

## ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM ÁREA DE PRODUÇÃO DE SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE MILHO

**DIRCEU DE MELO<sup>1,2</sup>, LÚCIA HELENA PEREIRA NÓBREGA<sup>2</sup>, MARCIO FURLAN MAGGI<sup>2</sup>, ESTOR GNOATTO<sup>1</sup>, DANIEL MARCOS DAL POZZO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Avenida Brasil, 4232 CEP 85884-000 - Caixa Postal 271 - Medianeira - PR), e-mail: [dirceu@utfpr.edu.br](mailto:dirceu@utfpr.edu.br); [gnoatto@utfpr.edu.br](mailto:gnoatto@utfpr.edu.br); [danieldalpozzo@yahoo.com.br](mailto:danieldalpozzo@yahoo.com.br).

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação, PGEAGRI - UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Rua Universitária, 1.619 Caixa Postal 701 Jardim Universitário - Cascavel - PR), e-mail: [lucia.nobrega@unioeste.br](mailto:lucia.nobrega@unioeste.br); [mfmaggi2003@yahoo.com.br](mailto:mfmaggi2003@yahoo.com.br).

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** A produção de silagem de planta inteira de milho é uma alternativa para armazenar volumoso de boa qualidade, nos períodos de inverno ou estiagem, dependendo da região. O manejo do solo nestas áreas pode afetar as propriedades físicas do solo. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo monitorar os atributos físicos do solo (densidade do solo, macro e microporosidade e resistência mecânica à penetração) e a resposta da cultura da soja resultante do manejo de solo, sob cultivo de plantas de cobertura em áreas destinadas à silagem de milho de planta inteira sob sistema plantio direto durante dois anos. O trabalho foi desenvolvido em uma propriedade agrícola localizada no município de Matelândia, região Oeste do Paraná. A área experimental foi constituída de sete manejos de solo, sempre com soja no verão e milho no inverno com e sem plantas de cobertura bem como escarificado. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições por tratamento. Os resultados foram submetidos ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. O sistema de manejo que utilizou escarificador proporcionou os melhores atributos físicos do solo enquanto o sistema sem plantas de cobertura apresentou a maior resistência mecânica à penetração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manejo do solo, plantas de cobertura, propriedades físicas do solo.

## PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL ON THE WHOLE MAIZE PLANT FROM ENSILAGE FIELD AREA

**ABSTRACT:** The silage production of the whole maize plant is an alternative for storing ensilage of good quality, during winter or dry periods, according to each region. Soil management in these areas can affect the physical properties of soil. Therefore, this study aimed at monitoring physical properties of soil (bulk density, macro and microporosity and soil mechanical resistance and soybean crop response concerning to soil management under cover crops in areas that have been chosen to produce the whole maize plant silage under no-tillage system for two years. Thus, this study was carried out on a farm in Matelândia city, western Paraná. The experimental area consisted of seven soil managements with soybean in summer and maize during the winter with and without cover crops as well as chiseling. The experimental design was in randomized block design (RBD) with four replications per treatment. The results were submitted to Scott-Knott test at 5% probability. The management system with chiseling provided the best soil physical attributes, while the system without cover crops showed the highest soil mechanical resistance.

**KEYWORDS:** Soil management, cover crops, soil physical properties.

## INTRODUÇÃO

O estudo do melhor sistema utilizado na região Oeste do Paraná torna a cadeia produtiva mais eficiente e rentável. A região tem, em comum, solos com altos teores de argila, os quais são propensos ao adensamento das partículas, características que os tornam facilmente compactados, já que diminuem a eficiência das operações agrícolas. Neste contexto, o manejo deve contribuir para a melhoria da qualidade do solo a fim de aumentar a produtividade das culturas, atendendo às necessidades de cada produtor.

A utilização de silagens de planta inteira de milho tem sido uma eficiente solução para os períodos de baixa produção de forragens, proporcionando volumoso de boa qualidade e largamente utilizado na alimentação de ruminantes sendo o milho uma das melhores plantas para ensilar, pois apresenta boa produção de matéria seca por hectare e elevado valor nutritivo (POSSENTI et al., 2005). Ainda existem problemas no sistema plantio direto quanto à compactação do solo em várias propriedades agrícolas, se agravando nas que precisam produzir silagem de planta inteira de milho, que necessita de um intenso tráfego de máquinas agrícolas.

Outro fator que contribui para a compactação do solo é a retirada de toda a cobertura do solo, ou seja, não sobram restos culturais cobrindo o solo, que é à base do sistema plantio direto. A compactação do solo é praticamente inevitável na agricultura moderna, sendo necessário estabelecer valores limites para proteger o solo do tráfego excessivo e manejá-lo de forma a evitar perdas de produtividade e proteger o meio ambiente, com destaque para sistemas sem revolvimento do solo (BEUTLER et al., 2006).

A compactação altera, negativamente, várias propriedades do solo, como a capacidade de penetração das raízes e a disponibilidade de água e nutrientes às plantas, restringindo a taxa fotossintética, o crescimento da parte aérea e, por conseguinte, o rendimento da cultura (DRESCHER et al. 2012).

Para Valicheski et al. (2012), as pesquisas realizadas no País apontam para alterações consideráveis nas propriedades físicas do solo, causadas pelo tráfego intenso de máquinas e implementos de preparo do solo, que não só diminuem a porosidade do solo, mas também o aumento significativo na densidade do solo, ocasionando um impedimento físico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

A utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase atualmente, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas (ARGENTON et al., 2005).

A camada compactada pode ser identificada mediante a avaliação de alguns atributos físicos, sendo que um dos parâmetros mais utilizados para expressar o grau de compactação de um solo tem sido a resistência mecânica a penetração das raízes, (TORRES et al. 2012).

O objetivo deste trabalho foi monitorar as propriedades físicas do solo (densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade total e resistência mecânica à penetração) e a produtividade da cultura da soja, durante dois anos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em uma propriedade agrícola localizada no município de Matelândia, região Oeste do Paraná, com altitude média de 380 m. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO (EMBRAPA, 2006), com 585 g kg<sup>-1</sup> de argila, 175 g kg<sup>-1</sup> de silte e 240 g kg<sup>-1</sup> de areia.

O experimento foi constituído de sete sistemas de manejo: 1- Semeadura de soja (*Glycine Max*) no verão e milho (*Zea mays L.*) no inverno (SM); 2- Soja no verão e plantas de

cobertura no inverno com consórcio de aveia preta (*Avena strigosa*, Schreb) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) (SAN); 3 - Soja no verão e no inverno silagem de planta inteira de milho sem plantas de cobertura (SS); 4 - Soja no verão e no inverno silagem de planta inteira de milho com plantas de cobertura com aveia preta (SSA); 5 - Soja no verão e no inverno silagem de planta inteira de milho com plantas de cobertura em consórcio de aveia preta e nabo forrageiro (SSAN); 6 - Soja no verão e no inverno silagem de planta inteira de milho, escarificado, com plantas de cobertura aveia preta e nabo forrageiro (SSEAN); 7- Soja no verão e no inverno silagem de planta inteira de milho com consórcio de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) (SSB).

Os sistemas que utilizaram plantas de cobertura após a silagem de planta inteira de milho, foram semeados manualmente e incorporados com grade niveladora fechada, com objetivo de revolver o mínimo possível de solo, incorporando apenas as sementes. No sistema sete SSB, a semeadura da braquiária foi realizada manualmente antes da semeadura do milho, utilizando-se 10 kg ha<sup>-1</sup> com valor cultural (VC) de 60%. No sistema SSA utilizou-se 50 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta. No consórcio de aveia preta e nabo forrageiro, foram utilizados 42 kg ha<sup>-1</sup> e 11 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Após a colheita do milho utilizado para silagem de planta inteira, o sistema seis foi escarificado a 0,25 m de profundidade, com escarificador de cinco hastes com engate de três pontos. As plantas de cobertura não receberam nenhum tipo de adubação e ou tratamento fitossanitário.

A semeadura de soja foi realizada com semeadora adubadora, de sistema de plantio direto com fação sulcador a 0,12 m de profundidade, com oitos linhas, distância entre linhas de 0,50 m, com densidade de semeadura de 320.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A soja utilizada foi cultivar Nidera 5909 RG com germinação de 93%, semeada em 09/10/2013 e 06/10/2014. A adubação da cultura da soja foi realizada no momento da semeadura, com a formulação NPK 2-20-18, sendo utilizados 350 kg ha<sup>-1</sup> e os tratamentos culturais foram de acordo com as recomendações agronômicas para a cultura.

As avaliações foram realizadas após a dessecação das plantas de coberturas, ou seja, antes da semeadura da soja no final do mês de setembro de 2013 e 2014, e após a colheita da soja em fevereiro de 2014 e 2015 (Figura 1). Em todos os sistemas de cultivos foram realizadas as seguintes avaliações: densidade do solo, porosidade total, macro e micro porosidade do solo, nas camadas de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m de acordo com a metodologia da Embrapa (1997); resistência mecânica à penetração até a profundidade de 0,4 m (TORMENA et al., 2002), utilizando um medidor automatizado de compactação do solo, modelo SoloTrack da marca Falker, com índice de cone 2.

A produtividade da soja determinou-se manualmente, colhendo dois metros lineares da área central das parcelas experimentais, descartando 1,0 m de bordadura, ajustando-se os valores a 13% de umidade. Os restos culturais da soja foram dispostos estufa a 60°C por 48h para determinação de massa seca (NAKAGAWA, 1999).

As parcelas experimentais tinham três metros de largura por cinco metros de comprimento. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições por tratamento. Os resultados foram submetidos ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de precipitação durante a realização do experimento, são apresentados na figura 1. Observa-se que as chuvas, foram regulares durante o desenvolvimento da cultura da soja. Na época de avaliação do experimento (Figura 1), verifica-se valores elevados de precipitação, com poucos períodos adequados para coleta dos dados. O inverno nos dois anos foi chuvoso, apenas no mês de junho a precipitação foi baixa (Figura 1).

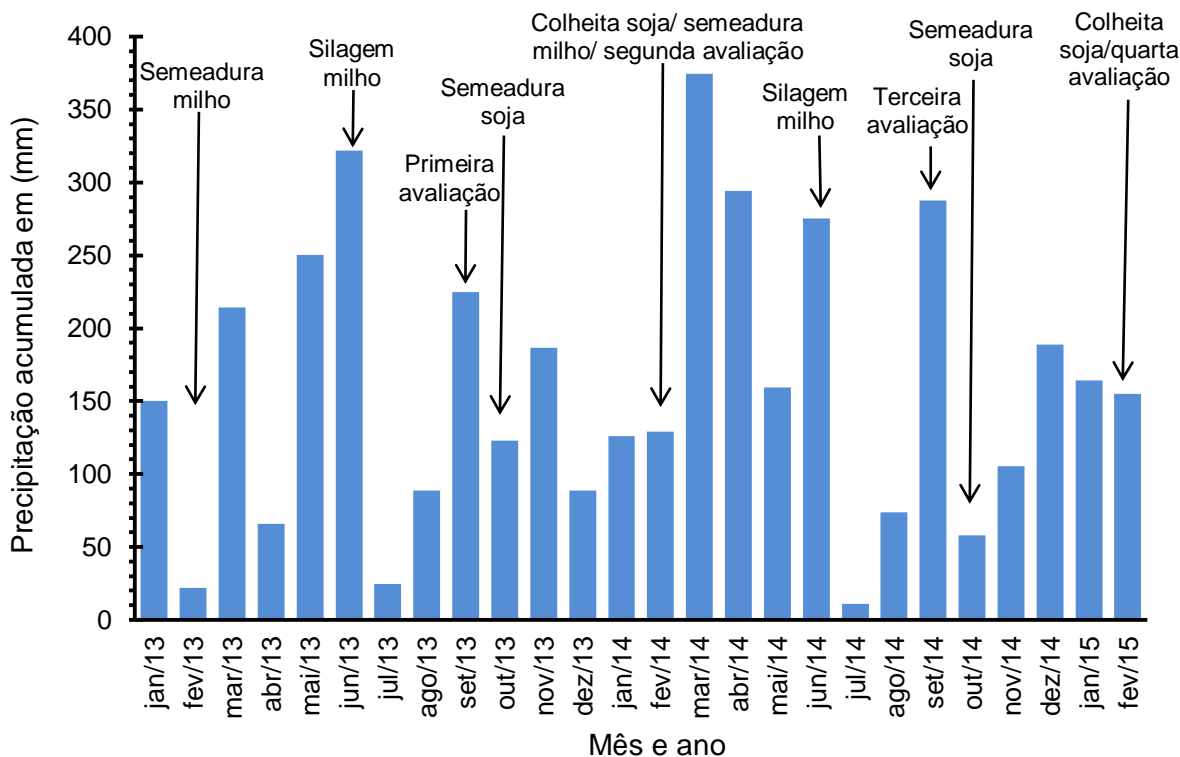


FIGURA 1. Média de precipitação mensal na região do experimento.  
Fonte: SIMEPAR, 2015.

A tabela 1 apresenta os valores médios de densidade, porosidade total, macro e micro porosidade do primeiro ano do experimento, antes e depois da cultura da soja. Observa-se que as médias apresentaram diferença significativa entre si na profundidade de 0 a 0,10 m exceto a microporosidade e porosidade total após a segunda avaliação em fevereiro de 2014. O sistema de cultivo que apresentou diferença estatística aos demais nas duas avaliações foi o SSEAN, com valores de macroporosidade acima de 10%, que é o mínimo necessário para difusão de oxigênio ( $O_2$ ) até as raízes (XU et al., 1992) e a porosidade total maior que 50%. Valores de aeração abaixo de 10-15%, são geralmente, adotados como restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas (SECCO et al., 2005). A densidade do solo foi estatisticamente superior nos sistemas que não sofreram interferência mecânica no solo, apenas o sistema SSEAN a média de densidade apresentou valor inferior aos demais  $1,06 \text{ Mg m}^{-3}$  e de  $1,13 \text{ Mg m}^{-3}$  antes e após da cultura da soja respectivamente. Mesmo assim todas as médias de densidade avaliadas, foram menores que  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ , valor que muitos autores adotam como restritivo ao crescimento da parte aérea e radicular da maioria das culturas (SILVA et al. 2006).

Na camada de 0,1 a 0,2 m, os resultados foram próximos aos observados na camada de 0 a 0,1 m, com o sistema SSEAN, sendo estatisticamente inferior aos demais na densidade do solo na primeira avaliação. Na segunda avaliação em fevereiro de 2014, observa-se valores de densidade não diferiam entre si ao nível de significância 5% entre os sistemas SSAN, SSEAN e SSA. Isso provavelmente se deve que na camada de 0,1 a 0,2 m a densidade é influenciada pelo tráfego de máquinas, e esses sistemas foram os que apresentaram a maior cobertura de matéria seca sobre o solo, antes da semeadura da soja.

A macroporosidade e porosidade total (Tabela 1), também foram mais evidentes, no sistema SSEAN na primeira avaliação, deixando claro que a escarificação do solo interfere diretamente nessas variáveis, diminuindo a densidade de solo e aumentando a macroporosidade e porosidade do solo até a camada de 0,1 a 0,2 m.

TABELA 1. Valores médios obtidos na área experimental de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, nas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em setembro de 2013 e fevereiro de 2014.

Manejo	Avaliação em setembro de 2013				Avaliação em fevereiro de 2014			
	Ds. (Mg m <sup>-3</sup> )	Macro P. -----	Micro P. (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----	P. Total	Ds. (Mg m <sup>-3</sup> )	Macro P. -----	Micro P. (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----	P. Total
Profundidade de 0 a 0,10 m								
SSAN	1,29 c	0,06 a	0,43 cA	0,50 b	1,14 a	0,13 b	0,39	0,51
SAN	1,37 c	0,07 a	0,43 cA	0,49 b	1,23 b	0,09 a	0,40	0,49
SSEAN	1,06 a	0,20 c	0,34 aA	0,55 c	1,13 a	0,16 b	0,37	0,53
SSB	1,20 b	0,12 b	0,39 bA	0,50 b	1,24 b	0,13 b	0,40	0,53
SSA	1,29 c	0,07 a	0,45 cA	0,51 b	1,18 a	0,12 b	0,39	0,50
SS	1,30 c	0,07 a	0,43 cA	0,50 b	1,25 b	0,10 a	0,40	0,50
SM	1,28 c	0,07 a	0,41 cA	0,48 a	1,23 b	0,12 b	0,37	0,49
Média	1,25 A	0,09 B	0,41	0,50 B	1,20 A	0,12 B	0,38 A	0,51 B
Profundidade de 0,10 a 0,20 m								
SSAN	1,34 b	0,07 a	0,42 aA	0,49 a	1,29 a	0,05 a	0,43	0,49
SAN	1,36 b	0,07 a	0,42 aA	0,49 a	1,38 b	0,06 a	0,41	0,47
SSEAN	1,21 a	0,13 b	0,39 aB	0,52 b	1,28 a	0,09 b	0,40	0,49
SSB	1,33 b	0,07 a	0,41 aA	0,48 a	1,34 b	0,10 b	0,37	0,47
SSA	1,38 b	0,06 a	0,43 aA	0,49 a	1,33 a	0,08 b	0,40	0,48
SS	1,35 b	0,06 a	0,41 aA	0,47 a	1,41 b	0,07 a	0,41	0,48
SM	1,35 b	0,06 a	0,42 aA	0,48 a	1,36 b	0,09 b	0,40	0,48
Média	1,33 B	0,07 A	0,41	0,49 A	1,34 B	0,08 A	0,40 B	0,48 A
Cv (%)	1,29	12,22	2,38	1,20	1,72	13,73	3,96	2,59
F <sub>Manejo</sub>	14,11*	16,98*	11,15*	18,49*	2,90*	3,42*	1,24 <sup>ns</sup>	1,36 <sup>ns</sup>
F <sub>Prof.</sub>	23,45*	5,61*	0,59 <sup>ns</sup>	19,99*	45,67*	32,01*	4,53*	15,48*
F <sub>Manejo*Prof.</sub>	1,76 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	3,58*	1,31 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>

Médias de tratamentos seguidas das mesmas letras nas colunas, minúscula na mesma profundidade e maiúscula entre as profundidades, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, considerando no teste F, <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo. Dados não apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro Wilk ao nível de 5% de probabilidade. As variáveis foram apresentadas com os dados originais e os valores transformados por  $\sqrt{x+1}$  para análise estatística. Cv: Coeficiente de variação; Ds.: Densidade; P.: Porosidade; SSAN: soja, silagem e consórcio de aveia e nabo; SAN: soja e consórcio de aveia e nabo; SSEAN: soja, silagem, escarificado e consórcio de aveia e nabo; SSB soja, silagem e braquiária; SSA: soja, silagem e aveia; SS: soja e silagem; SM: soja e milho.

Na segunda avaliação em fevereiro de 2014 (Tabela 1), observa-se que entre as camadas avaliadas as médias de microporosidade e porosidade total foram estatisticamente iguais, já a densidade e macroporosidade diferiram estatisticamente entre si. Isso é devido que a densidade e macroporosidade são mais influenciáveis pelos sistemas de manejo e a cultura da soja estabiliza as propriedades físicas dos sistemas.

Entre as camadas avaliadas, fica evidente que na camada de 0,1 a 0,2 m (Tabela 1), apresenta maior compactação do solo. A densidade diferiu estaticamente nas duas avaliações, apresentando valores maiores na camada de 0,1 a 0,2 m. Já a macroporosidade e porosidade total, apresentaram médias menores na camada de 0 a 0,1 m.

Os resultados das propriedades físicas do solo no segundo ano de experimento são apresentados na tabela 2. Observa-se que entre as médias de microporosidade não diferiram entre si ao nível de significância 5% em nenhuma das avaliações (Tabela 2). Entre as camadas avaliadas a densidade diferiu entre si, sendo mais elevada na camada de 0,1 a 0,2 m como no primeiro ano (Tabela 1). Já a macroporosidade apresentou diferença estatística entre as camadas, apenas na avaliação de fevereiro de 2015, isso aconteceu pelo acúmulo de matéria seca e matéria orgânica na camada superficial do solo.

Os resultados obtidos no segundo ano do experimento (Tabela 2) foram próximos aos encontrados no primeiro ano (Tabela 1). Nota-se que na avaliação em setembro de 2014 (Tabela 2), o sistema que apresentou diferença estatística nas duas camadas avaliadas para

densidade, macroporosidade e porosidade total foi o SSEAN, indicando que a escarificação no solo alterou essas propriedades físicas do solo, melhorando sua aeração.

TABELA 2. Valores médios obtidos na área experimental de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, nas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em setembro de 2014 e fevereiro de 2015

Manejo	Avaliação em setembro de 2014				Avaliação em fevereiro de 2015			
	Ds. (Mg m <sup>-3</sup> )	Macro P. ------(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----	Micro P. ------(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----	P. Total	Ds. (Mg m <sup>-3</sup> )	Macro P. ------(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----	Micro P. ------(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )-----	P. Total
Profundidade de 0 a 0,10 m								
SSAN	1,36 b	0,07 a	0,40	0,47 a	1,23 a	0,09 b	0,43	0,52 b
SAN	1,28 a	0,09 b	0,40	0,49 a	1,27 a	0,08 b	0,42	0,50 a
SSEAN	1,20 a	0,12 b	0,40	0,52 b	1,24 a	0,11 b	0,41	0,52 b
SSB	1,32 b	0,07 a	0,41	0,48 a	1,35 b	0,04 a	0,43	0,48 a
SSA	1,38 b	0,06 a	0,41	0,47 a	1,29 a	0,08 b	0,41	0,49 a
SS	1,37 b	0,06 a	0,41	0,47 a	1,36 b	0,06 a	0,42	0,49 a
SM	1,39 b	0,06 a	0,42	0,47 a	1,26 a	0,08 b	0,42	0,51 b
Média	1,33 A	0,07	0,41	0,48	1,28 A	0,08 B	0,42	0,50 B
Profundidade de 0,10 a 0,20 m								
SSAN	1,40 b	0,07 a	0,41	0,48 a	1,34 a	0,07 a	0,42	0,49 a
SAN	1,44 b	0,06 a	0,42	0,48 a	1,41 a	0,07 a	0,42	0,49 a
SSEAN	1,25 a	0,11 b	0,40	0,51 b	1,33 a	0,06 a	0,43	0,48 a
SSB	1,34 b	0,07 a	0,41	0,48 a	1,38 a	0,05 a	0,42	0,47 a
SSA	1,39 b	0,06 a	0,41	0,47 a	1,32 a	0,07 a	0,42	0,48 a
SS	1,39 b	0,08 a	0,40	0,48 a	1,36 a	0,07 a	0,42	0,48 a
SM	1,38 b	0,06 a	0,41	0,47 a	1,36 a	0,07 a	0,42	0,49 a
Média	1,37 B	0,07	0,41	0,48	1,36 B	0,06 A	0,42	0,48 B
Cv (%)	1,39	15,24	2,19	1,86	1,05	11,43	1,27	1,33
F <sub>Manejo</sub>	6,55*	3,94*	0,77 <sup>ns</sup>	5,57*	4,01*	3,05*	1,61 <sup>ns</sup>	4,47*
F <sub>Prof.</sub>	6,22*	0,06 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	31,48*	7,12*	0,04 <sup>ns</sup>	18,18*
F <sub>Manejo*Prof.</sub>	1,39 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	2,27 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>

Médias de tratamentos seguidas das mesmas letras nas colunas, minúscula na mesma profundidade e maiúscula entre as profundidades, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, considerando no teste F, <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo. Dados não apresentaram normalidade pelo teste de Shapiro Wilk ao nível de 5% de probabilidade. As variáveis foram apresentadas com os dados originais e os valores transformados por  $\sqrt{x+1}$  para análise estatística. Cv: Coeficiente de variação; Ds.: Densidade; P.: Porosidade; SSAN: soja, silagem e consórcio de aveia e nabo; SAN: soja e consórcio de aveia e nabo; SSEAN: soja, silagem, escarificado e consórcio de aveia e nabo; SSB soja, silagem e braquiária; SSA: soja, silagem e aveia; SS: soja e silagem; SM: soja e milho.

Na avaliação realizada em fevereiro de 2015 (Tabela 2), as médias entre os tratamentos não diferiram entre si na camada de 0,1 a 0,2 m em nenhum atributo físico do solo avaliado. Na camada de 0 a 0,1 m observa-se diferença estatística entre densidade, macroporosidade e porosidade total, difere do que aconteceu na avaliação de setembro de 2014 (Tabela 2), onde apenas o sistema SSEAN, havia obtido diferença estatística. Agora outros sistemas apresentam valores estatisticamente iguais ao SSEAN, exceto os sistemas SSB e SS não apresentaram médias iguais ao sistema com escarificação do solo. Indicativo que a escarificação apresenta valores iniciais superiores aos demais, com passar dos meses, observa-se tendência a estabilização aos sistemas, principalmente aqueles que conseguem maior cobertura vegetal do solo, com a utilização de plantas de cobertura, como aveia preta e nabo forrageiro.

A figura 2 apresenta a Resistência mecânica à Penetração (RP), após as plantas de cobertura em setembro de 2013 (a), após a colheita da cultura da soja em fevereiro de 2014 (b), após as plantas de cobertura em setembro de 2014 (c) e após a colheita da cultura da soja em fevereiro de 2015 (d). Observa-se que em todas as avaliações, os menores valores de RP foram observados no sistema SSEAN abaixo de 2,0 MPa, que já era esperado devido ao revolvimento do solo realizado até a camada de 0 a 0,25 m.

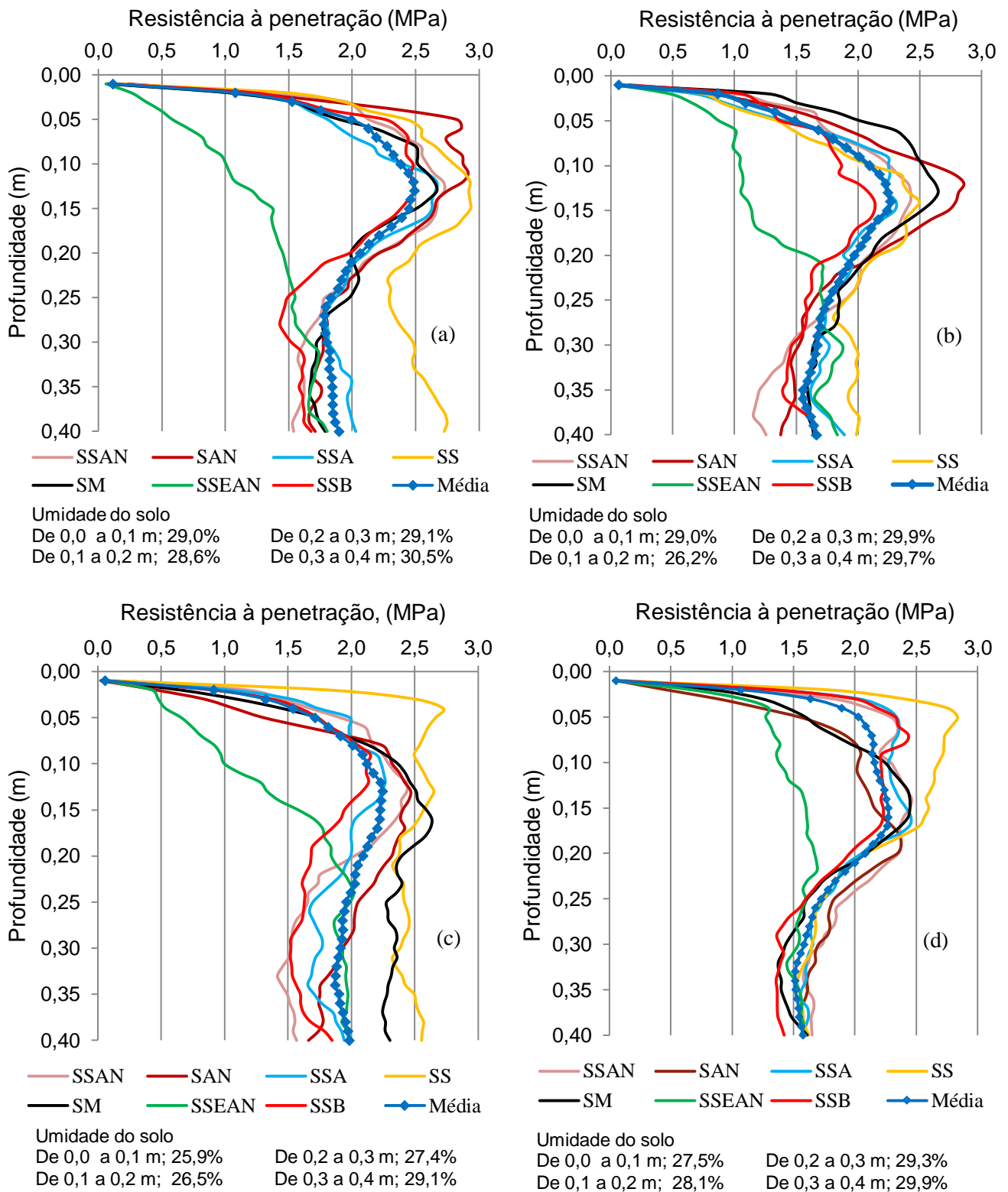


FIGURA 2. Resistência mecânica à penetração após as plantas de cobertura em setembro de 2013 (a), após a colheita da cultura da soja em fevereiro de 2014 (b), após as plantas de cobertura em setembro de 2014 (c) e após a colheita da cultura da soja em fevereiro de 2015 (d). SSAN: soja, silagem e consórcio de aveia e nabo; SAN: soja e consórcio de aveia e nabo; SSEAN: soja, silagem, escarificado e consórcio de aveia e nabo; SSB soja, silagem e braquiária; SSA: soja, silagem e aveia; SS: soja e silagem; SM: soja e milho.

O sistema que apresentou maior RP, nas quatro avaliações, foi o sistema com soja e silagem de planta inteira de milho SS, observando valores maiores que 2,5 MPa. O valor de RP de até 2 MPa tem sido amplamente usado por diversos autores, como crítico para o crescimento das plantas em diferentes sistemas de manejo (MOREIRA et al., 2012), discordando de Tormena et al. (2007), que utilizou 3,5 MPa como valor máximo de RP em solo sob plantio direto, sustentado pelo argumento da presença de bioporos contínuos e efetivos proporcionados por esse sistema de manejo.

Observando os valores de umidade do solo nos gráficos da figura 2, verifica-se que todas as avaliações foram realizadas com elevado valor, próxima ao ponto de saturação solo, mas dentro dos limites de capacidade de campo, de acordo com o procedimento de avaliação. Isso ocorreu devido a grande capacidade de retenção de água em solos argilosos, e a grande incidência de chuvas (Figura 1), na região onde foi realizado o experimento, dificultando a realização das coletas de dados.

Esses altos valores de RP observados no sistema SS, está relacionado à compactação do solo provocada pelo tráfego intensivo de máquinas no campo, associado à baixa cobertura do solo neste sistema, único que não foi semeado nenhum tipo planta de cobertura após a silagem de planta inteira de milho, deixando o solo descoberto sujeito à compactação causada pelas chuvas e principalmente pelo rodado das máquinas. Observa-se que nos outros sistemas, as médias foram inferiores a 2,5 Mpa exceto no início do experimento. Com a andamento do experimento (Figura 2d), apenas o sistema SS ultrapassa 2,5 MPa próximo a superfície do solo, evidenciando a necessidade de manter o solo protegido sob sistema plantio direto, de acordo Alvarenga et al., (2001), o sucesso do sistema plantio direto está ligado aos restos culturais.

Nota-se que os valores médios de RP no primeiro ano do experimento antes da soja (Figura 2a), foram maiores que após a colheita da soja (Figura 2b), o mesmo pode ser observado no segundo ano (Figura 2c) e (Figura 2d). Isso ocorreu pelo intenso tráfego de máquinas, necessário para a colheita do milho para silagem de planta inteira, e ao poder descompactador do sistema radicular da cultura da soja.

Os valores médios de RP apresentados nas figuras, 2a, 2b, 2c e 2d foram maiores na camada de 0,5 a 0,20 m, evidenciando que nesta camada de solo é compactada pelo tráfego de máquinas. Na camada de 0 a 0,05 m, apresenta RP média menor, devido ao maior valor de matéria orgânica, e a cobertura do solo deixada pelos restos culturais. Na camada de 0,2 a 0,4 m apresenta em todas as avaliações, estabilidade, indicando não ter problemas de compactação nas camadas mais profundas.

Os valores médios de produtividade e massa seca da cultura da soja nas duas colheitas realizadas, não apresentaram diferença significativa entre si ao nível de significância 5% (Tabela 3). Mesmo não apresentando diferença estatística entre os tratamentos, os valores médios encontrados, são maiores que a média brasileira 3,01 Mg ha<sup>-1</sup> e que a média paranaense 3,27 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). A diferença entre os tratamentos na safra 2013/2014 foi de 0,72 Mg ha<sup>-1</sup> considerando a menor produtividade no sistema SSB 4,85 Mg ha<sup>-1</sup>, e a maior produtividade de 5,57 Mg ha<sup>-1</sup> sistema SSAN (Tabela 3). Isso representa incremento de produtividade de 14,84%, sendo considerável em um sistema produtivo.

Na safra 2014/2015 a variação entre os sistemas foi menor de apenas 0,39 Mg ha<sup>-1</sup>, considerando o sistema SSA produzindo 5,67 Mg ha<sup>-1</sup> e o sistema SS com produção de 5,28 Mg ha<sup>-1</sup>, incremento de 7,38 % na produtividade da soja.

A produção de matéria seca (Tabela 3) está associada à produtividade da cultura, ou seja, quanto mais produção de grãos, maior a quantidade de matéria seca produzida.

As altas densidades do solo e menor porosidade em sistema plantio direto (Tabelas 1 e 2) devem-se ao menor revolvimento mecânico do solo, associado aos tráfegos de máquinas, e isto implica na coalescência dos agregados e, portanto, em um solo com densidade mais

elevada e menor porosidade. Assim, a bioporosidade do solo sob sistema plantio direto, analisada com rotação de culturas planejadas, resulta da formação de canais contínuos ao longo do perfil, possibilita o crescimento radicular mesmo em solo mais adensado (TORMENA et al., 2004).

TABELA 3. Valores médios da produtividade e massa seca da cultura da soja em (Mg ha<sup>-1</sup>) no primeiro e segundo ano do experimento.

Sistema	Safra 2013/2014		Safra 2014/2015	
	Produtividade	M. Seca	Produtividade	M. Seca
SSAN	5,57	4,72	5,36	3,40
SAN	5,29	4,26	5,44	3,33
SSEAN	5,13	4,15	5,32	3,36
SSB	4,85	4,09	5,46	3,47
SSA	5,36	4,47	5,67	3,71
SS	5,38	4,22	5,28	3,35
SM	5,14	4,37	5,54	3,64
Média	5,24	4,33	5,44	3,46
Cv (%)	8,93	9,96	6,70	10,32
F <sub>Manejo</sub>	0,96 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>

Médias de tratamentos seguidas da mesma letra e na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância, considerando no teste F, <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo; M.: Massa; Cv: coeficiente de variação; SSAN: soja, silagem e consórcio de aveia e nabo; SAN: soja e consórcio de aveia e nabo; SSEAN: soja, silagem, escarificado e consórcio de aveia e nabo; SSB soja, silagem e braquiária; SSA: soja, silagem e aveia; SS: soja e silagem; SM: soja e milho.

Isso evidência que a cultura da soja, mesmo em condições com maior densidade e menor porosidade, pode produzir igual ou superior do que em sistemas que utilizam o revolvimento periódico do solo. O sistema de plantio direto bem consolidado pode apresentar características físicas baixas de acordo com a literatura, no entanto sua capacidade de agregação e estruturação proporciona vantagens aos sistemas que utilizam escarificador. Quando o sistema plantio direto é revolvido, toda agregação do solo é perdida, voltando ao estágio inicial. Antes de efetuar a escarificação deve-se realmente verificar a necessidade, que muitas vezes não é necessária, apenas a utilização de plantas de cobertura é o suficiente para recuperar o solo, preservando a agregação.

## CONCLUSÕES

A camada de solo que apresenta à maior resistência mecânica a penetração foi de 0,05 a 0,20 m; o sistema sem plantas de cobertura apresentou tendência em aumentar a RP ao longo dos anos; independente do sistema utilizado, não ocorreu diferença significativa na produtividade da soja; o solo apresentou maior porosidade e menor densidade, no sistema que utilizou escarificador.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.22, p.25-36, 2001.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. 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**. Viçosa, v.29, p.425-435, 2005.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; SILVA, A. P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, p.787-794, 2006.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos 2012/2013**, oitavo levantamento maio de 2015 – Brasília, 2015.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.36, p.1836-1844, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília. EMBRAPA, 2006.

MOREIRA, W. H.; JUNIOR, E. B.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos Físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.36, p.389-400, 2012.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C. et al. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. cap. 2, p. 1-24.

POSSENTI, R. A.; FERRARI JUNIOR, E.; BUENO, M. S.; BIANCHINI, D.; LEINZ, F. F.; RODRIGUES, C. F. Parâmetros bromatológicos e fermentativos das silagens de milho e girassol. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.35, p.1185-1189, 2005.

SECCO, D.; ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.407-414, 2005.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, p.31-40, 2006.

SIMEPAR. Sistema Meteorológico do Paraná, 2015.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, A. J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.31, p.211-219, 2007.

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

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI J. Propriedades físicas e taxas de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.

TORRES, J. L. R.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; SENE, G. A.; JAIME, D. G.; VIEIRA, D. M. S. Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 28, p. 232-239, 2012.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, p.969-977, 2012.

XU, X.; NIBER, J.L.; GUPTURA, S C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.56, p.1743-1750, 1992.