelas e total (kg.ha^{-1}) dos tratamentos MEI, MENI e MSQ com a umidade corrigida para 13%.

Trat/o	Rendimento das parcelas (kg.ha^{-1})								TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
MEI	6.486	5.594	5.113	6.478	4.032	3.810	3.869	5.096	5.059 a
MENI	4.642	4.684	4.882	5.011	2.912	3.784	3.938	3.350	4.150 a
MSQ	5.602	5.285	5.225	4.667	5.011	4.307	4.213	4.307	4.827 a
CV (%)	-----								17,80
DMS	-----								1.047

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

CV = coeficiente de variação.

DMS = diferença mínima significativa.

O tratamento MENI que apresentou a menor média de população de plantas, também apresentou o menor rendimento com cerca de 900 e 700 kg.ha^{-1} a menos quando comparado aos tratamentos MEI e MSQ respectivamente. Apesar de não significativa, esta diferença torna-se importante quando é analisado o DMS que foi de 1047 kg.ha^{-1} . O rendimento do milho nos sistemas de manejo estudado foi prejudicado pela baixa população de plantas contabilizada anterior a colheita do milho. Os valores foram de 5.059; 4.150 e 4.827 t.ha^{-1} nos tratamentos MEI, MENI e MSQ respectivamente.

5 CONCLUSÕES

1. O tratamento MEI apresentou melhorias estatisticamente significativas nos atributos físico-hídricos da amostragem 50 DAS para 140 DAS a 30 e 50 cm de profundidade na densidade e porosidade total. As médias foram de 1,37 para 1,32 g.cm^{-3} e 1,26 para 1,22 g.cm^{-3} ; de 51 para 55% e 54 para 57% respectivamente. A 10 cm de profundidade houve diferença estatisticamente significativa na microporosidade com médias variando de 35 para 38%. Não foi identificada camada compactada nas profundidades estudadas. A irrigação manteve a umidade do solo acima do limite crítico, sugerindo que esta colaborou para que a resistência mecânica à penetração não limitasse o crescimento das raízes. Os demais atributos não foram significativamente alterados;

2. O tratamento MENI apresentou melhorias estatisticamente significativas nos atributos físico-hídricos da amostragem 50 DAS para 140 DAS a 30 cm de profundidade na densidade e porosidade total com médias variando de 1,40 para 1,30 g.cm^{-3} e 50 para 54% respectivamente. A resistência mecânica à penetração atingiu valores próximos a 4 MPa a 50 DAS, o que pode ter comprometido o desenvolvimento das raízes nesta etapa do ciclo;

3. A elevada mobilização no preparo do solo no tratamento MSQ durante três safras de milho degradou a estrutura do solo e promoveu a degradação do mesmo. As médias de densidade, DMG, porosidade total e macroporosidade da amostragem 50 DAS para 140 DAS a 10 cm de profundidade variaram significativamente de 1,23 para 1,41 g.cm^{-3} ; 1,58 para 1,29 mm; 55 para 49% e 24 para 13% respectivamente. O aumento estatisticamente significativo da microporosidade a 10 cm de profundidade da amostragem 50 DAS para 140 DAS, de 32 para 36% é reflexo do aumento da densidade do solo. A resistência mecânica à penetração atingiu o valor de 6 MPa a 50 DAS, o que pode ter comprometido o desenvolvimento das raízes nesta etapa do ciclo. A baixa umidade do solo a 10 cm de profundidade em comparação ao tratamento MENI sugere que a degradação do solo interferiu na capacidade do mesmo em armazenar água;

4. O rendimento do milho variedade foi de 5.059; 4.150 e 4.827 Kg.ha^{-1} com população de plantas de 35.648, 31.296 e 34.306 nos tratamentos MEI, MENI e MSQ respectivamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produtor Geraldo Alves de Ramos, proprietário do Sítio Camaquã foi orientado a adotar manejos com menor mobilização do solo. O objetivo é iniciar a recuperação das propriedades físico-hídricas do solo com perspectiva de converter o sistema de manejo da sua propriedade para o sistema ecológico.

Embora tenha ocorrido falha de germinação das sementes de milho variedade comprometendo o stand dos tratamentos, houve resultados promissores com relação à produtividade. Espera-se que sanada esta falha, a variedade produza 8.000 kg.ha⁻¹ tornando-a economicamente competitiva no mercado de produtos orgânicos e não transgênicos.

Ainda há pontos a serem elucidados na agricultura ecológica que possam contribuir para o aprimoramento deste estudo e da atividade agrícola saudável. Este estudo é parte de um trabalho realizado no CPMO, que tem como objetivo propor sistemas de manejo capazes de proporcionar além de boas produtividades, alimentos de qualidade superior aos produzidos pelos sistemas convencionais.

REFERÊNCIAS

ARATANI, R.G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes Manejos e condições edafoclimáticas no estado de São Paulo**. 2008. 115p. Tese (Tese em Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.

ASSIS, R.L. de; 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.

BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A.; DENARDIN, J.E. Infiltração de água em um latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.35-43, 1999.

BAVOSO, M.A.; SILVA, A.P. da; FIGUEIREDO, G.C.; TORMENA, C.A.; GIAROLA, N.F.B. Resiliência física de dois Latossolos Vermelhos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1892-1904, 2012.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8ª ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; FREDDI, O. da S.; ANDRIOLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p.193-198, 2005.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.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.167-177, 2001.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R.M.L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.975-983, 2008.

BONINI, A.K.; SECCO, D.; SANTOS, R.F.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, set, 2011.

BRANDÃO, V. dos S.; SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F.; SCHAEFER, C.E G.R.; MARTINEZ, M.A.; MENEZES, S.J M. da C. de. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.13-21, 2006.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A.; Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1399-1407, 2008.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106).

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D. de; REIS, E F. dos; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, D.F. de; OLIVEIRA, L.F.C. de. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 240p.

CHAVES, H.M.L.; ORLOWISK, W.E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.141-147, 1993.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.933-942, 2008.

CORREA, M.L.P.; GALVÃO, J.C.C.; FONTANETTI, A.; MIRANDA, G.V.; LEMOS, J.P.; RODRIGUES, O.L.; CONCEIÇÃO, P.M. da. Desempenho agrônomo do milho orgânico e tradicional em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v.1, n.1, p.79-87, 2011.

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, 2006.

CRUZ, A.C.R.; PAULLETO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1105-1112, 2003.

DE MARIA, I.C. de; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.703-709, 1999.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p.199-238, 1988.

DIAS JÚNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.175-182, 1996.

DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.3, p.63-77, 2003.

DOS SANTOS, L.P.D.; AQUINO, L.A.; PAULA NUNES, P.H.M.; XAVIER, F.O. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.12, n.3, p.270-279, 2013.

DREWRY, J.J.; CAMERON, K.C.; BUCHAN, G.D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing - a review. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.46, p.237-256, 2008.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. 306p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

FARIA, T. de F. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: JUNIOR, R. C.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p.29-37.

FILHO, A.C.; ANDRADE, D.S. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: JUNIOR, R.C.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p.39-53,

FLORES, C.A. REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; PAULETTO, E.A. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2164-2172, 2008.

GENRO JUNIOR, 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 do Solo**, Viçosa, v.28, p.477-484, 2004.

GOES, R.J.; RODRIGUES, R.A.F.; TAKASU, A.T.; ARF, O. Características agrônômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.12, n.3, p.250-259, 2013.

GONDIN, T.M. de S.; WANDERLEY, J.A.C.; SOUZA, J.M. de; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. da S.; Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Mossoró, v.4, n.1, p.64-73, 2010.

GUBIANI, P. I. **Tempo para a ocorrência da resistência à penetração restritiva ao feijoeiro em solo com diferentes estados de compactação**. 2008. 110p. Dissertação (Dissertação em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.66, p.1320-1324, 2002.

KAMIYAMA, A.; DE MARIA, I.C.; SOUZA, D.C.C. de; SILVEIRA, A.P.D. da. Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p.176-184, 2011.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. ; CLARK, F.E. **Methods of soil analysis – Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. chap.39, p.499-510.

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

KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

LIBARDI, P.L.; KLEIN, V.A. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.857-867, 2002.

MAZURAK, A.P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic sand Sand aggregates. **Soil Science**, Baltimore, v.69, p.135–148, 1950.

MAZURANA, M.; FINK, J.R.; SILVEIRA, V.H. da; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1185-1195, 2013.

MENDONÇA, V.Z. de; MELLO, L.M.M. de; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F.C.B.L.; LIMA, R.C.; FILHO, W.V.V.; YANO, E.H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.351-259, 2013.

MONTAGU, K.D.; CONROY, J.P.; ATWELL, B.J. The position of localized soil compaction determines root and subsequent shoot growth responses. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.52, p.2127-2133, 2001.

MOTA, J.C.A.; FREIRE, A.G.; ASSIS JUNIOR, R.N. de; Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1196-1206, 2013.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: JUNIOR, R.C.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. p.9-27.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Baltimore, v.76, p.319-337, 1984.

OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v.56, p.377-400, 1993.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um latossolo vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.327-336, 2004.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S. de; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1777-1785, 2011.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C. T.; CARVALHO, D.F. de; URCHEI, M.A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.1, p.129-137, 2006.

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, J.O.; SIQUEIRA, J.A.C.; URIBE-OPAZO, M.A.; SILVA, S. de L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.171-174, 2002.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.77, p.79-84, 2004.

PORTELLA, C.M.R.; GUIMARÃES, M. de F.; FELLER, C.; FONSECA, I.C. de B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1868-1877, 2012.

POTT, C.A.; DE MARIA, I.C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.19-27, 2003.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1999. 549p.

PRUSK, F.F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E.F. de; BALBINO, L.C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L.T. de. Infiltração da água num Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p.77-84, 1997.

RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, APTA e IAC, 2001, 284 p.

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

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, J.R.; HORN, R. HÅKANSSON. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.102, p.242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. e BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.27, p.29-48, 2003.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, p.131-146, 2002.

RIBON, A.A.; TAVARES FILHO, J. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.487-494, 2008.

RIBON, A.A.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P. da C.; PEREIRA, G. T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.13-17, 2003.

RÓS, A.B.; FILHO, J.T.; BARBOSA, G.M. de C. Propriedades físicas de solo e crescimento de batata-doce em diferentes sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.2429-250, 2013.

ROSSETTI, K. de V.; CENTURION, J.F.; SOUSA NETO, E.L. de. Physical quality of an Oxisol after different periods of management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1522-1534, 2013.

SALES, L. E de O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p.2091-2095, 1999.

SALTON, J.C.; MIELNICZUCK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.11-21, 2008.

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.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.58-64, 2009.

SEQUINATTO, L. **Qualidade física do solo e rendimentos de grãos num argissolo em processo de recuperação**. 2010. 158p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. 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, n.5, p.795-801, 2000.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1013-1020, 2003.

SILVEIRA JUNIOR, S.D. da; SILVA, A.P. da; FIGUEIREDO, G.C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N.F.B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1854-1867, 2012.

SILVEIRA, D. de C.; MELO FILHO, J.F. de; SACRAMENTO, J.A.A.S. do; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade *versus* resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.659-667, 2010.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society American**, Madison, v.64, p.1042-1049, 2000.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A. LORENTZ, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.78, p.93-111, 1997.

SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C. T.; SOUZA, L.C.F. de; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D.F. de. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

SOUZA, E.D. de. **Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo**. 2008. 182p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

STOLF, R. **Operação do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR. 1984. 8p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim ,2).

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**, Viçosa, v.15, p.229-235, 1991.

STOLF, R. Penetrômetro de Impacto Stolf – programa de manipulação de dados em Excel – VBA. Ufscar, 2011. Disponível em: <http://www.cca.ufscar.br/drnpa/hprubismar_TITULOS.htm>, item 100. Acesso em: 12 set.2012.

STOLF, R.; FERNANDES, J. ; URLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1).

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.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science Society American**, Madison, v.102, p.18-22, 1966.

TISDALL, J.M. ; OADES, J.M. Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, cidade, v.33, p.141-163, 1982.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.333-339, 1996.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.52, p.223-232, 1999.

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

VAZ, C.M.P.; HOPMANS, J.W. Simultaneous Measurement of Soil Penetration Resistance and Water Content with a Combined Penetrometer–TDR Moisture Probe. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.4-12, 2001.

VEIGA, M. da; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Aggregate stability as affected by short and long-term tillage systems and nutrient sources of a hapludox in southern brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.767-777, 2009.

VILARINHO, M.K.C.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A.F.; SILVA, M. de C.; BONFIM SILVA, E.D. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Viçosa, v.7, n.1, p.17-26, 2013.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical in the field. In: HILLEL, D (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. de S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

ANEXO

Composição do Bokashi fabricado pela empresa Korin Agropecuária Ltda utilizado no preparo do solo e no cultivo do milho

Garantias mínimas do lote utilizado	
Nitrogênio	2,63%
Umidade	11,0%
pH	6,0
C/N	13/1
CTC	450,0 mm _c /dm ³
CTC/C	13/1
Carbono orgânico	35,0%

Fonte: Korin Agropecuária Ltda.

Eng^o Agrônomo responsável: Eduardo Luis Sanner Prochnou – CREA/SP 5060018910.