

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JÔNATAN MÜLLER

**ATRIBUTOS DE MÁQUINA, SOLO E PLANTA APÓS O MANEJO
COM PLANTAS DE COBERTURA E PROFUNDIDADES DE
ATUAÇÃO DA HASTE SULCADORA, EM LATOSSOLO
COMPACTADO**

TESE

PATO BRANCO

2016

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

JÔNATAN MÜLLER

**ATRIBUTOS DE MÁQUINA, SOLO E PLANTA APÓS O MANEJO
COM PLANTAS DE COBERTURA E PROFUNDIDADES DE
ATUAÇÃO DA HASTE SULCADORA, EM LATOSSOLO
COMPACTADO**

TESE

PATO BRANCO

2016

JÔNATAN MÜLLER

**ATRIBUTOS DE MÁQUINA, SOLO E PLANTA APÓS O MANEJO
COM PLANTAS DE COBERTURA E PROFUNDIDADES DE
ATUAÇÃO DA HASTE SULCADORA, EM LATOSSOLO
COMPACTADO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Alcir José Modolo

PATO BRANCO

2016

M685a

Müller, Jônatan.

Atributos de máquina, solo e planta após o manejo com plantas de cobertura e profundidades de atuação da haste sulcadora, em Latossolo compactado / Jônatan Müller. – 2016.

114 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Alcir José Modolo

Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2016.

Bibliografia: f. 95 – 114

1. Semeadura. 2. Solos - Compactação. 3. Milho - Cultivo. 4. Solos - Manejo. 5. Cobertura dos Solos. I. Modolo, Alcir José. Orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD (22. Ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Gerência de Ensino e Pesquisa
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Título da Tese n.º 025

Atributos de Máquina, Solo e Planta Após o Manejo Com Plantas de Cobertura e Profundidades de Atuação da Haste Sulcadora, em Latossolo Compactado.

Por

Jônatan Müller

Tese apresentada às treze horas e trinta minutos do dia quinze de dezembro de dois mil e dezesseis, como requisito parcial para obtenção do título de DOUTOR EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Deonir Secco
(UNIOESTE-Cascavel)

Prof.^a Dr.^a Leticia Sequinatto
(UDESC-Lages)

Prof. Dr. Paulo Fernando Adami
(UTFPR-Dois Vizinhos)

Prof. Dr. Luís César Cassol
(UTFPR-Pato Branco)

Prof. Dr. Alcir José Modolo
Orientador
(UTFPR/Pato Branco)

Prof. Dr. Giovani Benin
Coordenador do PPGAG

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”

A minha família pelos valores, incentivo, apoio e encorajamento. Pai (*in memoriam*) (José) e mãe (Rosélia), obrigado pela força e dedicação; aos meus irmãos, Cristiano e Isabel, agradeço por serem companheiros eternos; a minha querida esposa Patrícia e a minha filha Eduarda por estarem sempre ao meu lado nos momentos difíceis e felizes!

AGRADECIMENTOS

Ao professor Alcir José Modolo, pelos ensinamentos, incansável dedicação em orientar o andamento da pesquisa, bem como pelas lições e exemplo de vida que sempre passou.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela oportunidade de realizar esta Pós-Graduação.

Aos meus colegas e amigos da Graduação e Pós-Graduação, Rudi Otto Dams, Antônio Carlos Marangoni de Col, Gabrielli Fiorentin Dedordi, Robson Gonçalves Trentin, Andrei Daniel Zdziarski e Michael Mazurana pelo auxílio na pesquisa, companheirismo, difusão de conhecimento e momentos de diversão.

Aos professores do PPGAG – UTFPR e de outras instituições que contribuíram com o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao seu Otávio, que ajudou na implantação e manutenção da área experimental.

A todas as pessoas que influenciaram positivamente na minha trajetória de vida até o momento...

Muito obrigado!!!

“Não digo que fiz muito, bem como não digo que fiz pouco, simplesmente fiz o possível de acordo com a condição”.

RESUMO

MÜLLER, Jônatan. Atributos de máquina, solo e planta após o manejo com plantas de cobertura e profundidades de atuação da haste sulcadora, em Latossolo compactado, 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O sistema de semeadura direta é caracterizado pelo mínimo revolvimento do solo e manutenção de resíduos vegetais em cobertura. Contudo, o descaso com o manejo do solo, tem proporcionado, sistematicamente, o surgimento de camadas compactadas em áreas agrícolas conduzidas nesse sistema, as quais podem ocasionar a diminuição da produtividade das culturas. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros de máquina, solo e planta em função do cultivo de plantas de cobertura e quatro profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo, em Latossolo compactado conduzido em sistema de semeadura direta. O experimento foi realizado em duas safras agrícolas (2013/2014 e 2014/2015) na área experimental da UTFPR, em um Latossolo Vermelho distroférrico, com textura muito argilosa (76% de argila). O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, sendo os tratamentos dispostos no esquema de faixas com dois fatores e quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Os tratamentos principais foram compostos pela combinação de quatro profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo (6,5; 9,5; 12,5 e 15 cm) no processo de semeadura do milho e os secundários pelo cultivo de duas plantas de cobertura de inverno (aveia preta e nabo forrageiro). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificação dos efeitos dos fatores profundidades de atuação da haste, plantas de cobertura do solo e sua interação. Quando o teste F foi significativo a 5% de probabilidade, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para os fatores qualitativos (plantas de cobertura de inverno). Para os fatores quantitativos (profundidades de atuação da haste sulcadora) e interações foi aplicado o teste de regressão polinomial. O aprofundamento da haste sulcadora ampliou a força de tração e a potência requerida na barra no processo de semeadura, bem como diminui a velocidade média do conjunto mecanizado e a força de tração específica, e apesar de gerar maior mobilização do solo na linha de semeadura não demonstrou ser uma prática de manejo eficiente para aumentar a produtividade do milho. A utilização de plantas de cobertura e profundidades de atuação da haste, entre si, não modificaram os parâmetros de resistência do solo à penetração, densidade e porosidade do solo, na entrelinha de cultivo. A população final de plantas, o índice de velocidade de emergência de plântulas e os componentes de produção do milho não variaram em função da profundidade de atuação da haste sulcadora.

Palavras-chave: Semeadura direta. Compactação do solo. Produtividade do milho. Manejo do solo. Semeadora-adubadora.

ABSTRACT

MÜLLER, Jonatan. Machine attributes, soil and plant seeder after management with cover crops and depths of driller shank in compressed Latossolo, 114 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Area of Concentration: Crop Production), Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2016.

The system of direct sowing is characterized by the minimum tillage of the soil and maintenance of vegetal residues in cover. However, neglect with soil management has systematically provided the emergence of compacted layers in agricultural areas conducted in this system, which may lead to a decrease in crop productivity. Thus, the objective of this work was to evaluate the machine, soil and plant parameters as a function of the cultivation of cover plants and four depths of the fertilizer routing rod, in a compacted Oxisol conducted in a no - tillage system. The experiment was carried out in two agricultural crops (2013/2014 and 2014/2015) in the experimental area of UTFPR, in a dystroferric Red Latosol, with a very clayey texture (76% clay). The experiment was conducted in a randomized complete block design, and the treatments were arranged in two - factor and four replicate bands, totaling 32 experimental units. The main treatments were composed by the combination of four depths of fertilizer routing (6.5, 9.5, 12.5 and 15 cm) in the corn sowing process and the secondary ones by the cultivation of two cover crops Winter (black oat and forage turnip). The obtained data were submitted to the analysis of variance to verify the effects of the factors depths of rod actuation, soil cover plants and their interaction. When the F test was significant at 5% probability, the means were compared by the Tukey test for the qualitative factors (winter cover plants). For the quantitative factors (furrow depths) and interactions, the polynomial regression test was applied. The deepening of the furrowing rod increased the traction force and the power required in the bar in the sowing process, as well as reducing the average velocity of the mechanized set and the specific traction force, and despite generating a greater mobilization of the soil in the sowing line. Has been shown to be an efficient management practice to increase maize productivity. The use of cover plants and stem depths, among themselves, did not modify soil resistance parameters to soil penetration, density and porosity, in the intercrop line. The final population of plants, seedling emergence speed index and maize production components did not vary according to the depth of action of the furrowing rod.

Keywords: Direct seeding. Soil compaction. Corn yields. Soil management. Seeder.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO PARA O BRASIL E O ESTADO DO PARANÁ.....	21
2.2 CARACTERÍSTICAS DA CULTURA DO MILHO	22
2.3 SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA	24
2.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS CONDUZIDAS EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA.....	26
2.5 DESEMPENHO DAS SEMEADORAS-ADUBADORAS EM PLANTIO DIRETO .	30
2.6 PLANTAS DE COBERTURA: ALTERNATIVA PARA VIABILIZAR O SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 LOCALIZAÇÃO, HISTÓRICO DE MANEJO E CLIMA	36
3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	37
3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL	38
3.4 PRESSÃO DE CONTATO DOS PNEUS DO TRATOR COM O SOLO.....	39
3.5 AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MINERALÓGICA DO SOLO	40
3.5.1 Textura e Características Químicas do Solo	40
3.5.2 Caracterização Física do Solo.....	41
3.5.2.1 Ensaio de próctor normal	41
3.5.2.2 Densidade relativa do solo	44
3.5.2.3 Análise de consistência do solo.....	45
3.5.2.4 Teor de umidade do solo.....	46
3.5.2.5 Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo .	46
3.5.2.6 Resistência do solo à penetração.....	47
3.5.3 Mineralogia do Solo da Área Experimental	47
3.6 MÁQUINAS E IMPLEMENTOS UTILIZADOS NA SEMEADURA DAS CULTURAS DE INVERNO E VERÃO	48
3.7 SEMEADURA E MANEJO DAS CULTURAS DE INVERNO E VERÃO.....	50
3.7.1 Semeadura e Manejo das Culturas de Cobertura de Inverno	50
3.7.2 Manejo da Cultura de Verão.....	51
3.8 DEMANDA ENERGÉTICA NA SEMEADURA DO MILHO	52

3.8.1. Força de Tração Média na barra Exigida pela Semeadora-Adubadora de Precisão	52
3.8.2 Força de Tração Média por Linha de Semeadura	53
3.8.3 Força de Tração Média por Área de Solo Mobilizada.....	54
3.8.4 Potência Requerida na Barra de Tração	54
3.8.5 Velocidade do Conjunto Trator/Semeadora-Adubadora.....	55
3.9 AVALIAÇÕES PÓS-SEMEADURA DA CULTURA DO MILHO	55
3.9.1 Profundidade de Deposição de Sementes	55
3.9.2 Profundidade Máxima, Largura, Área e Volume de Solo Mobilizado.....	55
3.9.3 Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas	57
3.9.4 Estande Final de Plantas.....	58
3.10 COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DO MILHO	58
3.10.1 Número de Fileiras de Grãos por Espiga	58
3.10.2 Número de Grãos por Fileira	58
3.10.3 Número de Grãos por Espiga	58
3.10.4 Massa de Mil Grãos.....	58
3.10.5 Rendimento de Grãos	59
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1 PARÂMETROS DE MÁQUINA NA SEMEADURA DO MILHO	60
4.1.1 Força de Tração Média Requerida na Barra	61
4.1.2 Força de Tração Média Requerida na Barra por Linha de Semeadura	62
4.1.3 Força de Tração Específica Requerida na Barra	64
4.1.4 Potência Média Requerida na Barra de Tração	65
4.1.5 Velocidade do Conjunto Trator-Semeadora	66
4.2 PARÂMETROS DE SOLO	68
4.2.1 Densidade do Solo	69
4.2.2 Porosidade do Solo	71
4.2.3 Resistência do Solo à Penetração.....	73
4.3 PARÂMETROS DE MOBILIZAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DE SEMEADURA	75
4.3.1 Profundidade de Semeadura.....	77
4.3.2 Largura Superficial de Sulco de Semeadura	79
4.3.3 Área de Solo Mobilizada no Sulco de Semeadura	80

4.3.4 Volume de Solo Mobilizado no Sulco de Semeadura.....	82
4.3.5 Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas	83
4.3.6 Produtividade de Matéria Seca das Culturas de Cobertura de Inverno.....	84
4.4 PARÂMETROS DA CULTURA DO MILHO.....	86
4.4.1 População de Plantas.....	87
4.4.2 Número de Fileiras de Grãos por Espiga	88
4.4.3 Número de Grãos por Fileira.....	89
4.4.4 Número de Grãos por Espiga.....	89
4.4.5 Massa de Mil Grãos.....	90
4.4.6 Produtividade da Cultura do Milho.....	91
5 CONCLUSÕES	93
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
REFERÊNCIAS.....	95

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Precipitação pluviométrica (mm), evapotranspiração (Etc) e temperatura (°C) nos estádio de desenvolvimento da cultura do milho, nas safras 2013/2014 (A) e 2014/2015 (B). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016. Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR).	37
Figura 2 – Croqui do experimento em faixas conduzido em delineamento de blocos ao acaso (B1, B2, B3 e B4), em função das profundidades de atuação da haste sulcadora (P1-6,5; P2-9,5; P3-12,5 e P4-15,0 cm) e cultivo de plantas de cobertura aveia preta (A) e nabo forrageiro (N). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	38
Figura 3 – Área de contato do pneu traseiro (A) e dianteiro (B) com o solo, demarcada pela aplicação de calcário. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	39
Figura 4 – Área de contato do pneu traseiro (A) e dianteiro (B) com o solo, após processamento no programa SisCob. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	40
Figura 5 – Vista geral do equipamento desmontado utilizado no ensaio de proctor normal (A) e montado (B). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	42
Figura 6 – Densidade do solo (g cm^{-3}) em função da variação da umidade do solo (g g^{-1}). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	44
Figura 7 – Aparelho de Casagrande elétrico e utensílios utilizados para determinação do limite de liquidez. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	45
Figura 8 – Aparelho Casagrande elétrico com amostra de solo seccionada por meio da utilização do bisel. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	46
Figura 9 – Vista geral da regulagem da profundidade de atuação da haste. Letras A, B e C indicam a mudança de regulagem vertical da haste sulcadora de adubo em função do posicionamento dos parafusos de fixação. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	49
Figura 10 – Travamento do ponto de articulação da linha de plantio da semeadora-adubadora, com abraçadeira metálica. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	50
Figura 11 – Datalogger para armazenamento dos dados produzidos pela célula de carga. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	52
Figura 12 – Célula de carga instalada entre a barra de tração móvel do trator e o cabeçalho da semeadora-adubadora. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	53
Figura 13 – Perfilômetro utilizado para determinação da profundidade, largura e área de solo mobilizado. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	56
Figura 14 – Força de tração média requerida na barra (kN) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	61
Figura 15 – Força de tração média requerida na barra (KN), por linha de semeadura, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	63

Figura 16 – Força de tração média específica requerida na barra (kN cm^{-2}) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	64
Figura 17 – Potência média requerida na barra (kW) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016...	65
Figura 18 – Velocidade de semeadura (m s^{-1}) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016..	67
Figura 19 – Difratoograma de raio X do solo extraído da camada 0,0 - 0,20 m. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	72
Figura 20 – Resistência do solo à penetração (MPa) em função das profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo em área cultivada com aveia preta (A) e nabo forrageiro (N), nas safras 2013/2014 (1) e 2014/2015 (2). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	73
Figura 21 – Profundidade de semeadura do milho (cm) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	77
Figura 22 – Largura superficial de sulco (cm) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e plantas de cobertura de inverno, na safra 2013 (A) e 2014/2015 (B). ns: não significativo. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	79
Figura 23 – Área de solo mobilizada (cm^2) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e plantas de cobertura de inverno, na safra 2013/2014 (A) e 2014/2015 (B) *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....	81
Figura 24 – Volume de solo mobilizado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e plantas de cobertura de inverno, na safra 2013/2014 (A) e 2014/2015 (B) *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.	82

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Análise química do Latossolo Vermelho, na profundidade de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, coletadas aleatoriamente na área do experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....41
- Tabela 2 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos parâmetros força de tração média na barra (FT), força de tração por linha de semeadura (FTL), força de tração específica (FTE), potência média na barra (PM) e velocidade média de semeadura (VM), na safra 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.60
- Tabela 3 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos parâmetros densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac), em duas profundidades de amostragem (0,04 – 0,07 m) e (0,12 – 0,15 m), nas safras 2013/2014 e 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.69
- Tabela 4 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres profundidade de semeadura (PS), largura superficial de sulco (LS), área de solo mobilizada (AM), volume de solo mobilizado (VSM), índice de velocidade de emergência (IVE) e matéria seca das plantas de cobertura (MS), nas safras 2013/2014 e 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.76
- Tabela 5 – Profundidade de semeadura do milho (cm) em função das plantas de cobertura de solo, nas safras 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....78
- Tabela 6 – Produtividade de matéria seca (MS) das plantas de cobertura de solo, nas safras 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.85
- Tabela 7 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres população final de plantas (PF), número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MG) e produtividade do milho (PM), nas safras 2013/2014 e 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....87
- Tabela 8 – Número de grãos por espiga (NGE) em função das plantas de cobertura de solo, na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.....90

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do milho é importante para o desenvolvimento da economia do estado do Paraná e do Brasil, em função de ser uma cultura com grande versatilidade de aplicação e apresentar retorno econômico aos produtores e empresas que a utilizam como matéria prima.

Visando a sustentabilidade das áreas de produção agrícola, ao longo do tempo, ocorreram mudanças nos sistemas de cultivo, em que o manejo convencional foi gradativamente sendo substituído pelo atual sistema de semeadura direta (SSD), ou mesmo, plantio direto.

O SSD é considerado uma das principais técnicas de manejo conservacionista, primordialmente pela manutenção da cobertura do solo com resíduos vegetais e o mínimo revolvimento na linha de semeadura. Entretanto, com o despertar de uma agricultura intensiva, na qual o tráfego de máquinas em áreas agriculturáveis é frequente e o cultivo é realizado muito mais respeitando um planejamento temporal do que visando à conservação dos recursos edáficos, o problema da compactação vem aparecendo, sistematicamente, em extensas áreas agrícolas do Paraná e do país, mostrando seus efeitos comprometedores ao desenvolvimento das culturas anuais conduzidas em SSD.

O efeito negativo do tráfego de máquinas e implementos agrícolas, principalmente quando efetuado em determinada condição de umidade, está relacionado à reorganização das partículas de solo, promovendo o aumento da densidade e resistência do solo à penetração, bem como ocasionando a diminuição da porosidade total e macroporosidade do solo.

Essas modificações, dependendo da magnitude, podem prejudicar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, ocasionar a diminuição da produtividade das culturas. Além disso, o aumento da densidade do solo pode alterar, consideravelmente, o desempenho das semeadoras-adubadoras em virtude do aumento da força de tração exigida pelas ferramentas de mobilização do solo.

Uma alternativa para tentar minimizar a possibilidade de perda de produtividade ocasionada pelo aumento do grau de compactação do solo, e que não descaracteriza a técnica de semeadura direta, consiste em aumentar a mobilização do solo na linha de semeadura por meio do aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo. Entretanto, esse manejo mecânico possui um custo energético elevado, destrutura um maior volume de solo, expõe o mesmo aos agentes erosivos e pode não resultar em acréscimo significativo de produtividade das culturas anuais, sendo que a compactação, nos locais mobilizados, retorna em um curto período de tempo, caso não seja adotado um sistema eficiente de manejo do solo.

Outra opção consiste na implantação de culturas de cobertura de inverno que desenvolvam sistema radicular volumoso e profundo. Porém, essa prática normalmente se apresenta como uma alternativa eficiente em médio e longo prazo. Desse modo, existe uma demanda crescente em avaliar a viabilidade prática da intervenção mecânica na minimização da compactação em Latossolo com textura muito argilosa, agrupada ao manejo com plantas de cobertura de inverno em sistema de semeadura direta, visando à manutenção, ou mesmo, o aumento da produtividade do milho.

Diante deste contexto, a hipótese geral é que o aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, associado ao cultivo de plantas de cobertura do solo, em algum grau, possam ocasionar alterações dos parâmetros de máquina, solo e planta, bem como proporcionar aumento da produtividade da cultura do milho, em Latossolo previamente compactado.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros relacionados a máquina, solo e planta após o manejo com quatro profundidades (6,5; 9,5; 12,5 e 15,0 cm) de atuação das hastes sulcadoras de adubo de uma semeadora-adubadora de precisão, associada ao cultivo de plantas de cobertura de inverno (nabo forrageiro e aveia preta), em Latossolo compactado conduzido em SSD.

Os objetivos específicos consistiram em:

- Avaliar a produção de massa seca das culturas de cobertura de inverno (nabo forrageiro e aveia preta);

- Determinar os atributos físicos do solo (densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência do solo à penetração);
- Avaliar a velocidade, a força de tração na barra e por linha de semeadura, a força de tração específica e a potência exigida pela semeadora-adubadora, na operação de semeadura do milho;
- Determinar a profundidade, largura máxima, área e volume de solo mobilizado no sulco de semeadura;
- Verificar a profundidade de deposição de sementes e o índice de velocidade de emergência de plântulas;
- Analisar o desenvolvimento da cultura do milho em semeadura direta por meio da população final de plantas, produtividade de grãos e componentes de rendimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO PARA O BRASIL E O ESTADO DO PARANÁ

A produção total de grãos no Brasil foi de 209,5 milhões de toneladas no ano agrícola de 2014/15, sendo esse montante, 8,3% superior à obtida na safra 2013/14, a qual atingiu 193,47 milhões de toneladas. Dessa totalidade de grãos, o milho se destacou com uma produção de 84,7 milhões de toneladas cultivadas em uma área de 15,7 milhões de ha, perfazendo uma produtividade média (primeira e segunda safra) de 5.394 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016).

No Brasil, grande parte do milho produzido é consumido internamente, sendo que aproximadamente 70% é direcionado na forma de ração para consumo animal (aves, suínos, bovinos e outros), 10% para fins industriais e o restante do que se produz é destinado à exportação (SOLOGUREN, 2015).

Na safra 2014/2015, o estado do Paraná foi responsável pela produção de 15,9 milhões de toneladas de grãos de milho, o que representa 18,7% da produção desse grão no Brasil (CONAB, 2016).

A importância da cultura para o desenvolvimento econômico do Estado do Paraná pode ser verificada ainda por meio da análise dos dados do Valor Bruto da Produção Agropecuária Paranaense (VBP), o qual representa a receita bruta total produzida pelo setor agropecuário. Em 2015, o VBP do milho situou-se em R\$ 6,17 bilhões anuais, o que condiz com 9,8% da renda bruta total do setor agropecuário do estado do Paraná, no referido ano (SEAB, 2015).

A participação do milho na VBP poderia ainda ser maior, pois Duarte (2011) relata que a baixa produtividade de milho no Brasil e nos estados é devido a baixa aplicação de tecnologia no cultivo da cultura.

Essa limitação de tecnologia aplicada à produção de milho pode ser constatada por inúmeros experimentos que demonstram a possibilidade de atingir

maior produtividade de grãos em relação à média brasileira (5.394 kg ha⁻¹) e do estado do Paraná (6.457 kg ha⁻¹) (CONAB, 2016).

Modolo et al. (2010) avaliando o desenvolvimento de três híbridos de milho (DKB 240, PIONEER 30R50 e SG 6010) semeados em três diferentes espaçamentos entrelinhas (0,45; 0,70 e 0,90 m), na região sudoeste do Paraná obtiveram produtividade média próxima a 8.000 kg ha⁻¹.

Em trabalhos conduzidos na mesma região do Paraná, Trogello et al. (2013) verificaram produtividade superior a 11.000 kg ha⁻¹, quando compararam a produtividade do milho em plantio direto, em função do manejo da aveia (gradeada, rolada, triturada e dessecada) e em duas velocidades de semeadura. Balem et al. (2014) observaram produtividade próxima a 13.000 kg ha⁻¹ quando compararam cinco densidades de semeadura (50.000; 65.000; 80.000; 95.000 e 110.000 plantas ha⁻¹) em espaçamento convencional (0,7 m entrelinhas) e espaçamento em linhas duplas (0,2 x 0,7 m).

2.2 CARACTERÍSTICAS DA CULTURA DO MILHO

Em função dos aspectos morfológicos, Siloto (2002) classifica a planta de milho como sendo uma monocotiledônea de desenvolvimento anual e pertencente à família *Poaceae* e espécie *Zea mays* L.

Por meio da adequação do manejo de produção e seleção de cultivares adaptadas às características edafoclimáticas de diferentes regiões, o milho se encontra disseminado mundialmente (FANCELLI, 1993; MACHADO et al., 1999; DUARTE et al., 2003).

Fornasieri filho (1992) relata que a planta de milho apresenta sistema radicular com inúmeras raízes de diâmetro similar, sendo classificado como fasciculado e podendo se estender por até 2,0 m sob o solo. Entretanto, grande parte fica situada na profundidade de 0,3 m, o que torna essa planta mais suscetível ao déficit hídrico em relação a outras culturas.

Acima do sistema radicular se forma um colmo segmentado por nós, os quais são espaçados pelos entrenós. Na base de cada nó surgem folhas disposta

alternadamente que apresentam limbo foliar amplo e alongado (GOODMAM; SMITH, 1987; FORNASIERI FILHO, 1992).

Quanto à parte reprodutiva, Toledo (1978) afirma que a característica monoica (inflorescência masculina e feminina separada) surgiu em função do aborto evolutivo dos estames na inflorescência feminina e do pistilo na masculina. Dessa forma, a planta atual apresenta uma panícula apical e uma espiga na altura média representando a flor masculina e feminina, respectivamente.

Sobre essa cultura, Fancelli; Dourado neto (2004) relatam que o ciclo de cultivares de milho podem se estender entre 100 e 180 dias em função da variação genotípica da planta. Nesse período, a cultura fica sujeita a ação dos fatores que diminuem a capacidade produtiva da mesma. Cruz et al. (2004) mencionam que o rendimento de milho é o resultado do potencial genotípico da planta, do manejo da lavoura, como também das condições de solo e clima do local de cultivo.

De modo geral, a cultura do milho é considerada exigente quanto à disponibilidade de água. Durães et al. (2004) relatam que a cultura, ao longo do desenvolvimento, necessita de 350 a 500 mm, sendo o consumo diário de 3 mm até a expansão completa da sétima folha e de 5 a 8 mm diários após a antese. Segundo os autores, a escassez de água em diferentes estádios fenológicos pode afetar a produtividade de grãos da cultura do milho. Comparando os estádios fenológicos de emergência, florescimento e formação de grãos, as maiores diminuições na produção estão associadas com a restrição de água no período de quinze dias antes e após a fase de florescimento.

Bergamaschi et al. (2004) constataram a perda de produtividade de 25 e 50% da produção de grãos quando houve escassez de água no estágio fenológico de emissão dos estigmas e pleno florescimento, respectivamente. Os autores afirmam ainda que pode haver quebra de safra mesmo em anos com volume de chuva normal, caso o déficit hídrico ocorra em período que a cultura é mais sensível.

Estimando a produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava – PR, por meio da análise da série ininterrupta de dados climáticos do período de 1984 a 2007, Wagner et al. (2013) verificaram que a cultura do milho é afetada pela distribuição da disponibilidade de água ao longo do ciclo

fenológico e a probabilidade média de redução de produção por deficiência hídrica é de aproximadamente 50%.

Além do déficit hídrico, o manejo da cultura pode ocasionar diminuição no rendimento produtivo, pois Strieder et al. (2007) e Sangoi et al. (2010) afirmam que a cultura do milho apresenta baixa capacidade de compensação em função de não perfilhar, não aumentar o número total de folhas, apresentar baixa prolificidade e limitada capacidade em aumentar a área foliar, caso ocorra mudanças no manejo ou no ambiente. Desse modo, é necessário que as práticas de manejo dessa cultura sejam cuidadosamente planejadas e ajustadas para minimizar os riscos de perda de produtividade.

2.3 SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

No sul do Brasil, na década de 60 e 70, ocorreu uma rápida expansão agrícola, que passou de 800 mil hectares cultivados em 1969 para 4 milhões em 1977, apoiados no preparo convencional do solo. Esse sistema de manejo fez com que as perdas de solo por erosão hídrica chegassem ao patamar de 10 toneladas ha^{-1} para cada tonelada de grão produzido. Desse modo, o ganho em produtividade gerado pelos avanços em melhoramento genético de cultivares, uso de adubos solúveis e máquinas agrícolas ficou comprometida pela degradação do solo (Amado; Eltz, 2003).

Em função da insustentabilidade do sistema adotado, agricultores, técnicos e pesquisadores buscaram sistemas alternativos de manejo que minimizassem a exposição do solo aos agentes erosivos. Na época surgiram duas frentes de trabalho, uma com utilização de escarificador (cultivo mínimo) e outra com semeadura da cultura (plantio direto) sem o revolvimento de solo (CASÃO JUNIOR, 2012).

Nas últimas décadas, a semeadura direta como técnica de manejo conservacionista do solo difundiu-se em várias regiões do mundo, visto ser

considerada a forma mais sustentável de manejo do solo (BERTOL et al., 2004; DENARDIN et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2012).

Segundo o MAPA (2014), o Brasil é líder mundial no uso desse sistema, que ocupa mais da metade de sua área agrícola cultivada. Corroborando com essa informação a FEBRAPDP (2016) divulgou levantamento que estima que a área com SSD no Brasil atingiu a totalidade de 31,8 milhões de hectares no ano de 2012.

Casão Junior (2012) menciona que 90% dos grãos produzidos no Paraná são frutos deste sistema conservacionista e Antunes (2009) relata que a SSD esteja sendo adotada em mais de 90 milhões de hectares distribuídos pelo mundo.

Esse sistema caracteriza-se como o método em que a semente é disposta no interior do sulco de semeadura minimamente mobilizado e a matéria seca da cultura antecessora é mantida sobre a superfície do solo. Desse modo, parte das plantas invasoras, ao longo do tempo, são controladas devido ao sombreamento gerado pelos resíduos vegetais e o restante eliminado pela utilização de herbicidas (DERPSCH et al., 1991; BORGES et al., 2014; MARTINS et al., 2016).

Séguy et al. (1996); Oliveira et al. (2012) e Volk et al. (2014) complementam que este sistema é ajustado às regiões tropicais devido à necessidade de manter o solo protegido da precipitação pluviométrica a fim de minimizar os processos erosivos.

O SSD também é responsável por alterar a temperatura do solo, a qual está diretamente ligada ao desenvolvimento das culturas. Silva et al. (2006) avaliaram a variação de temperatura do solo ao longo do desenvolvimento da cultura do feijão, em função de diferentes métodos de preparo do solo (semeadura direta, preparo convencional em área de plantio direto e cultivo mínimo). Os autores verificaram que a amplitude térmica foi menor no SSD e que a temperatura máxima do solo a 0,025 m de profundidade foi de 42,2 °C na área com manejo convencional, 43,7 °C na área escarificada e de 36,1 °C no plantio direto.

Costa et al. (2003) constataram haver diferença de 13% na temperatura máxima do solo às 15 h quando comparado o sistema de plantio direto com o convencional, sendo de 24,7 °C e 27,9 °C, respectivamente. Além disso,

mencionam que na camada de 0,0 - 0,1 m, no verão, o armazenamento de água foi 26% superior na área conduzida em semeadura direta, em relação ao sistema de preparo convencional do solo.

Em estudo objetivando investigar o efeito em longo prazo (19 anos) de sistemas de preparo do solo (preparo convencional e plantio direto) e de rotação de culturas (sucessão de monoculturas, rotação de culturas de inverno e rotação intensiva de culturas) no estoque de carbono, Campos et al. (2011) concluíram que a prática de semeadura direta melhora a qualidade de carbono armazenado no solo, em relação ao plantio convencional. Além disso, verificaram que a inclusão de plantas de cobertura, é uma importante estratégia para o sequestro de CO₂ atmosférico.

Pela análise conjuntural é possível afirmar que a técnica de semeadura direta tornou o sistema de produção agrícola mais sustentável. Porém, foi constatado por Beutler et al. (2001), Tavares filho et al. (2001), Fabrizzi et al. (2005), Freddi et al. (2007), Suzuki et al., (2008), Kamimura et al. (2009) e Debiasi et al. (2010) que o tráfego de máquinas agrícolas tem ocasionado a compactação do solo em semeadura direta, em regiões com características edafoclimáticas distintas.

Essas informações são confirmadas por estudos desenvolvidos pela Embrapa Soja que mencionam que aproximadamente 45% das áreas agrícolas com solo argiloso e cultivadas com soja/milho no Paraná, apresentam grau de compactação, na camada de 0,1 - 0,2 m, restritivos ao desenvolvimento radicular e conseqüentemente, da parte aérea das plantas (FRANCHINI et al., 2009; FRANCHINI et al., 2011).

2.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS AGRÍCOLAS CONDUZIDAS EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

A compactação se caracteriza pela alteração da estrutura do solo em função da reorganização das partículas e agregados, resultando comumente no aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total (STONE et al., 2002; VALADÃO et al. 2015). O grau de compactação do solo governa a

modificação de seus atributos, ou seja, dependendo do grau pode limitar a taxa de infiltração e redistribuição de água no solo, como também comprometer o fluxo de gases e absorção de nutrientes, o que pode restringir o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das culturas (GHOHMANN; QUEIROZ NETO, 1996; LAL; SHUKLA, 2004; COLLARES et al., 2008), ocasionando a diminuição da produtividade (SOANE; OUWERKERK, 1994; BEUTLER et al., 2005; COLLARES et al., 2006; CAVALIERI et al., 2009; GUBIANI et al., 2014).

Segundo Spera et al. (2004) e Kunz et al. (2013) o aumento da utilização do solo para cultivo tem ocasionado modificações em suas propriedades físicas, as quais normalmente são desfavoráveis ao desenvolvimento das culturas anuais. Nas áreas em que a compactação do solo é recorrente e os processos de descompactação naturais ocorrem em pequena escala, existe uma forte tendência dos efeitos negativos da compactação se perpetuarem (RICHART et al. 2005).

De acordo com Horn et al. (2000) e Feitosa et al. (2015) nas últimas décadas percebeu-se um aumento significativo na utilização de máquinas e equipamentos agrícolas, como também na pressão de contato dos pneus sobre o solo. Conforme os autores, essa é uma das principais causas do surgimento de camadas compactadas em subsuperfície.

Alakukku et al. (2003) e Schjonning et al. (2008) complementam que a distribuição espacial de pressões no perfil do solo exercida pelo tráfego de máquinas é complexa, bem como Hakansson; Voorhees (1998) e Botta et al. (2012) especificam que a pressão de contato dos pneus com o solo tende a formar camadas compactadas em superfície e que o incremento da carga por eixo é fator preponderante para formar camadas compactadas em subsuperfície.

Para Keller et al. (2002) e Seki et al. (2015), a compactação do solo em camadas superficiais pode ser considerada de baixa significância, pois as mesmas normalmente são removidas pelos órgãos sulcadores das semeadoras ou pelo preparo do solo. Porém, o problema e a preocupação ficam voltados para a compactação formada em subsuperfície, visto que a descompactação em maiores profundidades demanda altos custos (ALAKUKKU et al., 2003; CHAMEN et al., 2003, ROSA et al., 2011; BELLÉ et al., 2014).

O estado de compactação do solo é dependente de vários fatores, destacando-se a textura e o teor de carbono orgânico (IMHOFF et al., 2004; BRAIDA et al., 2010), a umidade gravimétrica no momento do manejo mecânico do solo (BRAIDA et al., 2008) e a frequência e intensidade com que as cargas são aplicadas ao solo pelos rodados das máquinas agrícolas (CHAMEN et al., 2003; CAVALIERI et al., 2009). Além disso, estudos apontam que a mineralogia do solo apresenta estreita relação com a estruturação e suscetibilidade de determinado solo se compactar (AJAYI et al., 2009).

Analisando a associação da mineralogia da fração argila à estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil, Ferreira et al. (1999) concluíram que o comportamento da densidade do solo (DS) de determinado solo está diretamente associado aos teores de caulinita e gibbsita. Segundo os autores, Latossolos cauliniticos, pela disposição face a face das placas de caulinita proporciona solos com maior densidade, ocorrendo o inverso em Latossolos gibbsíticos.

Dentre os fatores que influenciam no grau de compactação do solo, alguns são passíveis de controle pelo manejo como, por exemplo, o aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS), por meio da utilização de um sistema agrícola com maior aporte de resíduos vegetais (LAL, 2004; DIECKOW et al., 2009), bem como a condição de umidade no momento do tráfego de máquinas agrícolas (BRAIDA et al., 2008).

Complementando essa afirmação, Braida et al. (2006) mencionam que a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo auxilia na distribuição das pressões exercidas pelos rodados das máquinas. Entretanto, é comum que alguns desses fatores tenham pouca representatividade em minimizar o estado de compactação do solo, visto que muitos agricultores, em função de terem um parque de máquinas reduzido e respeitarem o zoneamento agrícola, acabam trafegando com máquinas e implementos sobre o solo em estado de consistência plástica, a fim de cumprir com as tarefas agrícolas (ARAÚJO JUNIOR et al., 2011).

Na literatura, os atributos do solo mais comumente medidos e tomados como indicadores do estado de compactação são a resistência do solo a penetração (KLEIN et al., 2009), a densidade e a macroporosidade do solo (MICHELON et al., 2009). Esses atributos normalmente são relacionados às características biométricas

das plantas cultivadas (altura, diâmetro do colmo, área foliar e crescimento radicular). Contudo, poucas pesquisas publicadas relacionam os atributos do solo com a produtividade das culturas (GUBIANI, 2012).

Freddi et al. (2007), analisando a produtividade e crescimento do sistema radicular da cultura do milho num Latossolo, em experimento com seis níveis de compactação, constataram que a produtividade decresceu com o aumento do nível de compactação do solo.

Porém, Cardoso et al. (2006) argumentam que, mesmo com o aumento da densidade do solo gerado pelo tráfego de máquinas em semeadura direta, isso não significa, necessariamente, que haverá redução na produtividade das culturas, pois há dependência de outros fatores diversos à densidade do solo. Sugerem ainda que camadas compactadas de solo não afetaram de forma significativa o rendimento final de grãos e massa seca da cultura da soja.

Mazurana et al. (2011) analisando em experimento de longa duração os atributos físicos do solo, produtividade de grãos e massa seca das culturas anuais em função de diferentes tipos de preparo do solo: semeadura direta (SD), escarificação (E), semeadura direta com escarificação a cada dois anos (SDE2), escarificação com escarificador munido de rolo destorroador (ER) e escarificação seguida de gradagem (EG), constataram que a densidade do solo, a resistência do solo à penetração e a microporosidade aumentaram em detrimento da diminuição da macroporosidade. Além disso, observaram que a densidade do solo foi menor nos sistemas de preparo com maior grau de mobilização do solo, sendo os maiores valores observados para o sistema SD e os menores para o sistema EG, ao passo que o rendimento das culturas foi maior nos sistemas com menor mobilização do solo.

Em área conduzida sob plantio direto, Conte et al. (2009) avaliaram o efeito do tráfego de máquinas, da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e da quantidade de resíduos presentes na superfície do solo sobre o desempenho do milho. Os autores verificaram que a profundidade de atuação das hastes sulcadoras não interferiu em nenhuma das variáveis avaliadas no milho, em área sem e com irrigação.

Nesse contexto, evidencia-se que o grau de compactação do solo está associado à complexa interação entre os fatores intrínsecos de solo, manejo do sistema de produção e o tráfego de máquinas em área agrícola.

2.5 DESEMPENHO DAS SEMEADORAS-ADUBADORAS EM PLANTIO DIRETO

Com o aumento das áreas agrícolas conduzidas em sistema de semeadura direta (FEBRAPDP, 2016) e o surgimento de extensas áreas compactadas fez com que as máquinas de semeadura fossem modificadas. Uma das alterações significativas foi a substituição dos discos duplos utilizados para deposição de adubo por hastes sulcadoras (MACHADO et al., 1996). Genro Junior et al. (2004) e Abreu et al. (2004) relatam que essas ferramentas de mobilização do solo (hastes) apresentam uma maior efetividade em romper camadas compactadas quando comparadas aos discos duplo.

Ao avaliarem atributos de solo e de planta, Reis et al. (2006) verificaram maior emergência de plantas de milho, em área conduzida em sistema de semeadura direta, quando as hastes sulcadoras foram comparadas aos discos duplos. Os autores afirmam que esse resultado está ligado ao maior volume de solo mobilizado e conseqüente diminuição da densidade do solo.

Modolo et al. (2013) trabalhando com a cultura do milho em sistema de integração lavoura-pecuária, em 4 níveis de pastejo e dois tipos de sulcadores (haste e disco) evidenciaram aumento significativo de densidade do solo em função do aumento da carga animal por área. Os mesmos autores constataram mobilização de 71,0 e 103,0 cm² para o disco duplo e a haste, respectivamente. Além disso, a produtividade da cultura diminui linearmente com a intensidade de pastejo, em área semeada com a utilização do sulcador tipo disco duplo, sendo que a mesma foi amenizada em função da utilização de haste sulcadora.

Mion et al. (2002) analisando a mobilização do solo com a utilização de hastes sulcadoras de adubo nas profundidades de 0,12; 0,16; 0,24 e 0,30 m verificaram que a utilização dessas ferramentas de mobilização do solo podem

diminuir a compactação do solo, em função de obter na profundidade de 0,3 m, uma área de solo mobilizada no sulco de semeadura de 346,0 cm². Contudo, a utilização de hastes sulcadoras de adubo em maiores profundidades tem ocasionado diminuição no rendimento operacional, principalmente pela maior exigência de tração (PALMA et al., 2010).

Sánchez-Girón et al. (2005) relatam que o formato da haste sulcadora (tipo de ponteira, largura e ângulo de ataque) apresenta relevância na demanda de tração. Além disso, dentre as propriedades de solo, a densidade se apresenta como um fator de grande significância no esforço de tração.

Conte et al. (2009) constataram que a demanda de tração pela haste sulcadora de semeadora-adubadora de precisão apresentou aumento significativo nas áreas compactadas pelo tráfego dos rodados das máquinas agrícolas, em relação as áreas sem tráfego. Contudo, Rosa et al. (2012) afirmam que o tráfego afeta a estrutura do solo, sem alterar, porém, a demanda de tração. Os mesmos autores mencionam que a mudança da intensidade de tráfego, de 24,79 para 49,59 Mg km⁻¹ ha⁻¹, em Argissolo em condição de consistência friável, não ocasionou maiores alterações nas propriedades físicas do solo e parâmetros de máquina avaliadas.

Em estudo sobre o esforço de tração de hastes sulcadoras de adubo, Cepik et al. (2010) verificaram que entre os fatores avaliados, o aumento na profundidade de atuação da ferramenta de mobilização do solo foi o fator que ocasionou aumento relevante na demanda de tração.

A regulagem com maior profundidade de atuação das hastes sulcadoras de adubo ocasiona o aumento da área e volume de solo mobilizado, podendo ocasionar alterações nos parâmetros de semeadura. Desse modo, é importante avaliar a qualidade de semeadura, pois se considera o processo de semeadura como adequado, quando a diferença entre a quantidade de sementes depositadas no sulco (plantas possíveis) e as emergidas é mínima, o espaçamento entre as plantas é uniforme e o período para emergência da população total de plântulas seja rápido (MARONI et al., 2005).

Nesse contexto, ao avaliarem a qualidade de semeadura e a produtividade da cultura da soja sob diferentes sulcadores e velocidades de

operação, Modolo et al. (2012) obtiveram que o sulcador tipo haste ocasionou maior profundidade de semeadura e área de solo mobilizada, quando comparado ao disco duplo. Os autores verificaram ainda que o aumento na velocidade ocasionou a diminuição do estande de plantas e a produtividade da cultura, mesmo tendo aumentado a área de solo mobilizada.

Cavichioli et al. (2014) analisando a produtividade da cultura do milho em função da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de adubo (0,10; 0,125 e 0,15 m) e em duas velocidades de semeadura (4,5 e 6,5 km h⁻¹) constataram que a variável emergência apresentou rápida estabilização (7 dias), não sofrendo influência da velocidade, porém, foi mais rápida na profundidade de 0,15 m. Considerando às variáveis distribuição longitudinal e produtividade do milho, não foi constatada diferença significativa.

Santos et al. (2008) determinando o estande de plantas, índice de velocidade de emergência, uniformidade de semeadura (duplos, aceitáveis e falhas), profundidade de semeadura, danos mecânicos e germinação de sementes em três modelos distintos de semeadoras e três velocidades de semeadura (5,0; 6,5 e 8,0 km⁻¹) não verificaram resultado significativo quando compararam às semeadoras, porém, houve redução na uniformidade de semeadura e aumento de grãos danificados em função do aumento da velocidade no processo de semeadura da cultura.

2.6 PLANTAS DE COBERTURA: ALTERNATIVA PARA VIABILIZAR O SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

A semeadura direta está baseada na manutenção da cobertura com resíduos vegetais e a mínima mobilização do solo no momento da implantação das culturas (SEIXAS et al., 2005). Os autores afirmam que essa prática torna os agroecossistemas produtivos mais estáveis, pois apresenta uma menor desordem quando comparado às práticas de mobilização mais intensa do solo.

Andreotti et al. (2008) complementam que para a consolidação da semeadura direta é necessária a implantação de culturas que produzam

quantidades significativas de palhada, pois o processo de decomposição é elevado em regiões com clima mais quente.

Segundo Cruz et al. (2001) os sistemas de cultivo que não contemplam plantas de cobertura em rotação acabam produzindo palhada insuficiente para promover adequada cobertura do solo. Os autores estimam o mínimo de 6 t ha⁻¹ de matéria seca para promover uma cobertura eficiente de solo e relatam ainda que a produção de matéria seca residual sobre a superfície na sucessão soja/trigo foi de 2,5 e 1,5 t ha⁻¹, respectivamente.

A manutenção da cobertura do solo obtida por meio do cultivo de plantas é de fundamental importância, pois minimizam ou mesmo controlam o processo de erosão do solo (CARDOSO et al., 2012). Além disso, a cobertura atenua a amplitude térmica e minimiza a evaporação da água disponível no solo ao longo do desenvolvimento das culturas (FURLANI et al., 2008; ANDRADE et al., 2011).

Para que esses benefícios sejam atingidos, Alvarenga et al. (2001) e Amado et al. (2002) relatam a necessidade de implantar espécies com maior capacidade de produção de biomassa em função das características edafoclimáticas da região, bem como ser utilizadas para fins comerciais e apresentar baixa capacidade de hospedar pragas potenciais.

Entre essas culturas se destaca a *Avena stringosa* (aveia preta), pois tem mostrado elevada produção de matéria seca, tolerância ao déficit hídrico e controle de plantas daninhas (PAES; REZENDE, 2001; ALTIERI et al., 2011). Outra cultura que mostra bom desempenho é o *Raphanus sativus* L (nabo forrageiro). Sanchez et al. (2012) relatam que entre as plantas de cobertura de inverno avaliadas, a cultura do nabo forrageiro teve destaque na produção de biomassa quando comparada a aveia preta, azevém e ervilhaca.

Cardoso et al. (2003) e Santos et al. (2014) se mostram favoráveis a utilização de plantas de cobertura de inverno, pois mencionam que somente a diminuição do tráfego de máquinas não é suficiente para minimizar a compactação do solo, em sistema de semeadura direta. Os mesmos afirmam que a adoção da rotação de culturas com utilização de plantas de cobertura de inverno que

apresentam sistema radicular volumoso e profundo se mostram essenciais para diminuir a compactação do solo.

Silva et al. (1997) e Ferreira et al. (2011) constataram que a associação entre a técnica de semeadura direta e o uso de plantas de cobertura de inverno tem proporcionado a manutenção e até o aumento de produtividade das culturas anuais de verão.

Esses resultados, em parte, podem estar relacionados a abertura de bioporos gerados pelo desenvolvimento do sistema radicular de plantas de cobertura de solo que são capazes de transpor camadas compactadas (SILVA et al., 2009), como também pelo aumento do teor de matéria orgânica do solo em profundidade (PICKLER et al., 2012; HICKMANN; COSTA, 2012). Contudo, resultados consistentes em função do uso de plantas de cobertura de inverno devem surgir somente após um ano de cultivo, pois Sanchez et al. (2012) avaliando a resistência mecânica do solo à penetração e a produção de biomassa das culturas de cobertura (aveia preta, azevém, ervilhaca e nabo forrageiro) em Latossolo com 72% de argila, verificaram que no primeiro ciclo de cultivo as plantas de cobertura não foram eficazes de diminuir a compactação do solo.

Para Bayer; Mielniczuk, (1999), Silva et al. (2002) e Conceição et al. (2005) a adoção de um sistema produtivo com utilização de plantas de cobertura com sistema radicular variado e volumoso, a médio e longo prazo, é uma das formas de tornar a densidade do solo mais adequada para o desenvolvimento das culturas. Esses autores verificaram que o manejo com plantas de cobertura tende a aumentar o teor de matéria orgânica do solo, a qual funciona como agente cimentante, formando e estabilizando agregados de solo.

Vezzani et al. (2011) avaliaram a contribuição de práticas de manejo na recuperação da agregação de um solo fisicamente degradado e o estoque de carbono (C), na camada superficial de 0,0 - 0,075 m de um Argissolo Vermelho distrófico típico, sob sistemas de manejo. Os mesmos concluíram que as práticas de manejo sem revolvimento do solo (SD), associadas à maior adição de C pelos sistemas de culturas por 15 a 17 anos, recuperaram a agregação do solo e o estoque de C, próximo à condição original de campo nativo.

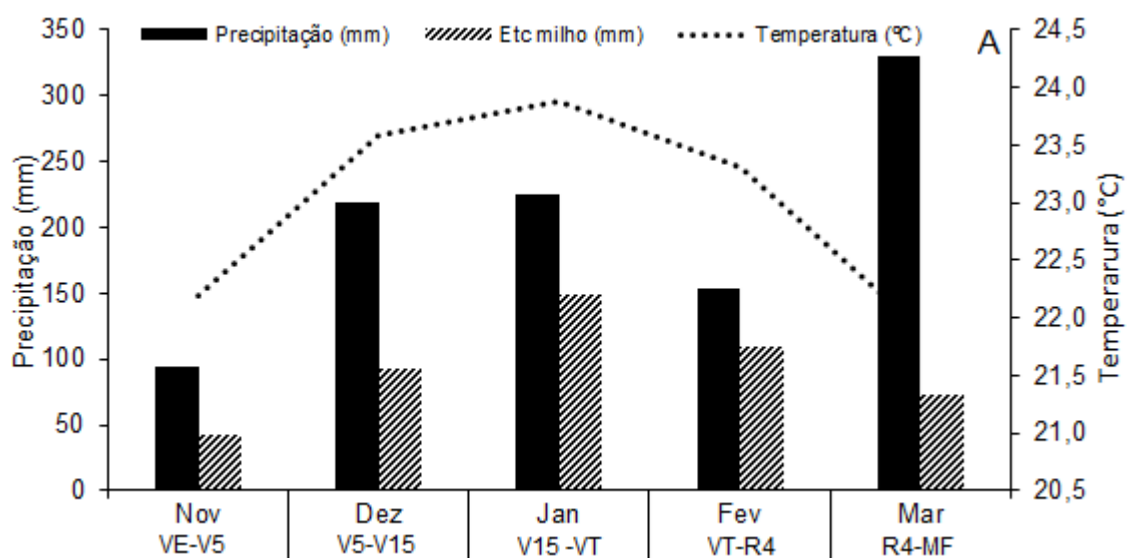
Na mesma linha de pensamento, Sequinato et al. (2014) avaliaram a recuperação da qualidade física de um Argissolo por meio da utilização de plantas cobertura de inverno (pousio, aveia preta + ervilhaca e nabo forrageiro), em três condições de tráfego (tráfego de rodados de trator, colhedora e sem tráfego) e duas profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo da semeadora (0,12 e 0,21 m). Os autores constataram que as práticas integradas de manejo do solo com a semeadura direta, a utilização de plantas de cobertura e o tráfego controlado, são eficazes na recuperação da estrutura física de um solo degradado pela compactação, adquirindo no tempo, qualidade física adequada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO, HISTÓRICO DE MANEJO E CLIMA

O experimento foi desenvolvido na área experimental do curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - Campus Pato Branco, localizada nas coordenadas 26°41'17" Sul e 52°41'17" Oeste, em área conduzida a mais de 16 anos em sistema de semeadura direta, com manejo de sucessão de culturas, por meio do cultivo de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max* L.) como culturas predominantes de verão e aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) como cultura de inverno.

O clima da região é subtropical úmido do tipo (Cfa), conforme classificação de Köppen (MAACK, 1968), com altitude de 760 m. A temperatura média, bem como a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração da cultura do milho calculada de acordo com a metodologia de Thornthwaite (1948), ocorrida ao longo dos dois anos de condução do experimento, podem ser visualizadas nas Figuras 1 A e B.



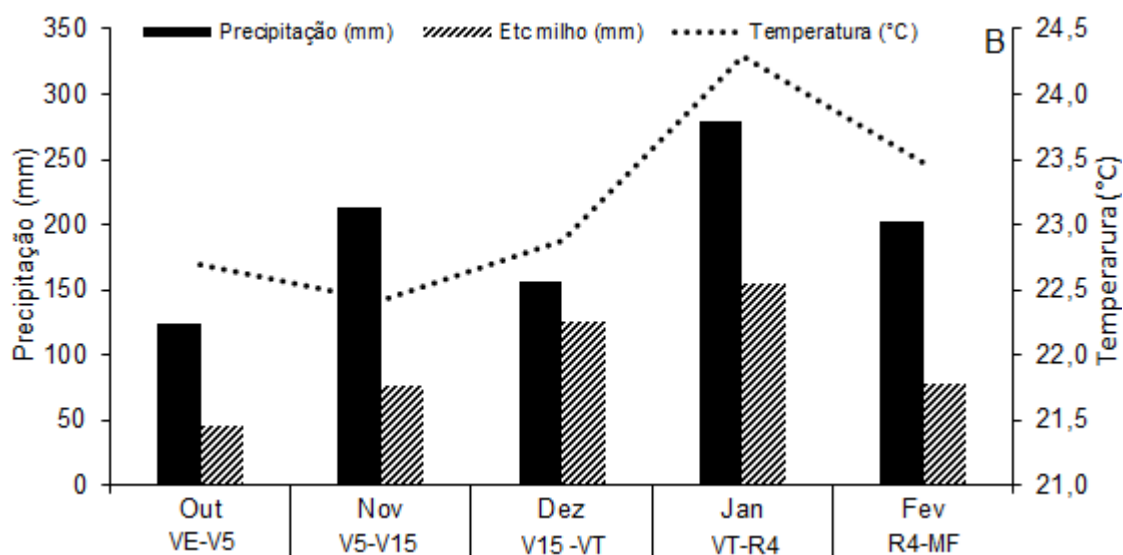


Figura 1 – Precipitação pluviométrica (mm), evapotranspiração (Etc) e temperatura (°C) nos estádios de desenvolvimento da cultura do milho, nas safras 2013/2014 (A) e 2014/2015 (B). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016. Fonte: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR).

3.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, sendo os tratamentos dispostos no esquema de faixas com dois fatores e quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais, cada qual com área de 52,5 m² (3,5 m x 15 m). Os tratamentos principais foram compostos pela combinação de quatro profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo (6,5; 9,5; 12,5 e 15 cm) no processo de semeadura do milho e os secundários pelo cultivo de duas plantas de cobertura de inverno (aveia preta e nabo forrageiro) (Figuras 2), em Latossolo previamente compactado pelo tráfego dos rodados do trator.

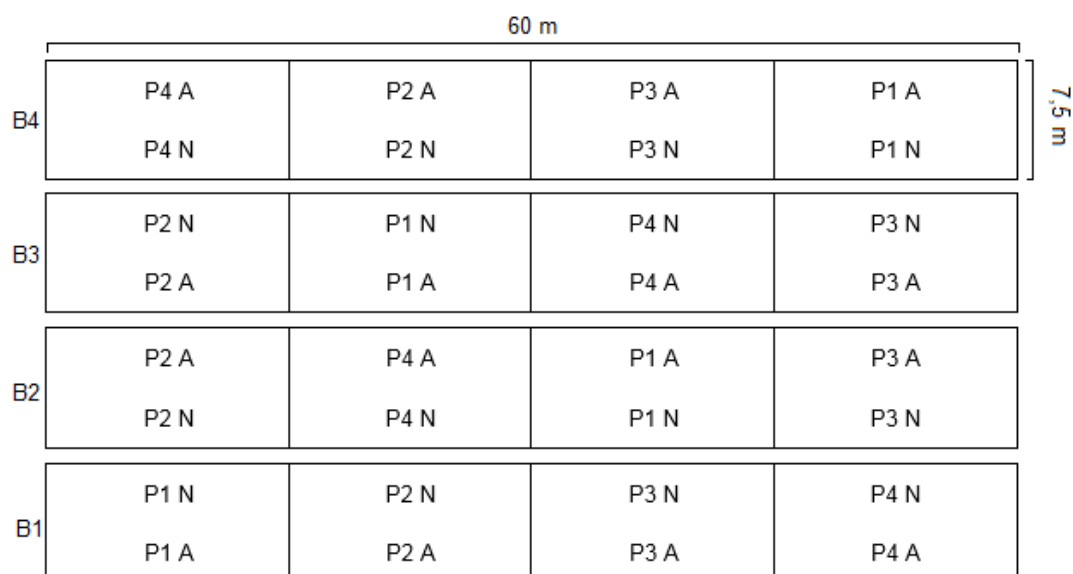


Figura 2 – Croqui do experimento em faixas conduzido em delineamento de blocos ao acaso (B1, B2, B3 e B4), em função das profundidades de atuação da haste sulcadora (P1-6,5; P2-9,5; P3-12,5 e P4-15,0 cm) e cultivo de plantas de cobertura aveia preta (A) e nabo forrageiro (N). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Para homogeneizar a compactação do solo nas parcelas experimentais, foi utilizado um trator New Holland®, modelo TL 75E, 4 x 2 com Tração Dianteira Auxiliar (TDA), pneus dianteiros 12.4 x 24, traseiros 18.4 x 30, lastrados com 640 litros de água e mais 160 kg de lastro metálico. No sistema de três pontos do trator foi acoplado um pulverizador da marca Jacto (250 kg) abastecido com 600 litros de água. Na parte frontal do trator foi adicionado 240 kg de lastro metálico.

A massa total do conjunto trator/pulverizador foi de 5.350 kg, sendo 1.622,5 e 3.727,5 kg distribuídos sobre o eixo dianteiro e traseiro do trator, respectivamente.

A compactação do solo foi realizada por meio de duas passadas com o trator, no mesmo rastro, até fechamento total da área das parcelas. Na referida

ocasião, o solo apresentou, aproximadamente, umidade gravimétrica de 41 e 39% nos anos agrícolas de 2013 e 2014, respectivamente.

3.4 PRESSÃO DE CONTATO DOS PNEUS DO TRATOR COM O SOLO

A fim de mensurar a pressão de contato entre pneu/solo, foi determinada a área de contato dos pneus dianteiros e traseiros do trator com o solo por meio do processamento de imagem digital com o programa SisCob 1.0, disponibilizado pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (CNPDIA). A metodologia consistiu em posicionar o trator na área do experimento e aplicar calcário ao redor dos pneus do trator (Figuras 3A e 3B), com posterior deslocamento do mesmo para registrar as imagens.

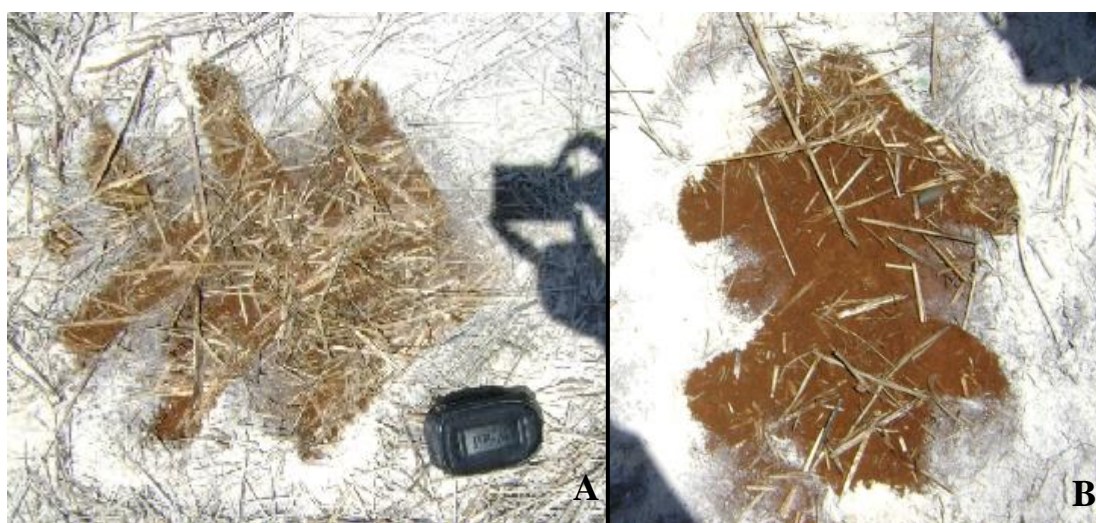


Figura 3 – Área de contato do pneu traseiro (A) e dianteiro (B) com o solo, demarcada pela aplicação de calcário. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Posteriormente essas imagens foram processadas, indicando área de contato média dos pneus traseiros e dianteiros de 946 e 649 cm², respectivamente (Figura 4A e 4B).

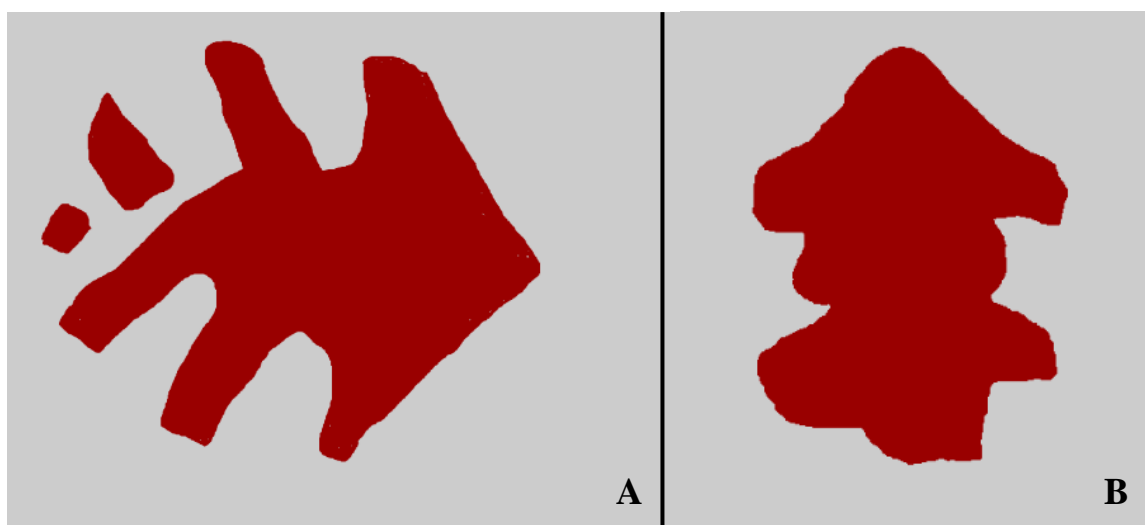


Figura 4 – Área de contato do pneu traseiro (A) e dianteiro (B) com o solo, após processamento no programa SisCob. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

As pressões de contato média dos pneus traseiros e dianteiros com o solo foram de $1,97 \text{ kgf cm}^{-2}$ (197 kPa) e $1,25 \text{ kgf cm}^{-2}$ (125 kPa), respectivamente, obtidas por meio da equação 1.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Em que:

P = pressão (kgf cm^{-2});

F = força (kgf);

A = Área de contato pneu/solo (cm^2)

3.5 AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MINERALÓGICA DO SOLO

3.5.1 Textura e Características Químicas do Solo

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico, segundo EMBRAPA (2013), com textura muito argilosa (76,0% de argila, 21,7% de silte e 2,3% de areia), a qual o classifica como tipo 3, segundo a Instrução Normativa nº 2, de 09 de outubro de 2008, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A caracterização química do solo foi realizada por meio da coleta aleatória de amostras compostas de solo, com trado calador, nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m. Essas foram processadas no Laboratório de Análises de Solos da UTFPR e os resultados obtidos estão discriminados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise química do Latossolo Vermelho, na profundidade de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, coletadas aleatoriamente na área do experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Profundidade (m)	pH CaCl ₂	CTC	M.O.	P	K	Al	Ca	Mg	V
			(g kg ⁻¹)	(mg dm ⁻³)		(cmol _c dm ⁻³)		(%)	
0,0-0,10	5,5	15,54	53,0	21,7	167,0	0,0	5,9	3,7	65,3
0,11-0,20	5,3	14,99	40,0	14,5	123,0	0,0	5,4	3,3	60,0
Média	5,4	15,3	46,5	18,1	145,0	0,0	5,6	3,5	62,6

Metodologias: matéria orgânica (M.O.) por digestão úmida; P, K extraídos com solução de Mehlich-1; pH em CaCl₂ 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹.

3.5.2 Caracterização Física do Solo

3.5.2.1 Ensaio de próctor normal

Para se obter os dados de densidade máxima do solo em função da variação de umidade, utilizou-se o equipamento apresentado nas Figuras 5A e 5B, que é composto por um soquete com 2,5 kg e dois cilindros móveis, um com capacidade de 1000 cm³ e outro com 500 cm³ que é acoplado sobre o primeiro.



Figura 5 – Vista geral do equipamento desmontado utilizado no ensaio de proctor normal (A) e montado (B). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

O solo utilizado no ensaio foi coletado aleatoriamente na área experimental, na profundidade de 0,0 a 0,20 m. Essas amostras foram secas a sombra para se obter a terra seca fina ao ar, as quais posteriormente foram peneiradas em peneira com malha de 2,0 mm. Nessas amostras foram introduzidos diferentes volumes de água obtidos por meio da utilização da equação 2, a fim de atingirem os teores de umidade de 29, 32, 35, 38, 41 e 44%.

$$V_a = (M_{su}/1 + U_{gi}) * (U_{gd}) \quad (2)$$

Em que:

V_a = volume de água a ser adicionado (mL);

M_{su} = massa de solo úmido (g);

U_{gi} = umidade gravimétrica inicial ($g\ g^{-1}$);

U_{gd} = umidade gravimétrica desejada ($g\ g^{-1}$).

Antes de iniciar o processo de compactação do solo, as amostras foram mantidas durante 48 h, em sacos plásticos hermeticamente fechados, a fim de homogeneizar a umidade.

Para obtenção da curva de compactação do solo foi realizada a colocação sequencial de três camadas de solo, de aproximadamente 4 cm, no interior do cilindro (1000 cm³), sendo que cada camada foi compactada com 25 golpes, com o soquete de 2,5 kg liberado a uma altura de 30 cm em relação à superfície a ser compactada (NOGUEIRA, 1998). A energia de compactação de 560 kPa aplicada nas amostras de solo foi obtida por meio da equação descrita abaixo:

$$E = \frac{(p * l * n * N)}{V} \quad (3)$$

Em que:

E = energia aplicada (kgf cm⁻²);

p = peso do soquete (2,5 kg);

l = altura de queda do soquete (30 cm);

n = número de camadas (3);

N = número de golpes por camada (25);

V = volume do cilindro (1000 cm³).

Na sequência, o solo compactado contido no interior do cilindro foi pesado e direcionado a estufa para determinar a umidade. A partir dos procedimentos relatados e com a interpolação dos dados obteve-se a curva de compactação do solo indicando que a densidade máxima (1,29 g cm⁻³) foi obtida com teor de umidade de 0,358 g g⁻¹, conforme figura 6.

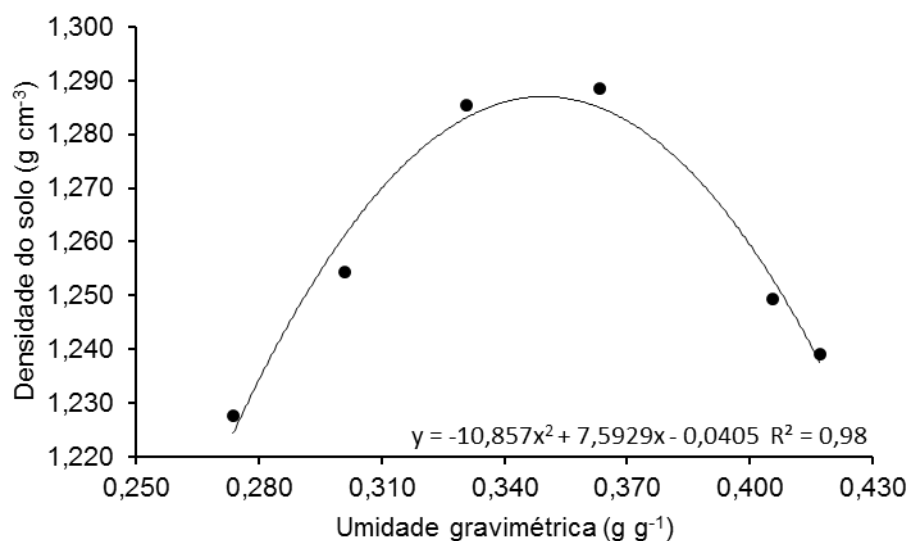


Figura 6 – Densidade do solo (g cm⁻³) em função da variação da umidade do solo (g g⁻¹). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

3.5.2.2 Densidade relativa do solo

A determinação da densidade relativa do solo (D_r) foi realizada por meio do cociente entre a média da densidade do solo de amostras coletadas após a compactação do solo (1,20 kg dm⁻³ nos dois anos de avaliação) e a densidade máxima obtida pelo ensaio de proctor normal, conforme equação 4. Sendo que a D_r foi de 0,93, indicando que o grau de compactação do solo atingiu D_r acima de 0,9, a qual é considerada por Klein (2008) como limitante ao desenvolvimento de plantas.

$$D_r = \frac{D_s}{D_{ms}} \quad (4)$$

Em que:

D_r = Densidade relativa;

D_s = Densidade do solo (kg dm⁻³);

D_{ms} = Densidade máxima do solo (kg dm⁻³).

3.5.2.3 Análise de consistência do solo

Seguindo a metodologia da Embrapa (1997) se obteve o limite de plasticidade por meio do umedecimento de quatro amostras de solo, peneiradas em malha de 0,2 mm. Essas amostras foram moldadas manualmente sobre uma placa de vidro até a formação de cilindros de 3 mm de diâmetro que posteriormente foram dobrados para visualização de fissuras indicativas de obtenção da umidade em que o solo atinge a consistência plástica. Após atingir o ponto de umidade, as amostras foram secas em estufa, obtendo-se o limite de plasticidade com teor de umidade de 40,6%.

O limite de liquidez, que é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo, foi obtido por meio da utilização do “aparelho de Casagrande” (Figura 7).

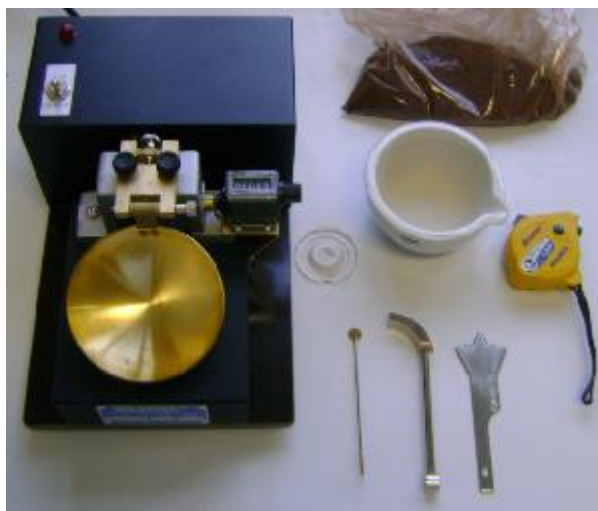


Figura 7 – Aparelho de Casagrande elétrico e utensílios utilizados para determinação do limite de liquidez. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

A metodologia consiste em fazer com que uma concha de metal, preenchida com solo umedecido, tenha uma queda de 10 mm, na frequência de uma queda por segundo. Aproximadamente 30 g de solo umedecido foram distribuídos na concha a fim de formar uma camada de 10 mm, em 3/4 da concha metálica. A massa de solo foi repartida em duas porções semelhantes (Figura 8) por meio da utilização de um bisel. Na sequência acionou-se o equipamento para que as duas

metades de solo se tocassem numa extensão de 12 mm, com no mínimo 12 quedas e máximo de 38. Para validação do teste foram obtidos 4 pares de dados (teor de umidade em função do número de batidas) que foram interpolados e indicaram que o limite de liquidez (25 quedas) foi obtido com um teor de umidade do solo de 56%.



Figura 8 – Aparelho Casagrande elétrico com amostra de solo seccionada por meio da utilização do bisel. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

3.5.2.4 Teor de umidade do solo

Para a determinação do teor de umidade do solo, ao longo dos dois anos de condução do experimento, foram realizadas amostragens de solo na camada de 0,0 - 0,20 m. Essas amostragens ocorreram após a compactação do solo da área experimental, no dia da determinação da resistência mecânica do solo à penetração e no dia da semeadura da cultura de verão. As amostras foram submetidas à metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) a fim de obter os dados de umidade do solo.

3.5.2.5 Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo

As amostras indeformadas de solo foram coletadas aleatoriamente na camada de 0,04 - 0,07 e 0,12 - 0,15 m de profundidade, com anéis volumétricos de

3 e 5 cm de altura e diâmetro, respectivamente. O procedimento de extração das amostras ocorreu após a compactação do solo ocasionada pelo tráfego do trator e nas mesmas camadas, no centro das entrelinhas de semeadura da cultura do milho, após a aplicação dos tratamentos do experimento. A densidade do solo (DS) após a compactação foi de $1,20 \text{ g cm}^{-3}$, sendo que a porosidade total (PT), microporosidade (Mic) e macroporosidade do solo (Mac) foram de 0,57, 0,49 e $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, nas referidas camadas.

Os resultados foram obtidos por meio do processamento das amostras conforme a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

3.5.2.6 Resistência do solo à penetração

A metodologia para obtenção dos dados de resistência do solo a penetração ocorreu por meio do uso de um penetrômetro digital, da marca Falker, com ponta (cone) de $1,0 \text{ cm}^2$ de área. O teor de umidade do solo no primeiro e segundo ano de avaliação foi de 37 e 39%, respectivamente. Foram realizadas aleatoriamente, nas entrelinhas de semeadura da cultura de verão, dez amostragens por unidade experimental, obtendo-se os valores na camada de 0,0 a 0,4 m de profundidade. Essas determinações foram obtidas após a aplicação dos tratamentos do experimento.

3.5.3 Mineralogia do Solo da Área Experimental

A determinação dos minerais da fração argila do Latossolo foram obtidos em amostras coletadas na camada (0,0 - 0,20 m) e analisadas por difratometria de raios X, realizada pelo laboratório de Difratometria da UFRGS. Após o processamento das amostras, a identificação dos minerais contidos no solo foi determinada por meio da análise de fichas de dados de difração do Centro Internacional de Dados de Difração (JCPDS).

3.6 MÁQUINAS E IMPLEMENTOS UTILIZADOS NA SEMEADURA DAS CULTURAS DE INVERNO E VERÃO

Para implantação das culturas de inverno foi utilizada uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo, marca Semeato[®], modelo SHM 11/13, com 13 linhas espaçadas a 0,17 m. No processo de semeadura da cultura do milho foi utilizada uma semeadora-adubadora de precisão, marca Vence Tudo[®], modelo SM 7040, com peso aproximado de 1.810 kg, com cinco linhas, espaçadas a 0,7 m, sendo cada linha configurada com disco de corte liso de 0,381 m de diâmetro; sulcador para deposição de adubo do tipo haste com ponteira de 0,025 m de largura e ângulo de ataque de 22°; sulcador para deposição de sementes do tipo disco duplo defasado; rodas planas controladoras de profundidade de sementes e rodas compactadoras do tipo convexa de borracha. Como fonte de potência para tracionar as semeadoras foi utilizado o mesmo trator descrito no item 3.3.

A regulagem da atuação vertical das hastes sulcadoras de adubo da semeadora de precisão, a fim de obter as diferentes profundidades de trabalho efetiva foi obtido por meio da alteração do posicionamento dos parafusos de fixação da haste no suporte (Figuras 9A, 9B e 9C), como também pelo ajuste do terceiro ponto contido na parte frontal da semeadora-adubadora. Após cada alteração de posicionamento da haste sulcadora foram realizados pré-testes para verificar se a profundidade efetiva de trabalho (6,5; 9,5; 12,5; e 15,0 cm) se aproximava das profundidades teóricas de trabalho estipuladas (5,0; 9,0; 13,0 e 17,0 cm).

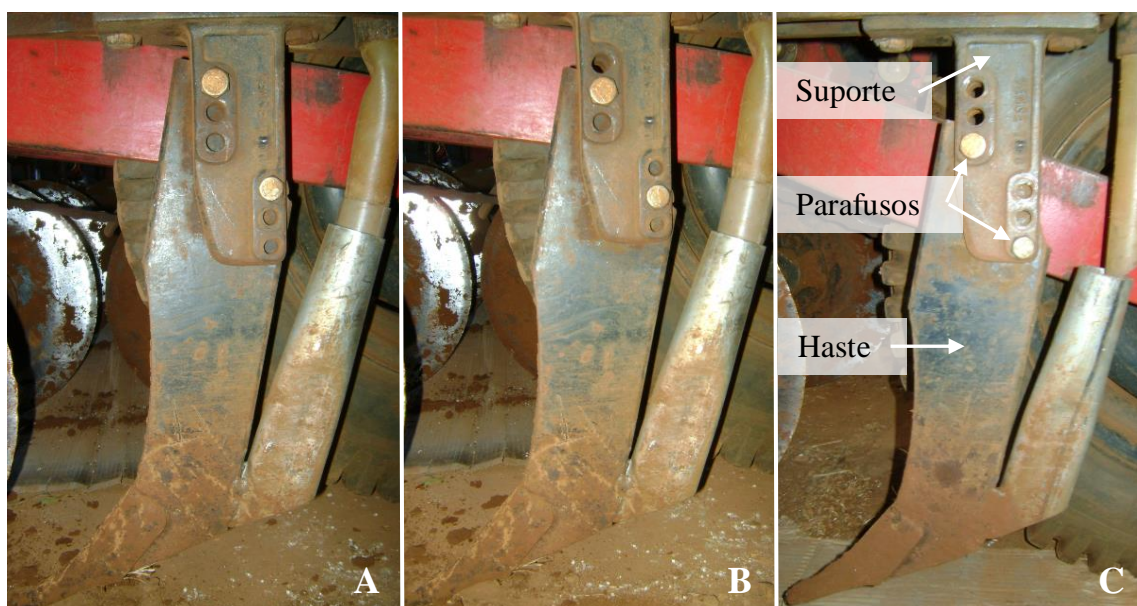


Figura 9 – Vista geral da regulagem da profundidade de atuação da haste. Letras A, B e C indicam a mudança de regulagem vertical da haste sulcadora de adubo em função do posicionamento dos parafusos de fixação. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

No primeiro pré-teste verificou-se que o sistema “pula-pedra”, da semeadora SM7040, era acionado em contato com o solo compactado ocasionando a articulação da linha de semeadura e o conseqüente erguimento da haste sulcadora de adubo. Nesse sentido, para que se atingissem as profundidades efetivas de trabalho, foi necessário travar a linha de semeadura, da semeadora-adubadora, no ponto de articulação por meio de uma abraçadeira metálica (Figura 10).



Figura 10 – Travamento do ponto de articulação da linha de plantio da semeadora-adubadora, com abraçadeira metálica. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

3.7 SEMEADURA E MANEJO DAS CULTURAS DE INVERNO E VERÃO

3.7.1 Semeadura e Manejo das Culturas de Cobertura de Inverno

Após a compactação do solo realizada com o trator, as culturas de cobertura de inverno foram semeadas no dia 13/06/2013 e 23/05/2014, considerando os dois anos de desenvolvimento do experimento. Foram utilizados na ocasião 100 e 16 kg ha⁻¹ de sementes de aveia preta e nabo forrageiro, respectivamente. Nos referidos momentos não se utilizou adubação de base, porém três semanas após a emergência das plantas foram aplicados em cobertura, na forma de ureia, 30 kg de nitrogênio por hectare. Quando a cultura do nabo e aveia atingiram o estágio fenológico de plena floração e início de enchimento do grão foi pulverizada a dose de 3 L ha⁻¹ de Glyphosate a fim de ocasionar a senescência das culturas de inverno e permitir a implantação sucessiva da cultura de verão.

A determinação da produção de matéria seca da aveia preta (*Avena strigosa*) e do nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) foi realizada por meio da coleta de amostras da parte aérea das plantas, com a utilização de um quadro de madeira

com área de 0,25 m², o qual foi lançado aleatoriamente, duas vezes, sobre as unidades experimentais, a fim de determinar o local da coleta. Esse material foi seco em estufa até atingir peso constante, o qual foi determinado em balança digital.

Antes da semeadura da cultura de verão, as culturas de cobertura de inverno foram manejadas com um triturador de palha marca Jan[®], modelo Tritton 1800, visando evitar o embuchamento das linhas da semeadora-adubadora de precisão no momento da semeadura da cultura do milho.

3.7.2 Manejo da Cultura de Verão

A semeadura da cultura do milho foi realizada no período indicado pelo zoneamento agrícola da região sudoeste do estado do Paraná, mais especificamente no dia 05/11/2013 e 10/10/2014, no 1º e 2º ano de condução do experimento, com teor de umidade do solo de 37 e 39%, respectivamente.

O milho cultivado foi o híbrido precoce Dekalb 240 que apresenta a tecnologia YieldGard PRO2, que produz duas proteínas inseticidas do Bt (*Bacillus thuringiensis*), o que garante controle eficiente da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*), e da broca-do-colmo (*Diatraea saccharalis*). A densidade de semeadura foi de 80.000 sementes ha⁻¹, com espaçamento entre linhas de 0,7 m.

A fim de obter uma produtividade esperada de 10.000 kg ha⁻¹ foram aplicados, no momento da semeadura, 400 kg ha⁻¹ da formulação (8-20-15) e mais 99 kg ha⁻¹ de N em cobertura, quando a maioria das plantas atingiram o estágio de desenvolvimento V4, na escala fenológica. No mesmo período foi realizado a aplicação de inseticida Tiametoxam, com 210 g de ingrediente ativo por hectare, para o controle de focos isolados de percevejo barriga verde (*Dichelops melacanthus*).

No período de 30 dias da semeadura da cultura do milho, nas duas safras, foi aplicado 3 L ha⁻¹ do inseticida glifosato com a finalidade de eliminar as plantas daninhas presentes na área de cultivo.

3.8 DEMANDA ENERGÉTICA NA SEMEADURA DO MILHO

3.8.1. Força de Tração Média na barra Exigida pela Semeadora-Adubadora de Precisão

Na safra 2014/2015 foi utilizado uma placa de aquisição de dados da Campbell Scientific® (Figura 11), modelo CR800, para monitorar continuamente a força na barra de tração requerida pela semeadora-adubadora, através dos sinais gerados por uma célula de carga, marca Líder Balanças®, com capacidade de 50 kN, a uma frequência de 10 Hz (dez leituras por segundo).



Figura 11 – Datalogger para armazenamento dos dados produzidos pela célula de carga. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

A célula de carga foi acoplada entre a barra de tração conectando o trator e o cabeçalho da semeadora-adubadora por meio de suporte específico (Figura 12). O pino que a prende a barra de tração no trator foi removido, de forma a deixa-la livre para deslizar, aplicando assim toda a força de tração na célula de carga.



Figura 12 – Célula de carga instalada entre a barra de tração móvel do trator e o cabeçalho da semeadora-adubadora. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

A força de tração média na barra foi obtida pela soma dos dados de força de tração instantânea dividida pelo número total de dados registrados, conforme a equação 5:

$$F_m = \left(\frac{\sum F_i}{n} \right) \quad (5)$$

Em que:

F_m = força de tração média (kN);

F_i = força de tração instantânea (kN);

n = número de dados registrados.

3.8.2 Força de Tração Média por Linha de Semeadura

A força de tração média na barra por linha de semeadura foi obtida conforme equação 6.

$$F_l = \frac{F_m}{N_l} \quad (6)$$

Em que:

F_l = força de tração por linha de semeadura (kN linha^{-1});

N_l = número de linhas da semeadora (5 linhas).

3.8.3 Força de Tração Média por Área de Solo Mobilizada

A força de tração média na barra por área de solo mobilizada (força de tração específica) foi obtida conforme equação 7.

$$F_{am} = \frac{F_m}{A_m} \quad (7)$$

Em que:

F_{am} = força de tração na barra por área de solo mobilizada (kN cm^{-2});

A_m = Área de solo mobilizada na linha de semeadura (cm^2).

3.8.4 Potência Requerida na Barra de Tração

Para determinar a potência requerida na barra de tração utilizou-se a equação 8.

$$P_b = F_m * V_m \quad (8)$$

Onde:

P_b = potência média na barra de tração (kW);

V_m = velocidade média de deslocamento (m s^{-1}).

3.8.5 Velocidade do Conjunto Trator/Semeadora-Adubadora

A velocidade média de deslocamento (m s^{-1}) foi determinada por meio do monitoramento do tempo gasto (s) para o conjunto motomecanizado percorrer os 15 m de comprimento de cada unidade experimental, mantendo-se a rotação do motor constante (marcha 1º simples).

3.9 AVALIAÇÕES PÓS-SEMEADURA DA CULTURA DO MILHO

3.9.1 Profundidade de Deposição de Sementes

A profundidade de semeadura foi obtida por meio da avaliação da profundidade de deposição de 30 sementes, nas três linhas centrais, por unidade experimental. Com uma tesoura de poda foi cortada à parte aérea da plântula rente ao solo e com uma espátula retirou-se a parte enterrada. Com o auxílio de uma régua mediu-se o comprimento do epicótilo cortado rente à superfície do solo até a semente, correspondendo à profundidade de deposição da semente.

3.9.2 Profundidade Máxima, Largura, Área e Volume de Solo Mobilizado

Os parâmetros de mobilização do solo foram determinados com o auxílio de um perfilômetro (Figura 13), construído em madeira, com réguas verticais graduadas em centímetros, dispostas a cada 1,0 cm no sentido transversal a linha de semeadura. O levantamento dos perfis da superfície natural e final do solo foi obtida pela disposição do perfilômetro, em dois locais distintos, nas três linhas centrais de cada parcela.

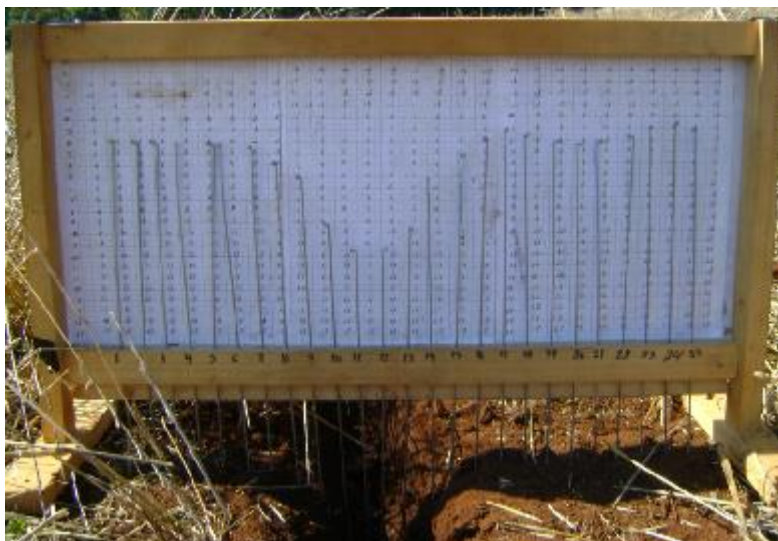


Figura 13 – Perfilômetro utilizado para determinação da profundidade, largura e área de solo mobilizado. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

O cálculo da área mobilizada foi obtido através da equação (9).

$$A_m = \sum (P_N - P_F) * e \quad (9)$$

Em que:

A_m = área mobilizada (cm^2);

P_N = perfil da superfície natural do solo para cada ponto do perfilômetro (cm);

P_F = perfil da superfície final do solo para cada ponto do perfilômetro (cm);

e = espaçamento entre as réguas verticais (cm).

A profundidade máxima de atuação da haste sulcadora de adubo foi obtida considerando-se a maior diferença entre os perfis da superfície original e interno do solo no sulco de semeadura (ARAÚJO et al., 1999).

A largura superficial de mobilização do solo no sulco de semeadura foi obtida pela determinação da distância entre as extremidades de mobilização superficial do solo gerada pela atuação da haste sulcadora de adubo.

O volume de solo mobilizado foi obtido por meio da aplicação da equação (10) que consiste na multiplicação da área de solo mobilizada (m^2) pelo comprimento linear por hectare gerado pelo espaçamento de semeadura entre linhas de 0,7 m.

$$V_{sm} = (A_m / 10.000) * (14.285,7m) \quad (10)$$

Em que:

V_{sm} = Volume de solo ($m^3 \text{ ha}^{-1}$);

A_m = área mobilizada (cm^2).

3.9.3 Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas

Foi determinado contando-se diariamente o número de plântulas emergidas após a semeadura da cultura do milho até a obtenção do estande constante. Esta avaliação foi realizada em 5 m dispostos nas três linhas centrais de semeadura de cada unidade experimental.

As plântulas foram consideradas emergidas no momento em que foram visualizadas de qualquer ângulo. Posteriormente, os dados foram inseridos na equação (11) adaptada de (MAGUIRE,1962) para se obter o índice de velocidade de emergência de plântulas.

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n} \quad (11)$$

Em que:

IVE = índice de velocidade de emergência;

E_1, E_2, E_n = número de plantas emergidas, na primeira, segunda, ..., última contagem;

N_1, N_2, N_n = número de dias da semeadura após a primeira, segunda, ..., última contagem.

3.9.4 Estande Final de Plantas

A avaliação do estande final de plantas foi mensurada na maturação fisiológica da mesma. Foram consideradas as plantas existentes em 5 metros de cada uma das três linhas centrais de semeadura, sendo o resultado extrapolado por hectare.

3.10 COMPONENTES DE RENDIMENTO DA CULTURA DO MILHO

3.10.1 Número de Fileiras de Grãos por Espiga

Determinou-se por meio da mensuração do número total de fileiras de grãos contidas em 10 espigas, coletadas aleatoriamente em cada unidade experimental.

3.10.2 Número de Grãos por Fileira

O número de grãos por fileira foi obtido pela média da mensuração dos grãos dispostos nas fileiras de grãos de 10 espigas.

3.10.3 Número de Grãos por Espiga

O número de grãos por espiga foi obtido por meio da média do número de grãos contidos em 10 espigas. Essa avaliação foi realizada nas mesmas espigas usadas para avaliar o número de fileiras por espiga.

3.10.4 Massa de Mil Grãos

Foi determinada pela média de quatro subamostras contendo 100 grãos coletados nas espigas colhidas aleatoriamente nas unidades experimentais. Posteriormente, os dados foram multiplicados por 10 para se obter a massa de 1000 grãos.

3.10.5 Rendimento de Grãos

A produtividade foi obtida pela colheita de todas as espigas contidas nas plantas, em 5 m lineares, nas três linhas centrais de cada parcela. A massa total de grãos foi seca em estufa e a umidade corrigida para 13%. Posteriormente esses dados foram extrapolados para a área referente a um hectare.

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificação dos efeitos dos fatores profundidades de atuação da haste e plantas de cobertura do solo e sua interação, utilizando o programa estatístico GENES (CRUZ, 2006). Quando o teste F apresentou valor significativo ($p \leq 0,05$) de probabilidade, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para os fatores qualitativos (plantas de cobertura de inverno). Para os fatores quantitativos (profundidade de atuação da haste sulcadora) foi aplicado o teste de regressão polinomial, sendo os modelos selecionados, pelo critério de maior R^2 e a significância ($p \leq 0,05$) dos parâmetros da equação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PARÂMETROS DE MÁQUINA NA SEMEADURA DO MILHO

Na Tabela 2 verifica-se que os parâmetros força de tração média requerida na barra (FT), força de tração por linha de semeadura (FTL), força de tração por área de solo mobilizada (FTE), potência média na barra (PM) e velocidade média de semeadura (VM) foram significativos em função da profundidade de atuação da haste, na safra 2014/2015. A FTE também apresentou variação significativa em função do cultivo de plantas de cobertura de inverno, bem como para interação das fontes de variação.

Tabela 2 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos parâmetros força de tração média na barra (FT), força de tração por linha de semeadura (FTL), força de tração específica (FTE), potência média na barra (PM) e velocidade média de semeadura (VM), na safra 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

FV	GL	Safra 2014/2015				
		FT	FTL	FTE	PM	VM
Bloco	3	0,849	0,034	0,001	1,118	0,0036
Prof.	3	47,838*	1,913*	0,047*	162,564*	0,0199*
Erro (a)	9	0,556	0,022	0,000	2,783	0,0034
Cob.	1	0,002	0,000	0,008*	0,407	0,0017
Erro (b)	3	0,319	0,013	0,001	1,667	0,0002
Prof. x Cob.	3	0,073	0,003	0,004*	0,578	0,0002
Resíduo	9	0,373	0,015	0,000	2,491	0,0004
Média		11,01	2,20	0,23	24,88	1,23
C.V. (%)		5,55	5,55	8,10	6,34	1,62

*: Significativo ($P \leq 0,05$). C.V.: Coeficiente de variação.

4.1.1 Força de Tração Média Requerida na Barra

A força de tração média requerida na barra (FT) apresentou acréscimo linear em função do aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora, sendo o coeficiente de determinação igual a 0,88 (Figura 14). Entre a menor e maior profundidade de atuação da haste se verifica um aumento de 64% no requerimento de força de tração para realizar a abertura do sulco de deposição do adubo.

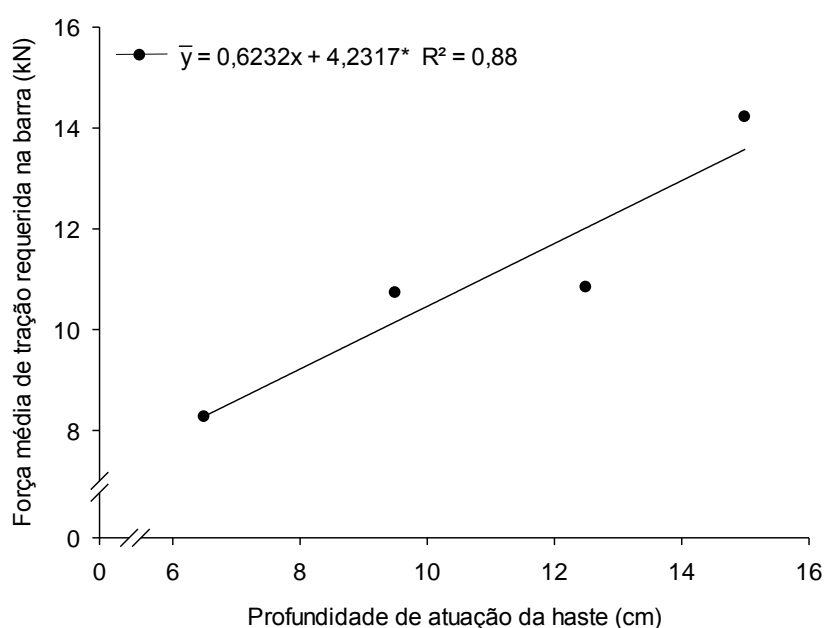


Figura 14 – Força de tração média requerida na barra (kN) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Resultados semelhantes, mesmo em solo diferente ao da presente pesquisa, foram obtidos por Tricai et al. (2016) que constataram aumento de 63,4% na FT quando a profundidade de trabalho da haste sulcadora passou de 9,0 para 15,0 cm. Os autores afirmam que essa maior demanda de tração está interligada a mobilização da estrutura do solo ocasionada pelo aumento na profundidade de atuação das hastes.

Conte et al. (2009) analisando a demanda de tração e parâmetros de mobilização do solo verificaram aumento médio de 149% na força de tração quando foram comparadas as profundidades de atuação da haste de 6,5 e 10,0 cm. Essa maior diferença em percentagem constatada pelos autores e os obtidos na presente pesquisa deve estar associada a metodologia utilizada, pois Conte et al. (2009) utilizaram extensômetros de resistência elétrica instalados no suporte da haste sulcadora, detectando somente o esforço ocorrido na haste e desprezando a resistência ao rolamento necessária para tracionar o restante do conjunto que compõe a semeadora. Desse modo, a diferença da FT em percentagem entre as profundidades de atuação da haste, nesse sistema de aquisição de dados, tende a ser maior em relação aos obtidos pela instalação de célula de carga entre o cabeçalho da semeadora e a barra de tração do trator, como no caso da presente pesquisa.

4.1.2 Força de Tração Média Requerida na Barra por Linha de Semeadura

A força de tração média requerida por linha de semeadura (FTL) passou de 1,66 para 2,72 kN quando a haste sulcadora atuou nas profundidades de 6,5 e 15,0 cm, respectivamente (Figura 15).

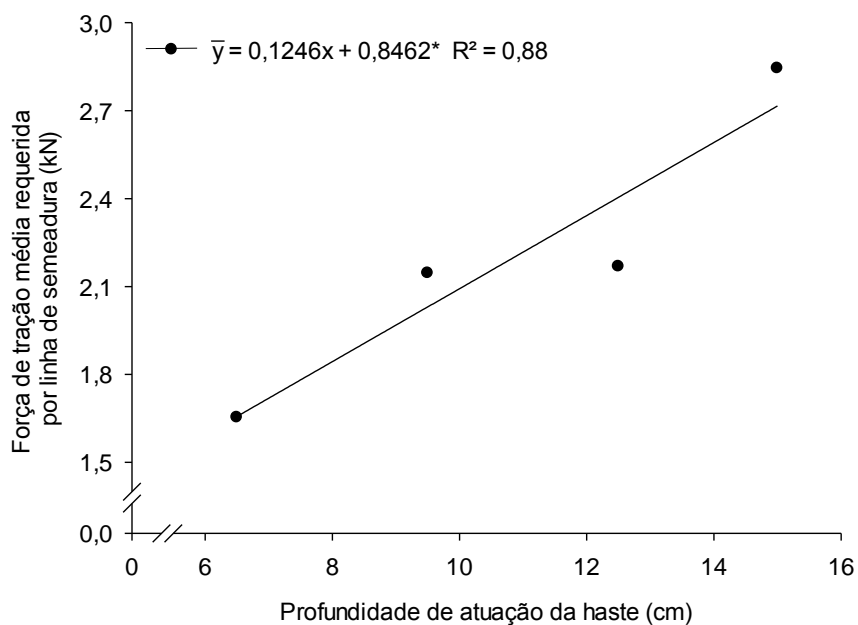


Figura 15 – Força de tração média requerida na barra (kN), por linha de semeadura, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Resultados aproximados ao deste trabalho foram obtidos por Silveira et al. (2011) que avaliando parâmetros de máquina, em Latossolo com 75% de argila, verificaram FTL de 2,55 kN, quando o conjunto trator/semeadora se deslocou a uma velocidade de $4,6 \text{ km h}^{-1}$ e com uma profundidade média de atuação da haste de 10,5 cm.

Cepik et al. (2005) verificaram menores valores de FTL quando avaliaram diferentes profundidades de atuação da haste. Os autores, por meio de dados obtidos por transdutores instalados no suporte da haste, verificaram que a FTL foi de 0,614 e 1,409 kN, quando as hastes atuaram nas profundidades de 6,0 e 12,0 cm, respectivamente, em Argissolo Vermelho com 20% de argila.

4.1.3 Força de Tração Específica Requerida na Barra

A força de tração por área de solo mobilizada (FTE) apresentou decréscimo linear em função da profundidade de atuação da haste sulcadora e foi dependente do manejo com plantas de cobertura (Figura 16).

Esses dados demonstram que a profundidade de atuação da haste de 15 cm se apresenta como alternativa de mobilização do solo mais eficiente energeticamente, visto que a relação força (N) por área (cm²) foi menor, quando comparada às outras profundidades de trabalho da haste. Provavelmente, a profundidade crítica de trabalho da haste sulcadora não tenha sido atingida, pois, Conte et al. (2011) mencionam que espera-se um aumento drástico da FTE quando se atinge tal profundidade, fato que não ocorreu nos dados observados nesse trabalho.

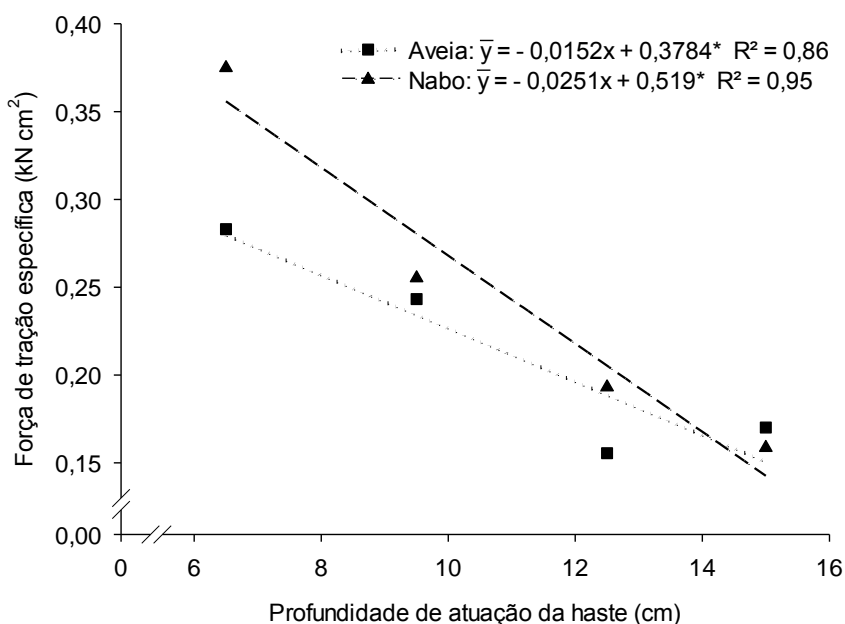


Figura 16 – Força de tração média específica requerida na barra (kN cm⁻²) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, na safra 2014/2015 *: Significativo (P≤0,05). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Tricai et al. (2016) reportam resultados similares quando avaliaram a FTE em função de três profundidades (9,0; 11,0 e 15,0 cm) e dois ângulos de inclinação das hastes (17 e 20°), em Latossolo com 48% de argila. Os autores observaram que a maior profundidade de atuação da haste apresentou FTE 40% inferior em relação a menor profundidade.

4.1.4 Potência Média Requerida na Barra de Tração

A potência média requerida na barra (PM) teve aumento linear em função da profundidade de atuação da haste, sendo o coeficiente de determinação igual a 0,91 (Figura 17). Esse aumento varia na ordem de 1,15 kW, o que equivale a 1,57 cv, para cada unidade (cm) de aumento na profundidade de atuação da haste, partindo de 6,5 até 15 cm.

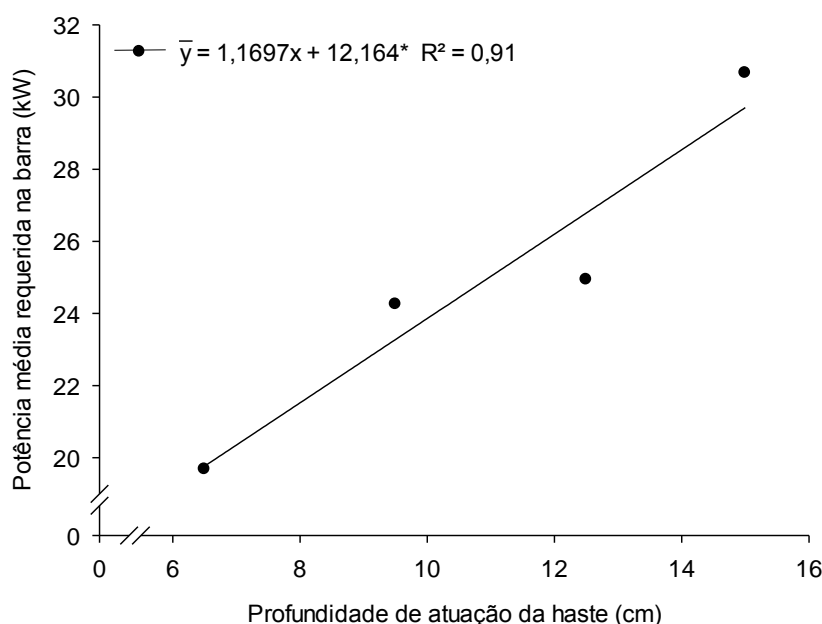


Figura 17 – Potência média requerida na barra (kW) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Valores semelhantes foram obtidos por Grotta et al. (2009) que analisaram a demanda energética de semeadora-adubadora em função do manejo da cobertura vegetal e da profundidade da haste de deposição de adubo, em solo com 51% de argila e conduzido em semeadura direta. Os autores constataram que a PM variou significativamente de 22,3 para 24,9 kW quando a profundidade de trabalho da haste passou de 11,0 para 17,0 cm, com conjunto trator-semeadora atuando a velocidade de 4,2 e 4,1 km h⁻¹, respectivamente.

Macedo et al. (2016) avaliando a demanda energética, em solo com 10,6% de argila, ocasionado pelo aprofundamento da haste sulcadora de adubo constataram que PM foi de 12,23; 15,5 e 22,99 kW quando a haste atuou nas profundidades de 5,0; 10,0 e 15 cm, respectivamente. Esses resultados de PM são relativamente baixos e provavelmente estão associados ao fato do solo daquele estudo apresentar teor de argila inferior ao deste trabalho (76% de argila). Essa afirmação é reforçada por Godwin & O`Dogherty (2007), os quais mencionam que solos com baixa coesão (arenosos) tendem a se mobilizar de forma lateral (bidimensional) frente a ação de hastes sulcadora, justamente pela baixa capacidade de agregação.

4.1.5 Velocidade do Conjunto Trator-Semeadora

A análise de regressão (Figura 18) demonstra um decréscimo de 0,10 m s⁻¹ na velocidade de semeadura da cultura do milho para cada unidade (cm) de aumento na profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, sendo o coeficiente de determinação igual a 0,82.

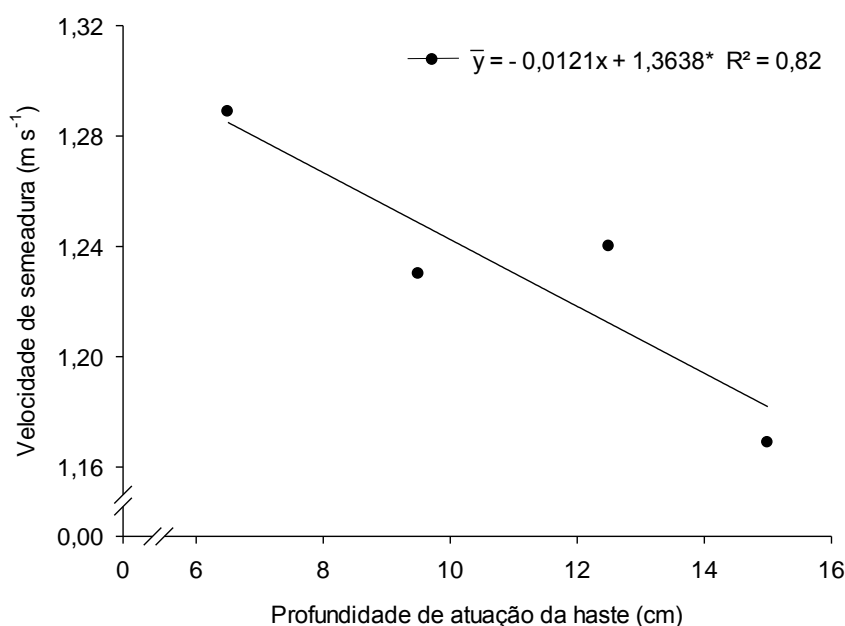


Figura 18 – Velocidade de semeadura (m s⁻¹) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, na safra 2014/2015 *: Significativo (P≤0,05). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Esse resultado demonstra que entre a menor e maior profundidade de atuação da haste sulcadora ocorre uma redução de 8,7% na velocidade do conjunto mecanizado, ocasionando na mesma proporção diminuição do rendimento operacional no processo de semeadura.

A diminuição de velocidade do conjunto mecanizado trator-semeadora provavelmente está associada a patinagem das rodas tratórias, no momento da semeadura da cultura, a qual está diretamente relacionado a maior profundidade de atuação da haste. Cepik et al. (2010) analisando a patinagem das rodas traseiras (18.4x30) do trator em função da profundidade de trabalho da haste de adubo (6,5 e 11,5 cm) e de (7,1 e 11,3 cm) de uma semeadora de 3 linhas e 5 linhas, respectivamente, verificaram que a ampliação do esforço de tração gerado pela maior profundidade de atuação da haste foi o fator responsável pela variação significativa da patinagem constatada entre as duas profundidades de atuação da haste.

Redução na velocidade do conjunto trator-semeadora também foram verificadas por Grotta et al. (2009) quando compararam as profundidades de

atuação da haste (11,0; 14,0 e 17 cm). Os autores afirmam que esse resultado é normal e está associado a maior força de tração gerada pelo aprofundamento da ferramenta de abertura do sulco de semeadura.

4.2 PARÂMETROS DE SOLO

Na safra 2013/2014 visualiza-se que a profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo influenciou significativamente a densidade do solo (DS) e macroporosidade (Mac), na camada de 0,12 a 0,15 m de profundidade. Para os mesmos parâmetros, também se observa interação significativa entre os tratamentos. As plantas de cobertura não se apresentaram como uma fonte de variação significativa para nenhum dos parâmetros avaliados. No segundo ano de avaliação não se obteve resultados significativos para os parâmetros de solo em função dos tratamentos profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e plantas de cobertura do solo (Tabela 3).

Tabela 3 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos parâmetros densidade do solo (DS), porosidade total (PT), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac), em duas profundidades de amostragem (0,04 – 0,07 m) e (0,12 – 0,15 m), nas safras 2013/2014 e 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

		Safrá 2013/2014							
FV	GL	D.S.	P.T.	Mic.	Mac.	D.S.	P.T.	Mic.	Mac.
		-----0,04 – 0,07 (m)-----				-----0,12 – 0,15 (m)-----			
Bloco	3	0,0043	0,0004	0,0004	0,0001	0,0014	0,0016	0,0011	0,0004
Prof.	3	0,0050	0,0011	0,0009	0,0000	0,0040*	0,0004	0,0015	0,0006*
Erro (a)	9	0,0013	0,0005	0,0009	0,0004	0,0005	0,0003	0,0005	0,0001
Cob.	1	0,0006	0,0007	0,0002	0,0002	0,0006	0,0002	0,0001	0,0006
Erro (b)	3	0,0004	0,0004	0,0010	0,0005	0,0029	0,0009	0,0002	0,0007
Prof. x Cob.	3	0,0011	0,0005	0,0013	0,0024	0,0029*	0,0028	0,0011	0,0007*
Resíduo	9	0,0019	0,0008	0,0005	0,0014	0,0004	0,0008	0,0008	0,0001
Média		1,0723	0,6378	0,5039	0,1342	1,1536	0,6083	0,4926	0,1157
C.V. (%)		4,08	4,50	4,44	28,32	1,78	4,59	5,74	10,39
		Safrá 2014/2015							
Bloco	3	0,0031	0,0003	-	-	0,0015	0,0007	-	-
Profundidade	3	0,0031	0,0011	-	-	0,0027	0,0009	-	-
Erro (a)	9	0,0033	0,0017	-	-	0,0018	0,0007	-	-
Cobertura	1	0,0001	0,0000	-	-	0,0003	0,0004	-	-
Erro (b)	3	0,0003	0,0022	-	-	0,0025	0,0004	-	-
Prof. x Cob.	3	0,0011	0,0029	-	-	0,0018	0,0006	-	-
Resíduo	9	0,0014	0,0023	-	-	0,0024	0,0003	-	-
Média		1,0993	0,6312	-	-	1,1584	0,6137	-	-
C.V. (%)		3,39	7,62	-	-	4,24	2,82	-	-

*: Significativo ($P \leq 0,05$). C.V.: Coeficiente de variação.

4.2.1 Densidade do Solo

A densidade do solo após a aplicação do manejo com plantas de cobertura do solo e profundidades de atuação da haste sulcadora foi de 1,07 e 1,09 g cm⁻³, na camada de 0,04 - 0,07 m de profundidade, no primeiro e segundo ano de experimento, respectivamente.

Na camada de 0,12 - 0,15 m, safra 2013/2014, constata-se interação significativa para a DS (Tabela 3), contudo nenhum modelo de regressão se ajustou

aos dados observados, sendo que a média da DS foi semelhante no primeiro e segundo ano de experimento ($1,15 \text{ g cm}^{-3}$).

De modo geral, após o cultivo de plantas de cobertura, a densidade do solo aparentemente ficou abaixo do nível considerado como restritivo ao desenvolvimento da cultura do milho, visto que Derpsch et al. (1991) desenvolvendo pesquisa sobre sistemas de cobertura e preparo do solo, num Latossolo muito argiloso, de 1977 a 1984, afirmam que densidades aparentes inferiores a $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ provavelmente não acarretam problemas de enraizamento ou aeração das culturas.

Por meio da análise dos dados da Tabela 3, é factível afirmar que a aveia preta e o nabo forrageiro não apresentam, entre si, capacidade distinta em alterar a DS após a compactação gerada pelo tráfego de máquinas, ao longo do seu desenvolvimento. Essa afirmação corrobora com a pesquisa desenvolvida por Mazurana et al. (2013) que constataram não haver modificação da densidade do solo, independentemente da camada avaliada, em função da condição de cobertura do solo (pousio e aveia + ervilhaca).

Resultados similares foram obtidos por Silveira Junior et al. (2012), que analisando a qualidade física de um Latossolo Vermelho, sob plantio direto, submetido à descompactação mecânica (escarificação) e biológica (nabo forrageiro) verificaram que os atributos físicos do solo avaliados não foram alterados pelo uso de plantas de cobertura. Os autores ainda sugerem que o solo estudado, submetido aos tratamentos de descompactação, após 18 meses, retornou à condição física semelhante ao da testemunha (plantio direto).

Do mesmo modo que as plantas de cobertura de inverno, a variação na profundidade de atuação da haste sulcadora não apresentou a capacidade de alterar a DS, nas camadas avaliadas. Contudo, é importante salientar que as amostras de densidade do solo foram coletadas nas entrelinhas de semeadura da cultura do milho. Conte et al. (2009) e Nunes et al. (2014) afirmam que semeadoras munidas de hastes sulcadoras apresentam capacidade limitada de mobilização do solo, ficando restrita a linha de semeadura, não influenciando desta forma a densidade do solo na entrelinha.

4.2.2 Porosidade do Solo

A porosidade total (PT) não apresentou diferença significativa em função da aplicação dos tratamentos (Tabela 3), com valor médio de aproximadamente $0,63 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, na camada de 0,04 - 0,07 m, nos dois anos de avaliação. Na camada de 0,12 - 0,15 m, nas duas safras, a PT foi de aproximadamente $0,61 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Quanto a microporosidade, não se observou na safra 2013/2014, nas duas camadas, diferenças significativas entre os tratamentos, com valor médio de aproximadamente $0,49 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Analisando os atributos de solo após o tráfego pesado de máquinas, Schäffer et al. (2007) apontam que, em áreas trafegadas, existe a tendência da microporosidade permanecer inalterada. Os autores ainda afirmam que o breve contato dos pneus das máquinas agrícolas com o solo, após duas passadas, somente diminuiu a PT e a macroporosidade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bergamin et al. (2010) em Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso, onde constataram não haver variação da microporosidade quando o solo foi submetido a uma, duas, quatro e seis passadas de trator com massa de 5 Mg.

Supõe-se que a não variação da microporosidade esteja fortemente associada aos minerais constituintes da fração argila (Figura 19) e aos complexos organo-minerais de alta estabilidade que tendem a formar microagregados resistentes frente às perturbações ocorridas no sistema solo.

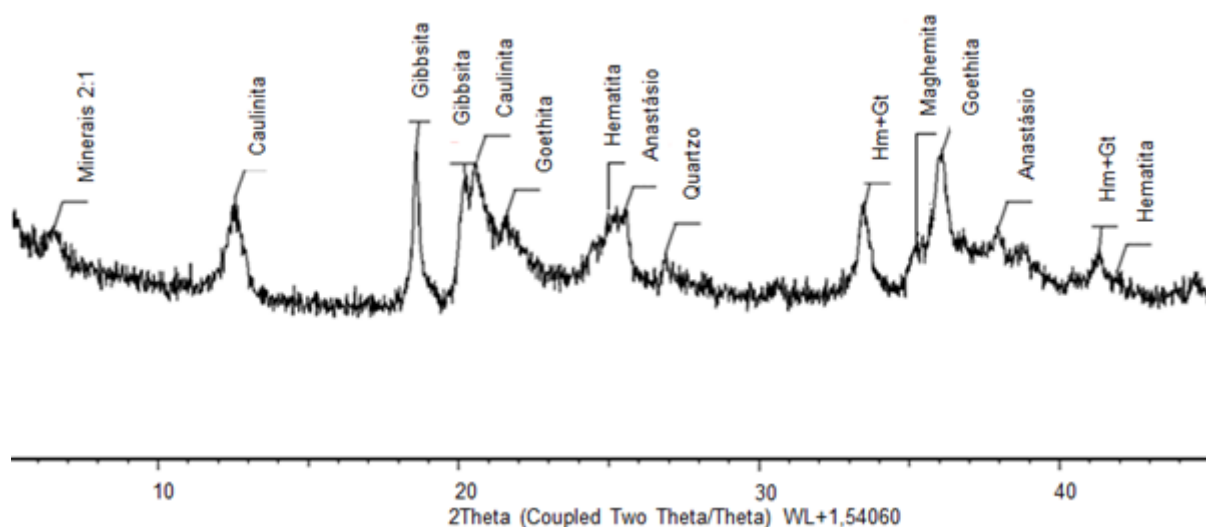


Figura 19 – Difratoograma de raio X do solo extraído da camada 0,0 - 0,20 m. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Inda et al. (2007) analisando variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros verificaram que a mineralogia da fração argila teve um papel determinante na estabilidade dos complexos organo-minerais, a qual foi relacionada aos teores de óxidos de ferro de baixa cristalinidade. Ainda afirmam que a estabilidade dos complexos organo-minerais variou positivamente em função das proporções de gibbssita e de goethita na fração argila, e que estão contidos no solo da presente pesquisa (Figura 19).

A macroporosidade, na camada de 0,12 - 0,15 m, foi significativa em função das profundidades de atuação da haste, bem como houve interação entre as fontes de variação, porém nenhum modelo de regressão se adaptou aos dados observados. A média da macroporosidade foi, respectivamente, de 13,4 e 11,5%, nas camadas de 0,04 – 0,07 m e 0,12 – 0,15 m, no primeiro ano de experimento, ficando acima dos 10% considerado como limitante ao desenvolvimento radicular das culturas (Klein & Libardi, 2002).

Silva et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes ao avaliarem o aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas de cobertura e sua influência nos atributos físicos do solo em plantio direto. Os autores verificaram que os valores de macroporosidade e porosidade total aumentaram na camada superficial em função

do cultivo das plantas de cobertura, concluindo que sistema de plantio direto com aporte contínuo de palha minimiza a compactação do solo.

4.2.3 Resistência do Solo à Penetração

Verifica-se um comportamento semelhante da curva de resistência do solo à penetração (RP) após o cultivo da aveia preta (A) e nabo forrageiro (N), em função das diferentes profundidades de atuação das hastes sulcadoras (6,5; 9,5; 12,5 e 15,0 cm), nas safras 2013/2014 (Figuras 20 - A1 e N1) e 2014/2015 (Figuras 20 - A2 e N2).

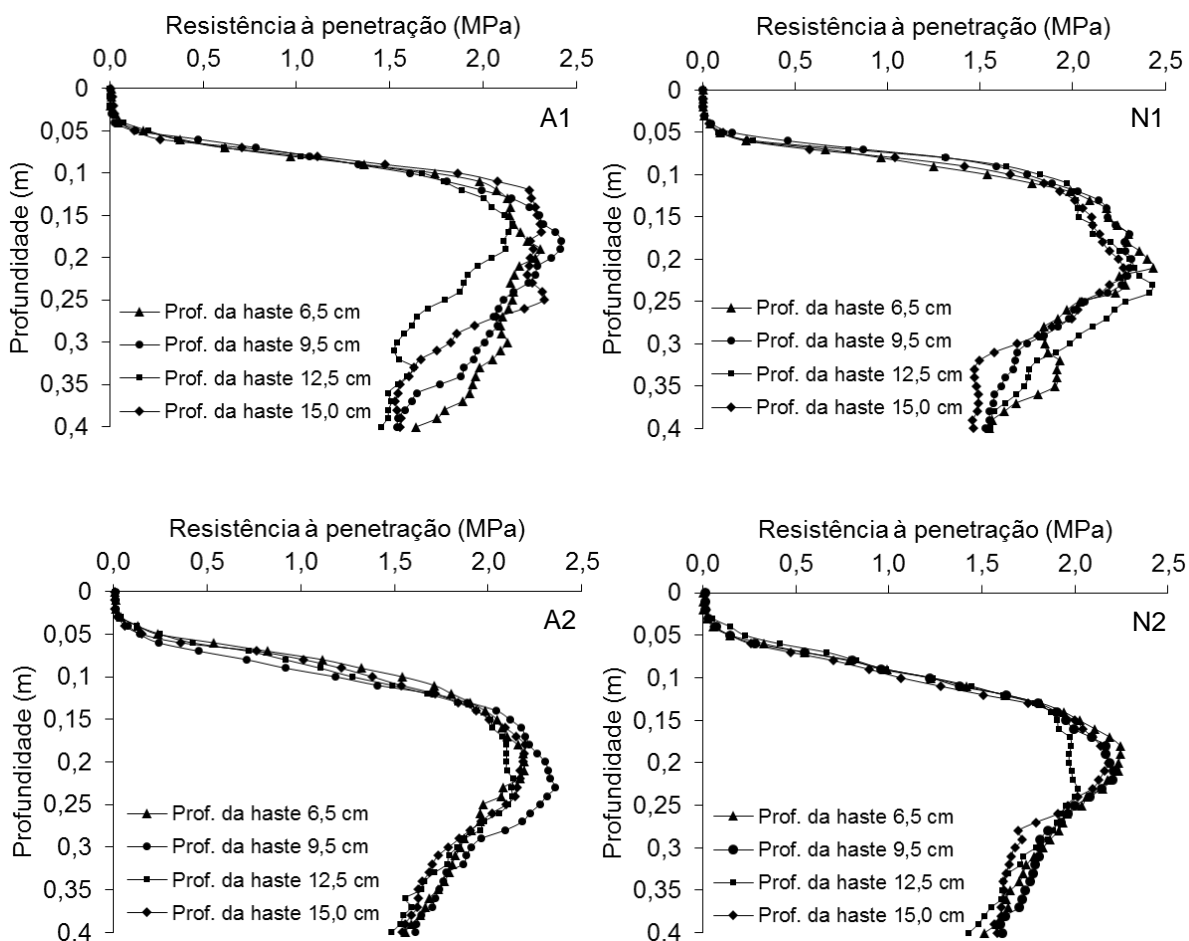


Figura 20 – Resistência do solo à penetração (MPa) em função das profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo em área cultivada com aveia preta (A) e nabo forrageiro (N), nas safras 2013/2014 (1) e 2014/2015 (2). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Na camada de 0,0 até 0,05 m, os valores de RP são inferiores a 0,2 MPa, fato que está associado a maior mobilização do solo gerada pela concentração de raízes nessa camada (SEIXAS et al., 2005; REINERT et al. 2008; DEBIASI et al. 2010), bem como pelo maior teor de matéria orgânica acumulado em função da deposição de resíduos vegetais em cobertura, ao longo dos anos (LUCIANO et al., 2010). Além disso, essa camada apresenta maior mobilização mecânica do solo pela atuação das ferramentas sulcadoras das semeadoras-adubadoras (DRESCHER et al. 2012; FRANGETTO et al., 2015), ocorrida no momento da implantação das culturas de inverno e verão, respectivamente. Outro aspecto que conjuntamente aos fatores supramencionados pode ser responsável pela baixa RP, na referida camada, é a oscilação de umidade, que ao longo do tempo pode naturalmente diminuir o grau de compactação do solo em função da expansão e contração dos componentes constituintes do solo (GUBIANI et al., 2015).

Observa-se na camada de 0,05 a 0,15 m um aumento abrupto na RP, passando de 0,2 para aproximadamente 2,0 MPa. Esse comportamento está diretamente associado ao acúmulo de pressões geradas pelo tráfego de máquinas agrícolas. Cavalieri et al. (2009) utilizando sensores distribuídos ao longo do perfil do solo verificaram que as maiores pressões foram geradas na camada de 0,10 a 0,20 m, no tratamento com tráfego do trator.

A partir dos 0,15 até 0,25 m de profundidade verifica-se uma RP oscilando entre 2,0 e 2,5 MPa. Moraes et al. (2014a) realizando uma revisão sobre uso da penetrometria na avaliação da compactação do solo verificaram que a maioria dos trabalhos indicam que uma RP entre 2,0 e 3,0 MPa tendem a causar distúrbios de crescimento nas raízes das culturas anuais. Todavia, Moraes et al. (2014b) avaliando em experimento de longa duração, o limite crítico de resistência à penetração em função de diferentes tipos de preparo do solo, num Latossolo Vermelho eutroférico, com textura muito argilosa, propuseram que no sistema de preparo convencional a RP de 2,0 MPa deve ser mantida. Contudo, nos sistemas de preparo mínimo com escarificação e plantio direto consolidado, a RP deve ser elevada para 3,0 e 3,5 MPa, respectivamente.

Os autores ainda relatam que o limiar crítico RP de 2,0 MPa é conservador, visto que o rendimento de trigo e soja foi maior no tratamento com

sistema de plantio direto conduzido por 24 anos em relação ao plantio convencional, mesmo em valores de RP de 3,0 MPa. Isso indica que o limite crítico de RP deve ser reajustado de acordo com o sistema de plantio direto. Além disso, os rendimentos de soja, milho e trigo neste experimento, monitorados por mais de duas décadas, foram estabilizados a partir do sétimo ano, no tratamento plantio direto (FRANCHINI et al., 2012).

Abaixo de 0,25 até 0,4 m, constata-se uma tendência de diminuição da RP, visto que a transferência de tensões que aumentam o grau de compactação do solo tende a ser distribuída nas camadas mais próximas a superfície (BONINI et al. 2008).

Comparando a RP entre o cultivo da aveia preta e nabo forrageiro (Figuras 20- A1, N1, A2 e N2) é possível afirmar que as culturas de cobertura de inverno, entre si, não apresentaram capacidade diferenciada em alterar a curva da RP no perfil do solo, mesmo possuindo desenvolvimento morfológico distinto do sistema radicular. Resultado semelhante foi obtido por Mazurana et al. (2013) que não constataram variação significativa da RP quando o manejo de planta de cobertura de inverno (pousio e aveia+ervilhaca) foram comparadas.

Nas Figuras 20- A1, N1, A2 e N2 é possível constatar similaridade entre os valores de RP em função das diferentes profundidades de atuação das hastes sulcadoras de adubo, independentemente do cultivo de plantas de cobertura. Essa constatação está ligada ao fato dos mecanismos sulcadores da semeadora de inverno e verão apresentarem capacidade limitada de mobilização do solo, no sentido vertical e transversal, em relação ao deslocamento horizontal das ferramentas de mobilização do solo, contidas nas semeadoras-adubadoras (Drescher et al., 2012).

4.3 PARÂMETROS DE MOBILIZAÇÃO DO SOLO E QUALIDADE DE SEMEADURA

Na safra 2013/2014, a profundidade de atuação da haste influenciou significativamente a profundidade de semeadura (PS), largura superficial de sulco

(LS), área de solo mobilizada (AM) e volume de solo (VSM), enquanto que, as plantas de cobertura influenciaram a PS e a matéria seca da cultura de inverno (MS). Houve ainda interação significativa entre as fontes de variação para os caracteres LS, AM e VSM (Tabela 4).

Na safra 2014/2105 observa-se que a profundidade de atuação da haste sulcadora ocasionou variação significativa na PS, LS, AM, VSM e IVE. Já, as plantas de cobertura influenciaram significativamente apenas o IVE e a MS. Observa-se ainda interação significativa dos tratamentos para os caracteres LS, AM, VSM e IVE.

Tabela 4 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres profundidade de semeadura (PS), largura superficial de sulco (LS), área de solo mobilizada (AM), volume de solo mobilizado (VSM), índice de velocidade de emergência (IVE) e matéria seca das plantas de cobertura (MS), nas safras 2013/2014 e 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

FV	GL	Safra 2013/2014					
		PS	LS	AM	VSM	IVE	MS
Bloco	3	0,008	1,59	78,49	184,52	72,42	0,83
Prof.	3	1,406*	12,72*	5246,10*	10521,27*	97,01	1,02
Erro (a)	9	0,339	0,28	21,89	45,58	57,85	0,85
Cob.	1	0,291*	2,53	93,67	222,38	2,33	7,93*
Erro (b)	3	0,011	0,43	42,13	91,62	44,47	0,32
Prof. x Cob.	3	0,296	1,64*	157,24*	333,79*	15,46	0,90
Resíduo	9	0,507	0,34	33,73	68,16	47,82	0,67
Média		5,487	12,34	70,96	101,18	57,93	5,30
C.V. (%)		12,97	4,70	8,18	8,16	11,94	16,36
		Safra 2014/2015					
Bloco	3	0,121	0,98	47,34	84,67	3,77	0,75
Profundidade	3	1,123*	11,65*	5556,32*	11217,71*	11,30*	0,99
Erro (a)	9	0,152	0,75	29,42	53,73	1,69	0,77
Cobertura	1	0,080	3,13	114,38	255,54	5,33*	7,86*
Erro (b)	3	0,158	0,90	18,61	33,89	0,20	0,23
Prof. x Cob.	3	0,011	1,81*	147,30*	279,63*	7,38*	0,80
Resíduo	9	0,155	0,22	12,66	29,46	1,63	0,51
Média		5,850	12,31	54,80	78,16	13,61	5,09
C.V. (%)		6,730	3,83	6,49	6,94	9,39	14,07

*: Significativo ($P \leq 0,05$). C.V.: Coeficiente de variação.

4.3.1 Profundidade de Semeadura

No primeiro ano de experimento, a profundidade média de semeadura foi de 5,5 cm, não havendo modelo de regressão que se ajustasse aos dados obtidos.

Na safra 2014/2015, a análise de regressão visualizada na Figura 21 demonstra que a cada centímetro de aumento na profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo ocorre um acréscimo de 0,09 cm na profundidade de deposição da semente de milho. Esse resultado provavelmente está associado a maior mobilização do solo gerada pelo aprofundamento da haste sulcadora de adubo, pois um maior volume de solo revolvido na linha de semeadura tende a gerar menor sustentação das rodas limitadoras de profundidade de deposição de sementes.

Resultado semelhante foi obtido por Fallahi et al. (2008), os quais afirmam que o tratamento com maior mobilização do solo foi responsável pela maior profundidade de deposição da semente de milho.

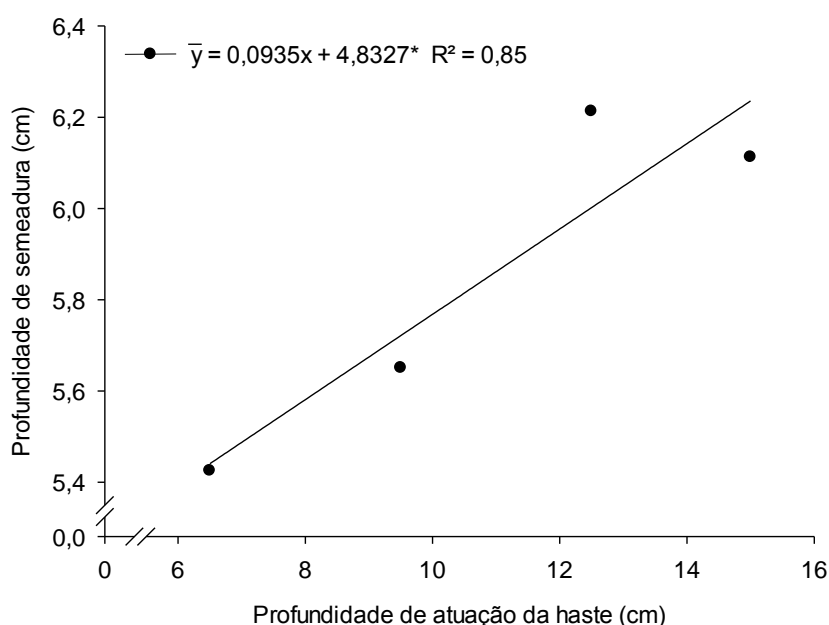


Figura 21 – Profundidade de semeadura do milho (cm) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo na safra 2014/2015 *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

De modo geral, a profundidade adequada de semeadura do milho foi atingida, pois Sangoi et al. (2004) avaliando o tamanho de semente, profundidade de semeadura e crescimento inicial do milho, em duas épocas de semeadura verificaram que somente houve menor germinação do milho quando as sementes foram depositadas em profundidade igual ou maior que 7,5 cm.

Entre os fatores essenciais para a germinação de sementes se destaca o teor de umidade e a temperatura do solo. Nesse sentido, Silva et al. (2015) analisando a emergência de plantas de milho de acordo com a profundidade de semeadura (2 a 8 cm), em Nitossolo de textura argilosa, verificaram maior velocidade de emergência e emergência total de plantas nas profundidades de semeadura de 6 e 8 cm. Os autores afirmam que esses resultados provavelmente foram favorecidos pelo maior teor de água no solo, naquela camada.

Silva et al. (2008) analisaram a germinação de sementes de milho depositadas em três profundidades (3,0; 5,0 e 7,0 cm) e compactadas por diferentes rodas compactadoras. Os autores concluíram que as maiores médias de temperatura do solo ocorreram para a profundidade de 3 cm (29,03 °C), enquanto as menores foram observadas na profundidade de 7 cm (28,34 °C), sendo dependente do modelo de roda compactadora. Contudo, apesar da variação de temperatura observada, os autores mencionam que a temperatura para germinação da cultura variou dentro da faixa considerada como ideal (20 a 30 °C).

Com relação as plantas de cobertura, verifica-se na Tabela 5 que a aveia preta ocasionou maior profundidade média de semeadura do milho (PS) em relação a cultura do nabo forrageiro, na safra 2013/2014.

Tabela 5 – Profundidade de semeadura do milho (cm) em função das plantas de cobertura de solo, nas safras 2013/2014. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Tratamentos	Profundidade de semeadura (cm)
	Safra 2013/2014
Aveia preta	5,58 a
Nabo forrageiro	5,39 b
Média	5,48

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

Na área cultivada com aveia e nabo, na safra 2013/2014, a PS foi de 5,58 e 5,39 cm, respectivamente, sendo essa diferença igual a 3,6% (Tabela 5). Desse modo, é possível afirmar que a PS ideal foi obtida nos dois tratamentos. Weirich Neto et al. (2007) analisando a precisão na profundidade de semeadura do milho, em 38 propriedades localizadas nos campos gerais do Paraná, constataram que a PS média foi de 4,6 cm. Os autores afirmam que, no geral, os valores foram próximos ao recomendado para a cultura, que seria em torno de 5,0 cm. Ainda mencionam que isso não significa que as profundidades adotadas pelos produtores estivessem corretas ou incorretas, pois o valor ideal depende das condições de solo, temperatura e umidade no momento da semeadura.

4.3.2 Largura Superficial de Sulco de Semeadura

Na safra 2013/2014 (Figura 22A), e na 2014/2015 (Figura 22B) visualiza-se correlação positiva entre a largura superficial de sulco (LS) e a profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, e plantas de cobertura de inverno. Na primeira safra, nenhum modelo de regressão se adequou aos dados de LS obtidos na área conduzida com nabo forrageiro, com valor médio de 12,6 cm.

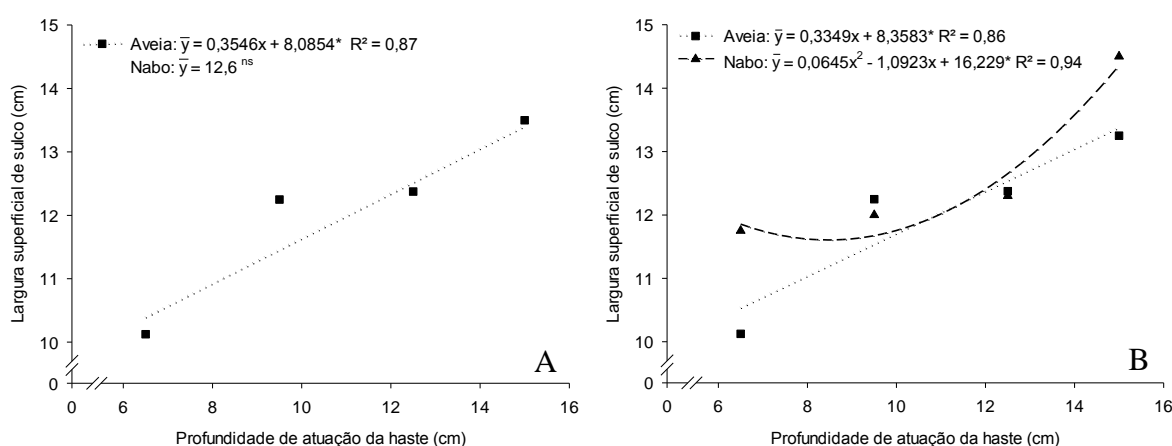


Figura 22 – Largura superficial de sulco (cm) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e plantas de cobertura de inverno, na safra 2013 (A) e 2014/2015 (B). ns: não significativo. *: Significativo ($P \leq 0,05$). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Na Figura 22A verifica-se que a cada centímetro de aumento na profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo ocorre uma ampliação de 0,35 cm na LS, na área manejada com aveia preta. Já na safra 2014/2015, para a mesma planta de cobertura, o aumento de LS foi de 0,33 cm para cada unidade (cm) de aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora (Figura 2B). Na segunda safra, na área manejada com nabo forrageiro, a LS passou de 11,85 para 14,36 cm entre a menor e maior profundidade de atuação da haste.

Resultados superiores de LS foram reportados por Bertonha et al. (2015) que analisando o ângulo de abertura do sulco em função da profundidade de trabalho da haste sulcadora (6,5; 12,5 e 16,5 cm) constataram que a LS variou de 16,0 para 20,6 cm, quando a menor e maior profundidade de atuação da haste sulcadora foram comparadas.

De maneira geral, afirma-se que o conjunto de mobilização do solo (disco + haste) contido na semeadora utilizada neste experimento se adequa ao pressuposto de baixa mobilização superficial do solo preconizado pelo sistema de plantio direto, pois Brandelero et al. (2014) avaliando diferentes mecanismos para o manejo do sulco de semeadura em plantio direto verificaram que a LS variou de 16,5 até 28,0 cm, quando a profundidade média de sulco foi de 4,9 e 8,1 cm, respectivamente.

Essa característica de baixa LS ocasionada pela haste sulcadora, quando comparada a outras pesquisas, mesmo atuando em maiores profundidades, se mostra importante, pois maior área superficial de solo mobilizada tende a ocasionar maior perda de solo (VOLK et al., 2004), bem como maior surgimento de plantas daninhas na linha de semeadura (THIESEN & BIANCHI, 2010).

4.3.3 Área de Solo Mobilizada no Sulco de Semeadura

Na Figura 23A verifica-se por meio da análise de regressão que houve aumento linear da área de solo mobilizada (AM) em função da interação dos fatores profundidade de atuação da haste e plantas de cobertura do solo. Na área cultivada

com nabo forrageiro e aveia preta constata-se uma variação da AM de 42,5 até 96,8 cm² e de 34,7 até 96,9 cm², respectivamente, de acordo com o aumento da profundidade de atuação da haste.

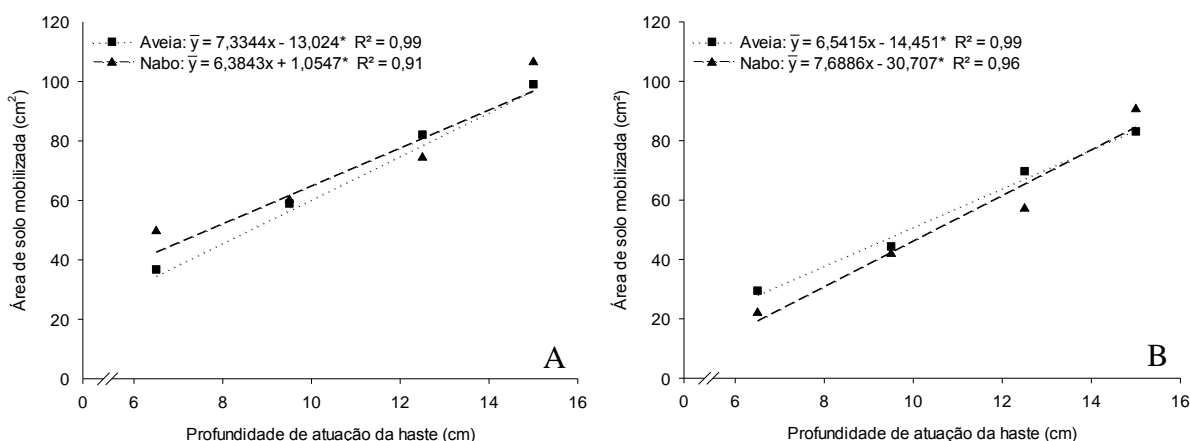


Figura 23 – Área de solo mobilizada (cm²) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e plantas de cobertura de inverno, na safra 2013/2014 (A) e 2014/2015 (B) *: Significativo (P≤0,05). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Na safra 2014/2015 (Figura 23B) observa-se comportamento linear semelhantes aos obtidos na safra 2013/2014, apesar dos valores serem distintos. A variação da AM foi de 28,1 até 83,7 cm² de acordo com a profundidade de atuação da haste associada a planta de cobertura aveia preta. Já, o aumento da AM observado entre a menor e maior profundidade de atuação da haste, integrada ao cultivo do nabo forrageiro foi de 19,3 e 84,6 cm², respectivamente.

Esses resultados corroboram com os dados obtidos por Cepik et al. (2010) que avaliando a força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras da semeadora-adubadora da marca Vence Tudo[®], em Argissolo com 20% de argila, verificaram que a AM foi de 53,8 e 64,9 cm², quando as hastes sulcadoras de adubo atuaram na profundidade efetiva de 6,5 e 11,5 cm, respetivamente.

Em Latossolo Vermelho eutroférico (47% de argila), Bertonha et al. (2015) observaram a mobilização do solo gerada por 5 profundidades de atuação da haste sulcadora e três modelos de hastes com diferentes ângulos de ataque (inclinada com 15°; reta, com ponteira inclinada e ângulo de 29° e parabólica com

27°). Os autores reportaram que os modelos de hastes não ocasionaram variação significativa na mobilização do solo, porém o aumento da profundidade de atuação das hastes de 6,0; 9,5; 10,5; 12,0 e 13,5 cm, gerou ampliação da área de solo mobilizada na ordem de 75,9; 120,1; 145,7; 169,1 e 191,6 cm², respectivamente.

4.3.4 Volume de Solo Mobilizado no Sulco de Semeadura

Observa-se nas Figuras 24A e 24B que o volume de solo mobilizado (VSM) apresentou aumento linear em função da profundidade de atuação da haste sulcadora e foi dependente do manejo com plantas de cobertura.

Na safra 2013/2014, o aumento do VSM foi na ordem de 10,3 m³ ha⁻¹ para cada centímetro de aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, associada ao manejo com a planta de cobertura aveia preta. Na área cultivada com nabo forrageiro, o VSM foi de 9,1 m³ ha⁻¹ para cada centímetro de aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora (Figura 27).

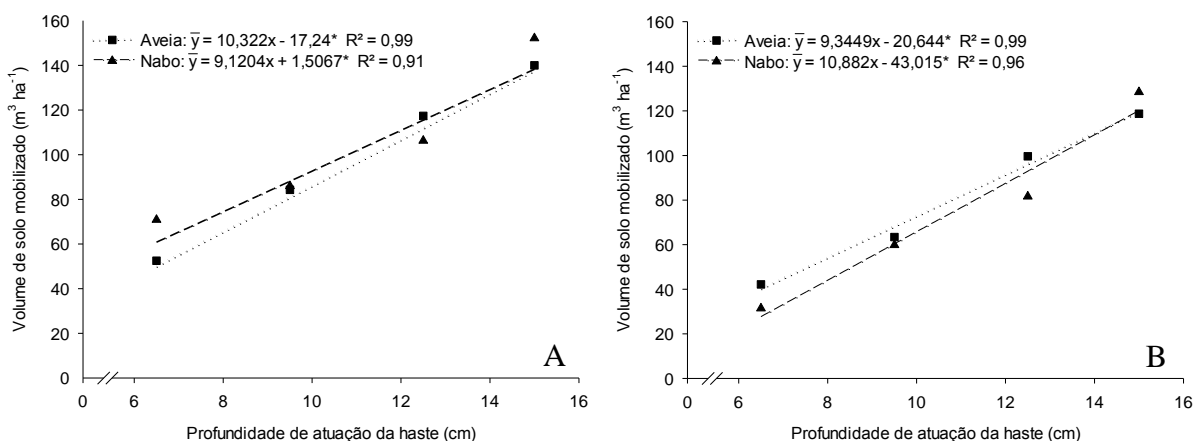


Figura 24 – Volume de solo mobilizado (m³ ha⁻¹) em função da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e plantas de cobertura de inverno, na safra 2013/2014 (A) e 2014/2015 (B) *: Significativo (P≤0,05). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

No segundo ano do experimento visualiza-se que a cada unidade (cm) de aumento na profundidade de atuação da haste, nas áreas cultivadas com nabo e

aveia, ocorre uma ampliação de 10,8 e 9,3 m³ ha⁻¹ do VSM, respectivamente (Figura 28).

Esse aumento no VSM em função da profundidade de atuação da haste está diretamente relacionado ao comportamento de ruptura da estrutura do solo. Gowdin; O`Dogherty (2007) afirmam que a mobilização do solo ocorre de forma tridimensional (para frente, para cima e lateralmente) quando a profundidade de atuação da ferramenta de preparo não atinge a profundidade crítica de trabalho.

Avaliando a mobilização do solo condicionada pela profundidade de atuação da haste, velocidade de operação e umidade do solo, Cepik et al. (2005) concluíram que os maiores valores de volume de solo mobilizado foram obtidos quando a profundidade de operação da haste sulcadora foi de 12 cm em relação a menor profundidade (6 cm), com valores de 128,8 m³ ha⁻¹ e 66,8 m³ ha⁻¹, respectivamente, em solo na mesma condição de umidade da presente pesquisa (friável).

O aumento da profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo e o conseqüente aumento de VSM, em áreas conduzidas em semeadura direta, aparentemente se apresenta como uma alternativa para mitigar a compactação do solo, pois Nunes et al. (2015) verificaram maior massa e comprimento de raízes de milho quando a haste sulcadora trabalhou na profundidade de 17 cm em relação a menor profundidade (5 cm), em Latossolo (61% de argila) conduzido por mais de 10 anos em semeadura direta.

4.3.5 Índice de Velocidade de Emergência de Plântulas

Na safra 2013/2014 o índice de velocidade de emergência (IVE) não apresentou resposta significativa tanto para as profundidades de atuação da haste sulcadora quanto para as plantas de cobertura do solo, apresentando valor médio de 57,93.

No segundo ano de experimento, o IVE apresentou interação significativa para as fontes de variação aplicadas. Contudo, nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados observados, com IVE médio de 13,61.

Essa variação das médias de IVE observadas entre as safras 2013/2014 e 2014/2015, provavelmente estão associadas a época de semeadura. Na primeira safra, o milho foi semeado no dia 05/11/2013, época em que a temperatura do ar e do solo são mais elevadas em relação a época de semeadura ocorrida na segunda safra (10/10/2014), gerando um maior IVE.

Generalizando, essa afirmação corrobora com os resultados obtidos por Sangoi et al. (2004), que verificaram que na semeadura realizada no final de janeiro, ocorreram percentagens de emergência superiores a 94% e foram observadas em todas as profundidades 10 dias após a semeadura. Por outro lado, na semeadura realizada no final do mês de março, a emergência foi mais lenta e os efeitos negativos do aumento da profundidade de semeadura sobre o número de plantas emergidas mais acentuados, fazendo com que apenas 70,8% das sementes tivessem emergido 10 dias após a semeadura, quando a mesma foi realizada a 10 cm de profundidade. Neste caso, foram necessários mais de 14 dias para que se alcançasse 85% de emergência.

Prado et al. (2001) avaliando o índice de velocidade de emergência de plantas de milho em função da compressão do solo e profundidade de semeadura (3; 5 e 7 cm) constataram que o IVE aumentou linearmente com a compressão do solo, independentemente da profundidade de semeadura.

Janowiak et al. (2003) mencionam que no período compreendido entre a semeadura e germinação, o meristema apical está abaixo da superfície do solo, sendo a temperatura, no entorno da semente, o principal fator determinante da taxa de desenvolvimento inicial do milho.

4.3.6 Produtividade de Matéria Seca das Culturas de Cobertura de Inverno

Nas safras 2013/2014 e 2014/2015 a cultura de inverno aveia preta apresentou produtividade cerca de 21% superior a cultura do nabo forrageiro (Tabela 6), fato que pode estar associado a melhor adaptabilidade da cultura da aveia preta ao ambiente de cultivo, bem como pela alta capacidade de perfilhamento da cultura (FONTANELI et al., 2009).

Resultados similares foram reportados por Wolschick et al. (2016) que analisando a cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura em Lages/SC, num Cambissolo, verificaram que a cultura da aveia preta e nabo forrageiro produziram 14,4 e 6,1 Mg ha⁻¹ de MS da parte aérea e raízes somadas, respectivamente.

Tabela 6 – Produtividade de matéria seca (MS) das plantas de cobertura de solo, nas safras 2013/2014 e 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Tratamentos	MS (Mg ha ⁻¹)	
	Safra 2013/2014	Safra 2014/2015
Aveia preta	5,82 a	5,59 a
Nabo forrageiro	4,78 b	4,60 b
Média	5,30	5,09

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem pelo teste Tukey (P≤0,05).

Camargo & Piza (2007) observando a produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema plantio direto verificaram que a aveia preta apresentou a maior produtividade de palhada, seguida pela aveia branca, nabo forrageiro e braquiária, que não diferiram entre si. Ainda mencionam que a aveia preta se destaca dentre as culturas de inverno em produção de matéria seca para formação de palhada.

Silva et al. (2008) avaliando a produtividade do milho irrigado em sucessão a espécies inverniais para produção de palha e grãos constataram resultados diferentes, bem como semelhantes aos obtido na presente pesquisa. Na safra 2003/2004, os autores observaram igualdade na produtividade média de MS, entre a aveia preta (6,6 Mg ha⁻¹) e nabo forrageiro (5,4 Mg ha⁻¹). Na segunda safra (2004/2005) a aveia preta produziu menos MS que o nabo forrageiro, sendo a média de 3,6 e 5,1 Mg ha⁻¹, respectivamente. Já na safra 2005/2006, a aveia preta apresentou produtividade significativamente maior (8,3 Mg ha⁻¹) em relação a 5,3 Mg ha⁻¹ do nabo forrageiro.

Tais divergências de produtividade de matéria seca da mesma cultura de inverno cultivada em diferentes locais são esperadas, pois dependem das características de solo (DONEDA et al. 2012) e clima (RIZZARDI et al. 2006).

Generalizando, é possível afirmar que a quantidade de matéria seca necessária para minimizar os problemas de perda de solo foram produzidas nos dois anos de experimento, independentemente dos tratamentos aplicados, visto que Panachuki et al. (2011) estudando três sistemas de manejo do solo: semeadura direta (SD), preparo com grade aradora (PC) e com escarificador (CM) associados a três níveis de cobertura do solo com resíduo vegetal: 0,0; 2,0; e 4,0 Mg ha⁻¹ concluíram que a maior eficiência no controle da erosão hídrica ocorreu no tratamento SD com presença de resíduos.

4.4 PARÂMETROS DA CULTURA DO MILHO

Na safra 2013/2014 verifica-se que somente a população final de plantas (PF) apresentou significância para a fonte de variação profundidade de atuação da haste. Dentre os outros parâmetros de plantas, nenhuma diferença significativa foi obtida em função dos tratamentos e nem interação significativa entre os mesmos (Tabela 7). Na safra 2014/2015, a população final de plantas (PF), número de grãos por fileira (NGF), massa de mil grãos (MG), e produtividade do milho (PM) foram influenciados significativamente pela profundidade de atuação da haste. O manejo com plantas de cobertura de inverno ocasionou resultado significativo para os caracteres número de grãos por fileiras (NGF) e número total de grão por espiga (NGE), sendo observado interação significativa apenas para a produtividade.

Tabela 7 – Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio dos caracteres população final de plantas (PF), número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MG) e produtividade do milho (PM), nas safras 2013/2014 e 2014/2015, em função da profundidade de atuação da haste sulcadora (Prof.) e plantas de cobertura do solo (Cob.). UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

FV	GL	Safrá 2013/2014					
		PF	NFG	NGF	NGE	MG	PM
Bloco	3	34,58	0,138	1,30	591,70	195,79	1,243
Profundidade	3	35,77*	0,355	1,61	644,35	1989,08	3,544
Erro (a)	9	7,42	0,272	1,93	863,48	1088,98	2,128
Cobertura	1	30,77	0,003	1,40	284,05	145,78	2,787
Erro (b)	3	30,85	0,459	5,93	2449,85	768,84	1,692
Prof. x Cob.	3	9,34	0,050	1,64	340,98	208,35	1,187
Resíduo	9	8,83	0,439	2,35	1110,36	732,43	1,653
Média		71,43	15,185	32,07	487,15	316,70	10,577
C.V. (%)		4,16	4,36	4,78	6,84	8,55	12,16
		Safrá 2014/2015					
Bloco	3	24,33	0,010	0,082	61,81	460,00	1,367
Profundidade	3	86,77*	0,050	4,191*	793,28	830,00*	14,846*
Erro (a)	9	16,58	0,207	0,927	253,41	150,00	1,195
Cobertura	1	3,37	0,020	3,906	1172,01*	1080,00	1,754
Erro (b)	3	5,92	0,043	0,359	51,89	360,00	0,283
Prof. x Cob.	3	6,54	0,323	0,787	1031,85	29,00	3,276*
Resíduo	9	15,92	0,289	0,947	768,68	210,00	0,597
Média		74,71	14,250	38,138	543,47	360,38	10,293
C.V. (%)		5,34	3,77	2,55	5,10	4,03	7,51

*: Significativo ($P \leq 0,05$). C.V.: Coeficiente de variação.

4.4.1 População de Plantas

A população final de plantas (PF) apresentou resultado significativo em função da profundidade de atuação da haste, porém não houve ajuste dos dados aos modelos de regressão testados. Nas safras 2013/2014 e 2014/2015 a PF foi de 71,43 e 74,71 mil plantas ha^{-1} , respectivamente. Tal resultado pode estar associado a variação na profundidade de semeadura não ter sido significativa na primeira safra, bem como ter sido somente de 0,8 cm, na segunda safra, fato que não gera

alterações significativas no processo de germinação, emergência e população final de plantas (Sangoi et al., 2004).

Analisando o rendimento do milho em área com e sem o tráfego máquinas e duas profundidades de atuação da haste sulcadora (6 e 12 cm), Conte et al. (2009b) também não constataram variação da população de plantas pela aplicação das variáveis independentes, nas áreas irrigadas.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bertonha et al. (2015) ao analisarem 5 profundidades de atuação das hastes sulcadoras e três ângulos de ataque, em Latossolo Vermelho com 47% de argila. Os autores constataram que mesmo havendo maior mobilização do solo ocasionada pela maior profundidade de atuação das hastes, a população final de plantas permaneceu com aproximadamente 70.000 plantas ha⁻¹.

4.4.2 Número de Fileiras de Grãos por Espiga

O número de fileiras de grãos por espiga (NFG) não foi significativo em função da aplicação das variáveis independentes (profundidades de atuação da haste sulcadora e plantas de cobertura). Nas safras 2013/2014 e 2014/2015, o número médio de fileiras de grãos por espigas foi de 15,18 e 14,25, respectivamente.

Esse resultado de NFG não significativo em função da aplicação dos tratamentos, provavelmente está ligado ao fato do solo apresentar teores altos de macronutrientes e MO. Além disso, a precipitação pluviométrica foi superior a evapotranspiração da cultura em todo o ciclo de desenvolvimento do milho, o que pode suprimir um possível efeito positivo das aplicação dos tratamentos sobre esse parâmetro.

Analisando os caracteres agronômicos de três cultivares de milho conduzidos em semeadura direta e cultivo mínimo, Bertolini et al. (2008) não verificaram variação da NFG em função dos tratamentos de manejo do solo, sendo que os valores oscilaram entre 13,84 e 14,78. Os autores somente verificaram

variação da NFG entre as cultivares analisadas, indicando que esse resultado provavelmente está associado a dependência genotípica do caractere.

4.4.3 Número de Grãos por Fileira

Na safra 2013/2014 constata-se que o número de grãos por fileira (NGF) não apresentou variação significativa em função das plantas de cobertura e profundidades de atuação da haste sulcadora, sendo o NGF médio igual a 32,07. Na safra 2014/2015, o NFG foi significativo apenas para a profundidade de atuação da haste sulcadora. Contudo, nenhum modelo de regressão polinomial se ajustou ao conjunto de dados observados (38,13).

Esses dados se ajustam aos obtidos por Lazaro et al. (2013), os quais avaliaram os componentes de rendimento da cultura do milho em sucessão ao cultivo de aveia preta; aveia preta + nabo forrageiro; aveia preta + tremoço branco; tremoço branco; crambe; vegetação espontânea e vegetação espontânea + adubação nitrogenada em cobertura. Os autores não obtiveram diferença significativa nos dados de NGF, associando o resultado ao alto teor de matéria orgânica da área experimental (40,47 g dm⁻³), o que também pode ter ocorrido na presente pesquisa.

Por outro lado, Cherubin et al. (2014) analisando o desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo conduzidas em semeadura direta verificaram que o NGF foi significativamente afetado pela planta de cobertura do solo, sendo maior quando cultivado sobre resíduo de ervilhaca (26,33), diferindo estatisticamente do nabo forrageiro (21,47), azevém (20,40) e aveia preta (19,46), que não diferiram entre si.

4.4.4 Número de Grãos por Espiga

Na safra 2013/2014, o número de grãos por espiga (NGE) não variou pela aplicação dos tratamentos, sendo a média igual a 487,15. Já, na safra

2014/2015, o NGE foi superior quando o milho foi cultivado na área com resíduos de aveia preta em relação ao nabo forrageiro (Tabela 8).

Tabela 8 – Número de grãos por espiga (NGE) em função das plantas de cobertura de solo, na safra 2014/2015. UTFPR, Pato Branco - PR, 2016.

Tratamentos	Número de grãos por espiga
	Safra 2014/2015
Aveia preta	549,52 a
Nabo forrageiro	537,42 b
Média	543,47

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na coluna, diferem pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

O maior NGE obtido na sucessão aveia preta em comparação ao nabo forrageiro pode estar associada a cultura do milho ter sido semeada 37 dias após a dessecação das culturas de inverno, permitindo melhor sincronização no aproveitamento de N liberado pela cultura da aveia preta em relação ao nabo forrageiro.

Crusciol et al. (2008) avaliando a liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta verificaram que após 35 dias da dessecação da aveia, mais de 45 kg de N (64%), já haviam sido liberados, sendo que a cultura apresentou produtividade média de 2.953 kg ha⁻¹ de matéria seca, sem aplicação de adubação de base.

Analisando os componentes de produtividade do milho em área com palhada de plantas de cobertura de verão e com e sem aplicação de nitrogênio (N), Santos et al. (2010) verificaram maior NGE quando o milho foi cultivado sobre resíduos de feijão de porco em comparação a crotalária juncea e milheto. Os autores também observaram que o uso de N (120 kg ha⁻¹) em relação a testemunha (0 kg ha⁻¹) ampliou o NGE de 392,13 para 464,20.

4.4.5 Massa de Mil Grãos

Na safra 2013/2014, a massa de mil grãos (MG) não respondeu significativamente aos tratamentos com plantas de cobertura do solo e

profundidades de atuação da haste sulcadora, apresentando valor médio de 316,70 g. Já, na safra 2014/2015 a MG apresentou resultado significativo para a profundidade de atuação da haste sulcadora de adubo, porém não se observou ajuste significativo a nenhum modelo de regressão testado, com valor médio de 360,38 g.

Resultados similares foram observados por Silva et al. (2012), os quais avaliaram os componentes de produção do milho em função de três profundidades de atuação das hastes (9, 12 e 15 cm) e dois ângulos de ataque (30 e 18°). Os autores concluíram que os tratamentos não apresentaram a capacidade de alterar o número de fileiras de grãos, número de grãos na fileira da espiga e a massa de 1000 grãos.

Esse resultado não significativo de MG provavelmente está associado a este caractere estar mais associado a diferenças genéticas intrínsecas de cultivares de milho (Vilela et al. 2012), variação na densidade de plantas (Marchão et al. 2005), doses de nitrogênio (silva et al. 2005; Gazola et al. 2014) e de lâminas de irrigação (Ben et al. 2016).

4.4.6 Produtividade da Cultura do Milho

Na safra 2013/2014, a produtividade do milho (PM) não diferiu em função do manejo com plantas de cobertura do solo e profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo, apresentando valor médio de 10.577 kg ha⁻¹. Já na safra 2014/2015, a PM apresentou interação entre os fatores, porém sem haver ajuste dos dados aos modelos de análise de regressão testados, sendo a média igual a 10.293 kg ha⁻¹ (Tabela 7).

Supõe-se que a não obtenção de resultados significativos de produtividade em função do manejo com diferentes plantas de cobertura e profundidades de atuação da haste sulcadora possa estar associado ao alto teor macronutrientes e MO disponíveis no solo, bem como a precipitação pluviométrica regular e em quantidade superior a evapotranspiração da cultura ocorrida em todo o

período de desenvolvimento da cultura do milho, nos dois anos de experimento (Figuras 1 A e B).

Debiasi et al. (2010) analisando a produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo observaram que o cultivo de aveia preta e nabo forrageiro, em relação ao pousio, proporcionaram maior produtividade das culturas em ano de estiagem. Porém, o mesmo resultado não se repetiu no ano com ausência de déficit hídrico. Os autores também verificaram que as diferentes profundidades de atuação da haste sulcadora de adubo (0,06 e 0,12 m) não ocasionaram variação da produtividade do milho, nos dois anos de avaliação.

Resultados semelhantes foram verificados por Tricai et al. (2016) que avaliando a produtividade do milho em função de três profundidades de atuação das hastes (0,09; 0,11 e 0,15 m) não constataram diferença significativa, em Latossolo com 48% de argila.

Estudando o efeito de práticas de descompactação em Nitossolo (60% de argila) por meio da subsolagem a 0,40; 0,30 e 0,20 m de profundidades, antes da semeadura da cultura de inverno e verão, e pelo plantio direto de milho com mecanismo sulcador tipo haste e disco duplo, Seki et al. (2015) não observaram qualquer mudança no desenvolvimento e produtividade da cultura do milho.

Essa afirmação condiz com os resultados obtidos por Conte et al. (2009a), os quais constataram diferença de produtividade da soja (180 kg ha^{-1}) nos tratamentos com variação na profundidade de atuação das hastes sulcadoras (0,064 e 0,10 m), em área não irrigada. Os autores ainda afirmam que o aumento da profundidade de trabalho da haste sulcadora de adubo da semeadora-adubadora mostrou-se uma estratégia viável para aumentar a produtividade da soja em condições de deficiência hídrica, fato que não ocorreu na área irrigada.

5 CONCLUSÕES

O aprofundamento da haste sulcadora ampliou a força de tração e a potência requerida na barra no processo de semeadura, bem como diminuiu a velocidade média do conjunto mecanizado e a força de tração específica, e apesar de gerar maior mobilização do solo na linha de semeadura não demonstrou ser uma prática de manejo eficiente para aumentar a produtividade do milho.

A utilização de plantas de cobertura e profundidades de atuação da haste não se apresentaram eficazes em modificar os parâmetros de resistência do solo à penetração, densidade e porosidade do solo, na entrelinha de cultivo.

A população final de plantas, o índice de velocidade de emergência de plântulas e os componentes de produção do milho não variaram em função da profundidade de atuação da haste sulcadora.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Associado ao cultivo de plantas de cobertura do solo recomenda-se o uso de hastes sulcadoras de adubo em profundidades próximas a 6,5 cm, visto que em maiores profundidades verificou-se diminuição da velocidade do conjunto mecanizado no processo de semeadura, aumento da força de tração e maior mobilização do solo. Esses resultados demonstram que maiores profundidades de atuação da haste sulcadora diminuem a eficiência de plantio, aumentam o consumo de energia para realizar a operação de semeadura, expõe maior área e volume de solo aos agentes erosivos, bem como não ocasiona maior produtividade da cultura do milho, em período sem escassez de chuva.

Especula-se que o aprofundamento da haste sulcadora, em Latossolo muito argiloso compactado, em período de estiagem possa mitigar, em alguma proporção, os efeitos negativos do aumento do grau de compactação do solo e consequentemente, se reflita em benefícios produtivos a cultura do milho, visto que a mobilização do solo na linha de semeadura permite um maior desenvolvimento do sistema radicular da cultura.

Nesse contexto, sugere-se que seja desenvolvido um experimento com quatro profundidades de atuação da haste sulcadora (5, 9, 13 e 17 cm), em Latossolo muito argiloso, em três faixas de densidade do solo (1,17-1,20; 1,21-1,23 e 1,24-1,27 g cm⁻³), visando avaliar os parâmetros de mobilização do solo, máquina e planta. Recomenda-se aditivamente que a compactação da área seja realizada antes da implantação da cultura de verão (milho ou soja).

REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. de S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; ALADENOLA O. O.; SOUZA, T. T. T.; INDA JUNIOR, A. V. Comparison of estimation methods of soils strength in five soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, n. 3, p. 487-495, 2009.

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; VAN DER LINDEN, J. P.; PIRES, S.; SOMMERF, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic- induced subsoil compaction: a review Part 1. Machine/soil interactions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1-2, p. 145-160, 2003.

ALTIERI, M. A; LANA, M. A; BITTENCOURT, H. V; KIELING, A. S; COMIN, J. J. LOVATO, P. E. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil, **Journal of Sustainable Agriculture**, Binghamton, v. 35, n. 8, p. 855-869, 2011.

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, n. 18, p. 25-36, 2001.

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. Plantio direto na palha – rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 49-66, 2003.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

ANDRADE, J. G.; SEGUÍ, J. P.; REIMAR CARLESSO, TROIS, C.; KNIES, A. E. Perdas de agua por evaporación en maíz con siembra convencional y directa para diferentes niveles de cobertura muerta. I. resultados experimentales. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, San José de Las Lajas, v. 20, n. 2, p. 60-64, 2011.

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após

calagem superficial. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.

ANTUNES, J. M. **Brasil é referência mundial em plantio direto**. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/99939.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

ARAÚJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta da soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) em solos argilosos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 226-237, 1999.

ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 115-131, 2011.

BALEM, Z.; MODOLO, A. J.; TREZZI, M. M.; VARGAS, T. O.; BAESSO, M. M.; BRANDELERO, E. M.; TROGELLO, E. Conventional and twin row spacing in different population densities for maize (*Zea mays* L.). **African Journal of Agricultural Research**, Nairóbi, v. 9, n. 23, p. 1787-1792, 2014.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e funções da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecosistemas tropicais & subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999, p. 9-26.

BELLÉ, M. P.; ALONÇO, A. S.; FRANCETTO, T. R.; ROSSATO, F. P.; FRANCK, C. J.; CARPES, D. P. Demanda energética e mobilização do solo com o uso de escarificadores em sistemas de semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 551–558, 2014.

BEN, L. H. B.; PEITER, M. X., ROBAINA, A. D.; PARIZI, A. R. C.; SILVA, G. U. Influence of irrigation levels and plant density on "second-season" maize. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 3, p. 665 – 676, 2016

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, n. 3, p. 681-691, 2010.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JR., W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H. Desempenho da cultura do milho em diferentes manejos do solo sobre cobertura vegetal de Nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.). **Energia Agrícola**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 34-49, 2006.

BERTOLINI, E. V.; GAMERO, C. A.; SALATA, A. C.; PIFFER, C. R. Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2355-2366, 2008.

BERTONHA, R. S.; FURLANI, C. E. A.; CARNEIRO, F. M.; ORMOND, A. T. S. Ângulo de abertura do sulco em função do teor de água do solo e profundidade de trabalho em Latossolo Vermelho. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 44. 2015, São Pedro. **Anais Eletrônicos...** São Paulo: CONBEA, 2015. Disponível em: <publicacoes.conbea.org.br/anais/baixar/209>. Acesso em: 08 ago. 2016.

BERTONHA, R. S.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, V. F. A.; WRIGHT, D. L. Tractor performance and corn crop development as a function of furrow opener and working depth in a Red Latosol. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 9, n. 9, p. 812-818, 2015.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, n. 6, p. 863-871, 2005.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. N.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistema de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 25, n. 1 p. 167-177, 2001.

BONINI, A. K.; FILHO, A. G.; SECCO, D.; SOUZA, R. F.; TAVARES, C. Atributos físicos e requerimento de potência de uma semeadora-adubadora em um Latossolo sob estados de compactação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 136-144, 2008.

BORGES, W.L.B.; FREITAS, R.S.; MATEUS, G.P.; SÁ, M.E.; ALVES, M.C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014.

BOTTA, G. F.; TOLON-BECERRA, A.; TOURN, M.; LASTRA-BRAVO, X.; RIVERO, D.; Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor

design and different soil conditions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, n. 1, p. 92-98, abr. 2012.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SEQUINATTO, L. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 477-485, 2008.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a suscetibilidade à compactação do solo de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p.131-139, 2010.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRANDELERO, E. M.; ARAUJO, A. G.; RALISCH, R. Mobilização do solo e profundidade de semeadura por diferentes mecanismos para o manejo do sulco de semeadura em uma semeadora direta. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 263-272, 2014

CAMARGO, R.; PIZA, R. J. Produção de biomassa de plantas de cobertura e efeitos na cultura do milho sob sistema plantio direto no município de passos, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 76-80, 2007.

CAMPOS, B. C.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.

CARDOSO, D. P.; SILVA, Marx, L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 632-638, 2012.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E. Distribuição do sistema radicular da cultura da soja em função do manejo do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29. 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** SBCS, 2003. CD-Rom.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no

sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493- 501, 2006.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil**: fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.

CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P.; ARVIDSSON, J.; TORMENA, C. A. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um cambissolo háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 477-485, 2009.

CAVICHIOLO, F. A.; FURLANI, C. E. A.; BERTONHA, R. S.; NICOLOSI, M. M.; ZERBATO, C. Velocidade de semeadura e profundidade da haste sulcadora em sistema plantio direto de milho. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 44. 2014, Campo Grande. **Anais Eletrônicos...** Mato Grosso do Sul: CONBEA, 2014. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/anais/R0247-1.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2014.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 447-457, 2005.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; CONTE, O. Força de tração e mobilização do solo por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 561-566, 2010.

CHAMEN, T.; ALAKUKKU, L.; PIRES, S.; SOMMERD, C.; SPOOR, G.; TIJINK, F.; WEISSKOPF, P. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 2. Equipment and field practices. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1-2, p. 161-174, 2003.

CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; ROCHA, E. M. T.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; LAMEGO, F. P. Desempenho agrônômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do Brasil. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 1, p. 76-85, 2014.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 933-942, 2008.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

COLOZZI-FILHO, Arnaldo. **Plantio direto: microrganismos e processos**. In: ASSOCIAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO. Atualização em fertilidade e biodinâmica no sistema plantio direto. Brasília: APDC, 2000. p. 29-42. (Programa de treinamento).

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos. Décimo segundo levantamento, agosto 2015**. Brasília: Conab, 2015: safras 2014/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_42_03_boletim_graos_setembro_2015.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2016.

CONTE, O. LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; XAVIER, A. A. P.; DEBIASI, H. Demanda de tração, mobilização de solo na linha de semeadura e rendimento da soja, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1254-1261, 2009a.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; DEBIASI, H.; STURMER, S. L. K.; MAZURANA, M.; MÜLLER, J. Soil disturbance index as an indicator of seed drill efficiency in no-tillage agrosystems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 114, n. 1, p. 37-42, 2011.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; DEBIASI, H.; MAZURANA, M. Rendimento do milho em diferentes condições físicas de solo e quantidade de resíduo na ausência ou na presença de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1059-1066, 2009b.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 261-266, 2008.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: Estatística experimental e matrizes**. Viçosa: UFV, 2006. 285p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuários**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 13-24, 2001.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 603-612, 2010.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; MANHAGO, D. D. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2847-2852, 2008.

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

DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. M. B. P.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. C. M.; MIELNICZUK, J.; HERNANI, L. C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Wales v. 60, n. 2, p. 240-249, 2009.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

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, n. 6, p. 1836-1844, 2012.

DUARTE, A. P.; KIEHL, J. C.; CAMARGO, M. A. F.; RECO, P. C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originarias de clima tropical e

introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003.

DUARTE, Jason O. **Cultivo do Milho: importância econômica**. 2011. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2014.

DURÃES, F. O. M.; SANTOS, M. X.; GAMA, E. E. G.; MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, C. T. **Fenotipagem associada à tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, 17 p. 2004. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, n. 39).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 247 p.

FABRIZZI, K. P.; GARCIA, F. O.; COSTA, J. L.; PICONE, L. I. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n.1, p. 57-69, 2005.

FALLAHI, S.; RAOUFAT, M. H. Row-crop planter attachments in a conservation tillage system: A comparative study. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, n. 98, p. 27-34, 2008.

FANCELLI, A. L. A importância da cultura de milho no plantio direto. In: EMBRAPA/FECOTRIGO/FUNDAÇÃO ABC PARA ASSISTÊNCIA E DIVULGAÇÃO TÉCNICA AGROPECUÁRIA - **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo, Editora Aldeia Norte, 1993. p. 119-127.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. ESALQ/USP, Departamento de Agricultura, Piracicaba. 174 p. 1997.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. **Área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.jpg. Acesso em: 05 ago. 2014.

FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 117-127, 2015.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; PARTELLI, F. L.; DIDONET, A. D. Produtividade do feijoeiro comum influenciada por plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 695–701, 2011.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Mineralogiada fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 507-514,1999.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273 p.

FRANCETTO, T. R.; ALONÇO, A. S.; BELLÉ, M. P.; FRANCK, C. J.; DAUTO P. CARPES, D. P. Comportamento operacional de associações entre sulcadores e discos de corte para sistema de semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 542-554, 2015.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, jun. 2011. 52p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, nov. 2009. 39p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. & TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil, **Field Crops Research**, Davis, v. 137, n. 1, p. 178-185, 2012.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 627-636, 2007.

FURLANI, C. E. A.; GAMERO, C. A.; LEVIEN, R.; SILVA, R. P.; CORTEZ, J. W. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 375-380, 2008.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R.; B, I. C. FONSECA. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v. 18, n. 7, p. 700–707, 2014.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 477-484, 2004.

GHOHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J. P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração de raízes de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 25, n. 39, p. 419-431, 1996.

GODWIN, R.J. & O`DOGHERTY, M.J. Integrated soil tillage force prediction models. **Journal of Terramechanics**, North Carolina, v. 44, n. 1, p. 3-14, 2007.

GROTTA, D. C. C.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; REIS, G. N. Semeadora-adubadora: Demanda energética em função do manejo da cobertura vegetal e da profundidade da haste de deposição de adubo em sistema plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 241-248, 2009.

GUBIANI, P. I. **Regularidade de resposta da cultura do milho à compactação do solo**. 2012. 152 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GUBIANI, P. I.; LIER, Q. J. V.; DRESCHER, M. S.; MEZZOMO, H. C.; VEIGA, C. M. C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 100-108, 2015.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 1-10, 2013.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1055-1061, 2012.

HORN, R.; VAN DEN AKKER, J. J. H.; ARVIDSSON, J. **Subsoil compaction: distribution, processes and consequences**. Reiskirchen: Catena Verlag, 2000. 462p.

IMHOFF, S. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

IMHOFF, S.; DA SILVA, Á. P.; FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 1, p. 17-24, 2004.

INDA JUNIOR, A. V.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; SALTON, J. C.; TONIN, A. T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1301-1307, 2007.

JANOWIAK, F.; LUCK, E.; DÖRFFLING, K. Chilling tolerance of maize seedlings in the field during cold periods in spring is related to chilling induced increased in abscisic acid level. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlim, v. 189, n. 3, p. 156-161, 2003.

KAMIMURA, K. M.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Parâmetros solo-máquina em função de doses de resíduos vegetais e profundidades de deposição de adubo em semeadura direta. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 431-439, 2009.

KELLER, T.; TRAUTNER, A.; ARVIDSSON, J. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.68, n. 1, p. 39-47, 2002.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

KLEIN, V.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2475-2481, 2009.

KUNZ, M.; GONÇALVES, A. D. M. A.; REICHERT, J. M.; GUIMARÃES, R. M. L.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1699-1708, 2013.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p.1-22, 2004.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of Soil Physics**. Marcel Dekker, New York, 2004, 716 p.

LÁZARO, R. L.; COSTA, A. C. T.; SILVA, K. F.; SARTO, M. V. M.; DUARTE JÚNIOR, J. B. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 10-17, 2013.

LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D. C.; STORCK, L.; DAMO, H. P.; BRUM, B.; SANTOS, V. J. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 06, p. 1536-1542, 2007.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.

MACEDO, D. X. S.; NICOLAU, F. E. A.; NASCIMENTO, H. C. F.; COSTA, E.; CHIORDEROLI, C. A.; LOUREIRO, D. R. Operational performance of a tractor-seeder according to the velocity and working depth. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 280-285, 2016.

MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V. dos; MORAES, M. L. B. de; ALONÇO, A. S. **Máquinas para preparo do solo, semeadura e adubação. Pelotas**: Universitária UFPel, 1996. 228 p.

MACHADO, C. T. T.; GUERRA, J. G. M. ALMEIDA, D. L.; MACHADO, A. T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência e uso de fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 109-124, 1999.

MAGUIRE, J. D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plantio direto**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plantio-direto>> Acesso em: 12 ago. 2014.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; DUARTE, J.B.; GUIMARÃES, C.M.; GOMES, J.A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MARONI, J.; FERNÁNDEZ, A. C.; GARGICEVICH, A.; REPETTO, L.; GONZÁLEZ, C. 2005. Velocidad de emergencia del maíz: prestaciones de diferentes órganos

para el contacto semilla–suelo durante la siembra. In: BARBOSA, O. A. **Avances em Engenharia Agrícola 2003-2005**. San Luís: CADIR 2005, p. 9-14.

MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, A. C. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 649-657, 2016.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; SILVEIRA, V. H.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1185-1195, 2013.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; MELO, G. L.; SPOHR, R. B.; ANDRADE, J. G. Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 39-45, 2009.

MION, R. L.; NERY, M. S.; CARVALHO, W. P. A.; RUIZ, E. R.; FAGGION, F.; GROSSI, C. H.; MARQUES, J. P.; MAHL, D.; SILVA, A. R. B.; BENEZ, S. H. Influência da profundidade de trabalho de uma haste de semeadora na força de tração e na área de solo mobilizada em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD ROM.

MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; SGARBOSSA, M. Desempenho de híbridos de milho na região sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 435-441, 2010.

MODOLO, A. J.; FRANCHIN, M. F.; TROGELLO, E.; ADAMI, P. F.; SCARSI, M.; CARNIELETTO, R. Semeadura de milho com dois mecanismos sulcadores sob diferentes intensidades de pastejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1200-1209, 2013.

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; PAGLIOSA, E.; DALLACORT, R.; KOLLING, E. M.; SGARBOSSA, M. Seeding quality and soybean yields from using different furrowers and operation speeds. **Semina - Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. suplemento 1, p. 3009-3016, 2012.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014b.

MORAES, M. T. de; SILVA, V. R.; ZWIRTES, A. L.; CARLESSO, R. Use of penetrometers in agriculture: a review. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 179-193, 2014a.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. V. 32, n. 4, p. 1735-1742, 2008.

NIED, A. H.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J. C.; ALBERTO, C. M. Época de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos – Ensaio de laboratório**. São Carlos, EESC-USP, 1998. 248 p.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 627-638, 2014.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 148, n. 1, p. 119-126, 2015.

OLIVEIRA, J. G. R.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Erosão no plantio direto: perda de solo, água e nutrientes. **Boletim geografia**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 91-98, 2012.

PAES, J. M. V.; REZENDE, A. M. Manejo de plantas daninhas no sistema plantio direto na palha. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 37-42, 2001.

PALMA, M. A. Z.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; SPAGNOLO, R. T.; BARROS, M. M.; VILAS BOAS, L. A. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, 2010.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p.1777-1785, 2011.

PICKLER, E. P.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; KNOPATZKI, M. R. S.; PACHECO, F. P. Influência da cobertura de inverno nos atributos físicos do solo em culturas de milho e soja sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 33-45, 2012.

PRADO, R. M.; TORRES, J. L.; ROQUE, C. G.; COAN, O. Sementes de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: influência no índice de velocidade de emergência. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 45-49, 2001.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REIS, E. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, H. C.; NAIME, J. M.; ARAÚJO, E. F. Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 777-785, 2006.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. B.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, set. 2005.

RIZZARDI, M.A.; SILVA, L.F.; VARGAS, L. Controle de plantas daninhas em milho em função de quantidades de palha de nabo forrageiro. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 263-270, 2006.

ROSA, D. P. da; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; ROSA, V. T. da; VIEIRA, D. A.; REINERT, D. J. Demanda de tração e propriedades físicas de um Argissolo em diferentes manejos e intensidades de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 118-126, 2012.

ROSA, D. P.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; BARROS, C. A. P.; REINERT, D. J.; VIEIRA, D. A. Cultivo mínimo: Efeito da compactação e deformação abaixo da atuação da ponteira do subsolador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1199-1205, 2011.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M. F.; GENÚ, A. M.; MULLER, M. M. L. Plantas de cobertura de inverno, produção de biomassa vegetal e resistência do solo. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 33-40, 2012.

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; RAMÍREZ, J. J.; LITAGO, J. J.; HERNANZ, J. L. Effect of soil compaction and water content on the resulting forces acting on three seed drill furrow openers. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 25-37, 2005.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; HORN, D.; BIANCHET, P.; GRACIETTI, M. A.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C. Tamanho de semente, profundidade de semeadura e crescimento inicial do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 370-380, 2004.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; **Estratégias de manejo do arranjo de plantas para aumentar o rendimento de grãos de milho**. Lages: Graphel, 2010. 64 p.

SANTOS, A. P.; TOURINO, M. C. C.; VOLPATO, C. E. S. Qualidade de semeadura na cultura do milho por três semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1601-1608, 2008.

SANTOS, F. S.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; SECCO, D.; DIAS, P. P.; TOMASSONI, F.; PEREIRA, N. A. Utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos compactados. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 3, p. 82-91, 2014.

SANTOS, P. A.; SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010.

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery-Soil physical and mechanical aspects. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 28-43, 2007.

SCHJONNING, P.; LAMANDÉ, M.; TOGERSEN, F. A.; ARVIDSSON, J.; KELLER, T. Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil-tyre interface. **Biosystems Engineering**, Berlin, v. 99, n. 1, p. 119-133, 2008.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO – SEAB. **Valor bruto de produção agrícola paranaense em 2015**. Paraná. Disponível em: <

http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2016/milho_2016.pdf. Acesso em: 17 mar. 2016.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A. Construção de uma agricultura sustentável, lucrativa e adaptada aos entraves pedoclimáticos das regiões tropicais úmidas. **Informe Agrônomo**, Londrina, v. 74, n. 1, p. 2-20, 1996.

SEIXAS, J.; ROLOFF, G.; RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 794-798, 2005.

SEKI, A. S.; SEKI, F. G.; JASPER, S. P.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Effects of soil decompaction techniques in an area under a system of direct seeding. **Revista Ciência Agrônoma**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 460-468, 2015.

SEQUINATTO, L.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; MÜLLER, J. Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 344-350, 2014.

SILOTO, R. C. **Danos e biologia de Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho**. 2002, 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVA, A. A. da; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; PIANA, A. T.; STRIEDER, M. L.; JANDREY, D. B.; ENDRIGO, P. C. Produtividade do milho irrigado em sucessão a espécies inverniais para produção de palha e grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 987-993, 2008.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.147-156, 2011.

SILVA, E. C. DA; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (Zea mays L.) no sistema de plantio direto**. 2003. 84 f. Dissertação

(Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2003.

SILVA, P. R. A.; DIAS, P. P.; CORREIA, T. P. SILVA.; SOUSA, S. F. G. Emergência de plântulas de milho em diferentes profundidades de semeadura. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 178-185, 2015.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 855-860, 2002.

SILVA, R.P.; CORÁ, J.E.; FURLANI, C.E.A.; LOPES, A. Efeito da profundidade de semeadura e de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais na temperatura e no teor de água do solo durante a germinação de sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 929-937, 2008.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 739-745, 2006.

SILVA, V. F. A.; FURLANI, C. E. A.; TRICAI, E.; BERTONHA, R. S.; CHIODEROLI, C. A.; RAVELI, M. B. Componentes de rendimento do milho em sistema plantio direto em função de hastes sulcadoras e profundidades. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 29. 2012, Águas de Lindóia. **Anais Eletrônicos...** CBMS, 2012. Disponível em: <http://www.abms.org.br/29cn_milho/10651.pdf>. Acesso em: 14 set. 2016.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BORTOLUZZI, E. C. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1097-1104, 2009.

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

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; SILVA, S. L.; MODOLO, A. J.; TROGELLO, E. Furrow depth, soil disturbance area and draft force of a seeder-fertilizer at different seeding speeds. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 293-298, 2011.

SOANE, B. D.; VAN OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1994. 660p.

SOLOGUREN, L. Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 13, n. 13, p. 8-11, dez. 2015. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>>. Acesso em 16 jun. 2016.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro – 1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F. da; ARGENTA, G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A.A. da; ENDRIGO, P.C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007.

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 963- 973, 2008.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 4, p. 725-730, 2001.

THEISEN, G.; BIANCHI, M. A. Semeadura com pouco revolvimento de solo como auxílio no manejo de plantas daninhas em milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 93-102, 2010.

TOLEDO, F. F. **Tecnologia das sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. ed. 2, p. 713-761.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TRICAI, E.; FURLANI, C. E. A.; BERTONHA, R. S.; SILVA, V. F. A.; COMPAGNON, A. M.; CASSIA, M. T. Energy demand of furrow openers and corn yield according to the soil disturbance in no till system. **African Journal of Agricultural Research**, Nairóbi, v. 11, n. 17, p. 1538-1542, 2016.

TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; SCARSI, M.; DALLACORT, R. Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p. 101-109, 2013.

VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; FILIPE RAFAELI DEINA, F. R.; BIANHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 243-255, 2015.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 213- 223, 2011.

VILELA, R. G.; ARF, O.; KAPPES, C.; KANEKO, F. H.; GITTI, D. C.; FERREIRA, J. P. Desempenho agrônômico de híbridos de milho, em função da aplicação foliar de fungicidas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 25-33, 2012.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Erosão hídrica, em três momentos da cultura do milho, influenciada por métodos de preparo do solo e semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 565-574, 2014.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 763-774, 2004.

WAGNER, M. V.; JADOSKI, S. O.; MAGGI, M. F.; SAITO, L. R.; LIMA, A. S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 170–179, 2013.

WEIRICH NETO, P. H.; SCHIMANDEIRO, A.; GIMENEZ, L. M.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W. Profundidade de deposição de semente de milho na região dos campos gerais, Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 782-786, 2007.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.