



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM SISTEMAS CONSORCIADOS
DE MILHO COM ADUBOS VERDES SOB MANEJO ORGÂNICO**

MURILO TREVISAN

Araras

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMAS CONSORCIADOS DE MILHO COM
ADUBOS VERDES SOB MANEJO ORGÂNICO**

MURILO TREVISAN

ORIENTADOR: Prof.^a Dr.^a ANASTÁCIA FONTANETTI

CO-ORIENTADOR: Dr.^a LAURA FERNANDA SIMÕES DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL

Araras

2019

Trevisan, Murilo

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM SISTEMAS
CONSORCIADOS DE MILHO COM ADUBOS VERDES SOB MANEJO
ORGÂNICO / Murilo Trevisan. -- 2019.

73 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Araras, Araras

Orientador: Anastácia Fontanetti; Coorientadores: Laura Fernanda Simões
da Silva

Banca examinadora: Laura Fernanda Simões da Silva, Miguel Cooper,
Victor Augusto Forti

Bibliografia

1. Plantas de cobertura. 2. Sustentabilidade do solo. 3. Amplitude
térmica. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Helena Sachi do Amaral – CRB/8 7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Murilo Trevisan, realizada em 29/05/2019:

Profa. Dra. Laura Fernanda Simões da Silva
UFSCar

Profa. Dra. Miguel Cooper
USP

Prof. Dr. Victor Augusto Forti
UFSCar

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores anteriores que tornam possível a construção do conhecimento.

À família, Cesar, Lúcia e Carla, e companheira, Carol, pelo suporte e paciência da ausência.

Ao suporte essencial de orientação da Dra. Anastácia Fontanetti e Dra. Laura Fernanda Simões da Silva e seus esforços além da conta.

Ao grupo de amigos e colegas do NEPAC (Núcleo de Estudo e Pesquisa em Agricultura da Conservação) que doaram seus esforços.

Ao laboratório de física do solo da ESALQ pelo apoio de infraestrutura e análises.

As secretárias do programa de pós-graduação Tereza Cristina e Sirlene, pela ajuda nesse trajeto.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desse trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
INTRODUÇÃO GERAL	01
REFERÊNCIAS.....	05
CAPÍTULO I Temperatura e umidade do solo no consórcio de milho com adubos verdes.....	
RESUMO.....	08
ABSTRACT.....	09
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAIS E MÉTODOS	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO II Efeitos da adubação verde nos atributos físicos do solo em sistemas consorciados com milho.....	
RESUMO.....	31
ABSTRACT.....	32
INTRODUÇÃO.....	33
MATERIAIS E MÉTODOS	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	57

ÍNDICE DE TABELAS**Capítulo I**

	Pag.
Tabela 1. Teores de argila, silte, areia e classificação textural, nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, de solo do local do experimento em Araras/SP, safra 2017/18.....	12
Tabela 2. Amplitudes e Temperaturas do solo (°C) em função dos horários e profundidades de avaliação. Araras, SP, Safra 2017/18.....	17
Tabela 3. Amplitudes e Temperatura do solo (°C) em função dos horários de avaliação e dos sistemas de cultivo. Araras, SP, Safra 2017/18.....	21
Tabela 4. Acúmulo de massa de matéria seca (kg ha ⁻¹) dos adubos verdes e do milho nos diferentes sistemas de cultivo e estádios fenológicos.....	22
Tabela 5. Umidade do solo (%) em função dos sistemas de cultivo e profundidades do solo, Araras, SP, safra 2017/18.....	23
Tabela 6. Umidade do solo (%) ao longo dos estádios fenológicos do milho nos diferentes sistemas de cultivo. Araras, SP, safra 2017/18.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

	Pag.
Figura 1. Balanço Hídrico Mensal obtidos na Estação Meteorológica Automática – E.M.A da UFSCar – Centro de Ciências Agrárias, Araras/ SP, safra 2017/18.....	13
Figura 2. BoxPlot da Temperatura do solo (°C) na linha de plantio em cada horário e profundidade (m) avaliada para todo o ciclo da cultura. Araras, SP, Safra 2017/18.....	20
Figura 3. BoxPlot da Temperatura do solo (°C) na entrelinha de plantio em cada horário e profundidade (m) avaliada para todo o ciclo da cultura. Araras, SP, Safra 2017/18.....	20

Capítulo II

Figura 1. Densidade do solo (g cm^{-3}) para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.....	39
Figura 2. Porosidade total do solo para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.....	42
Figura 3. Macroporosidade do solo para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.....	44
Figura 4. Microporosidade do solo para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.....	46
Figura 5. Resistência do solo à penetração para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.....	48
Figura 6. Distribuição em dois componentes principais na profundidade 0-0,10 m.....	50
Figura 7. Distribuição em dois componentes principais na profundidade 0,10-0,20 m.....	51
Figura 8. Distribuição em dois componentes principais na profundidade 0,20-0,40 m.....	52
Figura 9. Distribuição em dois componentes principais nas três profundidades...	53

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM SISTEMAS
CONSORCIADOS DE MILHO COM ADUBOS VERDES SOB MANEJO
ORGÂNICO**

Autor: MURILO TREVISAN

Orientador: Prof.^a Dr.^a ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-orientador: Dr.^a LAURA FERNANDA SIMÕES DA SILVA

RESUMO - O uso de plantas em consórcio tem como finalidade o aumento da diversidade de espécies, produzindo maior quantidade de matéria seca, maior exploração radicular, induzindo melhorias nos atributos físico-hídricos do solo. Objetivou-se analisar os efeitos da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan* nos atributos físico-hídricos do solo. O experimento foi conduzido na safra 2017/2018 no município de Araras - SP, em Nitossolo Vermelho, no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três consórcios de milho com: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plantas m⁻¹); MG) *Cajanus cajan* (5 plantas m⁻¹); MCG) *Crotalaria spectabilis* e *Cajanus cajan* (10 plantas m⁻¹, cinco plantas de cada adubo verde), semeados na linha do milho e três tratamentos controles: M) milho; C) *Crotalaria spectabilis* e G) *Cajanus cajan*, solteiros para temperatura e umidade, além de: CANA) cana convencional e MN) fragmento florestal, para os demais atributos. As avaliações das temperaturas do solo foram realizadas na linha e entrelinha de semeadura e da umidade do solo na linha de semeadura do milho, nos horários de 8, 12 e 17 horas, nos estádios fenológicos V5, V8, VT, R2, R4 e R6 do milho para todos os tratamentos. As profundidades de avaliação foram 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Amostras deformadas e

indeformadas do solo foram coletadas nas mesmas profundidades. Os horários, as profundidades e as posições linha/entrelinha influenciaram a temperatura do solo, enquanto as profundidades e os estádios fenológicos influenciaram a umidade do solo. Os consórcios reduziram a temperatura do solo, principalmente o MG. Também, o MG reduziu a umidade do solo entre V8 e R2 do milho. A introdução do *Cajanus cajan* no consórcio reduziu a densidade do solo (DS) na camada 0,10-0,20 m enquanto que a introdução da *C. spectabilis* reduziu na camada 0,20-0,40 m, em relação à CANA. A *C. spectabilis* aumentou a macroporosidade (Mac) na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m, enquanto que o *Cajanus cajan* aumentou Mac na camada 0,10-0,20 m, em relação ao M. O uso dessas espécies em consórcio não provocou diferenças significativas para a variável resistência do solo à penetração em nenhuma das profundidades estudadas em relação ao M.

Palavras-chaves: Plantas de cobertura. Sustentabilidade do solo. Sistema Santa Brígida.

SOIL ATTRIBUTES IN CONSORTIATED CORN SYSTEMS WITH GREEN MANURE UNDER ORGANIC MANAGEMENT

Author: MURILO TREVISAN

Adviser: Prof.^a Dr.^a ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-adviser: Dr.^a LAURA FERNANDA SIMÕES DA SILVA

ABSTRACT - The use of plants in intercropping has the purpose of increasing the diversity of species, producing a greater amount of dry matter, greater root exploration, inducing improvements in soil physical and hydraulic attributes. The objective of this work was to analyze the effects of *Crotalaria spectabilis* and *Cajanus cajan* on soil physical and hydraulic attributes. The experiment was conducted in the 2017/2018 harvest in the city of Araras - SP, in Nitisols (Nitossolo Vermelho), in a randomized complete block design, with four replications. The treatments consisted of three maize intercropping with: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plants m⁻¹); MG) *Cajanus cajan* (5 plants m⁻¹); MCG) *Crotalaria spectabilis* and *Cajanus cajan* (10 plants m⁻¹, five plants of each green manure), planted in the corn row and three control treatments: M) corn; C) *Crotalaria spectabilis* and G) *Cajanus cajan*, singles for temperature and soil moisture, besides: CANA) conventional cane and MN) forest fragment, for the other attributes. Soil temperatures were measured at 8, 12 and 17 hours in the phenological stages V5, V8, VT, R2, R4 and R6 in the row and between row of sowing and soil moisture in the corn sowing row for all treatments. The depths of evaluation were 0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m. Deformed and undisturbed soil samples were collected at the same depths. Time, depth and line / interline positions influenced soil temperature, while depths and phenological stages influenced soil moisture. The intercrop reduced the temperature of the soil, mainly MG. Also, the

MG reduced the soil moisture between V8 and R2 of maize. The introduction of *Cajanus cajan* in the consortium reduced soil density (DS) in the 0,10-0,20 m layer while the introduction of *C. spectabilis* reduced in the 0.20-0.40 m layer, compared to the CANA. *C. spectabilis* increased the macroporosity (Mac) in the layer 0-0.10 and 0.10-0.20 m, whereas the *Cajanus cajan* increased Mac in the layer 0,10-0,20 m, in relation to M. The use of these species in intercropping did not cause significant differences for the soil resistance to penetration in any of the depths studied in relation to M.

Key words: Cover plants. Soil sustainability. Santa Brígida System

INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do milho (*Zea mays* L.), de acordo com a CONAB (2019), possui estimativa da área total cultivada, resultante da soma da primeira e segunda safra, de 17.242,4 mil hectares, apresentando crescimento de 3,8% em relação ao ano anterior. Para a agricultura familiar, a cultura correspondeu a 46% da intenção de plantio em 2017 de acordo com o censo agropecuário (IBGE, 2017).

O sistema de plantio direto é o mais utilizado para o cultivo do milho, principalmente por grandes produtores (CONAB, 2010). No início dos anos 2000 o sistema já ocupava 40% da área de produção de grãos (FIDELIS *et al.*, 2003). Porém, entre os pequenos produtores de milho ainda predomina o sistema convencional (CONAB, 2010), também sendo mais utilizado pelos produtores de grãos orgânicos (FONTANETTI; SANTOS; GALVÃO, 2012) mesmo o sistema orgânico preconizando o uso adequado do solo e da água, a redução ao mínimo possível de todas as formas de contaminação desses elementos e o incremento da atividade biológica do solo (BRASIL, 2003). Apesar de não haver dados precisos sobre a área plantada e a produtividade de milho orgânico no Brasil, sabe-se que, os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo possuem juntos 967 unidades de produção orgânica de milho no cadastro nacional de produtores orgânicos (MAPA, 2017).

Os sistemas de produção convencionais causam alterações negativas nos atributos físico-hídricos do solo, os quais são usados como indicadores para determinação da qualidade de um solo (ROSSETTI; CENTURION, 2013). Atributos como densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade dos agregados, temperatura do solo e retenção hídrica são avaliados para essa determinação. Assim, ao constatar solos com sinais de degradação, os indicadores de qualidade física do solo evidenciam a

necessidade da adoção de manejos alternativos que favoreçam a estruturação do solo (STEFANOSKI *et al.*, 2013; SANTI *et al.*, 2012).

Visando mitigar os problemas levantados, uma das alternativas é a consorciação de espécies, ou seja, o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies, durante parte considerável do ciclo produtivo, numa mesma área (KAPPES; ZANCANARO, 2015).

A consorciação de espécies apresenta potencial para controlar os processos de erosão, diminuindo a perda de solo (LIMA *et al.*, 2014). O consórcio milho e feijão caupi (*Vigna unguiculata*) foi mais eficiente em termos de uso da terra em condições de deficiência hídrica comparado ao milho solteiro (TÁVORA e LOPES, 1990). Ponto relevante, uma vez que a limitação da infiltração de água no solo, é a variável que mais frequentemente limita a produtividade de grãos (SANTI *et al.*, 2012).

As espécies mais utilizadas em sistemas consorciados com a cultura do milho pertencem, em especial, a família Fabaceae, leguminosas, por causarem aumento do aporte de nitrogênio no solo, via fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Além de cumprirem a função de cobertura do solo (NUNES *et al.*, 2018), de aumento da produção de matéria seca e de maior eficiência da ciclagem e disponibilização de nutrientes (ALVARENGA *et al.*, 1995; FONTANETTI, 2008), sem que a produtividade de grãos seja prejudicada (SNAPP; SURAPUR, 2018). Também provocam melhorias nos atributos físico-hídricos do solo como densidade do solo, resistência à penetração e estabilidade dos agregados, através da diversificação da exploração do solo pelos sistemas radiculares (CHIEZA *et al.*, 2013).

Um desses sistemas que utilizam o consórcio de espécies é o Sistema Santa Brígida que tem como objetivo inserir os adubos verdes no sistema de produção de milho, especificamente as espécies guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*), em uma densidade de 4 a 5 plantas por metro ou de 8 a 10

plantas por metro quadrado, de modo a permitir um aumento do aporte de nitrogênio no solo, via fixação biológica do nitrogênio atmosférico e o aumento da produção de matéria seca para o plantio direto. Apesar desses objetivos, esse sistema possui escassez de estudos que avaliem as alterações que essas espécies provocam nos atributos físico-hídricos do solo.

Em outras situações de estudos essas espécies provocaram alterações nos atributos do solo. As raízes da crotalária (*Crotalaria Spectabilis*), em estudo com amostras de Nitossolo Vermelho argiloso em vasos, foram capazes de se desenvolverem dentro da camada compactada, 0,20-0,30 m, apresentando potencial para formação de "bioporos" (FOLONI; LIMA e BÜLL 2006).

Avaliando o desempenho de espécies de crotalária como agentes de descompactação, em um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes níveis de densidade, todas as espécies apresentaram redução no crescimento da parte aérea e radicular a partir de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ de densidade do solo (PACHECO *et al.* 2015), enquanto que para culturas anuais o limite crítico é considerado $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ em solos com 200 a 550 g kg^{-1} de argila (REICHERT *et al.* 2003).

Entretanto, estudo com crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), além de outras plantas de cobertura, em um Argissolo Vermelho, concluiu que o crescimento normal das raízes das plantas ocorreu até o limite de densidade do solo de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ (REINERT *et al.* 2008).

O consórcio de milho com guandu anão, em um Argissolo, apresentou potencial de melhorias em atributos físicos do solo, influenciando positivamente para profundidade de 0- 5 cm, na densidade do solo, macroporosidade e porosidade total; e na profundidade de 5-10 cm, para manutenção da estabilidade dos agregados, entre os

períodos das amostragens (Instalação do experimento, aos 30 dias após a deposição da palhada de cada cultivo sobre o solo e um ano após a instalação) (CHIEZA *et al.* 2013).

Portanto faz-se necessário o conhecimento das alterações nos atributos físico-hídricos que guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*) provocam no Sistema Santa Brígida. Além de que o presente trabalho analisará as duas espécies simultaneamente em consorcio com o milho.

Referente a este estudo, no capítulo 1 objetivou-se analisar os efeitos da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan*, na temperatura e umidade do solo, ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho cultivado em consórcio sob produção orgânica. Enquanto que no capítulo 2 objetivou-se analisar os efeitos da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan*, nos atributos físicos densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade e resistência do solo à penetração no cultivo de milho em consórcio sob produção orgânica, além de uma área comparativa sob cultivo de cana de açúcar e uma área sob remanescente florestal.

Objetivo Geral

Analisar os efeitos da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan*, nos atributos físico-hídricos do solo ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho cultivado em consórcio, sob produção orgânica.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. *et al.* Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, 1995.
- BRASIL. Lei n.10.831, de 23 dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial [da] da República Federativa do Brasil**, Brasília, 24 dez. 2003. Secção 1, p.8.
- CHIEZA, E. D. *et al.* Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 37, p. 1393–1401, 2013.
- CONAB. Disponível em:<https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/2555_b333e4934dda849cfa515b5a306ebfca> Acessado em 23 de agosto de 2017.
- FIDELIS, R. R. *et al.* Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 1, p. 23-31, 2003.
- FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BÜLL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 49-57, 2006.
- FONTANETTI, A. Adubação e dinâmica de plantas daninhas em sistema de plantio direto orgânico de milho. 2008. Tese (Doutorado em Ciência) - **Programa de Doutorado em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 2008.
- FONTANETTI, A.; SANTOS, I. C. dos; GALVÃO, J. C. C. Caracterização do milho orgânico. In: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. Diversidade e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos. **Campinas: Instituto Agrônomo / Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, p. 215-232, 2012.

KAPPES, C.; ZANCANARO L. Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p. 219-234, 2015.

LIMA, P. L. T. *et al.* Soil loss by water erosion in areas under maize and jack beans intercropped and monocultures. **Ciência E Agrotecnologia**, v. 38, p. 129–139, 2014.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadastro nacional de produtores orgânicos**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/cadastro-nacional-produtores-organicos>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

NUNES, M. R. *et al.* No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, v. 328, p. 30–43, 2018.

PACHECO, L. P. *et al.* Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa. Agropecuária. Tropical**, v.45 n.4, 2015.

REINERT, D. J. *et al.* Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

ROSSETTI KV, CENTURION JF. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2013;17:472-9.

SANTI, A. L. *et al.* Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1346–1357, 2012.

SNAPP, S.; SURAPUR S. Rye cover crop retains nitrogen and doesn't reduce corn yields. **Soil and Tillage Research**, v. 180 p. 107-115, 2018.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.;
PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física.
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 12, p. 1301–1309,
2013.

TÁVORA, F. J. A. F., & LOPES, L. H. DE O. Deficiência hídrica no consórcio Milho x
Caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, p. 1011–1022, 1990.

CAPÍTULO I

Temperatura e umidade do solo no consórcio de milho com adubos verdes

RESUMO - A espécie e densidade de plantas de adubos verdes no consórcio com o milho modificam os padrões de competição podendo alterar as respostas sob a temperatura e umidade do solo. Objetivou-se analisar os efeitos da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan*, na temperatura e umidade do solo, ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho cultivado em consórcio. O experimento foi conduzido em Araras, SP, na safra 2017/18, em Nitossolo Vermelho, no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três consórcios de milho com: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plantas m⁻¹); MG) *Cajanus cajan* (5 plantas m⁻¹); MCG) *Crotalaria spectabilis* e *Cajanus cajan* (10 plantas m⁻¹, cinco plantas de cada adubo verde), semeados na linha do milho e três tratamentos controles: M) milho; C) *Crotalaria spectabilis* e G) *Cajanus cajan*, solteiros. As leituras das temperaturas do solo foram realizadas na linha e entrelinha de semeadura e da umidade do solo na linha de semeadura do milho, nos horários de 8, 12 e 17 horas, nos estádios fenológicos V5, V8, VT, R2, R4 e R6 do milho. As profundidades de avaliação foram 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40m. Os horários, as profundidades e as posições linha/entrelinha influenciaram a temperatura do solo, enquanto as profundidades e os estádios fenológicos influenciaram a umidade do solo. Os consórcios reduziram a temperatura do solo, principalmente o MG. Também, o MG reduziu a umidade do solo entre V8 e R2 do milho. Inserindo a *Crotalaria spectabilis* no consórcio com de milho + guandu anão, favorece o acúmulo de água na profundidade de 0,20-0,40m.

Palavras-chaves: Agricultura orgânica. Amplitude térmica. Fabaceae.

ABSTRACT - The species and density of green manure plants in the maize intercropping modify the patterns of competition and may alter soil temperature and moisture responses. The aim was to analyze the effects of *Crotalaria spectabilis* and *Cajanus cajan*, on soil temperature and moisture, along the development stages of maize cultivated in a consortium. The experiment was conducted in Araras, SP, in the 2017/18 harvest, in Nitisols (Nitossolo Vermelho), in a randomized complete block design, with four replications. The treatments consisted of three corn intercropped with: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plants m⁻¹); MG) *Cajanus cajan* (5 plants m⁻¹); MCG) *Crotalaria spectabilis* and *Cajanus cajan* (10 plants m⁻¹, five plants of each green manure), planted in the corn crop line and three control treatments: M) corn crop; C) *Crotalaria spectabilis* and G) *Cajanus cajan*, singles. Soil temperatures were measured at 8, 12 and 17 hours in the phenological stages V5, V8, VT, R2, R4 and R6. of maize. The depths of evaluation were 0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40m. Time, depth and line / interline positions influenced soil temperature, while depths and phenological stages influenced soil moisture. The consortia reduced the temperature of the soil, mainly MG. Also, the GM reduced the soil moisture between V8 and R2 of maize. Inserting *Crotalaria spectabilis* in the consortium with corn + pigeon pea, favors the accumulation of water in the depth of 0.20-0.40 m.

Key words: Organic agriculture. Thermal amplitude. Fabaceae.

INTRODUÇÃO

A consorciação é a prática que envolve o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies, durante parte considerável do ciclo produtivo, numa mesma área (KAPPES; ZANCANARO, 2016). Essa prática tem sido difundida como alternativa para a produção de palha para o sistema de semeadura direta e acúmulo de matéria orgânica no solo (CHIODEROLI *et al.*, 2012), principalmente no domínio Cerrado, onde ocorre dificuldade para produção de palhada, no outono/inverno, em função do déficit hídrico (PACHECO *et al.*, 2008).

O consórcio do milho com as fabáceas (leguminosas) beneficia os atributos físicos do solo (GARBOU; MUNKHOLM; ABDOLLAHI, 2014) e cumpre a função de cobertura (NUNES *et al.*, 2018), reduzindo as amplitudes térmicas do solo. Ainda favorece a manutenção e melhoria dos atributos químicos (HEINRICHS *et al.*, 2005; BÜCHI *et al.*, 2018) e biológicos do solo (SANTOS *et al.*, 2008), sem que a produtividade de grãos seja prejudicada (SNAPP; SURAPUR, 2018). Adequando-se, também, às premissas da produção orgânica, a qual preconiza a conservação da água, solo, ar e o incremento da biodiversidade vegetal (BRASIL, 2003). A *Crotalaria spectabilis* Roth. e o guandu anão (*Cajanus cajan* (Millsp.) L.) sobressaem-se entre as fabáceas utilizadas no consórcio com o milho (GALLO *et al.*, 2017; KAPPES; ZANCANARO, 2016).

Dentre os atributos físico-hídricos do solo, a temperatura e a umidade destacam-se pois influenciam diretamente o desenvolvimento vegetal (OLIVEIRA *et al.*, 2005; HEINRICHS *et al.*, 2005). A temperatura do solo está relacionada com os processos de interação solo-planta (GASPARIM *et al.*, 2005; LAL, 1974). Temperaturas do solo superiores a 42°C afetam negativamente as plântulas e raízes (KASPART; BLAND, 1992), promovem alterações no metabolismo da biota do solo (HEINZE *et al.*, 2017;

ZHOU *et al.*, 2013), na mineralização da matéria orgânica (CONANT *et al.*, 2011) e na evaporação da água. Enquanto que o déficit hídrico quando se estabelece na polinização e desenvolvimento inicial do grão, fase de alta exigência hídrica, reduz a produtividade do milho (WAGNER *et al.*, 2013).

As espécies de adubos verdes alteram a cobertura do solo, bem como o volume explorado pelas raízes, podendo modificar a umidade e a temperatura do solo. A raiz pivotante do guandu anão atinge profundidades de solo superior a 0,30 m, já as crotalárias são mais sensíveis a compactação do solo e concentram suas raízes na superfície (REINERT *et al.*, 2008). O milho, concentra aproximadamente 60% da densidade das raízes na profundidade 0-0,30m de solo (BASSOI, *et al.*, 1994).

A *Crotalaria spectabilis* Roth. e o guandu anão (*Cajanus cajan* (Millsp.) L.) sobressaem-se entre as fabáceas utilizadas no consórcio com o milho (GALLO *et al.*, 2017; KAPPES; ZANCANARO, 2016). O guandu anão e a *Crotalaria spectabilis* apresentam crescimento inicial lento, com baixa cobertura do solo nos primeiros estádios de desenvolvimento (ALVARENGA *et al.*, 1995; GITTI *et al.*, 2012). Ao contrário, a maior taxa de acúmulo de matéria seca do milho ocorre nos estádios iniciais do desenvolvimento (PINHO *et al.*, 2009). Dessa forma, a semeadura simultânea dos adubos verdes na linha de plantio do milho pode alterar os padrões de competição, podendo modificar o desenvolvimento do cereal.

Nesse contexto, objetivou-se analisar os efeitos da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan*, na temperatura e umidade do solo ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho cultivado em consórcio, no sistema de produção orgânico.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do estudo

O experimento foi conduzido na safra 2017/2018 no município de Araras - SP (latitude 22°21'25" sul, longitude 47°23'03" oeste, altitude de 646 metros) em um Nitossolo Vermelho Distroférrico latossólico (NVdf) de textura argilosa (YOSHIDA; STOLF, 2016), cujas características físicas estão descritas na Tabela 1, e as químicas na profundidade de 0,0-0,10 m foram: pH (em CaCl₂)= 5,4; P resina= 39 mg dm⁻³; matéria orgânica= 37 g dm⁻³; K= 4,3 mmolc dm⁻³; Ca= 34,0 mmolc dm⁻³; Mg= 11,0 mmolc dm⁻³; S= 9,0 mg dm⁻³; H + Al= 16,0 mmolc dm⁻³; soma de bases (S.B.)= 49,3 mmol c dm⁻³ e V (saturação de bases)= 75,0 %.

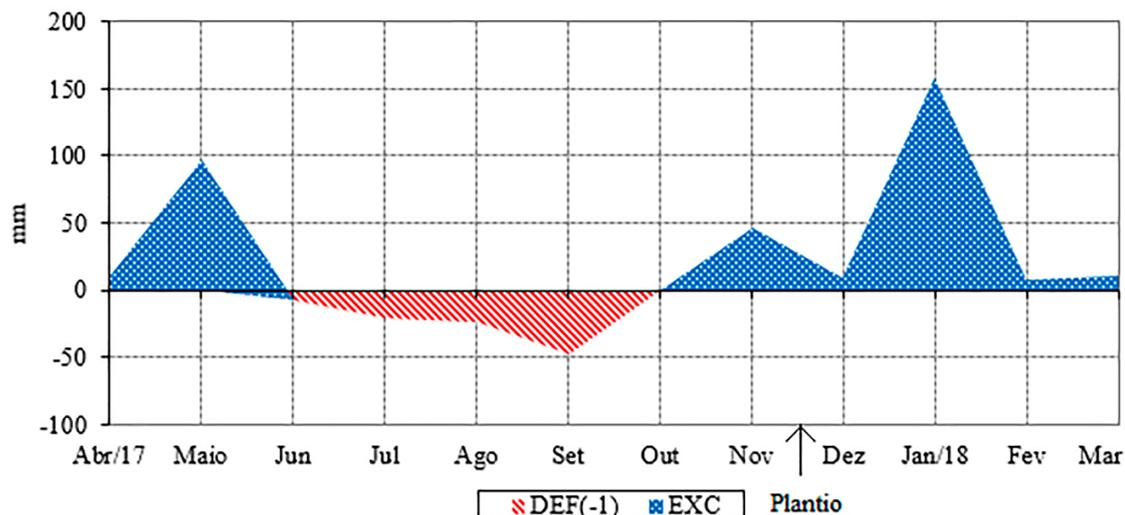
Tabela 1. Teores de argila, silte, areia, classificação textural e atributos do solo, nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, de solo do local do experimento em Araras/SP, safra 2017/18.

-----Fração granulométrica-----				-----Atributos do solo-----					
Profundidade (m)	Argila	Silte	Areia	Classe Textural	Ds	PT	Mac	Mic	Ucc
	%				g cm ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³	g g ⁻¹
0-0,10	45	15	40	Argilosa	1,23	0,55	0,23	0,32	0,24
0,10-0,20	47	16	37	Argilosa	1,41	0,48	0,15	0,32	0,24
0,20-0,40	52	12	36	Argilosa	1,35	0,5	0,16	0,34	0,24

Ds, densidade do solo; PT, porosidade total; Mac, macroporosidade; Mic, microporosidade; Ucc, umidade na capacidade de campo.

Os dados da precipitação pluviométrica observados durante a condução do ensaio foram utilizados para cálculo do balanço hídrico seguindo a metodologia de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998) apresentado na Figura 1.

Figura 1. Balanço Hídrico Mensal obtidos na Estação Meteorológica Automática – E.M.A da UFSCar – Centro de Ciências Agrárias, Araras/ SP, safra 2017/18.



Valores de deficiência hídrica (DEF) e excedente (EXC). Indicação da data de plantio dos sistemas de cultivo.

A área experimental vem sendo conduzida em sistema orgânico há nove anos. Nas safras de verão, cultivava-se milho em consórcio com adubos verdes. Desde então, já foram utilizados feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) (2009/10, 2010/11 e 2011/12) e puerária (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth), soja perene (*Neonotonia wightii* (Wight & Arn.) e calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.) (2013/14 e 2014/15). Nas entressafras, foram realizados cultivos exclusivos de adubos verdes, como aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), crotalária (*Crotalaria ochroleuca*) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.). Na safra antecessora (2016/17) cultivou-se milho em consórcio com crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth) no verão, e aveia-branca (*Avena sativa* L.) no inverno.

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e os tratamentos consistiram em três consórcios de milho com: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plantas m^{-1}); MG) *Cajanus cajan* (5 plantas m^{-1}); MCG) *Crotalaria spectabilis* e *Cajanus cajan* (10 plantas m^{-1} , cinco plantas de cada adubo verde),

semeados na linha do milho e três tratamentos controles: M) milho; C) *Crotalaria spectabilis* e G) *Cajanus cajan* solteiros. A densidade de plantas no consórcio foi baseada no Sistema Santa Brígida (KAPPES; ZANCANARO, 2016). A parcela útil foi formada por 5 linhas de milho com 5 m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,7 m.

Instalação e condução do ensaio

O preparo do solo, foi realizado com uma operação de aração e uma de gradagem niveladora e, em seguida, no dia 16 de novembro de 2017 semeou-se o milho intervarietal AGRICOM 340 na densidade de quatro sementes por metro linear visando a população de 60.000 plantas ha⁻¹ para todos os tratamentos. O guandu anão cultivar IAPAR 43 Aratã e a *Crotalaria spectabilis* foram semeados simultaneamente ao milho, na mesma linha de plantio na densidade de 25 e 15 Kg ha⁻¹ respectivamente, desejando a população final de cinco plantas por metro.

Para a adubação utilizou-se composto orgânico comercial Visafertil®, distribuído sobre o solo, na linha de plantio, no estágio V2 (duas folhas expandidas) do milho. A dose aplicada foi de 13 t ha⁻¹. O composto orgânico apresentou: C= 13,1%; N= 1,30%; P₂O₅= 3,13%; K₂O= 1,62%; CaO= 11,11%; MgO= 0,98%; SO₄= 1,50%; Cu= 69,2 mg kg⁻¹; Fe= 561,4 mg kg⁻¹; Mn= 511,2 mg kg⁻¹; Zn= 766 mg kg⁻¹; 22,58% de matéria orgânica; 37,4% de umidade e pH=8.

O controle das plantas espontâneas foi realizado nos estádios V5 (cinco folhas expandidas) e V8 (oito folhas expandidas) do milho, com roçadeira de fio.

Temperatura e Umidade do solo

A temperatura do solo foi aferida com termômetro SOLOTERM MOD.1200, inserindo a haste metálica na profundidade de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, nas linhas e entrelinhas centrais de cada parcela. As leituras foram realizadas às 8:00, 12:00

e 17:00 horas, nos estádios fenológicos do milho: V5 (cinco folhas expandidas) 41 dias após semeadura (DAS); V8 (oito folhas expandidas) 60 DAS, onde a exigência hídrica do milho começa a crescer; VT (pendoamento) 68 DAS; R2 (grão bolha d'água) 82 DAS; R4 (grão pastoso), 96 DAS e R6 (maturidade fisiológica dos grãos), 127 DAS, determinados após 70% das plantas atingirem a respectiva fase de desenvolvimento.

A umidade do solo também foi determinada nos mesmos estádios fenológicos. Para tanto foi coletada uma amostra de solo, para cada profundidade de 0-0,10, e 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, na linha central de plantio do milho de cada parcela experimental, nos horários de 8:00, 12:00 e 17:00 horas, para cada estágio fenológico do milho. As amostras de solo foram retiradas com trado de rosca manual e armazenadas em recipiente de alumínio, impermeável. As amostras foram vedadas, mantida sob condições ambiente e posteriormente pesadas em balança semi-analítica para determinar a massa do solo úmido. Posteriormente as amostras foram secas em estufa com circulação de ar a 105°C por 24 horas e pesadas em balança semi-analítica para a determinação da massa seca do solo (EMBRAPA, 2017).

Massa de matéria seca do milho

Para a massa de matéria seca foram coletadas três plantas de milho por parcela nos estádios V4, V8 e VT (23, 58 e 64 dias após semeadura, respectivamente). As amostras foram levadas para a estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até apresentarem massa constante e, posteriormente pesadas em balança semi-analítica. A média da massa seca por planta de milho foi multiplicada pelo número de plantas de milho por hectare e os valores apresentados em kg ha⁻¹.

Massa de Matéria Seca dos Adubos Verdes

Para a determinação da massa de matéria seca dos adubos verdes nos consórcios foram coletadas a parte aérea de todas as plantas por parcela de adubos verdes presentes

em um metro linear, nos estádios fenológicos V4, V8, VT e R6 do milho (23, 58, 64 e 120 dias após semeadura, respectivamente). Posteriormente, as amostras foram levadas para a estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até apresentarem massa constante. Os valores de massa de matéria seca dos adubos verdes foram apresentados em kg ha⁻¹. A massa de matéria seca dos cultivos solteiros de guandu anão e de *Crotalaria spectabilis* também foram avaliadas nos estádios fenológicos V4, V8 VT e R6 do milho, coletando-se a parte aérea dos adubos verdes em 1 m², sem repetição.

Forma de análise dos resultados

A variável temperatura do solo foi analisada separadamente para linha e entrelinha de plantio e apresentou diferença estatística significativa para o esquema fatorial 6x3x3 com quatro repetições. Seis sistemas de cultivo (MC, MG, MCG, M, C e G), três profundidades de solo (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40m) e três horários de avaliação (08:00; 12:00; 17:00 horas). Foram utilizadas as médias das temperaturas de todos os estádios fenológicos do milho.

A variável umidade do solo foi analisada na linha de plantio e apresentou diferença estatística significativa para o esquema fatorial 6x3x6 com quatro repetições. Seis sistemas de cultivo; três profundidades do solo (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40m) e seis estádios fenológicos do milho (V5, V8, VT, R2, R4 e R6).

Os resultados de temperatura e umidade do solo, massa de matéria seca do milho e dos adubos verdes no consórcio foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. As análises foram efetuadas no software SISVAR (Versão: 5.6) para Windows (FERREIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperatura do solo

Para temperatura do solo na linha e entrelinha de plantio, as análises de variância revelaram efeitos das interações horário x profundidade do solo (Tabela 2) e horários x sistemas de cultivo (Tabela 3).

Tabela 2 – Amplitudes e Temperaturas do solo (°C) em função dos horários e profundidades de avaliação. Araras, SP, Safra 2017/18.

HORÁRIOS	PROFUNDIDADE(m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Linha de plantio			
8:00h	24,61 Aa	25,06 Bb	25,31 Bc
12:00h	24,39 Aa	24,40 Aa	24,49 Aa
17:00h	26,85 Bc	26,10 Cb	25,68 Ca
Amplitude	2,46	1,7	1,19
CV (%)	4,88	Fc= 24,585	P<0,01
Entrelinha de plantio			
8:00h	24,72 Aa	25,09 Bb	25,18 Bb
12:00h	24,60 Aa	24,52 Aa	24,59 Aa
17:00h	27,35 Bb	26,27 Ca	26,10 Ca
Amplitude	2,75	1,75	1,51
CV (%)	5,41	Fc= 38,190	P<0,01

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de significância.

As 8 horas, a temperatura do solo, tanto na linha como na entrelinha de plantio, aumenta com a profundidade. As 12 horas não houve diferença entre as profundidades de solo, na linha e entrelinha de plantio. Porém, as 17 horas, na linha de plantio, a temperatura reduziu com a profundidade do solo. Já na entrelinha a temperatura foi maior na profundidade de 0-10m e manteve-se igual nas profundidades de 0,10-0,20m e de 0,20-0,40m do solo (Tabela 2). Tanto na linha quanto na entrelinha de plantio, a maior temperatura do solo foi verificada às 17 horas em todas as profundidades avaliadas (Tabela 2). O fluxo de calor é mais intenso nas camadas superficiais do solo, ganhando ou perdendo calor mais rapidamente em função da temperatura do ar. De acordo com Dantas *et al.* (2017) há correlação positiva entre a temperatura do ar e a temperatura do solo apenas na superfície e na profundidade de 0,05-0,10 m, e correlação

negativa nas camadas inferiores (0,30 e 0,50m). Já para as camadas mais profundas, os fenômenos de condução e convecção assumem o papel principal na transferência de calor, recebendo calor durante o dia da camada superficial. Para o solo em estudo com perfil textural argiloso, homogêneo em profundidade, densidade do perfil entre 1,23 e 1,41 g cm⁻³ e umidade do solo próximas a capacidade de campo (Tabela 1), os fenômenos de condução e convecção são capazes de transferir e reter o calor em profundidade. Quanto maior o valor de densidade e umidade do solo, maior é o contato entre as partículas e o fluxo de massa, aumentando a condutividade térmica (FAROUKI, 1986; KOJIMA *et al.*, 2018). Mas esses fenômenos são mais lentos na transferência de calor provocando um atraso no aquecimento em profundidade.

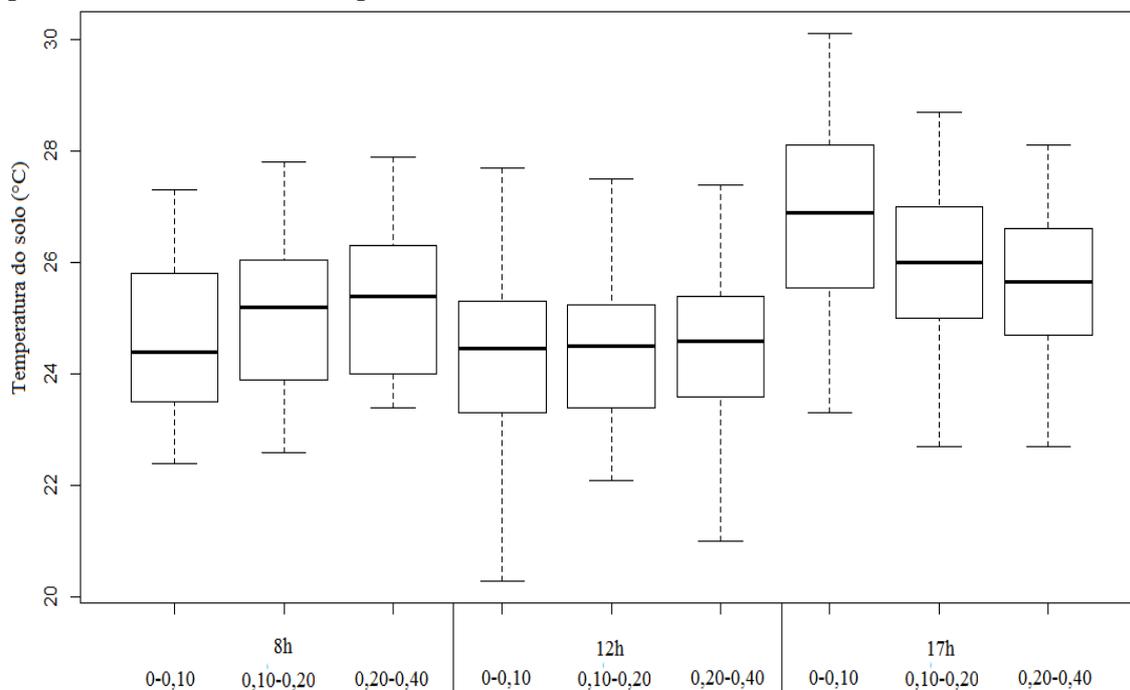
Resultados semelhantes foram verificados por Oliveira *et al.* (2005), avaliando a temperatura do solo em um Neossolo com diferentes coberturas vegetais e solo sem cobertura, concluíram que a natureza da cobertura do solo e o nível de sombreamento influenciam diretamente nas flutuações de temperatura do solo, e por Gasparim *et al.* (2005) num Latossolo Vermelho, comparando a superfície com e sem cobertura vegetal morta, concluindo que quanto maior a densidade de cobertura morta sobre o solo, menor é a variação da temperatura no seu perfil. Ambos autores, as 8 horas, verificaram os maiores valores de temperatura dos solos em profundidade. Além de resultados semelhantes para o horário das 17 horas, com os menores valores de temperatura do solo na camada mais profunda, devido a camada superficial acompanhar a temperatura ambiente, maior nesse horário. Os autores atribuem os resultados a quantidade de cobertura vegetal sob o solo e o tipo de cultura sob o solo que provoca diferenças no sombreamento. O aquecimento em profundidade foi atribuído ao maior teor de água no solo em profundidade no período chuvoso, que favorece a transferência de calor por convecção para as camadas profundas, e para o caso em estudo, a umidade do solo é

próxima a capacidade de campo de 24% em todas as profundidades analisadas, favorecendo esse fenômeno.

Para o horário das 12 horas, em função das camadas analisadas, não ocorre diferença, uma vez que o fluxo de calor entre as camadas está equilibrado, tanto na linha como entrelinha de plantio.

Já para as camadas analisadas, nos horários estudados, a superficial de 0-0,10 m, apresenta a maior amplitude térmica, tanto na linha, com 2,46°C, como na entrelinha, com 2,75°C devido ao fluxo de calor com o ar atmosférico (Tabela 2) (Figura 2 e 3).

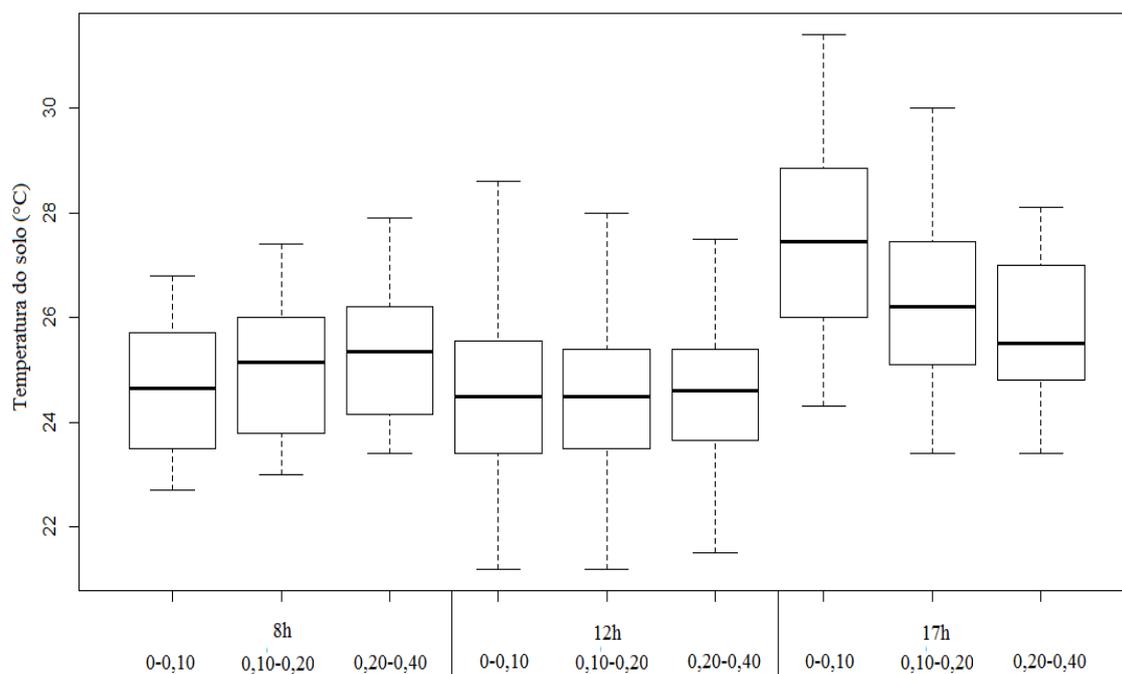
Figura 2 – BoxPlot da Temperatura do solo (°C) na linha de plantio em cada horário e profundidade (m) avaliada para todo o ciclo da cultura. Araras, SP, Safra 2017/18.



As 12 horas, quando a atmosfera está recebendo maior energia térmica pela radiação solar, a temperatura do solo reduziu aproximadamente 0,5°C nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, tanto na linha como na entrelinha de plantio, em comparação ao horário das 8:00 horas (Tabela 2) devido à cobertura vegetal que intercepta essa radiação e atrasa o aquecimento do solo comparado a locais sem cobertura. A energia

térmica líquida necessária para aquecer o solo foi suficiente apenas após as 12 horas, acarretando aumentos de aproximadamente $1,5^{\circ}\text{C}$ nos valores de temperatura as 17 horas, tanto na linha como entrelinha, em todas as profundidades (Tabela 2).

Figura 3 – BoxPlot da Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) na entrelinha de plantio em cada horário e profundidade (m) avaliada para todo o ciclo da cultura. Araras, SP, Safra 2017/18.



Analisando os efeitos dos sistemas de cultivos para a temperatura do solo dentro dos horários de avaliação, na linha de plantio, os sistemas não diferiram entre si as 8 horas (Tabela 3). Provavelmente, nesse horário, o solo recebeu pouca incidência de radiação solar, ainda não sendo possível observar diferenças bruscas.

Tabela 3 – Amplitudes e Temperatura do solo (°C) em função dos horários de avaliação e dos sistemas de cultivo. Araras, SP, Safra 2017/18.

HORÁRIOS				
Linha de Plantio				
SISTEMA	8:00h	12:00h	17:00h	Amplitude
MG	25,20 Ab	23,88 Aa	25,18 Ab	1,32
MC	24,94 Ab	24,27 Aa	26,16 Bc	1,89
MCG	24,79 Ab	24,24 Aa	26,22 Bc	1,98
M	24,95 Aa	24,32 Ab	26,54 Cc	2,22
C	25,07 Aa	25,18 Ba	26,84 Cb	1,77
G	24,97 Aa	24,82 Ba	26,79 Cb	1,97
CV (%)	4,88	Fc=5,351	P<0,01	
Entrelinha de Plantio				
MG	25,11 Bb	24,24 Aa	25,89 Ac	1,65
MC	25,23 Bb	24,52 Ba	26,14 Ac	1,62
MCG	25,04 Bb	24,51 Ba	26,67 Cc	2,16
M	24,94 Ba	24,89 Ca	27,05 Db	2,16
C	25,06 Ba	25,34 Da	27,26 Db	2,20
G	24,59 Ab	24,10 Aa	26,43 Bc	2,33
CV (%)	5,41	Fc=6,603	P<0,01	

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de significância. Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho- *Crotalaria spectabilis* -Guandu anão (MCG); Milho solteiro (M); *Crotalaria spectabilis* solteira (C); guandu anão solteiro (G).

No entanto, as 12 horas, as maiores temperaturas do solo foram observadas nos sistemas *Crotalaria spectabilis* solteira (C), e guandu anão solteiro (G) e não houve diferença entre os demais sistemas de cultivo. Também, as 17 horas as maiores temperaturas foram verificadas nos sistemas C, G e milho solteiro (M) e a menor temperatura no consórcio de milho com guandu anão (MG) (Tabela 3). Os sistemas solteiros de cultivo possuem uma produção de matéria seca menor quando comparados aos sistemas consorciados (Tabela 4), deixando os solos mais expostos a incidência da radiação solar direto no solo, o que contribuiu, de forma geral, para as maiores amplitudes térmicas dentre os sistemas de cultivo (Tabela 3).

Observando a posição da entrelinha de plantio as 8 horas, a menor temperatura registrada foi no G (Tabela 3), sem ocorrer diferenças nos demais sistemas. Já as 12 horas, a maior temperatura foi verificada no sistema C e as 17 horas nos sistemas C e M

e as menores no MG e MC (Tabela 3). Novamente, observa-se que os consórcios, em geral, proporcionaram redução das temperaturas do solo, devido a maior massa de matéria seca produzida nesses sistemas que acabam interceptando a radiação solar (Tabela 4), contribuindo para maior cobertura do solo e diminuindo a evaporação. Gitti (2012) estudando as épocas de semeadura da crotalaria em consórcio com milho, semeadas na entrelinha, encontrou produção superior de matéria seca nos consórcios de milho com *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria juncea*.

Tabela 4. Acúmulo de massa de matéria seca (kg ha^{-1}) dos adubos verdes e do milho nos diferentes sistemas de cultivo e estádios fenológicos.

ESTÁDIO				
Matéria Seca Adubos Vedes (kg ha^{-1})				
SISTEMA	V4	V8	VT	R6
MG	14,10 Ac	238,54 Ac	773,91 Ab	3812,36 Aa
MC	11,35 Ab	223,86 Ab	499,84 Ab	1949,06 Ba
MCG	9,28 Ab	341,55 Ab	644,64 Ab	2328,65 Ba
CV (%)	39,76	Fc=7,086	P<0,01	
Matéria seca Milho (kg ha^{-1})				
MG	147,2 Ab	3639,75 Ca	3756,15 Da	--
MC	274,0 Ab	8120,50 Aa	8270,55 Aa	--
MCG	239,5 Ab	5393,60 Ba	5558,85 Ca	--
M	230,5 Ab	5526,28 Ba	6356,40 Ba	--
CV (%)	27,75	Fc=3,681	P<0,01	

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de significância. Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho- *Crotalaria spectabilis* -Guandu anão (MCG); Milho solteiro (M).

Analisando a variação da temperatura do solo ao longo dos horários dentro de cada sistema, tanto na linha como na entrelinha de plantio, as maiores temperaturas do solo são observadas as 17 horas, exceto para o sistema MG na linha de plantio, onde a temperatura do solo às 17 horas é semelhante a observada as 8 horas, o qual, apresenta a menor amplitude térmica diária dentre os sistemas (Tabela 3). Provavelmente, devido a maior produção de massa de matéria seca do guandu anão nesse sistema (Tabela 4). Em condições de elevada pluviosidade, o guandu anão apresenta desenvolvimento

vegetativo vigoroso, protegendo o solo pelo acúmulo de matéria verde (ALVARENGA et al., 1995). Mesmo, sendo utilizada a variedade anã, quando o guandu é semeado em novembro e ocorre alta precipitação pluviométrica, como verificado na Figura 1, o mesmo apresenta elevado crescimento, neste caso, de 3812,36 kg ha⁻¹ no consórcio MG (Tabela 4), ultrapassando a produção de matéria seca dos cultivares normais, que de acordo com Castro e Devede (2015) alcançam 1390 kg ha⁻¹ de matéria seca, quando na densidade de 20 sementes por metro em consórcio com milho.

Umidade do solo

A análise de variância para umidade do solo, revelou efeito das interações para sistemas de cultivo x profundidade do solo (Tabela 5) e sistemas de cultivo x estádios fenológicos do milho (Tabela 6). Os sistemas consorciados e o M solteiro apresentaram valores de umidade do solo maiores na profundidade 0-0,10 m, provavelmente pela retenção de água que a matéria orgânica, concentrada nessa camada, provocou. Nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20m o sistema MG apresentou maiores valores de umidade do solo (Tabela 5).

Tabela 5 – Umidade do solo (%) em função dos sistemas de cultivo e profundidades do solo, Araras, SP, safra 2017/18.

SISTEMA	PROFUNDIDADE(m)		
	0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
MG	26,67 Dc	22,97 Bb	21,19 Aa
MC	25,12 Cc	21,76 Aa	22,58 Bb
MCG	23,24 Bb	22,09 Aa	22,92 Cb
M	25,03 Cc	22,19 Aa	23,41 Cb
C	21,84 Aa	21,54 Aa	22,17 Ba
G	21,72 Aa	21,76 Aa	23,00 Cb
CV (%)	10,02	Fc= 18,139	P<0,01

Médias com letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de significância. Consórcio de milho/Guandu anão (MG); consórcio milho/*Crotalaria spectabilis* (MC); consórcio milho/*Crotalaria spectabilis*/Guandu anão (MCG); milho solteiro (M); *Crotalaria spectabilis* solteira (C); guandu anão solteiro (G).

Já na profundidade de 0,20-0,40m o MG apresentou o menor valor de umidade do solo (Tabela 5), provavelmente devido ao estabelecimento da competição por água entre o milho e o adubo verde, os resultados podem indicar que a competição se estabelece em profundidades do solo superiores a 0,20 m. O guandu anão, possui sistema radicular vigoroso e profundo, destaca-se a raiz principal (pivotante), que pode alcançar mais de 2 m de profundidade (GODOY *et al.*, 2009; ALVARENGA *et al.*, 1996). Dela originam-se várias outras, mais finas, secundárias, localizadas principalmente nos 0,30 m de profundidade do solo (SOUZA *et al.*, 2007). Também é nessa profundidade (0,30 m) que se concentram a maior parte das raízes do milho (BASSOI, *et al.*, 1994). Apesar de não ter ocorrido déficit hídrico durante a condução do experimento (Figura 1), a competição entre o milho e o guandu anão no consórcio é provável, quando se observa a redução da massa de matéria seca do milho no consórcio com o guandu anão em comparação com os demais consórcios e ao milho solteiro (Tabela 4).

Para os sistemas M, milho+crotalária+guandu anão (MCG) e G a umidade do solo foi superior na profundidade 0,20-0,40m. A introdução da crotalária favoreceu o acúmulo de água na profundidade de 0,20-0,40 m em comparação ao MG. O sistema radicular das crotalárias concentram suas raízes na camada superficial de 0-0,20 m de profundidade (REINERT *et al.*, 2008). Assim, provavelmente estabeleceu-se uma competição entre a *C. spectabilis* com o guandu anão, reduzindo o desenvolvimento do guandu anão e favorecendo a formação de poros superficiais para infiltração de água. Tal fato corrobora com os resultados observados na Tabela 4, observando que o acúmulo de massa de matéria seca do milho no consórcio MCG é superior ao do milho em consórcio com o guandu anão, e superior ao milho solteiro até o estágio V8.

Analisando o desdobramento da interação estádios fenológicos do milho x sistemas de cultivo (Tabela 6), no estágio V5 a umidade do solo foi semelhante em todos os sistemas de cultivo (Tabela 6).

Tabela 6 - Umidade do solo (%) ao longo dos estádios fenológicos do milho nos diferentes sistemas de cultivo. Araras, SP, safra 2017/18.

SISTEMA	ESTÁDIO					
	V5	V8	VT	R2	R4	R6
MG	23,25 Ac	24,48 Ad	21,27 Bb	20,00 Ba	26,51 Be	26,00 Ce
MC	23,27 Ac	26,24 Be	21,76 Bb	19,01 Aa	24,91 Ad	23,73 Ac
MCG	22,93 Ac	24,50 Ad	19,21 Aa	20,35 Bb	24,76 Ad	24,76 Bd
M	23,73 Ab	25,84 Bc	23,40 Cb	19,43 Aa	25,58 Ac	23,38 Ab
C	22,23 Ab	24,30 Ac	19,18 Aa	18,56 Aa	24,99 Ac	---
G	22,62 Ab	23,63 Ab	19,66 Aa	19,53 Aa	25,35 Ac	---
CV (%)	10,02		Fc= 3,965		P<0,01	

Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si de acordo com o teste de Scott & Knott, em nível de 5% de significância. V5 (Cinco folhas expandidas), V8 (Oito folhas expandidas), VT (Pendoamento), R2 (Bolha d'água), R4 (Pastoso) e R6 (Maturidade fisiológica do grão); consórcio de milho/guandu anão (MG); consórcio milho/*Crotalaria spectabilis* (MC); consórcio milho/*Crotalaria spectabilis*/guandu anão (MCG); milho solteiro (M); *Crotalaria spectabilis* solteira (C); guandu anão solteiro (G).

Do estágio V5 ao V8, todos os sistemas apresentaram incremento na umidade do solo, com maior aumento em MC, seguido pelo M. Destaca-se que nesse período, houve o maior excedente hídrico do solo (Figura 1), justificando o aumento de umidade em todos os sistemas. No entanto, o maior aumento de umidade no estágio V8 para o MC e M, deve-se provavelmente à menor competição por água nesses sistemas.

Do V8 ao VT, a umidade do solo diminui em todos os sistemas. As menores umidades do solo foram observadas nos sistemas MCG, C e G, e a maior umidade no M (Tabela 6). De acordo com Allen *et al.* (1998), a duração do ciclo fenológico do milho grão, varia entre 120 e 180 dias após emergência e, a exigência hídrica é de 17% na fase 1; 28% na fase 2; 33% na fase 3 e 22% na fase 4 do ciclo total. Assim, entende-se que a maior exigência hídrica do milho ocorre entre os estádios V8 e VT, justamente onde

verificou-se a maior umidade do solo no sistema milho solteiro, fato que indica uma possível competição por água entre a Poaceae e os adubos verdes nesse período.

Já do estágio VT ao R2, os sistemas consorciados, exceto o MCG, e o M apresentam queda na umidade do solo, enquanto o C e G mantiveram a mesma umidade (Tabela 6). No R2 as maiores umidades foram observadas em MCG e MG (Tabela 6). Nesse período a exigência hídrica do milho ainda é alta (WAGNER *et al.*, 2013), e a maior umidade no solo nos sistemas MCG e MG é benéfica.

Observando o intervalo dos estádios fenológicos R2 a R6 a exigência hídrica do milho é mínima, pois aproxima-se a colheita dos grãos e, nestes as maiores umidades do solo foram verificadas no MG em R4 e para o estágio R6 no MG seguido pelo MCG (Tabela 6). Esses sistemas foram os que apresentaram a maior produção de massa de matéria seca (Figura 2) e, provavelmente em função da maior cobertura do solo, houve menor evaporação. Acrescenta-se também que aos 120 DAS a *Crotalaria spectabilis* (BRAZ *et al.*, 2015) e o guandu anão (TEODORO *et al.*, 2011) já completaram o ciclo e encontram-se em senescência.

CONCLUSÕES

1. Os sistemas consorciados apresentam as menores temperaturas quando comparados com os sistemas solteiros.
2. Provável competição por água em profundidades do solo superiores a 0,20 m entre o milho e o guandu anão, entre os estádios fenológicos V8 ao R2 do milho.
3. Inserindo a *Crotalaria spectabilis* no consórcio com de milho + guandu anão, favorece o acúmulo de água na profundidade de 0,20-0,40m.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. *et al.* Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome**, n. 56, p. 1-300, 1998.
- ALVARENGA, R. C. *et al.* Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.2, 1995.
- ALVARENGA, R. C. *et al.* Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 313–318, 1996.
- BASSOI, L.H. *et al.* Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agricola**, v. 51, n.3, p.541-548, 1994.
- BRASIL. Lei no 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p. 8, 2003.
- BRAZ, G. B. P. *et al.* Selection of herbicides targeting the use in crop systems cultivated with showy crotalaria. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 521-534, 2015.
- BÜCHI, L. *et al.* Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 256, p. 92-104, 2018.
- CASTRO, C. M.; DEVIDE, A. C. P. Cultivo Orgânico de milho verde consorciado com leguminosas. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 12, n. 1, 2015.
- CHIODEROLI, C. A. *et al.* Consórcio de *Urochloas* com milho em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.42 n.10, p.1804-1810, 2012.

CONANT, R. T. *et al.* Temperature and soil organic matter decomposition rates - synthesis of current knowledge and a way forward. **Global Change Biology**, v. 17, p. 3392–3404, 2011.

DANTAS, D. Temperatura do ar e do solo em diferentes profundidades, em Diamantina - MG **Caderno de Ciências Agrárias.**, v. 9, n. 3, p. 61–66, 2017.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. **3ª edição revista e ampliada Embrapa**, p. 47-48, 2017.

FERREIRA, D. F. Análises Estatísticas por Meio do SISVAR para Windows Versão 4.0 In: **Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**, v. 45 n. 2000, p. 255-258, 2000.

FAROUKI, O.T. Thermal Properties of Soils. **Series on Rock and Soil Mechanics**, vol. 11, 1986.

GALLO, A. de S. *et al.* Macronutrient content and accumulations in different arrangements of dwarf pigeon pea intercropped with corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 11, p. 897-904, 2017.

GARBOUT, A., L. J.; MUNKHOLM, L.; ABDOLLAHI. Tillage System and Cover Crop Effects on Soil Quality: II. Pore Characteristics. **Soil Science Society of America Journal**. n. 78, p. 271–279, 2014.

GASPARIM, E. *et al.* Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 107-115, 2005.

GITTI, D. C. *et al.* Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, v.71, n.4, p.509-517, 2012.

GODOY, R. *et al.* Evaluation of pigeon pea lines for biological soil decompaction. **International Journal of Agronomy**, 2009.

HEINRICHS, R. *et al.* Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 71-79, 2005.

HEINZE, J. *et al.* Soil temperature modifies effects of soil biota on plant growth. **Journal of Plant Ecology**, v. 10, n. 5, p. 808–821, 2017.

KAPPES, C.; ZANCANARO L. Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p. 219-234, 2015.

KASPART, C.; BLAND, W. L. Soil temperature and root growth. **Soil Science**, v. 154, n. 4, 1992.

KOJIMA *et al.* Bulk density effects on soil hydrologic and thermal characteristics: A numerical investigation. **Hydrological Processes**, v. 32, p. 2203–2216, 2018.

LAL, R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. **Plant and Soil**, v. 40, p. 129-143, 1974.

NUNES, M. R. *et al.* No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, v. 328, p. 30–43, 2018.

OLIVEIRA, M. L. *et al.* Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.535-539, 2005.

OLIVEIRA, S. S. *et al.* Difusividade térmica do solo de campina grande para dois períodos do ano. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 2, 2010.

PACHECO, L. P. *et al.* Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 815-823, 2008.

PINHO, R. G. V. *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 2, p. 157-173, 2009.

REINERT, D. J. *et al.* Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.133-137, 1998.

SANTOS, G. G. *et al.* Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.1, p.115-122, 2008.

SNAPP, S.; SURAPUR S. Rye cover crop retains nitrogen and doesn't reduce corn yields. **Soil and Tillage Research**, v. 180 p. 107-115, 2018.

SOUZA *et al.* Produção de sementes de guandu. **Embrapa Pecuária Sudeste**, 1^a edição online, 2007.

TEODORO, R. B. *et al.* Aspectos agronômicos de leguminosas para Adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 635-643, 2011.

WAGNER, M. V. *et al.* Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 170–179, 2013.

YOSHIDA, F. A.; STOLF, R. Mapeamento digital de atributos e classes de solos da UFSCar - Araras/SP. **Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2016.

ZHOU, Z. *et al.* Temperature and substrate availability regulate soil respiration in tropical mountain rainforests, Hainan Island. **Journal of Plant Ecology**, v. 6, p. 325-334, 2013.

CAPÍTULO II

Efeitos da adubação verde nos atributos físicos do solo em sistemas consorciados com milho

RESUMO - Os sistemas de preparo do solo e o uso de plantas de cobertura têm influência na estrutura do solo e nos fluxos de água e ar. Objetivou-se avaliar se o consórcio de adubos verdes, na cultura do milho orgânico, beneficia os atributos físicos do solo. O experimento foi conduzido na safra 2017/2018 no município de Araras - SP, em Nitossolo Vermelho, no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três consórcios de milho com: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plantas m⁻¹); MG) *Cajanus cajan* (5 plantas m⁻¹); MCG) *Crotalaria spectabilis* e *Cajanus cajan* (10 plantas m⁻¹, cinco plantas de cada adubo verde), semeados na linha do milho e três tratamentos controle: M) milho solteiro, CANA) cana convencional e MN) Fragmento florestal. Amostras deformadas e indeformadas do solo foram coletadas em três profundidades (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m) para determinar atributos físicos. Determinou-se a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e resistência do solo à penetração (RP). A introdução do *Cajanus cajan* no consórcio reduziu a DS na camada 0,10-0,20 m enquanto que a introdução da *C. spectabilis* reduziu na camada 0,20-0,40 m, em relação a CANA. A *C. spectabilis* fez aumentar a Mac na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m, enquanto que o *Cajanus cajan*, aumentou Mac na camada 0,10-0,20 m, em relação ao M. O uso dessas espécies em consórcio não provocou diferenças significativas para a variável resistência à penetração em nenhuma das profundidades em relação ao M.

Palavras-chaves: Sistema Orgânico. Adubo verde. Resistência do solo à penetração. Estrutura do solo

ABSTRACT - Soil preparation systems and the use of cover crops influence soil structure and water and air flows. The objective of this work was to evaluate if the green manure consortium, in the organic corn crop, benefits the physical attributes of the soil. The experiment was conducted in the 2017/2018 harvest in the city of Araras - SP, in an in Nitisols (Nitossolo Vermelho), in a randomized complete block design, with four replications. The treatments consisted of three maize consortia with: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plants m⁻¹); MG) *Cajanus cajan* (5 plants m⁻¹); MCG) *Crotalaria spectabilis* and *Cajanus cajan* (10 plants m⁻¹, five plants of each green manure), planted in the maize line and three control treatments: M) single corn, CANA) conventional cane and MN) forest fragment. Deformed and undisturbed soil samples were collected between March and June in three depths (0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m) to determine physical attributes. Bulk density (DS), total porosity (PT), macroporosity (Mac), microporosity (Mic) and soil penetration resistance (PR) were determined. The introduction of the *Cajanus cajan* in the consortium reduced the SD in the layer 0,10-0,20 m while the introduction of the *C. spectabilis* reduced in the layer 0,20-0,40 m, in relation to the CANA. *C. spectabilis* increased the Mac in the 0-0.10 layer and 0.10-0.20 m, while the *Cajanus cajan* increased Mac in the 0.10-0.20 m layer, in relation to M. The systems consorted and the M did not present significant differences for the variable resistance to penetration in none of the depths.

Key words: Organic system. Green manures. Soil penetration resistance. Soil structure

INTRODUÇÃO

O uso de adubos verdes e de manejos alternativos nos sistemas de produção agrícola tem como uma das finalidades prover melhorias nos atributos físicos do solo, antes prejudicados por manejos convencionais.

Solos submetidos à manejos convencionais podem apresentar camadas compactadas (CUNHA *et al.*, 2011), rompimento dos agregados do solo (SILVA *et al.*, 2016), aumento da densidade do solo (SOUZA *et al.*, 2014) e redução da infiltração e da condutividade hidráulica do solo (SOBRINHO *et al.*, 2003). Entretanto podem ser recuperados com a adoção de manejos que introduzem espécies com diversificada exploração radicular e aérea (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

Os atributos físicos do solo como resistência do solo à penetração (FOLONI; CALONEGO; LIMA, 2003), densidade do solo (CALONEGO; BORGHI; CRUSCIOL, 2011) e porosidade total (CHIODEROLI *et al.*, 2012) são responsáveis por fornecerem condições adequadas para o desenvolvimento das plantas, portanto são alguns indicadores da condição do solo.

Com isso, esses indicadores de qualidade física do solo evidenciam a necessidade de sistemas alternativos, como agricultura orgânica, que favoreçam a estruturação do solo, o aumento da matéria orgânica, a estabilidade dos agregados e o melhor equilíbrio entre macro e microporos do solo ao longo do tempo (PAPADOPOULOS *et al* 2013).

Alternativamente, a consorciação é a prática que envolve o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies, durante parte considerável do ciclo produtivo, numa mesma área (KAPPES; ZANCANARO, 2015), favorecendo a manutenção e melhoria dos atributos químicos (HEINRICHS *et al*, 2005; BÜCHI *et al.*, 2018), físicos (GARBOUT; MUNKHOLM; ABDOLLAHI, 2014) e biológicos do solo (SANTOS *et al.*, 2008), adequando-se também às premissas da produção orgânica, a qual preconiza a

conservação da água, solo e o incremento da biodiversidade vegetal (BRASIL, 2003), controlando os processos de erosão e diminuindo a perda de solo (LIMA *et al.*, 2014).

Outras vantagens do cultivo em consórcio estão na diversidade de exploração do perfil do solo pelos sistemas radiculares das plantas de cobertura, favorecendo a infiltração de água e promovendo a aeração (MENDONÇA *et al.*, 2013). O consórcio do milho com as Fabáceas (leguminosas) pode cumprir a função de cobertura do solo (NUNES *et al.*, 2018), sem que a produtividade de grãos seja prejudicada (SNAPP; SURAPUR, 2018).

A *Crotalaria spectabilis* Roth. e o guandu anão (*Cajanus cajan* (Millsp.) L.) sobressaem-se entre as fabáceas utilizadas no consórcio com o milho (GALLO *et al.*, 2017; KAPPES; ZANCANARO, 2015). O guandu anão apresenta sistema radicular bem distribuído até profundidade de 0,30 m, já as crotalárias são mais sensíveis à compactação do solo e concentram suas raízes secundárias até profundidade 0,20 m (REINERT *et al.*, 2008). O milho, concentra aproximadamente 60% da densidade das raízes na profundidade 0-0,30m de solo (BASSOI, *et al.*, 1994).

Portanto buscou-se responder à pergunta norteadora: O uso da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan* simultaneamente consorciados ao cultivo de milho provocam melhorias nos atributos físicos do solo?

Nesse contexto, objetivou-se analisar os efeitos da *Crotalaria spectabilis* e do *Cajanus cajan*, nos atributos físicos do solo no milho cultivado em consórcio, no sistema de produção orgânico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2017/2018 no município de Araras - SP (latitude 22°21'25" sul, longitude 47°23'03" oeste, altitude de 646 metros) em um Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico (NVdf) de textura argilosa (YOSHIDA; STOLF, 2016). O clima local, pela classificação de Köppen, é caracterizado como Cwa, apresentando verões chuvosos, com média de 1500 mm de chuva/ano e temperatura média de Abril/17 a Abril/18 de 21,8°C, apresentando a média máxima em torno de 32,5°C e mínima de 13,4°C.

A área experimental cultivava cana de açúcar desde o início do Instituto de Açúcar e Alcool (IAA) na década de 50. Entretanto vem sendo conduzida em sistema orgânico há nove anos. Nas safras de verão, cultivava-se milho em consórcio com adubos verdes. Desde então, já foram utilizados feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) (2009/10, 2010/11 e 2011/12) e puerária (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth), soja perene (*Neonotonia wightii* (Wight & Arn.)) e calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.) (2013/14 e 2014/15). Nas entressafras, foram realizados cultivos exclusivos de adubos verdes, como aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), crotalária (*Crotalaria ochroleuca*) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.). Na safra antecessora (2016/17) cultivou-se milho em consórcio com crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth) no verão, e aveia-branca (*Avena sativa* L.) no inverno. Na área do cultivo convencional de cana de açúcar, usada para comparação, nenhuma outra cultura foi plantada desde o início das atividades. A adubação orgânica utilizada na área, nesse período, tem sido realizada com composto orgânico comercial na dose de aproximadamente 13 t por hectare ano⁻¹.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e os tratamentos consistiram em três consórcios de milho com: MC) *Crotalaria spectabilis* (5 plantas m⁻¹); MG) *Cajanus cajan* (5 plantas m⁻¹); MCG) *Crotalaria*

spectabilis e *Cajanus cajan* (10 plantas m^{-1} , cinco plantas de cada adubo verde), semeados na linha do milho e o tratamento M) milho solteiro. A densidade de plantas no consórcio foi baseada no Sistema Santa Brígida (KAPPES; ZANCANARO, 2016). A parcela experimental foi formada por 5 linhas de milho com 5 m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,7 m.

Esses sistemas de manejo foram comparados entre si e em relação a uma testemunha padrão, representada por uma Fragmento florestal (MN) e uma área sob sistema convencional com cana de açúcar (CANA), localizadas próximos as parcelas manejadas sob consórcios, com a mesma classificação de solo.

Nas parcelas de milho o preparo do solo, foi realizado com uma operação de aração e uma de gradagem niveladora e, em seguida semeou-se o milho intervarietal AGRICOM 340 na densidade de quatro sementes por metro linear visando a população de 60.000 plantas ha^{-1} . O guandu anão cultivar IAPAR 43 Aratã e a *Crotalaria spectabilis* foram semeados simultaneamente ao milho, na mesma linha de plantio na densidade de 25 e 15 $Kg\ ha^{-1}$, respectivamente, desejando a população final de cinco plantas por metro.

Em cada sistema de uso/manejo foram selecionadas, ao acaso, quatro pontos para que fossem coletadas amostras deformadas e indeformadas de solos nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, totalizando 12 amostras por tratamento.

As amostras indeformadas foram coletadas usando anéis de metal do tipo Kopeck com volume de 100 cm^3 para determinar porosidade total (PT, $cm^3\ cm^{-3}$), macroporosidade (Mac, $cm^3\ cm^{-3}$), microporosidade (Mic, $cm^3\ cm^{-3}$), densidade do solo (DS, $g\ cm^{-3}$) e resistência do solo à penetração (RP, MPa).

No laboratório, cada amostra indeformada de solo foi gradualmente saturada com água por ação capilar e depois pesada. A porosidade total (PT) foi calculada pela razão entre D_s e D_p (VOMOCIL, 1965). A microporosidade (Mic) foi estimado utilizando a mesa de tensão com potencial matricial do solo de -6 kPa e a M_{ac} foi determinado pela diferença entre PT e Mic.

A DS foi determinada pela razão entre a massa seca do solo e o volume do cilindro (GROSSMAN; REINSCH, 2002), já a densidade de partículas do solo (D_p) foi determinada em amostras deformadas pelo picnômetro de gás hélio (modelo ACCUPYC 1330, Micromeritics Instrument Corporation®) conforme Flint & Flint (2002).

A resistência do solo a penetração (RP) foi determinada utilizando um penetrômetro eletrônico de bancada (CT3 Texture Analyzer, Brookfield, Middlebore, MA), equipado com uma célula de carga de 25 kg e uma haste de metal com cone de 30°, diâmetro basal de 3,81 mm e velocidade de penetração de 10 mm min⁻¹. As medições de RP são obtidas através de um sistema automatizado de aquisição de dados. Tais medidas foram obtidas no centro de cada amostra indeformada do solo com umidade do solo equivalente a uma pressão de água de 10 kPa. Os valores de leitura utilizados para o cálculo da RP, são provenientes da porção intermediária longitudinal do anel, desconsiderando 0,01 m do extremo superior e 0,01 m do extremo inferior, seguindo os procedimentos de Imhoff *et al.* (2010).

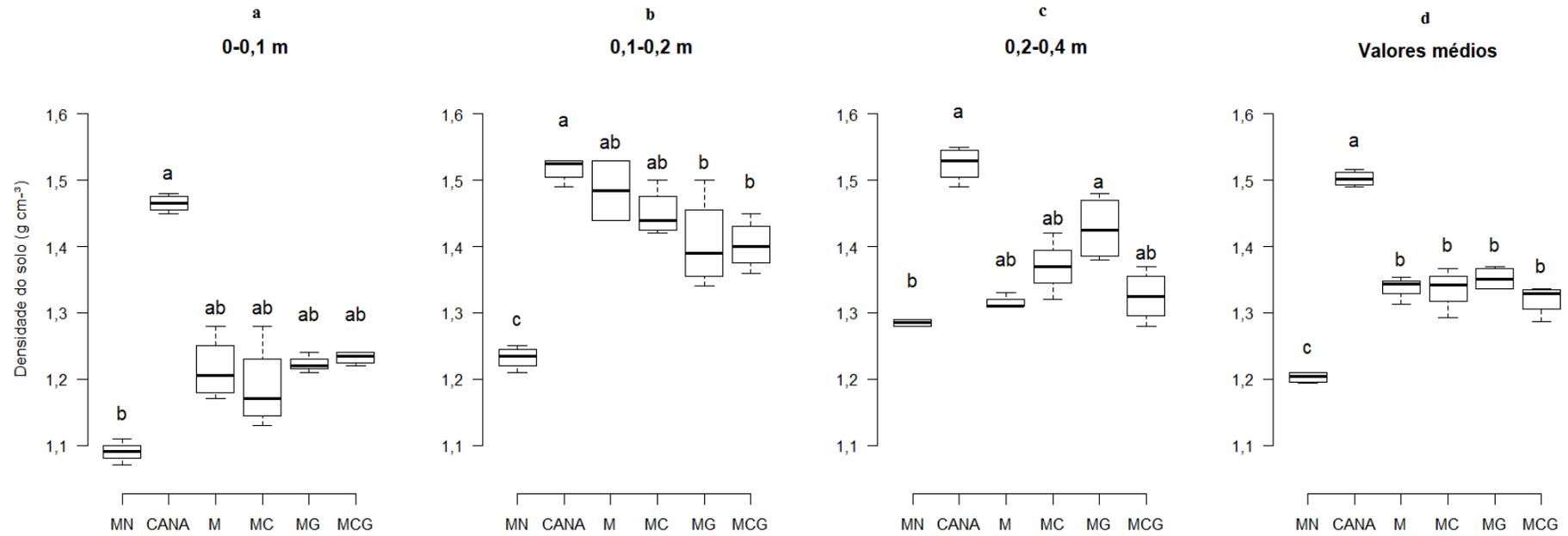
Os dados obtidos foram submetidos à análise exploratória, à análise de variância, empregando o teste não paramétrico de KRUSKAL-WALLIS, e à comparação de médias, empregando teste de Man-Whitney, com 5% de probabilidade. Para comparar simultaneamente os atributos físicos do solo entre os diferentes usos e manejos, foi

realizada uma análise de componentes principais (ACP), para os dados padronizados. Todas as análises foram feitas em ambiente R (R Core Team, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as análises dos dados de DS os resultados indicam diferenças estatísticas entre os sistemas de produção e MN (Figura 1). Todas DS foram inferiores ao valor de $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$, considerado limitante para culturas anuais como o milho em solos com 200 a 550 g kg⁻¹ de argila, no Sul do Brasil (REICHERT *et al.*, 2003). Já para *C. spectabilis*, valores de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ de DS (PACHECO *et al.*, 2015) e $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$ para o guandu anão (REINERT *et al.*, 2008), apresentam restrições.

Figura 1. Densidade do solo (g cm^{-3}) para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.



Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si entre os sistemas de uso e manejo dentro de cada profundidade pelo teste de Man-Whitney, em nível de 5% de significância. Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* -Guandu anão (MCG);

O sistema CANA foi o único que se diferiu da MN nas três camadas, com 1,47, 1,52 e 1,53 g cm⁻³ respectivamente (Figura 1-a; b; c). A avaliação dos atributos físicos em Latossolo Vermelho de textura argilosa, cultivado com cana-planta em plantio direto e preparo reduzido e com amostragem em função das épocas (PP: Pós - preparo do solo; PA: Pós - aplicação de produtos fitossanitários), encontrou aumento da densidade do solo, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m com valores de 1,50 g cm⁻³ devido ao tráfego de máquinas para tratos culturais (ARCOVERDE *et al.*, 2019).

Os sistemas consorciados não se diferiram nem da MN, nem da CANA, na camada superficial 0-0,10 m, tendo comportamento como sistemas de produção intermediários. Entretanto os valores de DS nos consórcios estão mais próximos da MN, não apresentando compactação, já que para este tipo de solo um valor de 1,55 g cm⁻³ seria limitando para o desenvolvimento do sistema radicular (Figura 1-a). Analisando atributos físicos do solo nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, o cultivo de milho consorciado ou não com feijão-caupi, guandu anão e mucuna-preta, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, apresentou potencial de melhorias em atributos físicos do solo, influenciando positivamente a profundidade superficial de 0-0,05 m, diferindo na DS de 1,59 g cm⁻³ da amostragem inicial para 1,44 g cm⁻³ ao final do ciclo (CHIEZA *et al.*, 2013).

Já para a camada 0,10-0,20 m, todos os sistemas de produção apresentam valores maiores em relação à MN, de 1,23 g cm⁻³, porém, dentre os sistemas consorciados, o MG, com 1,41 g cm⁻³ e MCG, com 1,40 g cm⁻³ apresentaram valores menores que da CANA, 1,52 g cm⁻³ (Figura 1-b). Portanto a introdução do guandu anão provocou uma redução de aproximadamente 8% nos valores em relação à CANA. Nessa camada, os consórcios com crotalária apresentaram DS acima do valor prejudicial de 1,4 g cm⁻³

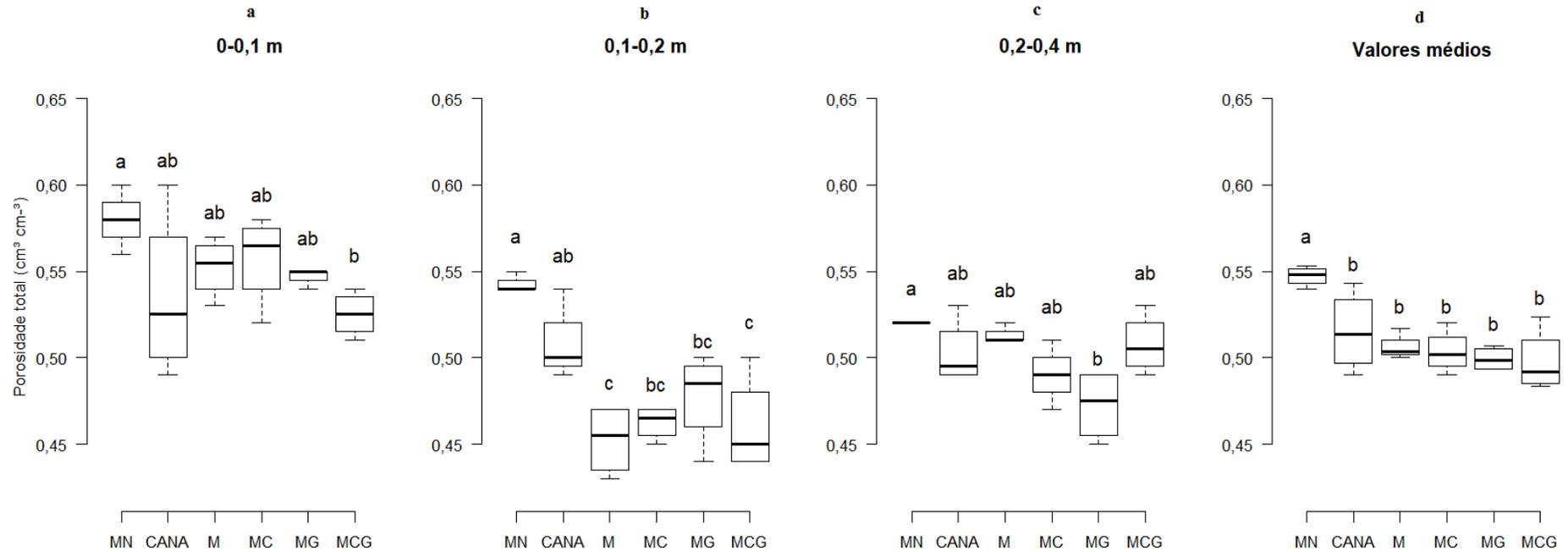
para essa espécie (PACHECO *et al.*, 2015), o que pode ter alterado seu desenvolvimento e seu efeito na redução da DS.

Na camada mais profunda analisada, de 0,20-0,40, apenas a CANA, $1,53 \text{ g cm}^{-3}$ e o MG, $1,43 \text{ g cm}^{-3}$, apresentaram DS maior em relação à MN (Figura 1-c). Apesar do sistema radicular do guandu não se desenvolver bem até camada 0,30 m e da crotalária 0-0,20 m de profundidade (REINERT *et al.*, 2008), a utilização da crotalária em vez do guandu não no consórcio possibilitou valores semelhantes ao da MN, mostrando comportamento diferente quando submetidas ao consórcio com o milho. Entretanto não houve diferenças entre os consórcios e o M solteiro, possivelmente sendo necessário monitoramento a médio e longo prazo para diferenciar os consórcios.

Através dos valores das médias de DS o manejo orgânico apresentou melhorias em relação ao sistema CANA, uma vez que anteriormente essa área era apenas cultivada com a cultura da cana de açúcar com manejo convencional. Com isso fica evidente o poder de resiliência da estrutura do solo, vendo a tendência da aproximação aos valores da MN (Figura 1-d).

O sistema MN está sempre entre os menores valores de DS e Mic e maiores valores de Mac e PT (Figura 2 e 3). Por não sofrer interferências que áreas de cultivo sofrem, acaba apresentando as melhores condições. O solo sob mata, para os atributos físicos DS e Mac nas profundidades 0-10 e 0,10-0,20, em um Latossolo Vermelho, sob oito tratamentos com culturas de cobertura distintas apresentou os melhores resultados, corroborando com o presente estudo (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009).

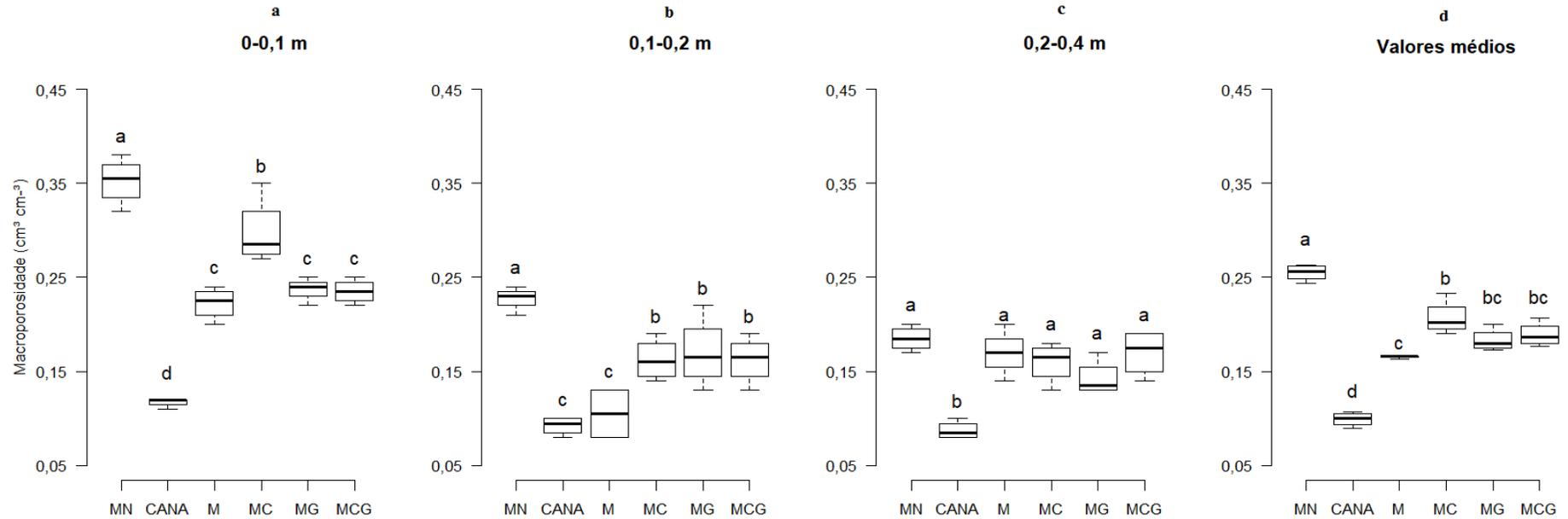
Figura 2. Porosidade total do solo para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.



Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si entre os sistemas de uso e manejo dentro de cada profundidade pelo teste de Man-Whitney, em nível de 5% de significância. Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu anão (MCG);

Para M_{ac} , valores inferiores a $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, provocam restrição do crescimento vegetal (REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007). Dentre os sistemas de cultivo, CANA é ou está entre os piores valores de M_{ic} e M_{ac} , abaixo do indicado na camada 0,10-0,20 e 0,20-0,40, com $0,09 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para M_{ac} , se igualando ao sistema M na camada 0,10-0,20 m (Figura 2-b;c), provavelmente pela menor exploração radicular em relação aos consórcios, uma vez que o MC apresenta valores maiores que o M solteiro na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m, de 0,30 e $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ respectivamente, e o MG na camada 0,10-0,20 m com $0,17 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 2-a;b).

Figura 3. Macroporosidade do solo para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.

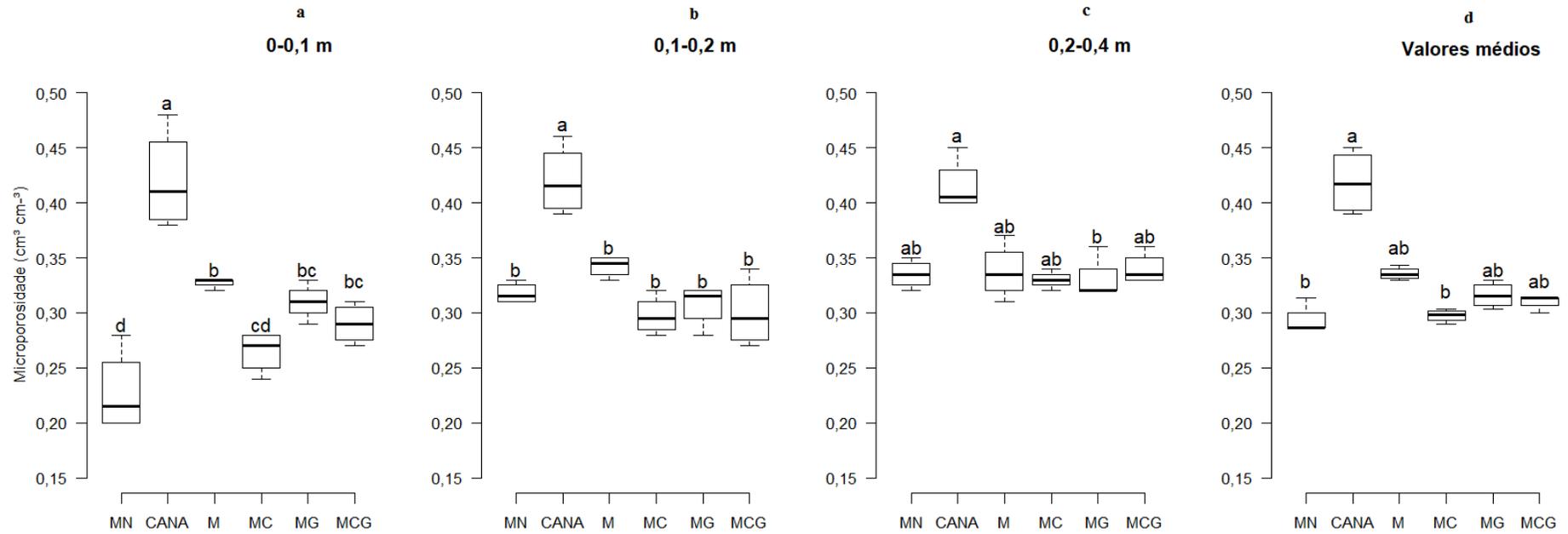


Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si entre os sistemas de uso e manejo dentro de cada profundidade pelo teste de Man-Whitney, em nível de 5% de significância. Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu anão (MCG);

A introdução da crotalária aumentou a Mac na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m (Figura 3-a; b), e diminuiu Mic na camada 0-0,10 m, em relação ao M (Figura 4-a), enquanto que o guandu anão, aumentar Mac na camada 0,10-0,20 m (Figura 3-b). Foloni *et al.* (2006) observaram que a crotalária apresentou maior potencial de formação de “bioporos” em camadas compactadas que o guandu. Portanto a crotalária consorciada com milho mostrou-se capaz de aumentar a Mac na camada superficial, perdendo seu efeito quando colocada juntamente com o guandu anão. Os efeitos de plantio em consórcio corroboram com Chioderoli *et al.* (2012) em Latossolo Vermelho, textura argilosa, estudando consorciação de milho com braquiária observaram aumento na Mac na profundidade 0–0,10 m e nas profundidades 0,0-0,10 e 0,20-0,30 m para porosidade total do solo após a implantação do consórcio.

Na camada mais profunda 0,20-0,40 m, a CANA foi a única que teve diferença significativa em relação à MN, entretanto pelos valores médios, a MN assume o maior valor de $0,26 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, seguida pelos consórcios, e pelo M e CANA (Figura 3-c;d). Segundo Silva & Kay (1997), a Mic é relativamente menos influenciada pelos manejos do solo, principalmente por ter correlação com a textura e os teores de carbono do solo. O sistema CANA, demonstrou PT equivalente a MN, entretanto fica claro que é devido à alta quantidade de Mic (Figura 4).

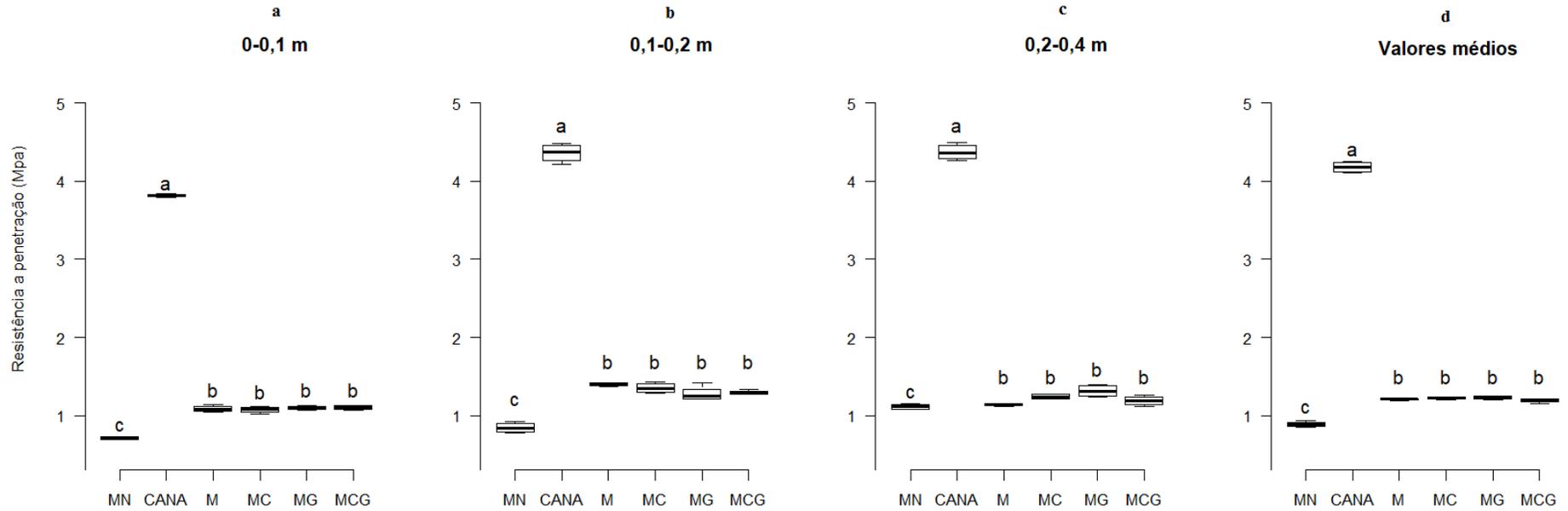
Figura 4. Microporosidade do solo para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.



Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si entre os sistemas de uso e manejo dentro de cada profundidade pelo teste de Man-Whitney, em nível de 5% de significância. Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu ano (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu ano (MCG);

A resistência à penetração mostra um cenário em que a MN se diferencia em todas as camadas de todos os sistemas com o menor valor médio de 0,89 MPa, seguida dos sistemas consorciados e do M, com valores entre 1,07 e 1,40 MPa e o maior na CANA com 4,18 MPa. Argenton *et al.* (2005) também observou menor RP em solo sob mata em relação ao solo cultivado. Ainda um aumento gradativo da RP da superfície até 0,40 m em solo sob preparo convencional e sob mata, refletindo o aumento da DS, o que não ocorreu no presente trabalho.

Figura 5. Resistência do solo à penetração para as camadas de 0-0,10 (a), 0,10-0,20 (b), 0,20-0,40 (c), valores médios (d) m.



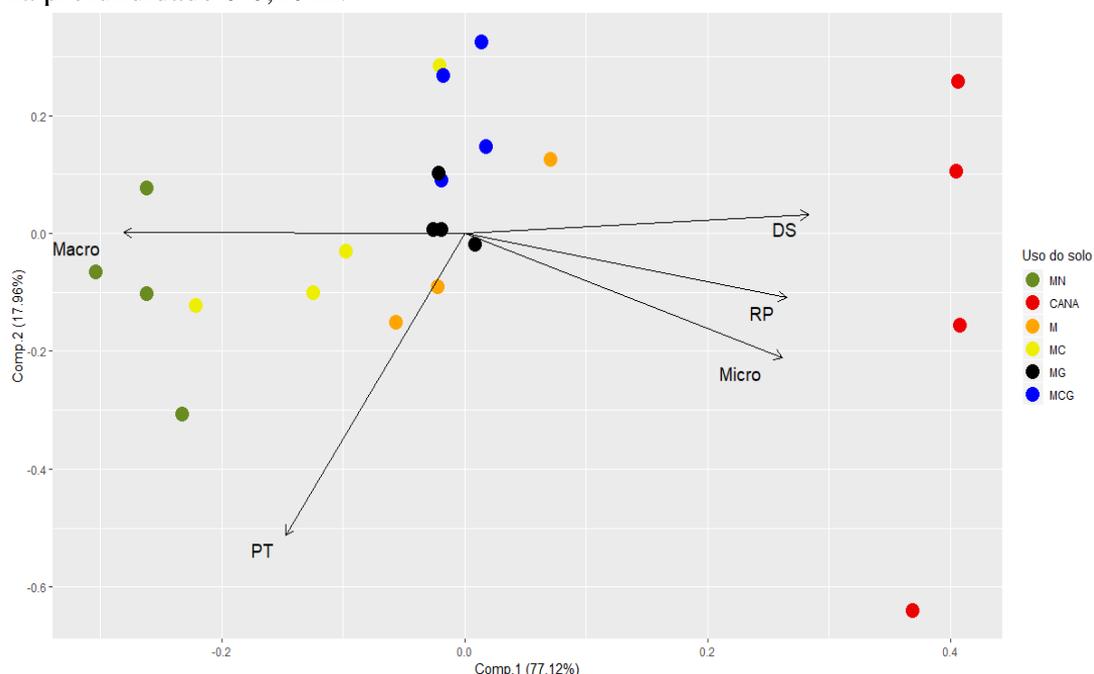
Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas, não diferem entre si entre os sistemas de uso e manejo dentro de cada profundidade pelo teste de Man-Whitney, em nível de 5% de significância. Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu anão (MCG);

Observa-se condições iguais para os consórcios e o M (Figura 5), valores esses abaixo do associado como impeditivo para o crescimento das raízes, de 2 MPa (TAYLOR; ROBERTSON; PARKER, 1966) ou em outro caso com redução de 30% no crescimento do milho (SILVA; IMHOFF; KAY, 2004), corroborando com Cunha *et al.* (2011) que estudando o consórcio de milho com *C. juncea*, guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), sorgo-vassoura (*Sorgum technicum*) em Latossolo Vermelho de textura franco-argilosa não observaram diferenças significativas entre as plantas de cobertura quanto ao seu efeito na resistência à penetração.

Entretanto as espécies em consórcio e o M solteiro demonstram a capacidade de continuar a mitigar os efeitos que o sistema da CANA causa ao solo. Cardoso *et al.* (2013) com sistemas solteiros de *C. juncea*, feijão-de-porco e milheto em Argissolo Vermelho, concluíram com 130 dias após semeadura, que as plantas de cobertura reduziram a resistência do solo à penetração de aproximadamente 3 MPa para valores abaixo de 2 MPa, restritivos ao crescimento das raízes, até a profundidade de 0,25 m.

Para investigar os atributos físicos do solo entre os diferentes tipos de uso e manejo, foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) (Figura 6, 7 e 8). Observa-se que os dois primeiros componentes explicam mais que 95% da variância dos dados e representam o padrão geral do ambiente. Os resultados da ACP demonstram três agrupamentos principais bem definidos, onde o primeiro é constituído pela CANA, o segundo pelo tratamento de M solteiro e os diferentes consórcios, seguidos pela MN.

Figura 6. Análise de componentes principais (ACP) baseados nos atributos do solo na profundidade 0-0,10 m.

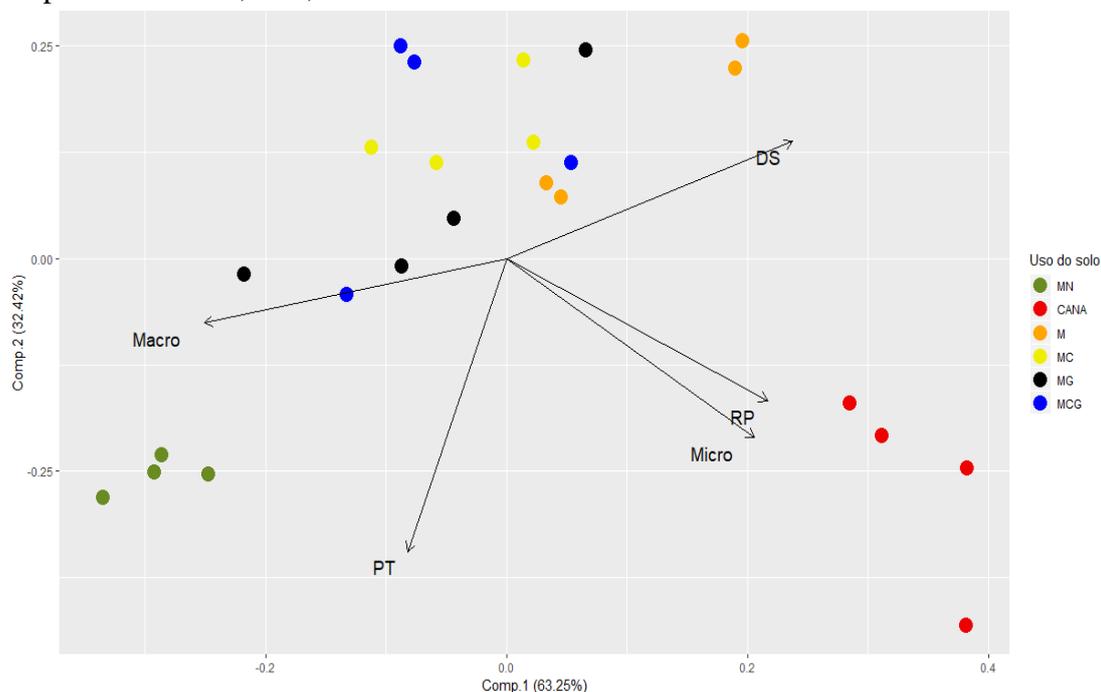


Densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e resistencia a penetração (RP) dos sistemas Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu anão (MCG); Araras/SP, safra 2017/18.

O componente 1 responde 77% da variabilidade do sistema, conseguindo diferenci-los. O sistema CANA está definido com as variáveis DS, RP e Mic, apresentando os maiores valores, variáveis essas que representam sistemas degradados. Em contrapartida a MN (Fragmento Florestal) está representada pela variável Mac que representa condições melhores para o desenvolvimento vegetal. Para a profundidade 0-0,10 m, observa-se que o sistema MC tende a se aproximar da

condição de MN, enquanto os demais sistemas se apresentam como intermediários. Portanto mesmo a área sendo cultivada anteriormente com outros consórcios, a crotalária mostrou-se eficaz na continuidade da recuperação desses atributos.

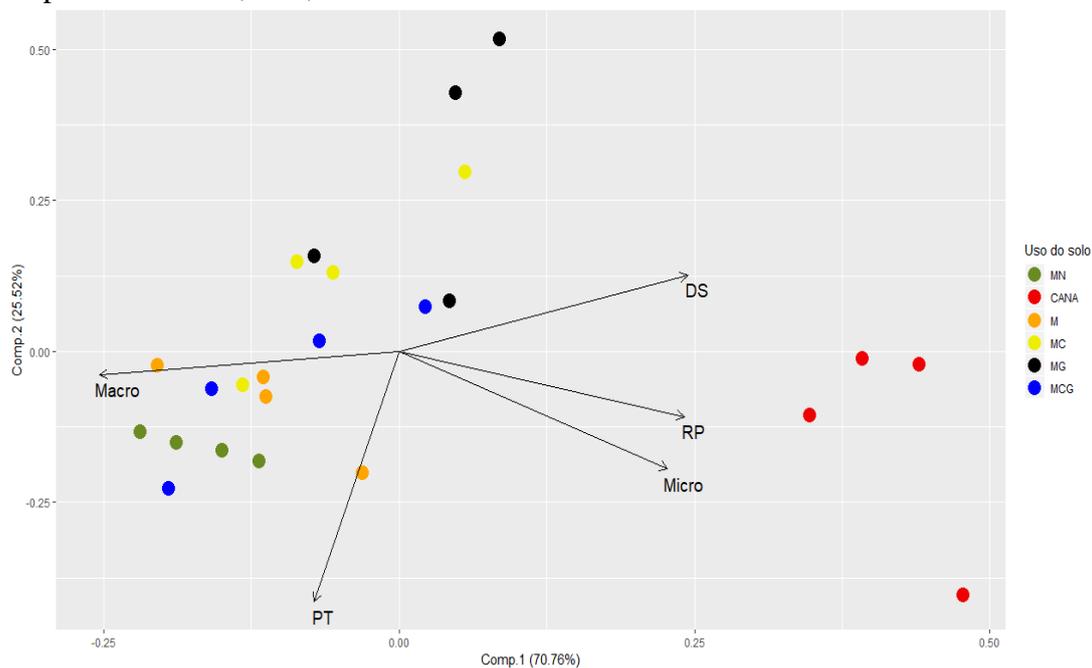
Figura 7. Análise de componentes principais (ACP) baseados nos atributos do solo na profundidade 0,10-0,20 m



Densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e resistência a penetração (RP) dos sistemas Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu anão (MCG); Araras/SP, safra 2017/18.

Para a profundidade 0,10-0,20 m já não se observa uma definição dos sistemas consorciados. Entretanto os sistemas CANA e MN ainda são representados pelas mesmas variáveis. Observa-se que o sistema M não demonstra uma tendência para condições de MN se comparados aos consórcios. Provavelmente nessa profundidade necessita-se de um tempo maior de condução do experimento para visualizar com clareza a diferenciação em grupos dentre os consórcios.

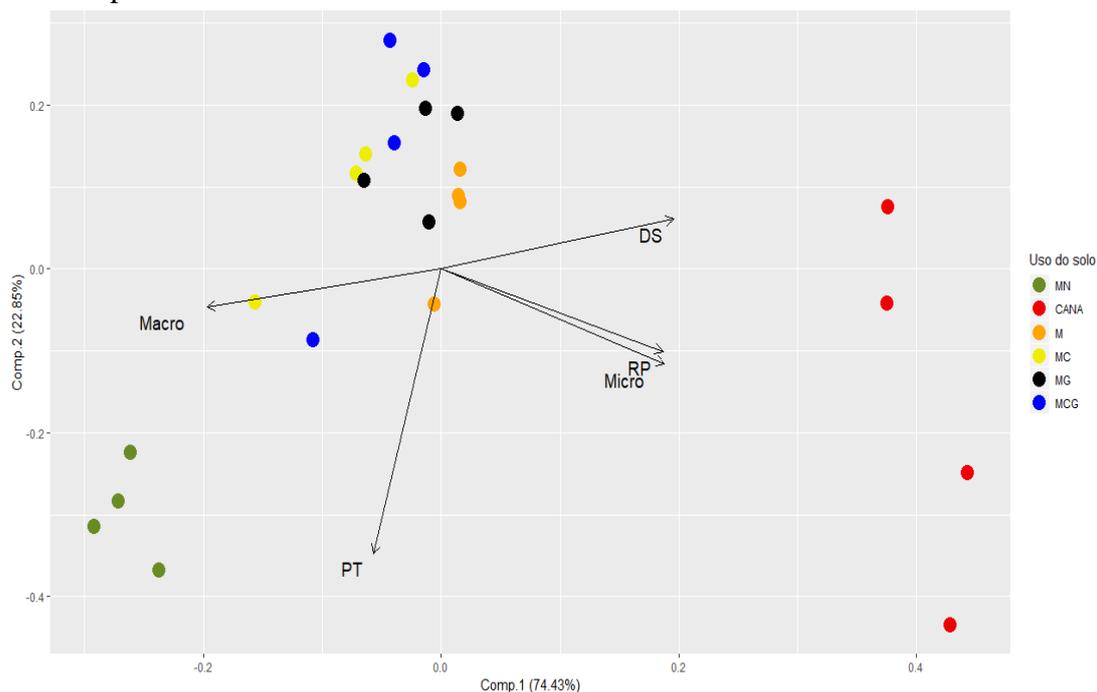
Figura 8. Análise de componentes principais (ACP) baseados nos atributos do solo na profundidade 0,20-0,40 m



Densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e resistência a penetração (RP) dos sistemas Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu anão (MCG); Araras/SP, safra 2017/18.

Na profundidade estudada de 0,20-0,40, apenas o sistema MG se mostra como intermediário, enquanto que os outros consórcios e o M solteiro se mostram em grupo com condições semelhantes à da MN. Também a CANA seguindo o mesmo padrão anterior.

Figura 9. Análise de componentes principais (ACP) baseados nos atributos do solo das três profundidades



Densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e resistência a penetração (RP) dos sistemas Fragmento florestal (MN); Cana; Milho solteiro (M); Milho- *Crotalaria spectabilis* (MC); Milho-Guandu anão (MG); Milho- *Crotalaria spectabilis* - Guandu anão (MCG); Araras/SP, safra 2017/18.

Observando os valores das médias das variáveis para as três profundidades, evidencia-se as conclusões anteriores, CANA representada por variáveis que indicam degradação do solo, sistemas do M solteiro e dos consórcios como intermediários e a MN como uma condição sem perturbação. A implantação de um manejo orgânico na área por 10 anos e a utilização de espécies de adubos verdes, no caso do estudo de *Crotalaria Spectabilis* e *Cajanus Cajan* está sendo capaz de aproximar os valores dos atributos do solo aos do Fragmento florestal, revertendo os sinais de degradação que a CANA convencional demonstrou.

Em estudo para comparação de manejo orgânico e convencional, o manejo orgânico demonstrou capacidade de redução da densidade do solo, aumento da estabilidade dos agregados e aumento de macroporos em área convertida por 5 anos. Em áreas com mais tempo de conversão os microporos foram reduzidos, levando os

autores a concluírem que os benefícios são dependentes do tempo e da escala (PAPADOPOULOS *et al* 2013). Para o estudo em questão os benefícios ainda são evidenciados pela aplicação do manejo orgânico, aproximando os valores dos atributos do solo aos do Fragmento Florestal.

CONCLUSÕES

1. A introdução do guandu anão no consórcio reduziu a densidade do solo na camada 0,10-0,20 m enquanto que a introdução da *C. Spectabilis* reduziu na camada 0,20-0,40 m, em relação aos valores do sistema CANA.
2. A introdução da *C. Spectabilis* aumentou a macroporosidade do solo na camada 0-0,10 e 0,10-0,20 m, enquanto que o *Cajanus Cajan*, aumentou macroporosidade do solo na camada 0,10-0,20 m, em relação ao M.
3. Os sistemas M e os consorciados não apresentaram diferenças significativas para a variável resistência a penetração em nenhuma das profundidades.
4. O uso das espécies *C. Spectabilis* e *Cajanus cajan* no consorcio com o milho se mostraram viáveis para aproximar os valores dos atributos do solo aos do Fragmento florestal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho fica claro que a manutenção de uma cobertura verde, e não exclusiva, sempre presente, é capaz de criar microclimas locais que favorecem a recuperação dos atributos do solo como a densidade do solo e macroporosidade, através do uso de plantas leguminosas, no caso *C. spectabilis* e *Cajanus Cajan*, além de que os consórcios sob manejo orgânico apresentaram melhorias nos atributos do solo, tendendo aos valores da Fragmento florestal, mostrando-se viáveis para a recuperação dos mesmos.

Apesar de encontrada uma provável situação de competição por água do milho com o *Cajanus Cajan*, devido ao elevado desenvolvimento vegetativo no período do estudo, os demais atributos apresentaram melhorias. Por outro lado, a *C. spectabilis*

não apresentou competição com a cultura do milho e até freou a provável competição do guandu anão quando colocamos no mesmo sistema. As duas espécies estudadas em consórcio tiveram comportamentos diferentes, sendo eficazes nas alterações dos atributos hora em uma profundidade hora em outra. Entretanto os consórcios sob manejo orgânico se mostraram viáveis na redução da densidade do solo e aumento da macroporosidade.

Para estudos posteriores sugere-se que ocorra o monitoramento das características agronômicas das espécies de adubos verdes utilizadas, quantificando a área de cobertura do solo que cada uma delas proporciona e a profundidade que se concentra o sistema radicular de cada espécie, apoiando o entendimento da eficiência das mesmas nas alterações dos atributos do solo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411–418, 2009.
- ARCOVERDE, S. N. S. et al. Atributos físicos do solo cultivado com cana-de-açúcar em função do preparo e época de amostragem. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 1, p. 41-47, 2019.
- ARGENTON, J. *et al.* Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.
- BASSOI, L.H. *et al.* Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada Latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, v. 51, n.3, p.541-548, 1994.
- BRASIL. Lei no 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Seção 1, p. 8, 2003.
- BÜCHI, L. *et al.* Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 256, p. 92-104, 2018.
- CALONEGO, J.C., BORGHI E., CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.2183-2190, 2011.
- CARDOSO, D. P. et al. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 375-382, 2013.

CHIEZA, E. D. *et al.* Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 37, p. 1393–1401, 2013.

CHIODEROLI, C. A. *et al.* Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 37–43, 2012.

CUNHA E. Q. *et al.* Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011.

FOLONI, J. S. S., CALONEGO, J. C. E LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FOLONI, J. S. S. *et al.* Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 49-57, 2006.

GALLO, A. de S. *et al.* Macronutrient content and accumulations in different arrangements of dwarf pigeon pea intercropped with corn. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 11, p. 897-904, 2017.

GARBOUT, A., L. J.; MUNKHOLM, L.; ABDOLLAHI. Tillage System and Cover Crop Effects on Soil Quality: II. Pore Characteristics. **Soil Science Society of America Journal**. n. 78, p. 271–279, 2014.

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, C. Methods of soil analysis, physical methods. Madison: **Soil Science Society of America**, v. 4, p.201-228, 2002.

HEINRICHS, R. *et al.* Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 71-79, 2005.

KAPPES, C.; ZANCANARO L. Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p. 219-234, 2015.

LIMA, P. L. T. *et al.* Soil loss by water erosion in areas under maize and jack beans intercropped and monocultures. **Ciência E Agrotecnologia**, v. 38, p. 129–139, 2014.

MENDONÇA, V. Z. *et al.* Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v 37, p. 251-25, 2013.

NETO, E. L. S. *et al.* Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.2, p.255-260, 2008.

PACHECO, L. P. *et al.* Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa. Agropecuária. Tropical**, v.45 n .4, 2015.

PAPADOPOULOS, A. *et al.* Does organic management lead to enhanced soil physical quality? **Geoderma**, v. 213, p. 435–443, 2014.

NUNES, M. R. *et al.* No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, v. 328, p. 30–43, 2018.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.) Tópicos em ciência do solo. 5.ed. Viçosa: SBCS, 2007. p.49-134.

REINERT, D. J. *et al.* Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

ROSSETTI KV, CENTURION JF. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.472–479, 2013.

SILVA, A. N. *et al.* Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 1623-1629, 2016.

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

SANTOS, G. G. *et al.* Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.1, p.115-122, 2008.

SNAPP, S.; SURAPUR S. Rye cover crop retains nitrogen and doesn't reduce corn yields. **Soil and Tillage Research**, v. 180 p. 107-115, 2018.

SOBRINHO, T. A. *et al.* Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

SOUZA G.S. *et al.* Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 135-46, 2014.

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

VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.* Madison: **American Society of Agronomy**, pt.1, p.499-510, 1965.

WOHLENBERG, E.V. *et al.* Dinâmica da agregação de um solo franco arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 891-900, 2004.