

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM LATOSSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA¹

J. P. FERREIRA², M. ANDREOTTI², I. M. PASCOALOTO^{3*}, N. R. COSTA³, J. G. AUGUSTO²

¹Recebido em 25/02/2018. Aprovado em 19/06/2018.

²Universidade Estadual Paulista-Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, SP, Brasil.

³Universidade Estadual Paulista-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, Brasil.

*Autor correspondente: isabomelina@gmail.com

RESUMO: Com o grande destaque dado para as mudanças climáticas nas últimas décadas, a busca por sistemas de cultivo sustentáveis e equilibrados tem crescido junto com a busca pela conservação do solo e redução do uso de insumos agrícolas inorgânicos. À vista disso, este trabalho teve como objetivo estudar a influência de diferentes culturas consorciadas e em sucessão nos atributos físico-químicos de um Latossolo argiloso em condições de Cerrado. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 2 x 2 e com quatro repetições: semeadura de milho em espaçamento de 0,45 m ou 0,90 m, consorciado com capim-xaraés ou capim-tanzânia, seguido da manutenção da pastagem das forrageiras na área adubadas ou não com 250 kg/ha de N (parcelados em 5 aplicações), e sucedido por soja. Foram determinados os atributos químicos e físicos do solo, resistência mecânica à penetração, umidade gravimétrica e estoque de carbono do solo em quatro épocas: antes da instalação dos consórcios, após a colheita do milho, após a dessecação das pastagens e após a colheita da soja. As parcelas com maior produtividade de matéria seca foram as que resultaram em aumento no teor de matéria orgânica e estoque de carbono do solo e maior ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas. Não houve influência do espaçamento do milho nos atributos físicos e químicos do solo. O uso de diferentes espécies simultaneamente na área resulta em redução na resistência mecânica a penetração e aumento da porosidade do solo pelo crescimento diferenciado das raízes.

Palavras-chave: *Glycine max*, Integração Lavoura-Pecuária, *Megathyrsus maximus*, *Urochloa brizantha*, *Zea mays*.

CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF AN OXISOL AT DIFFERENT CROP LIVESTOCK SYSTEMS

ABSTRACT: Because of the great emphasis on climate change in recent decades, the search for sustainable and balanced cropping systems has grown along with the search for soil conservation and reduced use of inorganic farm inputs. From this view, the research was to study the influence of different intercropping and succession in the physical and chemical attributes of a clayey Oxisol in the Cerrado conditions. The experimental design was randomized blocks with treatments: maize seeding spacing of 0.45 m or 0.90 m, intercropped with Xaraés grass or Tanzânia grass, followed by fodder pasture maintenance in the area fertilized or not with 250 kg/ha N (split in 5 applications), and succeeded by soybeans. It was determined the chemical and physical soil attributes, mechanical resistance to penetration, gravimetric humidity and stock of carbon of the soil in four periods: before installing the consortia, after the maize harvest, after drying out the pastures and after soybean harvest. The plots with higher dry matter yield were those that resulted in an increase in organic matter content, soil stock of carbon and greater cycling of nutrients from deeper layers. There was no influence of corn spacing on the physical and chemical soil properties. The use of different species simultaneously in the area results in a reduction in the penetration resistance and increase of the porosity

of the soil by differential growth of the roots.

Key words: *Glycine max*, Integrated Crop-Livestock, *Megathyrus maximus*, *Urochloa brizantha*, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos associados à escassez de áreas para expansão da agricultura, tem resultado cada vez mais na necessidade de pesquisas relacionadas ao incremento da produtividade. Um dos principais fatores limitantes da produção é a qualidade do solo cultivado, que tende a se degradar quando cultivado intensivamente sem tecnologias que conservem suas propriedades (FAO, 2003). Uma solução para esse problema é a implantação do sistema plantio direto (SPD), caracterizado pelo não revolvimento do solo e manutenção da palhada sobre sua superfície como uma barreira física de proteção e fonte química de nutrientes, sendo uma prática conservacionista que permite a manutenção da estrutura do solo e o aumento no aporte de matéria orgânica (LOSS et al., 2011), favorecendo um ambiente edáfico biologicamente mais ativo que outros sistemas de cultivo (SILVA et al., 2011), além de permitir o uso mais racional da propriedade e a diversificação da produção (MACEDO, 2009).

A utilização de plantas de cobertura em SPD é considerada uma alternativa para manter a sustentabilidade da agricultura, pelo aumento na fertilidade dos solos e restauração de grandes quantidades de nutrientes às culturas (NASCENTE et al., 2015).

Diversos estudos mostram que a palhada do SPD pode levar a aumentos significativos de conteúdos de fósforo, potássio (CRUSCIOL et al., 2010), cálcio e magnésio (FALLEIRO et al., 2003) e micronutrientes como zinco, manganês, ferro e cobre (FRANZLUEBBERS E HONS, 1996), além de melhorias na capacidade de troca catiônica, matéria orgânica (CRUSCIOL et al., 2010) e aumento de pH (CUNHA et al., 2011).

GUIMARÃES et al., (2013) relacionaram a degradação física do solo às perdas da matéria orgânica e da estruturação. Para SIX et al. (2004) o teor de matéria orgânica altera os atributos físicos do solo pela reação com compostos inorgânicos, resultando na formação de agregados. Além disso, o SPD pode alterar não só o teor de matéria orgânica

do solo como também o crescimento de raízes e da microbiota (MBAGWU E PICCOLO, 1989), resultando em melhorias nos atributos físicos do solo.

Contudo, cada espécie interage de forma diferente com o ambiente à sua volta devido à sua capacidade produtiva, ao tipo de sistema radicular e parte aérea, às exigências nutricionais e à eficiência de absorção de água e nutrientes e, portanto, é possível maximizar as melhorias espaciais do SPD pela escolha correta das espécies (PARIZ et al., 2009). Nesta linha de pesquisa, NASCENTE et al. (2015) enfatizaram a importância da condução de pesquisas para determinar a contribuição de diferentes espécies vegetais como espécies de cobertura, visando uma implantação mais consciente de sistemas de agricultura conservacionista.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi estudar o efeito de diferentes culturas consorciadas e em sucessão em SPD sobre os atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, em condições de Cerrado sob sistema de integração lavoura-pecuária.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em dois anos agrícolas consecutivos em área irrigada por pivô central inserida no bioma Cerrado, pertencente ao setor de produção vegetal da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), município de Selvíria, MS, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP (20°18'S e 51°22'W, altitude de 370 m). O tipo climático da região é classificado por Köppen como Aw, com verões chuvosos e invernos secos. A caracterização climática durante a condução do experimento encontra-se nas Figuras 1, 2 e 3, resultado da coleta diária dos dados na estação meteorológica situada na FEPE.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), com histórico de cultivo de 9 anos sob sistema de plantio direto. Foram realizadas 4 coletas de solo: 1- amostragem de 20 pontos aleatórios na área experimental com

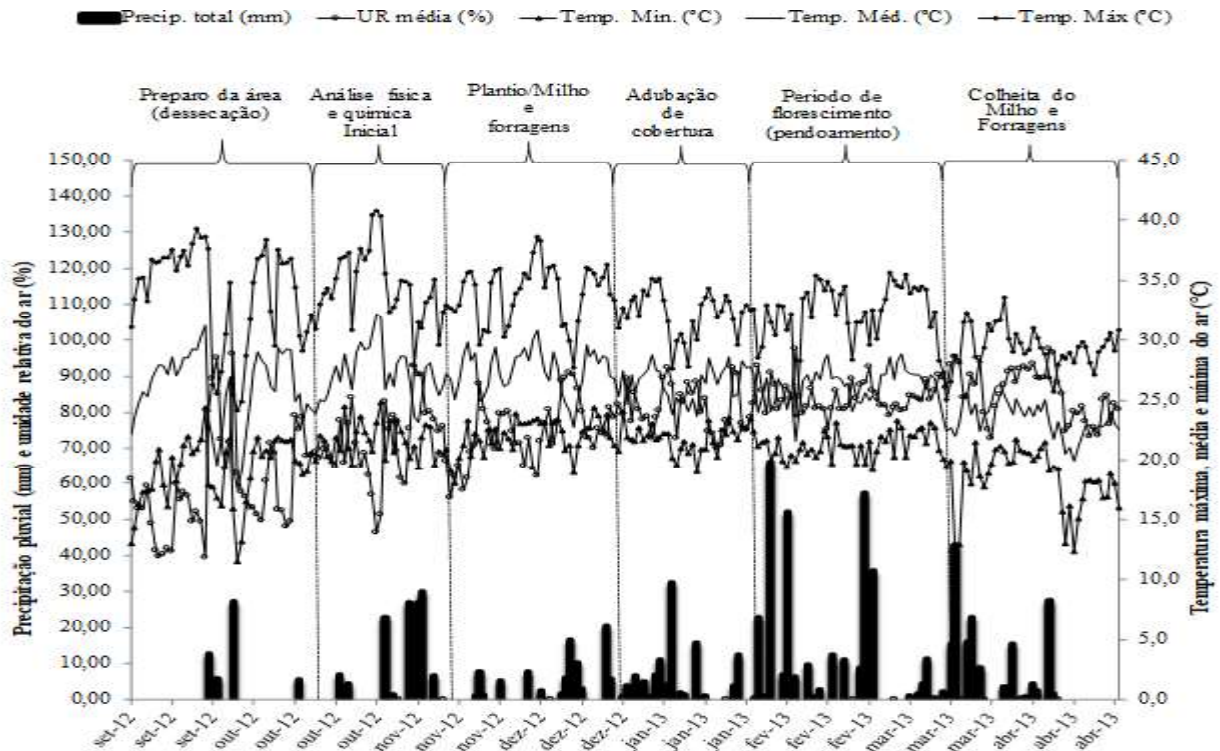


Figura 1. Dados climatológicos em decêndios entre a instalação do experimento até a colheita de grãos de milho.

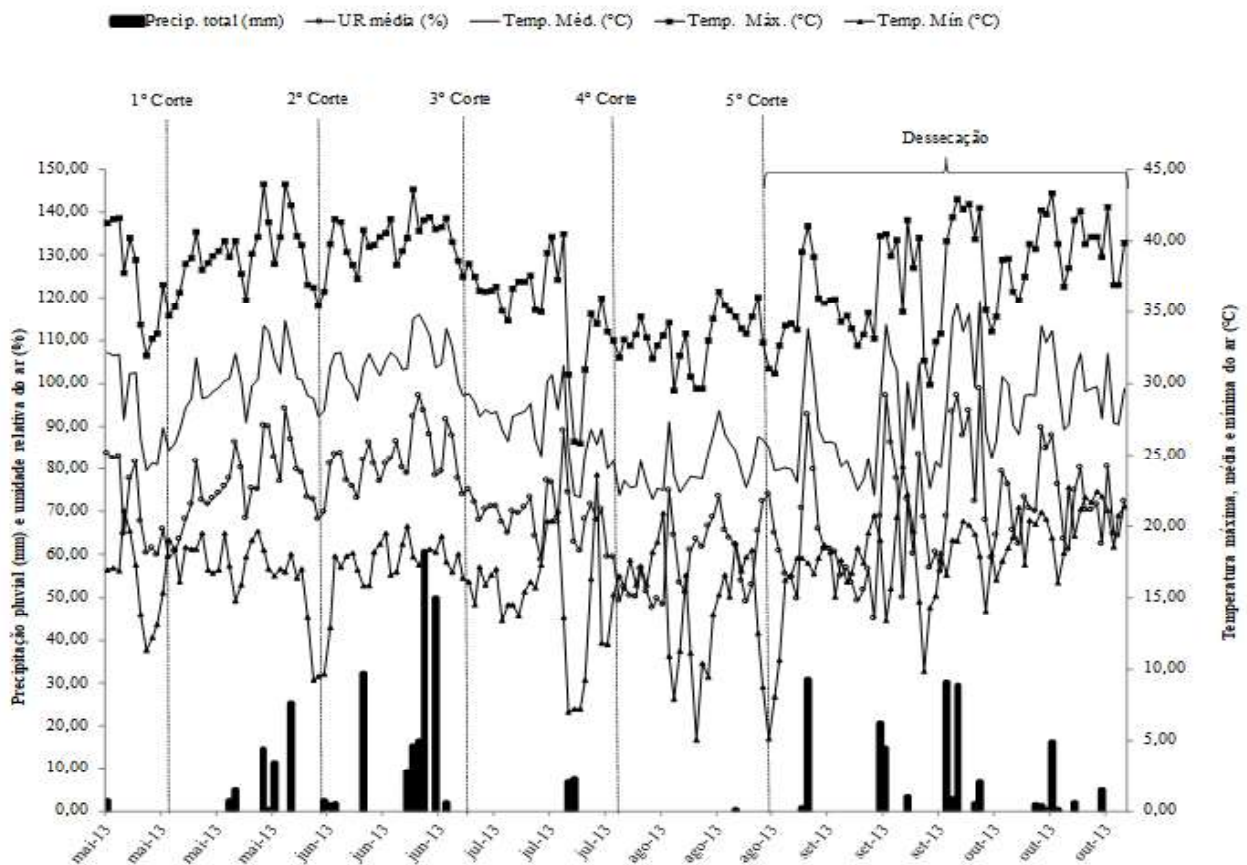


Figura 2. Dados climatológicos em decêndios durante os 5 cortes das forragens e antes da sementeira da soja em sucessão.

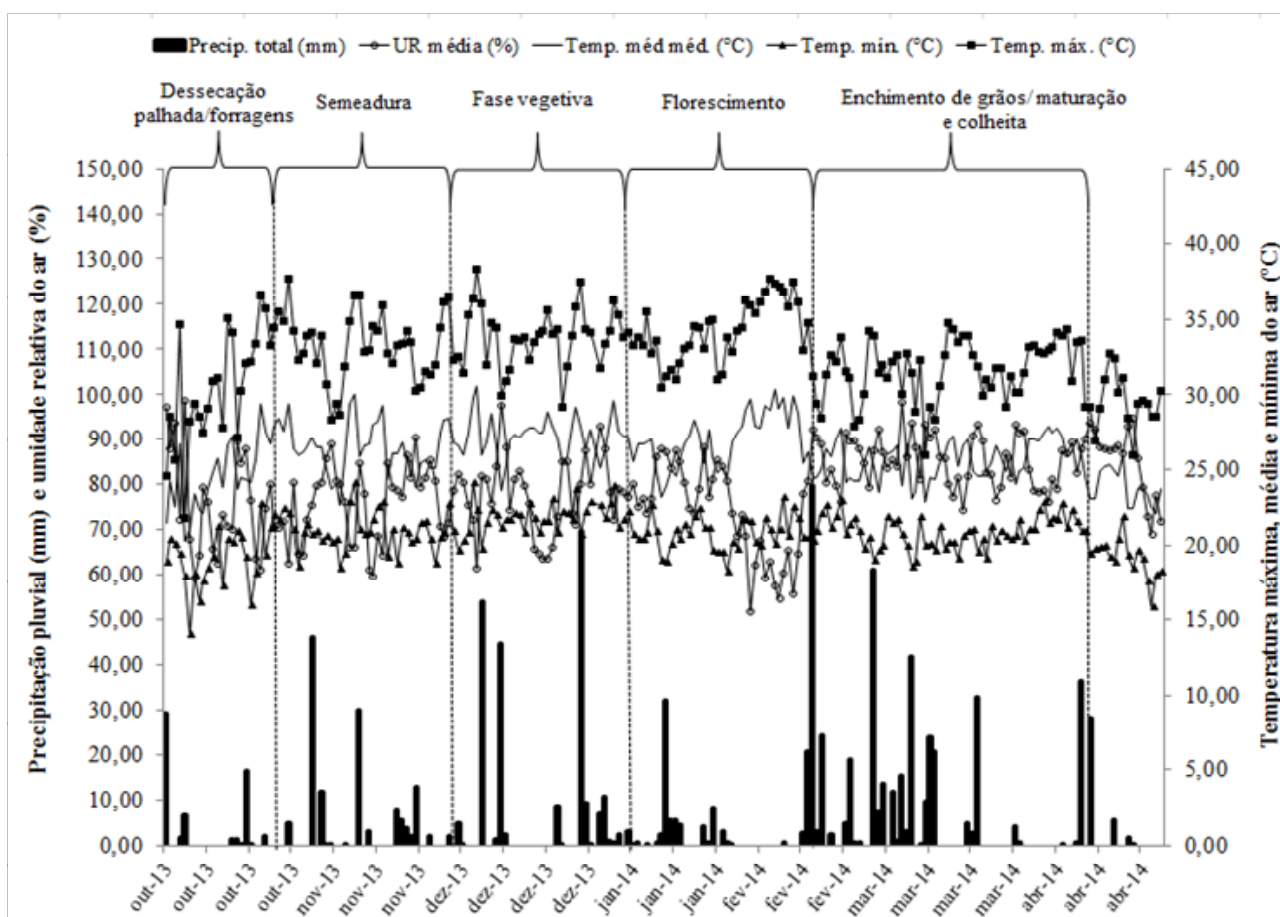


Figura 3. Dados climatológicos em decêndios durante a condução da soja após manejo da palhada dos capins. Selvíria - MS (2014).

o intuito de caracterizar química e fisicamente o solo antes da semeadura dos consórcios; 2- após a colheita do milho para grãos; 3- coleta imediatamente após o quinto corte das forrageiras e antes da dessecação para formação de palhada e 4- coleta após a colheita dos grãos de soja. Nas três últimas amostragens foram selecionados cinco pontos aleatórios dentro de cada parcela experimental.

A análise química foi realizada pela coleta de amostras deformadas com o trado rosca nas camadas de 0 — 0,10 e 0,10 — 0,20 m, segundo metodologia proposta por RAJ et al., (2001). A caracterização física do solo foi realizada pela coleta de amostras indeformadas nas mesmas profundidades da caracterização química pelo método do anel volumétrico e da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997) e a resistência mecânica à penetração foi mensurada nas camadas 0 — 0,10, 0,10 — 0,20 e 0,20 — 0,40 m com o penetrômetro de impacto (STOLF, 1991), efetuando-se o controle da leitura da resistência pela coleta da respectiva umidade

gravimétrica do solo. Os estoques de C foram calculados a partir da equação de BERNOUX et al., (1998), definida a seguir:

$$E = D_s \times h \times C$$

em que E é o estoque de carbono do solo (t/ha); D_s , a densidade do solo (kg/dm^3); h, a espessura da camada amostrada (cm); e C, o teor de carbono do solo (g/dm^3).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$ e com quatro repetições, sendo os tratamentos (Tabela 1) constituídos por dois espaçamentos (0,45 e 0,90 m), dois consórcios (milho com *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e milho com *Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia), seguido da manutenção da pastagem das forrageiras na área, adubadas ou não com 250 kg/ha de N (parcelados em 5 aplicações), e sucedido por soja.

O milho (híbrido simples AG 8088 YG) foi semeado em 19/11/2012, após prévia dessecação da flora daninha da área com Glyphosate (1,44 kg/ha do ingrediente ativo (i.a.)), com uma semeadora-adubadora com

Tabela 1. Tratamentos instalados na área experimental em fatorial 2x2x2.

Tratamentos							
Milho semeado com 0,90 m entrelinhas				Milho semeado com 0,90 m entrelinhas			
Consoziado com capim xaraés		Consoziado com capim tanzânia		Consoziado com capim xaraés		Consoziado com capim tanzânia	
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Pastagem subsequente adubada com 50 kg N/ha/corte	Pastagem subsequente sem adubação nitrogenada	Pastagem subsequente adubada com 50 kg N/ha/corte	Pastagem subsequente sem adubação nitrogenada	Pastagem subsequente adubada com 50 kg N/ha/corte	Pastagem subsequente sem adubação nitrogenada	Pastagem subsequente adubada com 50 kg N/ha/corte	Pastagem subsequente sem adubação nitrogenada

mecanismo sulcador tipo haste (facão) para SPD, a uma profundidade de aproximadamente 0,03 m, com 6,0 sementes/m para o espaçamento de 0,90 m entrelinhas e 3,0 sementes/m para o espaçamento de 0,45 m. Foram adicionados ao sistema 250 kg/ha do adubo formulado 08-28-16 na adubação de semeadura e 260 kg/ha de uréia a lanço em cobertura quando as plantas apresentavam 6 folhas completamente desenvolvidas.

As parcelas foram constituídas de 7 linhas no espaçamento de 0,45 m, ambas com 21 m de comprimento. A semeadura das forrageiras (*Urochloa brizantha* cv. Xaraés e *Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia) foi realizada simultaneamente nas entrelinhas do milho, nos espaçamentos de 0,34 e 0,17 metros em milho de 0,90 e 0,45 metros entrelinhas, respectivamente. As sementes foram depositadas na profundidade de 0,05 m, utilizando 7 kg/ha de sementes puras viáveis com VC = 76 e 72% para os capins Xaraés e Tanzânia, respectivamente.

Após a colheita do milho, as duas forrageiras (Xaraés e Tanzânia) advindas das áreas dos dois espaçamentos antecessores do milho (0,45 e 0,90 m) foram mantidas na área por cinco meses, nos quais foram realizados 5 cortes

consecutivos a cada 30 dias, simulando pastejo. Os cortes foram realizados manualmente a 0,30 m do solo, com o auxílio de um facão, e a massa vegetal foi retirada da área.

As parcelas experimentais foram divididas em duas partes de mesmo tamanho, onde os tratamentos foram constituídos pela adubação com 50 kg/ha/corte de N (uréia) e pela ausência de adubação nitrogenada durante o manejo dos cortes e retirada do material vegetal da área. Após os cinco cortes foi realizada a dessecação das forrageiras da área e semeada a soja (cv. BRS Valiosa RR) em 26/11/2013, com uma semeadora-adubadora de mecanismo sulcador do tipo haste (facão) para SPD, com espaçamento de 0,45 m e aproximadamente 25 sementes/m, sem adição de adubos, mas com as sementes inoculadas com produto comercial contendo *Bradyrhizobium* spp.

Os resultados da caracterização química e física do solo foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$) e comparados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) utilizando-se do software SISVAR® (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os atributos químicos da camada

de 0 a 0,10 m, apresentados nas Tabela 2 e 3, observa-se que houve um aumento do teor

Tabela 2. Atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,10 m durante a condução do sistema de Integração Lavoura-Pecuária, em função das 3 épocas: após a colheita dos consórcios nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 m entrelinha (1), após os cortes das forrageiras remanescentes com ou sem adubação nitrogenada (0 e 50 kg/ ha/corte) (2) e após a colheita da soja semeada sobre a palhada das forrageiras (3).

	P mg/dm ³	MO g/dm ³	pH ⁽¹⁾	K mmol _c /dm ³	Ca mmol _c /dm ³	Mg mmol _c /dm ³
Análise inicial	33	25	5,1	4,10	28,00	16,01
Tratamento (T)	**	*	ns	*	ns	ns
M/capim-xaraés	15,18b	24,20b	4,82	3,57b	20,01	16,60
M/capim-tanzânia	23,19a	26,01a	4,96	4,11a	21,00	16,68
Espaçamento (ES)	ns	ns	*	ns	ns	ns
0,45 m	19,20	20,60	4,80b	3,79	19,45	15,68
0,90 m	19,27	22,06	4,98a	3,88	22,33	17,60
Dose N (kg/ha)	*	*	*	ns	ns	ns
0	17,68b	20,11b	4,80b	3,82	20,14	17,58
50	20,79a	23,12a	4,96a	3,85	21,64	15,70
Época (EP)	ns	*	ns	ns	ns	ns
1	19,09	20,90b	5,01	3,60	20,15	15,94
2	19,02	22,22a	4,96	3,87	22,66	17,52
3	19,62	20,05b	4,90	4,05	20,46	16,59
DMS	2,02	0,91	0,23	0,77	5,29	3,86
ANOVA (P>f)						
T	0,001	0,048	0,081	0,045	0,324	0,949
N	0,044	0,047	0,042	0,905	0,409	0,158
EP	0,960	0,049	0,243	0,386	0,654	0,412
ES	0,974	0,059	0,021	0,720	0,116	0,149
T x N	0,101	0,057	0,092	0,405	0,106	0,101
T x EP	0,360	0,611	0,581	0,137	0,906	0,779
T x ES	0,053	0,889	0,125	0,053	0,324	0,199
N x EP	0,452	0,127	0,282	0,552	0,569	0,296
N x ES	0,314	0,106	0,293	0,893	0,272	0,258
EP x ES	0,363	0,091	0,551	0,239	0,202	0,362
T x N x EP	0,265	0,128	0,218	0,266	0,538	0,472
T x N x ES	0,092	0,745	0,110	0,112	0,613	0,299
N x EP x ES	0,420	0,050	0,209	0,429	0,300	0,285
T x N x EP x ES	0,055	0,079	0,093	0,694	0,072	0,186
REP	0,172	0,102	0,197	0,051	0,511	0,095
Média	19,22	21,53	4,91	3,84	20,87	16,65
DMS	3,09	1,53	0,15	0,52	3,60	2,62
CV (%)	29,49	10,50	7,90	33,40	32,30	28,15

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde: **, *, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05), respectivamente. DMS: Diferença mínima significativa; CV (%): Coeficiente de variação.
⁽¹⁾ pH em CaCl₂.

Tabela 3. Atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,10 m durante a condução do sistema de Integração Lavoura-Pecuária, em função das 3 épocas: após a colheita dos consórcios nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 m entrelinha (1), após os cortes das forrageiras remanescentes com ou sem adubação nitrogenada (0 e 50 kg/ha/corte) (2) e após a colheita da soja semeada sobre a palhada das forrageiras (3).

	H+Al	Al	SB	CTC	S-SO ₄ ⁻²	V	m
	----- mmol _c / dm ³ -----				mg/dm ³	----- % -----	
Análise inicial	29,05	0	48,11	77,16	10	62,35	0
Tratamento (T)	**	*	ns	**	ns	ns	ns
M/capim-xaraés	34,60b	2,39b	40,18	74,78b	8,83	53,73	5,19
M/capim-tanzânia	40,22a	3,95a	41,79	82,01a	9,66	50,95	6,81
Espaçamento (ES)	*	ns	ns	Ns	ns	ns	ns
0,45 m	37,21a	3,83	38,92	76,13	8,68	51,12	7,05
0,90 m	34,27b	2,52	43,81	78,08	9,81	56,10	4,22
Dose N (kg/ha)	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
0	36,83	3,56	41,54	78,34a	10,10	53,00	5,54
50	37,04	2,79	41,19	78,24b	8,39	52,65	4,56
Época (EP)	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns
1	38,50	3,71	39,69	78,19	10,15	50,76	6,74
2	34,21	2,59	44,05	78,26	8,46	56,27	5,15
3	38,26	3,21	41,10	79,36	9,12	51,78	7,04
DMS	7,00	2,02	9,12	4,70	5,87	8,40	6,56
ANOVA (P>f)							
T	0,006	0,021	0,864	0,004	0,678	0,114	0,160
N	0,930	0,267	0,094	0,011	0,396	0,385	0,250
EP	0,283	0,415	0,379	0,744	0,788	0,229	0,361
ES	0,028	0,061	0,170	0,911	0,576	0,085	0,056
T x N	0,051	0,450	0,106	0,109	0,829	0,101	0,401
T x EP	0,524	0,795	0,730	0,599	0,647	0,683	0,797
T x ES	0,874	0,609	0,147	0,024	0,374	0,285	0,481
N x EP	0,271	0,377	0,293	0,760	0,248	0,153	0,384
N x ES	0,867	0,928	0,200	0,146	0,051	0,260	0,970
EP x ES	0,345	0,188	0,337	0,177	0,490	0,219	0,157
T x N x EP	0,566	0,585	0,374	0,660	0,618	0,251	0,529
T x N x ES	0,274	0,056	0,287	0,732	0,079	0,075	0,090
N x EP x ES	0,122	0,145	0,271	0,078	0,261	0,128	0,167
T x N x EP x ES	0,391	0,877	0,190	0,101	0,829	0,325	0,872
REP	0,314	0,063	0,071	0,097	0,263	0,055	0,110
Média	36,93	3,17	41,77	79,32	9,25	51,70	5,81
DMS	4,75	1,37	6,20	3,20	4,00	5,71	4,46
CV (%)	31,62	36,90	26,11	9,92	24,30	20,15	34,21

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde: **, *, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05), respectivamente. DMS: Diferença mínima significativa; CV (%): Coeficiente de variação.

Tabela 4. Produção de matéria seca das forrageiras após a colheita do milho para grãos (I) e durante os cinco cortes simulando pastejo, com ou sem adubação nitrogenada (II).

	PMS (I) kg/ha ¹
Tratamento (T)	*
M/capim-xaraés	8.172b
M/capim-tanzânia	15.730a
Espaçamento (ES)	*
0,45 m	8.709b
0,90 m	14.230a
ANOVA (P>f)	
T	0,045
ES	0,036
T x ES	0,700
Rep	0,418
Média	11.711
DMS	4.034
CV(%)	31,45
	PMS (II) kg/ha ¹
Tratamento (T)	ns
M/capim-xaraés	2.852
M/capim-tanzânia	3.455
Doses de N (kg/ha) (N)	ns
0	3.065
50	3.445
Cortes (CT)	**
1	2.304b
2	2.776b
3	2.475b
4	3.520ab
5	4.520a
ANOVA (P>f)	
T	0,062
N	0,593
CT	0,000
T x N	0,540
T x CT	0,958
N x CT	0,892
T x N x CT	0,825
Rep	0,147
Média	3.149
DMS	626,50
CV(%)	28,06

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde: **, *, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05), respectivamente. DMS: Diferença mínima significativa; CV (%): Coeficiente de variação.

de matéria orgânica e P nas parcelas com capim-tanzânia e adubadas com nitrogênio. A matéria orgânica foi maior também na amostragem realizada após a retirada do pasto da área. Tais resultados podem ser explicados pelo crescimento mais vigoroso e mais volumoso do capim do gênero *Megathyrsus* que foi intensificado pela adubação nitrogenada. SALTON et al., (2011) observaram que quanto maior o aporte de material vegetal maior será a labilidade da matéria orgânica.

O capim-tanzânia, produziu maior quantidade de biomassa (15.730 kg/ha), quando comparado ao capim-xaraés (8.172 kg/ha) (Tabela 4) e desse modo a palhada remanescente resultou em maior ciclagem do fósforo e maior aporte de material orgânico ao sistema. MORON E KIEHL (1992) ao estudar a dinâmica do fósforo no solo concluíram que a extração pelas culturas é uma das principais perdas desse elemento do sistema, portanto uma espécie capaz de reciclar o P sem a extração dele da área é interessante para a manutenção da fertilidade e redução do aporte de fertilizantes fosfatados.

Cada espécie possui uma taxa de ciclagem de nutrientes diferente (MACEDO, 2009), e a maior ciclagem de nutrientes por parte do capim-tanzânia também explica o maior teor de K nas áreas com essa gramínea, pois o K por não possuir função estrutural apresenta liberação rápida na decomposição da matéria orgânica. PACHECO et al., (2013) observaram que entre todos os nutrientes, o K e o P são os de liberação mais rápida pelos resíduos vegetais. Os teores de Ca e Mg não apresentaram diferenças significativas na camada superficial para nenhum dos tratamentos estudados.

Como o teor de matéria orgânica é um dos principais responsáveis pelo aumento dos sítios de troca catiônica nos solos tropicais (CIOTTA et al., 2003), seu aumento por parte da produção de biomassa (Tabela 4) de fácil decomposição proveniente do capim-tanzânia também incrementou a CTC (Tabela 3) dos solos das parcelas com essa espécie. Entretanto, o capim-tanzânia por possuir como característica morfológica sistema radicular volumoso, responsável por uma grande exsudação de ácidos orgânicos no solo e hábito de crescimento entouceirado com muitas folhas de rápida decomposição que também liberam ácidos orgânicos, pode incrementar a acidificação e aumento dos teores de H+Al e Al no solo com

uso desta espécie no sistema (COSTA et al., 2015; CRUSCIOL et al., 2015) (Tabela 3). NOLLA et al., (2007) afirmaram que a exsudação de ácidos orgânicos por parte das raízes é um mecanismo de complexação do Al do solo para reduzir a absorção e toxidez desse elemento para a planta. Não foram observadas diferenças significativas para o teor de $S-SO_4^{2-}$, saturação por bases e saturação por alumínio para nenhum tratamento estudado.

Como não houve déficit hídrico devido à irrigação, o sistema radicular das culturas estudadas se desenvolveu mais superficialmente, não influenciando significativamente nos valores de matéria orgânica para a camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 5). Houve maior teor de matéria orgânica nas amostras coletadas após a retirada da soja da área, mesmo sem diferença do solo analisado após os cortes das forrageiras (época 2), o que pode ser explicado pela maior quantidade de raízes (camadas mais profundas do solo) e palhada dos capins antecessores deixados na superfície do solo, que pelo processo de mineralização, contribuíram com aumento dos teores de M.O. em profundidade pela lixiviação através da água de irrigação de camadas mais superficiais para a camada mais profunda.

A tendência de maior exsudação de ácidos orgânicos por parte do capim-tanzânia pode ser observada também na camada de 0,10 a 0,20 cm, pois houve aumento dos teores de H+Al e Al (Tabela 6) nas áreas cultivadas com essa forrageira, assim como foi maior a CTC nessas áreas, seguindo o mesmo padrão apresentado para a camada mais superficial. Os demais atributos químicos também não foram influenciados pelos tratamentos.

A influência dos tratamentos nos atributos físicos do solo está na Tabela 7. Tanto na camada de 0 a 0,10 como na de 0,10 a 0,20 m, não houve influência da espécie de forrageira ou do espaçamento do milho para macroporosidade. Entretanto, a aplicação de nitrogênio causou um aumento na macroporosidade devido a um maior crescimento das raízes das forrageiras, estimulados pela disponibilidade de N, que ao serem decompostas resultam em canais de aeração do solo contabilizados como macroporos. LOSS et al., (2011) também observaram que a presença da palha e das raízes das forrageiras aumentam de forma significativa a aeração e infiltração de água do solo.

Na camada de 0 a 0,10 m a maior concentração de macroporos foi observada após a colheita da soja, uma vez que esta cultura possui sistema

Tabela 5. Atributos químicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m durante a condução do sistema de Integração Lavoura-Pecuária, em função das 3 épocas: após a colheita dos consórcios nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 m entrelinha (1), após os cortes das forrageiras remanescentes com ou sem adubação nitrogenada (0 e 50 kg/ha/corte) (2) e após a colheita da soja semeada sobre a palhada das forrageiras (3).

	P	MO	pH ⁽¹⁾	K	Ca	Mg
	mg/dm ³	g/dm ³	-----	mmol _c /dm ³	-----	-----
Análise inicial	29	23	5,2	3,9	30	14
Tratamento (T)	**	ns	ns	**	ns	ns
M/capim-xaraés	13,41b	19,43	4,74	2,95b	18,27	14,33
M/capim-tanzânia	20,68a	19,59	4,87	3,60a	19,31	14,08
Espaçamento (ES)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0,45 m	19,20	20,60	4,80	3,69	19,05	14,68
0,90 m	19,27	22,06	4,98	3,82	21,62	16,60
Dose N (kg/ha)	*	ns	ns	ns	ns	ns
0	18,72a	19,39	4,88	3,26	19,60	15,37
50	15,37b	19,47	4,73	3,28	17,89	13,04
Época (EP)	ns	*	*	ns	*	ns
1	16,53	18,68b	4,69b	3,14	16,37b	12,56
2	19,12	19,66ab	4,92a	3,17	21,50 ^a	15,59
3	15,50	20,56a	4,81ab	3,52	18,50ab	14,46
DMS	4,87	1,68	0,22	0,84	5,03	3,14
ANOVA (P>f)						
T	0,001	0,997	0,101	0,027	0,547	0,846
N	0,061	0,884	0,057	0,667	0,307	0,068
EP	0,047	0,835	0,067	0,942	0,315	0,146
ES	0,194	0,021	0,049	0,484	0,048	0,203
T x N	0,071	0,331	0,055	0,059	0,599	0,220
T x EP	0,444	0,512	0,330	0,204	0,603	0,305
T x ES	0,082	0,995	0,310	0,061	0,102	0,078
N x EP	0,056	0,603	0,459	0,093	0,109	0,556
N x ES	0,091	0,215	0,562	0,772	0,412	0,458
EP x ES	0,013	0,116	0,103	0,550	0,106	0,488
T x N x EP	0,083	0,442	0,221	0,339	0,110	0,092
T x N x ES	0,320	0,430	0,240	0,398	0,232	0,053
N x EP x ES	0,067	0,098	0,066	0,677	0,320	0,061
T x N x EP x ES	0,051	0,083	0,591	0,051	0,057	0,079
REP	0,219	0,182	0,396	0,340	0,063	0,192
Média	17,53	19,93	4,82	3,38	19,12	14,52
DMS	3,32	1,14	0,15	0,84	3,42	2,57
CV (%)	37,41	14,44	7,82	33,07	34,91	33,53

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde: **, *, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05), respectivamente. DMS: Diferença mínima significativa; CV (%): Coeficiente de variação. ⁽¹⁾ pH em CaCl².

Tabela 6. Atributos químicos do solo na camada de 0,10 a 0,20 m durante a condução do sistema de Integração Lavoura-Pecuária, em função das 3 épocas: após a colheita dos consórcios nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 m entrelinha (1), após os cortes das forrageiras remanescentes com ou sem adubação nitrogenada (0 e 50 kg/ha/corte) (2) e após a colheita da soja semeada sobre a palhada das forrageiras (3).

	H+Al	Al	SB	CTC	S-SO ₄ ⁻²	V	m
	----- mmol _c / dm ³ -----				mg/ dm ³	----- % -----	
Análise inicial	25	0	47,90	72,90	9	65	0
Tratamento (T)	*	*	ns	**	ns	ns	Ns
M/capim-xaraés	34,95b	2,85b	36,45	72,03b	13,93	49,97	4,09
M/capim-tanzânia	41,47a	4,95a	36,65	78,12a	11,02	45,37	6,59
Espaçamento (ES)	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	Ns
0,45 m	34,21	3,89	37,22	75,93	8,01	50,97	5,05
0,90 m	35,70	3,52	43,09	77,98	8,97	55,90	3,22
Dose N (kg/ha)	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	Ns
0	36,83	3,85	39,15	75,98	10,45	49,87	5,35
50	39,60	3,95	33,95	74,17	14,50	45,37	5,36
Época (EP)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns
1	40,50	4,09	32,37	72,87	16,18	44,37	5,61
2	35,84	3,81	39,84	76,63	10,34	50,37	5,18
3	38,37	3,82	37,43	75,74	10,90	48,28	5,22
DMS	6,21	3,40	8,54	5,09	7,84	8,38	2,53
ANOVA (P>f)							
T	0,002	0,001	0,945	0,001	0,281	0,112	0,005
N	0,195	0,874	0,078	0,302	0,222	0,145	0,903
EP	0,206	0,871	0,099	0,301	0,135	0,140	0,956
ES	0,063	0,922	0,110	0,190	0,252	0,228	0,900
T x N	0,078	0,086	0,145	0,098	0,345	0,344	0,433
T x EP	0,120	0,098	0,240	0,233	0,090	0,320	0,554
T x ES	0,127	0,933	0,245	0,054	0,655	0,203	0,114
N x EP	0,330	0,082	0,156	0,077	0,595	0,296	0,133
N x ES	0,089	0,080	0,213	0,065	0,601	0,091	0,091
EP x ES	0,052	0,400	0,298	0,508	0,056	0,083	0,084
T x N x EP	0,090	0,453	0,072	0,670	0,061	0,990	0,066
T x N x ES	0,134	0,509	0,080	0,099	0,054	0,891	0,441
N x EP x ES	0,088	0,633	0,665	0,277	0,112	0,773	0,399
T x N x EP x ES	0,057	0,430	0,056	0,072	0,088	0,066	0,113
REP	0,841	0,490	0,155	0,109	0,175	0,337	0,408
Média	37,49	3,85	37,35	75,49	11,59	48,94	5,07
DMS	4,21	1,31	5,81	3,45	5,33	5,70	2,53
CV (%)	35,02	34,23	11,37	24,32	35,03	29,47	39,15

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde: **, *, ns: (P<0,01), (P<0,05) e (P>0,05), respectivamente. DMS: Diferença mínima significativa; CV (%): Coeficiente de variação.
⁽¹⁾ pH em CaCl₂.

Tabela 7. Macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds) nas camadas de 0 – 0,10 e de 0,10 – 0,20 cm, durante a condução de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária em função das 3 épocas: após a colheita dos consórcios nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 m entrelinha (1), após os cortes das forrageiras remanescentes com ou sem adubação nitrogenada (0 e 50 kg/ha/corte) (2) e após a colheita da soja semeada sobre a palhada das forrageiras (3).

	MA ¹	MI ¹	PT ¹	MA ²	MI ²	PT ²	Ds ¹	Ds ²
	----- m/m ³ -----						---- g/cm ³ ---	
Análise inicial	0,07	0,35	0,42	0,09	0,36	0,44	1,55	1,50
Tratamento (T)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
M/capim-xaraés	0,07	0,37	0,44	0,08	0,33	0,42	1,48	1,50
M/capim-tanzânia	0,07	0,37	0,43	0,09	0,34	0,41	1,49	1,49
Espaçamento (ES)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0,45 m	0,07	0,36	0,44	0,08	0,33	0,42	1,48	1,49
0,90 m	0,08	0,37	0,44	0,08	0,34	0,42	1,48	1,49
Dose N (kg/ha)	**	ns	ns	**	ns	*	ns	ns
0	0,06b	0,37	0,44	0,07b	0,34	0,41b	1,47	1,48
50	0,08a	0,36	0,45	0,09a	0,35	0,43a	1,48	1,49
Época (EP)	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
1	0,06b	0,38	0,45	0,09a	0,33	0,42	1,48	1,48
2	0,07b	0,37	0,44	0,08ab	0,34	0,42	1,49	1,50
3	0,08a	0,34	0,43	0,07b	0,34	0,41	1,47	1,49
DMS	0,012	0,07	0,08	0,01	0,01	0,01	0,07	0,05
ANOVA (P>f)								
T	0,921	0,843	0,840	0,081	0,924	0,199	0,678	0,995
N	0,102	0,575	0,949	0,457	0,290	0,013	0,881	0,840
EP	0,008	0,509	0,839	0,001	0,498	0,210	0,735	0,993
ES	0,002	0,621	0,933	0,018	0,832	0,754	0,880	0,700
T x N	0,491	0,072	0,097	0,201	0,398	0,745	0,051	0,707
T x EP	0,059	0,080	0,085	0,364	0,408	0,833	0,126	0,946
T x ES	0,069	0,090	0,076	0,910	0,055	0,199	0,061	0,063
N x EP	0,145	0,100	0,220	0,083	0,100	0,055	0,070	0,054
N x ES	0,164	0,296	0,727	0,097	0,398	0,333	0,437	0,123
EP x ES	0,144	0,657	0,660	0,449	0,365	0,081	0,846	0,058
T x N x EP	0,100	0,200	0,108	0,104	0,123	0,086	0,403	0,077
T x N x ES	0,228	0,300	0,080	0,089	0,162	0,096	0,108	0,096
N x EP x ES	0,101	0,200	0,076	0,093	0,080	0,507	0,200	0,211
T x N x EP x ES	0,204	0,100	0,100	0,100	0,080	0,400	0,201	0,205
REP	0,025	0,625	0,732	0,146	0,140	0,165	0,159	0,141
Média	0,008	0,05	0,07	0,01	0,011	0,01	0,05	0,035
DMS	0,007	0,37	0,44	0,08	0,33	0,42	1,48	1,50
CV (%)	19,01	23,10	19,05	8,21	6,89	4,18	5,80	3,98

Médias seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *,** significativo a 5 e 1% de probabilidade. ¹camada de 0,0- 0,10 m; ²camada de 0,10-0,20 m.

Tabela 8. Resistência mecânica à penetração (RMP), umidade gravimétrica (UG) nas camadas de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20 e de 0,20 - 0,40 m de profundidade e estoque de carbono (EC) na camada de 0 - 0,20 m, durante a condução de sistemas em função das 3 épocas: após a colheita dos consórcios nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 m entrelinhas (1), após os cortes das forrageiras remanescentes com ou sem adubação nitrogenada (50 kg/ha/corte) (2) e após a colheita da soja semeada sobre a palhada das forrageiras (3).

	RP ¹	RP ²	RP ³	UG ¹	UG ²	UG ³	EC
	----- MPa -----			----- % -----			t/ha
Análise inicial	3,85	2,95	2,49	20,0	21,7	21,4	38,81
Tratamento (T)	ns	ns	*	ns	ns	*	*
M/capim-xaraés	2,58	2,42	2,35a	21,3	19,0	22,3	40,49b
M/capim-tanzânia	2,58	2,43	2,29b	20,9	21,8	22,4	41,50a
Espaçamento (ES)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0,45 m	2,58	2,42	2,35	21,3	21,0	23,1	40,60
0,90 m	2,59	2,43	2,32	22,9	20,3	23,6	41,39
Dose N (kg/ha)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
0	2,55	2,42	2,36	22,20	20,9	22,8	40,51b
50	2,61	2,43	2,33	21,70	20,1	21,9	41,42a
Época (EP)	ns	ns	*	*	ns	*	**
1	2,58	2,41	2,42a	21,2ab	20,2	23,5a	40,23b
2	2,57	2,46	2,38a	23,2a	23,2	21,2b	42,95a
3	2,59	2,41	2,29b	20,4b	23,4	23,4a	40,81b
DMS	0,08	0,12	0,09	2,21	1,4	1,20	1,24
ANOVA (P>f)							
T	0,983	0,899	0,048	0,772	0,550	0,079	0,019
N	0,804	0,920	0,449	0,044	0,321	0,229	0,069
EP	0,141	0,928	0,321	0,334	0,770	0,323	0,048
ES	0,910	0,547	0,033	0,031	0,010	0,540	0,006
T x N	0,997	0,493	0,122	0,088	0,133	0,411	0,188
T x EP	0,998	0,433	0,633	0,219	0,221	0,401	0,498
T x ES	0,611	0,965	0,771	0,248	0,431	0,336	0,982
N x EP	0,803	0,200	0,102	0,485	0,067	0,656	0,245
N x ES	0,065	0,056	0,056	0,067	0,449	0,934	0,100
EP x ES	0,809	0,127	0,400	0,092	0,323	0,992	0,058
T x N x EP	0,992	0,077	0,193	0,055	0,102	0,111	0,873
T x N x ES	0,060	0,940	0,310	0,065	0,802	0,134	0,063
N x EP x ES	0,083	0,201	0,070	0,083	0,078	0,050	0,241
T x N x EP x ES	0,068	0,400	0,305	0,091	0,086	0,092	0,142
REP	0,991	0,791	0,881	0,033	0,022	0,073	0,750
Média	0,087	0,09	0,05	1,12	1,72	2,10	0,84
DMS	2,58	2,42	2,34	21,67	22,35	21,04	41,01
CV (%)	5,80	6,55	9,03	10,22	10,03	3,40	3,54

Médias seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *,** significativo a 5 e 1% de probabilidade. ¹camada de 0,0-0,10 m; ²camada de 0,10-0,20 m; ³camada de 0,20-0,40 m.

radicular pivotante raso deixando canais de aeração após a decomposição que são somados aos canais das gramíneas antecessoras. SOUZA et al., (2008) afirmaram que em sistemas de alta produtividade ocorre maior crescimento radicular tanto da pastagem como da planta produtora de grãos em sucessão.

Em contrapartida, não foram constatadas diferenças significativas para nenhum dos tratamentos na microporosidade e na densidade do solo, em ambas camadas e para porosidade total na camada de 0 a 0,10 m. Entretanto, na camada de 0,10 a 0,20 m, a porosidade total foi maior nas parcelas adubadas com nitrogênio devido ao aumento da macroporosidade citada anteriormente.

A porosidade do solo, seja micro, macro ou total, é um atributo pouco influenciado a curto prazo pelo manejo das culturas, pois a penetração das raízes, sua decomposição e a formação dos canais é um processo lento. SILVA et al., (2011) estudando áreas com diferentes manejos e espécies em um ciclo produtivo também não encontraram diferenças nos valores de porosidade entre as áreas manejadas com sistema convencional, integração lavoura-pecuária e pastagem permanente.

Embora os valores para densidade do solo tenham sido maiores que o indicado como ideal pela literatura para solos argilosos com densidade abaixo de 1,27 kg/dm³ (CARNEIRO et al., 2009), não foi observado qualquer tipo de impedimento ao desenvolvimento das culturas, pois foram obtidas produtividades de 10 t/ha de grãos de milho, 8 t/ha de capim-xaraés, 15 t/ha de capim-tanzânia e 3,5 t/ha de grãos de soja, médias consideradas elevadas para a região.

Uma das explicações para esses valores maiores observados no presente estudo em relação aos citados na literatura para a densidade do solo é o não revolvimento do solo no plantio direto, acumulando a pressão do movimento de máquinas ao longo dos anos (CONTE et al., 2011), uma vez que a área em estudo apresentava histórico de nove anos em SPD. Entretanto, esta compactação superficial não é significativa para influenciar a produção das culturas, como DEBIASI E FRANCHINI (2012) comprovaram, estudando soja em sucessão ao capim-xaraés e observando que a produtividade da soja foi mais influenciada pelo aporte de matéria orgânica da forrageira do que pela compactação superficial inerente ao SPD.

Ainda nesta linha, LOSSET al., (2012) comparando áreas de plantio direto constituído apenas de

lavoura e áreas de plantio direto em comunhão com a integração lavoura-pecuária, observaram que a introdução da gramínea no sistema reduziu a densidade do solo nos primeiros 0,10 m, indicando que o SILP pode ser uma alternativa para áreas com compactação superficial que causem impedimento ao crescimento das culturas.

A resistência mecânica do solo à penetração (Tabela 8) foi decrescente em profundidade no solo, em todos os tratamentos estudados, o que pode ser explicado pela compactação superficial inerente ao plantio direto (FLORES et al., 2007), e ao efeito radicular dos capins em deixar canais intactos após decomposição das raízes. Ainda assim, os valores foram menores que a análise inicial do solo, retirada antes da instalação dos consórcios de milho com forrageiras, indicando a grande capacidade que essas culturas têm de criar canais no solo que facilitam sua penetração.

O estoque de carbono (Tabela 8) foi analisado na camada de 0 a 0,20 m e foram encontradas diferenças significativas entre as forrageiras, entre as doses de N e entre épocas de amostragem.

Um dos meios de aumentar o armazenamento de carbono do solo é manter os resíduos vegetais sobre o solo sem revolvimento (SALTON et al., 2011) e, conseqüentemente, quanto maior a quantidade de resíduos na superfície do solo maior será o estoque de carbono. Por isso, os maiores estoques foram observados nas parcelas com capim-tanzânia adubados com nitrogênio devido ao maior crescimento em matéria seca dessa espécie em relação ao capim-xaraés ou à ausência de fornecimento do adubo nitrogenado (Tabela 4).

Quanto maior o crescimento da planta maior é a quantidade de carbono necessária para a produção de tecidos vegetais, sendo esse carbono retirado da atmosfera para realização da fotossíntese (SOUZA et al., 2009) na forma de gás carbônico, um dos principais gases causadores do efeito estufa. Logo, quanto maior o estoque de carbono deixado no solo pela cultura, maior é o sequestro desse carbono da atmosfera.

Estudando diferentes sistemas de cultivo, SALTON et al., (2011), concluíram que sistemas de integração lavoura-pecuária apresentam maiores taxas de acúmulo e maiores estoques de carbono que em sistemas de lavoura em monocultivo. A época que apresentou maior estoque de carbono foi logo após a dessecação das forrageiras, já que ocorrem perdas por erosão e principalmente por oxidação da matéria orgânica por parte da atividade microbiana após o cultivo de

leguminosas como a soja (SOUZA et al., 2009).

CONCLUSÕES

O espaçamento entrelinhas de milho consorciado com forrageiras tropicais pouco influencia os atributos físico-químicos do solo, exceto na camada de 0 a 0,10 m com maior acidez no espaçamento de 0,45 m.

A produtividade de matéria seca está diretamente relacionada com o teor de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e estoque de carbono dos solos após o cultivo.

O capim-tanzânia resultou em um aumento de macroporos, porosidade total, teores de P, K, M.O. e CTC, contudo com incremento da acidez potencial e teores de Al no solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - Processo nº 2012/12213-6) pela concessão de bolsa de pós-graduação para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.C.; BOURENNANE, H. Modeling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, v.163, p.941-951, 1998. <https://doi.org/10.1097/00010694-199812000-00004>
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832009000100016>
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e o aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1161-1164, 2003. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782003000600026>
- CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C. L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, p. 1301-1309, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011001000026>
- COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C. dos S.B.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.852-863, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATHEUS, G. P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops**, v. 94, p. 14-16, 2010.
- CRUSCIOL, C.A.C., NASCENTE, A.S., BORGHI, E., SORATTO, R.P., MARTINS, P.O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisade grass cover crops. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 2271-2280, 2015. <https://doi.org/10.2134/agnonj14.0603>
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. B.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1021-1029, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001000005>
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1180-1186, 2012. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782012000700007>
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa dos Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2013. 353 p.
- FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influence of tillage systems on the chemical and physical attributes of a soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003. <https://doi.org/10.1590/s0100->

- 06832003000600014
- FAO. **World agriculture towards 2015/2030: an FAO perspective**. Rome: FAO, 2003, 432 p. Disponível em: <http://www.fao.org>.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D. B.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.771-780, 2007. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832007000400017>
- FRANZLUEBBERS, A. J.; HONS, F. M. Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 39, p. 229-239, 1996. [https://doi.org/10.1016/s0167-1987\(96\)01056-2](https://doi.org/10.1016/s0167-1987(96)01056-2)
- GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; BLAINSKI, E.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1512-1521, 2013. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832013000600008>
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, p. 260-268, 2012. <https://doi.org/10.4322/rca.2012.066>
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n.10, p. 1269-1276, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011001000022>
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982009001300015>
- MBAGWU, J. S. C.; PICCOLO, A. Changes on soil aggregate stability induced by amendment with humic substances. **Soil Technology**, v. 2, p. 49-57, 1989. [https://doi.org/10.1016/s0933-3630\(89\)80006-6](https://doi.org/10.1016/s0933-3630(89)80006-6)
- MORON, A.; KIEHL, J.C. Dinâmica del fosforo en tres sistemas agrícolas en el suroeste de Uruguay. **Revista Investigaciones Agronómicas**, n.1, p.61-84, 1992.
- NASCENTE, A. S.; STONE, L. F.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil chemical properties affected by cover crops under no-tillage system. **Revista Ceres**, v. 62, p. 401-409, 2015. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201562040010>
- NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, A.; ANGHINONI, I. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo em campo natural. **Ciência Rural**, v. 37, p.97-101, 2007. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782007000100016>
- PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 128-1236, 2013. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2013000900006>
- PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; BERGAMASCHINE, A.F.; BUZETTI, S.; CHIODEROLI, C.A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros Panicum e Brachiaria em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.360-370, 2009.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 2001. 284 p.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, p. 1349-1356, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011001000031>
- SILVA, R. F.; GUIMARÃES, M. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1277-1283, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011001000023>
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil & Tillage**

- Research**, v. 79, p. 7-31, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000300035>
- SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1829-1836, 2009. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832009000600031>
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.229-235, 1991.
- VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. Pesquisa **Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1127-1138, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2011001000003>