

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE
PRECISÃO**

Valdecir André Kirch

**EMERGÊNCIA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM
FUNÇÃO DE DIFERENTES MECANISMOS DE ABERTURA DE
SULCO**

Santa Maria, RS
2019

Valdecir André Kirch

**EMERGÊNCIA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES MECANISMOS DE ABERTURA DE SULCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção ao grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi

Santa Maria, RS
2019

Kirch, Valdecir André
Emergência e produtividade da cultura do milho em
função de diferentes mecanismos de abertura de sulco /
Valdecir André Kirch.- 2019.
52 f.; 30 cm

Orientador: Antônio Luis Santi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2019

1. Mecanização agrícola 2. Sistema de Plantio Direto 3.
Solo-Máquina-Planta I. Santi, Antônio Luis II. Título.

Valdecir André Kirch

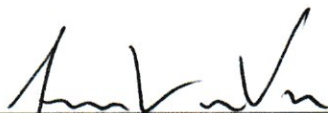
**EMERGÊNCIA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE
DIFERENTES MECANISMOS DE ABERTURA DE SULCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção ao grau de Mestre em Agricultura de Precisão.

Aprovado em 26 de agosto de 2019:



Antônio Luis Santi, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



André Luis Vian, Dr. (UFRGS) - Videoconferência



Marcelo Silveira de Farias, Dr. (UFSM)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho, a todos os envolvidos para com a agricultura, especialmente os incumbidos da nobre tarefa de semear.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pelas oportunidades que tem me proporcionado.

A minha família por me apoiar, auxiliar e incentivar a nunca desistir de seguir em frente. Especialmente a minha esposa Gerusa que sempre esteve presente mesmo nos momentos de maior dificuldade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Luis Santi, pela oportunidade, apoio, incentivo, e contribuições neste projeto.

Aos meus colegas de mestrado, especialmente ao Dejalés e ao Felipe pela sua presteza e disponibilidade em me auxiliar em diferentes momentos dessa caminhada.

A UFSM pela oportunidade de cursar o ensino público e de qualidade, bem como por proporcionar a qualificação profissional.

Aos professores e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, pelo empenho e dedicação em transmitir o conhecimento, auxiliando-nos no desenvolvimento profissional e pessoal.

Às demais pessoas que estiveram comigo nesta caminhada, em especial, pela amizade e companheirismo e contribuíram direta ou indiretamente para que vencesse esta importante etapa.

A todos vocês, muito obrigado!

“A persistência é o caminho do êxito.” Charles Chaplin.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.” Marthin Luther King

RESUMO

EMERGÊNCIA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES MECANISMOS DE ABERTURA DE SULCO

AUTOR: Valdecir André Kirch
ORIENTADOR: Dr. Antônio Luis Santi

A cultura do milho manejada sob o sistema de plantio direto tem o sucesso de seu estabelecimento e desenvolvimento, e conseqüentemente sua produção, relacionada a qualidade da sementeira. Fatores físicos do ambiente, como temperatura, umidade e aeração relacionam-se diretamente com o tipo de mecanismo de abertura do sulco, principalmente, em áreas com problemas de compactação. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de diferentes mecanismos sulcadores sobre a emergência e produtividade da cultura do milho. O experimento foi desenvolvido sob condições de cultivo em sequeiro em área experimental do Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais da UFSM, *Campus* de Frederico Westphalen, no ano de 2015, em Latossolo Vermelho distrófico, com 54 % de argila. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBA) em esquema de parcela dividida com quatro repetições. Os sete tratamentos avaliados foram: ausência de sulcador de fertilizante, sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 e 0,12 m, sulcador de cinzel profundidade de 0,06 e 0,12 m, ambos com disco de corte liso, disco de corte ondulado e sulcador guilhotina profundidade de 0,06 e 0,12 m. Foram avaliadas a produtividade, o volume de solo mobilizado, a emergência de plantas, o tombamento de plantas e o desenvolvimento radicular. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, ao nível de significância de 5%. Quando o tratamento foi significativo efetuou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). A produtividade da cultura do milho foi afetada em função do tipo de mecanismo sulcador, sendo que as maiores produtividades foram obtidas quando da utilização de mecanismos do tipo hastes. O maior volume de solo mobilizado pelo uso de hastes sulcadoras produziu incremento sobre o tempo médio de emergência do milho. A produtividade da cultura do milho apresenta correlação intermediária com o volume de solo mobilizado ($r = 0,33$) e o diâmetro médio de raízes ($r = 0,31$). O cultivo de milho, sem mecanismo sulcador, em um sistema de plantio direto compactado tende a proporcionar decréscimo sobre a produtividade desta cultura.

Palavras-chave: Mecanização agrícola. Sistema de Plantio Direto. Solo-Máquina-Planta.

ABSTRACT

EMERGENCY AND PRODUCTIVITY OF CORN CROP BY DIFFERENT MECHANISMS OF GROOVE OPENING

AUTHOR: Valdecir André Kirch
ADVISOR: Dr. Antônio Luis Santi

Corn crop managed under no-tillage system is successful in its establishment and development, and consequently its production related to sowing quality. Physical factors of the environment such as temperature, humidity and aeration are directly related to the type of groove opening mechanism, especially in areas with compaction problems. The aim of this study was to evaluate the effect of the use of different ridging mechanisms on the emergency and productivity of corn crop. The experiment was carried out under dryland conditions in an experimental area of the UFSM Department of Agronomic and Environmental Sciences, Campus of Frederico Westphalen, in 2015, in a dystrophic Red Latosol with 54% of clay. The experimental design used was a randomized complete block design (DBA) in a split plot scheme with four replications. The seven treatments evaluated were: absence of fertilizer furrower, 0.06 and 0.12 m depth lagged disc furrower, 0.06 and 0.12 m depth chisel furrower, both with plain cutting disk, corrugated cut disc and guillotine furrower depth of 0.06 and 0.12 m. Productivity, mobilized soil volume, plant emergence, plant tipping and root development were evaluated. Data were subjected to analysis of variance by the F test at a significance level of 5%. When treatment was significant, Tukey test ($p < 0.05$) was performed. The yield of corn crop was affected by the type of furrower mechanism, and the highest yields were obtained when using stalk mechanisms. The larger volume of soil mobilized by the use of furrower stems increased on the average time of corn emergence. The productivity of corn crop presents intermediate correlation with the volume of mobilized soil ($r = 0,33$) and a medium root diameter ($r = 0,32$). The corn cultivation, without furrower mechanism, in a compact direct planting system, tends to provide decrease under the crop productivity.

Keywords: Agricultural Mechanization. Direct Planting System. Soil-Machine-Plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Diferentes mecanismos de sulcagem testados no experimento, Frederico Westphalen, RS.....	23
Figura 2 –	Precipitação pluviométrica diária e acumuladas durante a condução do experimento, Frederico Westphalen, RS.....	26
Figura 3 –	Índice de Velocidade de Emergência, em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	31
Figura 4 –	Tempo Médio de Emergência (dias), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	32
Figura 5 –	Volume de Solo Mobilizado ($m^3 ha^{-1}$), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	33
Figura 6 –	Comprimento de raízes (mm), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	35
Figura 7 –	Volume de Raízes (mm^3), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	36
Figura 8 –	Área Superfície de Raízes (mm^2), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	37
Figura 9 –	Tombamento de plantas (%), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	38
Figura 10 –	Produtividade da cultura do milho ($Mg ha^{-1}$), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	39
Figura 11 –	Peso de Mil Sementes (g), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Caracterização de atributos físicos do solo na área experimental, Frederico Westphalen, RS.	24
Tabela 2 –	Estatística descritiva e teste de normalidade para as variáveis DC (Diâmetro de Colmo - mm), IVE (Índice de Velocidade de Emergência), TME (Tempo Médio de Emergência - dias), PROD (Produtividade - Mg ha ⁻¹), PMS (Peso de Mil Sementes - g), TP (Tombamento de plantas - %), VSM (Volume de Solo Mobilizado - m ³ ha ⁻¹), MSR (Massa Seca de Raízes - g), DMR (Diâmetro Médio de Raízes - mm), CR (Comprimento de raízes - mm), VR (Volume de Raízes - mm ³), ASR (Área de Superfície de Raízes - mm ²).	28
Tabela 3 –	Análise de variância para as variáveis com distribuição paramétrica - Soma dos Quadrados das variáveis; DC (Diâmetro de Colmo - mm), IVE (Índice de Velocidade de Emergência), TME (Tempo Médio de Emergência - dias), PROD (Produtividade - Mg ha ⁻¹), PMS (Peso de Mil Sementes - g), VSM (Volume de Solo Mobilizado - m ³ ha ⁻¹), MSR (Massa Seca de Raízes - g), DMR (Diâmetro Médio de Raízes - mm), CR (Comprimento de raízes - mm), VR (Volume de Raízes - mm ³).....	29
Tabela 4 –	Análise de variância para as variáveis com distribuição não-paramétrica; TP (Tombamento de plantas - %), ASR (Área de Superfície de Raízes - mm ²).....	30
Tabela 5 –	Correlação Linear de Pearson para dez caracteres na avaliação de mecanismos de sulcagem em semeadura da cultura do milho.....	41
Tabela 6 –	Correlação Linear de Pearson – produtividade e resistência a penetração, na avaliação de mecanismos de sulcagem em semeadura da cultura do milho.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASR	área de superfície de raízes
CR	comprimento de raízes
DC	diâmetro de colmo
DMR	diâmetro médio de raízes
IVE	índice de velocidade de emergência
kg	quilogramas
Mg	megagramas
MSR	massa seca de raízes
PMS	peso de mil sementes
PROD	produtividade
SPD	Sistema de Plantio Direto
T	toneladas
TDA	tração dianteira auxiliar
TME	tempo médio de emergência
TP	tombamento de plantas
VR	volume de raízes
VSM	volume solo mobilizado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral.....	13
1.1.2	Objetivos específicos	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1	A CULTURA DO MILHO	14
2.2	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	14
2.3	ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	16
2.4	SEMEADORAS PARA SEMEADURA DIRETA	18
2.4.1	Mecanismos de abertura de sulco na semeadura em Sistema de Plantio Direto ..	18
2.5	MOBILIZAÇÃO DE SOLO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	20
2.6	EMERGÊNCIA E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO.....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5	CONCLUSÕES.....	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), uma das espécies agrícolas mais importantes do mundo (Embrapa, 2013), é cultivado no Brasil de maneira majoritária sob o SPD (Sistema de Plantio Direto), sendo utilizado em mais de 32 milhões de hectares (FAO, 2018).

Amplamente difundido no Brasil, o SPD dentre suas principais característica preconiza-se pelo reduzido número de operações agrícolas mecanizadas com relação aos cultivos anuais, muito em especial pela sua premissa de mobilizar minimamente o solo. O SPD faz parte do processo de modernização da agricultura, com a intensificação dos sistemas produtivos e o acréscimo da produtividade, possível devido à presença e a modernização de máquinas e implementos agrícolas. Dentre estes implementos, as semeadoras são responsáveis por proporcionar adequadas condições de semeadura das culturas, que por sua vez tem o sucesso de seu estabelecimento e desenvolvimento relacionado em parte, ao ambiente do solo em torno da semente quando da semeadura.

A efetiva realização de uma semeadura com qualidade permite dentre outros uma melhor emergência de plântulas, já que se verifica a necessidade além da correta cobertura e adensamento da camada de solo que recobre o entorno da semente, a adequada distribuição e dosagem de fertilizantes e sementes. Trata-se de um momento crucial, pois o estabelecimento inicial das culturas depende exclusivamente da adequada deposição de sementes, caso contrário os efeitos deletérios ocasionados por falhas na semeadura reduzem consideravelmente a produtividade das culturas. Ressalta-se que além da correta distribuição longitudinal de sementes, as semeadoras ainda são responsáveis por proporcionar condições ideais de solo, especialmente no que tange a abertura de sulcos e cobertura destas sementes. Portanto a otimização da qualidade de semeadura depende, dentre outros fatores como a da velocidade de trabalho, da correta regulagem e configuração das máquinas semeadoras utilizadas na operação principalmente, em relação ao solo.

No SPD, o movimento natural de rearranjo das partículas de solo somado ao tráfego de máquinas agrícolas e aliado à utilização de forma inadequada do sistema (CHAN et al., 1992), promove o aumento da densidade do solo nas suas camadas mais superficiais (CAMARA e KLEIN 2005, KLEIN et al. 2008). A maior densidade, como efeito da compactação limita o desenvolvimento fisiológico das plantas, pois têm efeitos diretos sobre a macroporosidade do solo (QUEIROZ VOLTAN et al., 2000; TAVARES FILHO et al., 1999). A maior resistência física do solo restringe o crescimento de raízes (MARSCHNER, 1995) e conseqüentemente o desenvolvimento vegetal, pois com o menor volume de raízes, a fração de solo explorado

também é reduzido, diminuindo-se a absorção de nutrientes e água (HAKANSSON; STENBERG; RYDBERG, 1998). Neste sentido, Silva et al. (2018) ressaltam que os mecanismos responsáveis pela abertura de sulcos, mobilização da camada superficial de solo e do corte de resíduos vegetais, que equipam as semeadoras, produzem alterações nos atributos de solo e por conseguinte interferem positivamente no desenvolvimento das culturas. Os fatores físicos desse ambiente, como aeração, umidade e temperatura, sofrem influência direta da configuração e especificação do mecanismo de abertura do sulco (REIS et al., 2006).

Por sua vez a heterogeneidade e a variabilidade de parâmetros físicos associadas ao emprego de diferentes semeadoras dotadas dos mais diversos mecanismos de abertura de sulcos, utilizadas na cultura do milho, precisam resultar na produção de um trabalho eficiente. Assim, um estudo alocado nestas situações particulares é imprescindível para auxiliar no aperfeiçoamento, re/configuração e rendimento otimizado das máquinas responsáveis pela semeadura da cultura do milho no SPD.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a influência dos sistemas de abertura de sulco utilizados nas semeadoras comercializadas no mercado brasileiro, sobre o estabelecimento e desenvolvimento da cultura do milho em um Latossolo Vermelho conduzido sob Sistema de Plantio Direto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito do uso de diferentes mecanismos sulcadores sobre a emergência e produtividade da cultura do milho.
- Verificar a correlação entre a emergência das plantas de milho, o volume de solo mobilizado e o desenvolvimento radicular com a produtividade da cultura do milho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.), uma gramínea, é uma cultura cujo cultivo adequa-se a diversos ambientes e seus diferentes tipos de manejo (NANTES et al., 2016). A cultura do milho com produção anual estimada de 1,102 bilhão de toneladas ocupa posição de destaque mundialmente, tendo a maior produção dentre as culturas de grãos. O Brasil, terceiro maior produtor mundial, é superado apenas pelos Estados Unidos e China, países estes que somados a Argentina, Índia e Ucrânia, incluído o Brasil, compõem o rol dos seis países maiores produtores de milho, concentrando 78% da produção mundial, e totalizando 861,55 milhões de toneladas (USDA, 2019).

Apesar desta posição de destaque do Brasil no cenário internacional, a cultura do milho possui somente a segunda maior área de cultivo no País. A previsão de produção para a safra 2018/2019 é de 98,5 milhões de toneladas, em uma área total de 17,254 milhões de hectares, atrás somente da cultura da soja (*Glycine Max* L.) (CONAB, 2019).

Mesmo com grande importância no cenário mundial, conforme Assis et al. (2006), a produtividade média da cultura do milho é considerada baixa, já que há relatos de potencial produtivo dessa cultura em torno de 19,113 t ha⁻¹.

A produtividade da cultura do milho sofre interferência de diversos fatores segundo autores como Amado et al. (2002), Fancelli e Dourado Neto (2003), com destaque a fertilidade do solo, a nutrição, o potencial genético, o clima, o manejo de pragas e doenças além das práticas culturais. Uma cultura manejada sob o SPD tem o sucesso de seu desenvolvimento, e conseqüentemente sua produção relacionada em parte ao ambiente do solo em torno da semente por ocasião da semeadura. Sendo que fatores físicos desse ambiente, como aeração, umidade e temperatura, sofrem influência direta da configuração e especificação do mecanismo de abertura do sulco (REIS et al., 2006). Dito isto, de acordo com Portella (1999) os erros referentes a regulação de semeadoras podem ser fatais, já que se inexistente uma forma de compensar o problema decorrente da semeadura.

2.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

A definição de Derpsch et al. (1991) para plantio direto é a de um sistema que objetiva a deposição de sementes diretamente no solo minimamente preparado, e segundo Derpsch

(1985) em cujo processo, a semeadura consiste no acondicionamento das sementes em covas ou sulcos, cuja largura e profundidade necessitam ser suficientes para obtenção da adequada cobertura e correto contato entre o solo e a semente. Já o Sistema de Plantio Direto (SPD), se caracteriza por estabelecer a cobertura permanente da superfície do solo por culturas vegetais além de prever a manutenção da palhada sob a superfície (COELHO et al., 2013; GOLABI, ELSWAIFY e IYEKAR, 2014; BRANCO et al., 2017).

O SPD conforme Cassol, Denardin e Kochmann (2007), descarta qualquer forma de preparo do solo antes da implantação da cultura. Neste, de acordo com Denardin et al. (2011), ocorre o cultivo do solo, com sua mobilização, exclusivamente na linha de semeadura. Os demais fatores que sustentam o SPD, são compostos ainda, pela rotação de culturas, adubação verde com a utilização de plantas de cobertura e a manutenção de palhada superficial, de 10 a 12 Mg ha⁻¹. O reconhecimento do caráter conservacionista e sustentável do SPD em relação aos agroecossistemas brasileiros está amparado nestas práticas (CASSOL, DENARDIN e KOCHMANN, 2007; DENARDIN et al., 2011; PEREIRA et al. 2009).

Mundialmente a área sob cultivo de SPD teve um incremento, passando de 45 milhões de hectares em 1999 para quase 156 milhões de hectares em 2015 (DERPSCH et al., 2010; FAO, 2017; PÖHLITZ et al., 2018). Liderado por países como os Estados Unidos e seguidos por Brasil e Argentina, estes três países contabilizam mais de 62% da área mundial cultivada sob o SPD (FAO, 2016). A área agrícola no Brasil manejada sob SPD, atualmente está estimada acima de 32 milhões de hectares. Já a agricultura brasileira que se baseia no sistema de plantio direto corresponde a aproximadamente 45% de toda área agrícola do país (FEBRAPDP, 2012; GIAROLA et al., 2013; FAO, 2016), do mesmo modo, a tecnologia brasileira é uma referência mundial no ramo (MOTTER e ALMEIDA, 2015).

Apesar do contínuo desenvolvimento de soluções tecnológicas, após cerca de 40 anos de estudos, adaptações a diferentes realidades e aperfeiçoamentos, alguns problemas persistem e carecem de estudos (DEBIASI et al., 2010; FRANCHINI et al., 2011; MOTTER e ALMEIDA, 2015). Atualmente o SPD está em crise, haja visto que as premissas propostas no sistema não foram implementadas na sua integralidade; o que ocorre, são muitas lavouras com pouca cobertura vegetal, (3392 kg ha⁻¹ ano⁻¹), remoção de terraços e baixos índices de rotação de culturas. Ações estas resultam em acentuados problemas com relação à erosão do solo e principalmente pela compactação do solo acima do nível crítico, presente em cerca de 69,6% das propriedades rurais (FIORIN, SCHNELL e RUEDELL, 2007). As soluções passam pelo manejo de maneira adequada do solo, que será capaz produz condições de equilíbrio no

ambiente, sendo imprescindível a melhoria ou manutenção dos aspectos biológicos, químicos ou físicos dos solos (PILATTI et al., 2018).

Na busca por uma maior rentabilidade, a adesão da cultura do milho a tecnologia do SPD alcança grandes números, uma vez que possibilita redução de custos de produção e possibilita a melhoria na qualidade física e microbiológica do solo (ALBUQUERQUE et al., 2013).

2.3 ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Em seu estado natural, o solo favorece o bom desenvolvimento da planta dada pela apresentação de propriedades físicas, como: porosidade, estrutura, permeabilidade e densidade adequadas (ANDREOLA et al., 2000). A qualidade do solo, de acordo com Casalinho et al., (2007) é expressa pela capacidade do solo em suportar o crescimento e desenvolvimento radicular, retenção hídrica, apresentar adequada estabilidade estrutural bem como favorecer a atividade biológica, além de fornecer o suprimento de nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas.

Os Argissolos e Latossolos (principais solos que ocorrem no Brasil), representam cerca de 58% dos solos brasileiros, sendo também as classes de solos mais cultivados. No entanto tais solos apresentam-se como potenciais na ocorrência de processos de compactação. Compactação esta que tem sido identificada na camada superficial de solos cujas áreas são conduzidas sob o Sistema de Plantio Direto (SPD), (ALVES e SUZUKY, 2004), na camada localizada entre 10 e 20 cm (DEBIASI et al., 2010; FRANCHINI et al., 2011), especificamente na camada de 7 a 14 cm de profundidade (FIORIN, SCHNELL e RUEDELL, 2007), situação que em determinados locais tem reduzido a produtividade das culturas (LETEY, 1985; ISHAQ et al., 2001). Nesse sentido, o comportamento dos atributos físicos das diferentes classes de solo é influenciado pelo manejo de solo adotado.

Segundo Camara e Klein (2005) e Klein et al. (2008), os efeitos diretos da compactação do solo são o aumento da densidade e a redução no espaço poroso, quando ocorrem a redução no volume principalmente de macroporos, o que é confirmado por Kochann e Denardin (2000) que afirmam ainda a ocorrência do aumento da resistência à penetração de raízes no solo. Os mesmos autores ainda relatam que em consequência a compactação, a distribuição de raízes no perfil do solo é prejudicada, afetando a capacidade de absorção de nutrientes e de água, devido à redução do volume de solo explorado por estas, o que resulta negativamente na produtividade da cultura. Mantovani (1987, p. 52) por sua vez descreve a compactação do solo como uma [...]

inadequada proporção entre o volume total de poros para o volume de solo em relação ao máximo desenvolvimento das culturas [...].

A peculiaridade do SPD, com o preparo de solo limitado somente à linha de semeadura, aliado ao movimento natural de rearranjo das partículas de solo, somado ao tráfego de máquinas agrícolas, promovem o aumento da densidade nas camadas mais superficiais do solo (CAMARA e KLEIN 2005, KLEIN et al. 2008). A compactação do solo constitui um fator limitante ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais, reduzindo a produtividade agrícola. Segundo Hamza e Anderson (2005), dentre as principais causas da compactação do solo estão o seu inadequado sistema de manejo, aliado ao intensivo tráfego de máquinas, pisoteio animal e cultivos, cuja consequência resulta na redução da habilidade de penetração das raízes no perfil quando do aumento da resistência e densidade do solo.

Para cada solo e classe textural há uma densidade crítica, cujo patamar define uma resistência que impede ou diminui o crescimento radicular (ROSEMBERG, 1964; CINTRA e MIELNICZUK, 1983; PEDÓ, 1986). Para um Latossolo Vermelho argiloso segundo Argenton et al. (2005), ocorre deficiência na aeração para uma densidade que se torna crítica próxima de $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$, enquanto que Klein (2006), tendo como parâmetro o intervalo hídrico ótimo, identificou como $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ a densidade limitante para esta mesma classe de solo. Já Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para solos argilosos entre $1,30$ a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ e entre $1,40$ a $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ para os franco-argilosos.

De forma geral, valores acima de $2,5 \text{ Mpa}$ estão entre os considerados críticos na resistência do solo à penetração, sendo que interferem negativamente no crescimento radicular (TAYLOR et al., 1966; TAYLOR, 1971). Valores semelhantes foram encontrados por Moraes et al., (2018) que não identificaram limitação no desenvolvimento do cultivo de milho quando os valores de resistência do solo à penetração e densidade do solo apresentaram $1,60 \text{ Mpa}$ e $1,67 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente.

Assim as características deletérias da qualidade física do solo colocam em risco a sustentabilidade do SPD, onde muitas vezes ocorre a indicação da escarificação como alternativa ao rompimento de camadas superficiais compactadas de solo (KLEIN e CAMARA, 2007). Mesmo que a escarificação produza efeitos imediatos no rompimento de camadas compactadas de solo, os efeitos produzidos, de forma geral, persistem, por um período igual ou inferior a um ano (VEIGA et al., 2007), isto porque a operação de escarificação somente elimina os sintomas e não a causa da compactação do solo (FRANCHINI et al., 2009).

2.4 SEMEADORAS PARA SEMEADURA DIRETA

Uma semeadora, de acordo com Balastreire (2005) e Coelho (1996), tem dentre outras finalidades estabelecer correta dosagem de sementes além de lançá-las ao solo seguindo adequado padrão em sua distribuição.

As semeadoras, têm no seu desempenho um papel fundamental na agricultura, pois são estas que criam as condições adequadas para a semeadura do milho. Conforme Fonseca (1997), as semeadoras utilizadas no SPD visam a implantação de culturas anuais através da mobilização minimamente necessária do solo, que ocorre apenas nas linhas de semeadura, além da distribuição uniforme de sementes e fertilizantes, bem como promover sua deposição adequada no sulco. Reis e Forcellini (2002), ainda complementam que além destas funções uma semeadora deve cobrir e adensar o solo em torno das sementes ali depositadas.

No entanto, problemas quanto à alta resistência à penetração dos solos aliados aos componentes rompedores ineficientes, com menor capacidade de ação na mobilização do solo, produzem nesta situação sulcos com abertura insuficiente cujas consequências se refletem na deficiência na cobertura do sulco de semeadura, no inadequado contato na interface das sementes com o solo, e por fim acabam comprometendo todo o desempenho na implantação das culturas.

No mesmo sentido, os cuidados com a regulação da profundidade de ação dos mecanismos sulcadores, além do reconhecimento das limitações impostas pelo impedimento mecânico no solo, são fatores que podem maximizar o potencial das semeadoras no momento da semeadura. Do mesmo modo, segundo ressaltam Silva et al. (2018) os mecanismos responsáveis pela abertura de sulcos, mobilização da camada superficial de solo e corte de resíduos vegetais, que equipam as semeadoras por meio das alterações que promovem nos atributos do solo, interferem no desenvolvimento das culturas.

2.4.1 Mecanismos de abertura de sulco na semeadura em Sistema de Plantio Direto

Os discos duplos ou defasados bem como as hastes sulcadoras também conhecidas por botinhas ou facões são os mecanismos sulcadores mais comuns para a abertura de sulcos em semeadura. O projeto dos sulcadores somado a resistência à penetração, a textura e a densidade do solo interferem no desempenho dos mecanismos sulcadores, além de fatores como a quantidade da cobertura de biomassa e a regulação correta da semeadora.

Sulcadores do tipo haste/facão, segundo Casão Júnior et al. (1998) e Portella et al. (1997) são projetados para que seu ângulo de ataque lhes facilite e confira maior capacidade de penetração no solo, alcançando maiores profundidades e proporcionando preparo de solo localizado, cuja profundidade encontra-se estabilizada entre 8 a 15 cm. Ainda, de acordo com Iqbal et al. (1998), promovem maior mobilização do solo nos sulcos de semeadura em relação aos discos duplos, além de exigirem menor pressão para penetração no solo. Koakoski et al. (2007) por sua vez, verificaram o aumento da porosidade do solo promovido por este mecanismo em comparação quando do uso de discos duplos. Já Camara e Klein (2005) afirmam que o mecanismo sulcador do tipo guilhotina promove menores alterações nas propriedades físicas em relação à porosidade e densidade, já que produz reduzida mobilização de solo.

Por sua vez, dispositivos sulcadores do tipo disco duplo, conforme Iqbal et al. (1998) formam sulcos em forma de “V” pois aplicam ao solo forças laterais, que asseguram bom contato semente-solo e profundidade de deposição uniforme, mas que de acordo com Reis et al. (2006) produzem compactação nas paredes laterais do sulco, o que reduz o fluxo hídrico nesta região do solo. No entanto, o satisfatório desempenho dos discos duplos, depende da colocação de um disco de corte na porção frontal a estes.

O uso generalizado de sulcadores do tipo haste em áreas de SPD principalmente em solos argilosos, segundo Araújo et al. (1999), é uma tentativa com o intuito de tentar proporcionar o rompimento de uma camada superficial mais compactada e promover a penetração de raízes em maiores profundidades; o que é confirmado por Drescher et al. (2011), que afirmam que o sulcador do tipo haste promove a redução da compactação do solo. Esta pode ser uma alternativa viável, na falta de uma resposta consistente ao uso de métodos biológicos de recuperação da melhoria da qualidade física dos solos compactados.

Outrossim, Fonseca (1997), afirma que, o uso de hastes sulcadoras ou discos duplos promovem diferenças na relação solo-semente. No entanto, diferentes mecanismos de abertura do sulco, dificilmente, por si só, dadas as variáveis do solo, propiciam melhor desenvolvimento inicial das culturas.

Andreolla e Gabriel Filho (2006), salientam que camadas de solo compactadas superficialmente, até 5 cm de profundidade, podem ser corrigidas por meio da ação das linhas de semeadura, utilizando-se sulcadores do tipo haste nas semeadoras.

Assim, o sistema de sulcagem ideal é aquele capaz de proporcionar uma cobertura e fechamento do sulco adequados, caracterizado por um “plantio direto invisível”, quando logo após a semeadura não é possível observar indícios de revolvimento do solo.

2.5 MOBILIZAÇÃO DE SOLO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Sistemas rompedores e sulcadores precisam mobilizar um volume de solo suficiente para que o sulco produzido possa ser fechado antes da deposição da semente, bem como possibilite a deposição em profundidade adequada destas, e ainda posteriormente haja solo para cobrir as sementes. Do mesmo modo precisam evitar que a inércia do solo movimentado, feche totalmente o sulco anteriormente a deposição de sementes (CASÃO JR e SIQUEIRA, 2006).

A crescente generalização da disponibilização de mecanismos sulcadores do tipo haste nas semeadoras utilizadas no SPD, promoveu a ocorrência de diferentes adaptações nas configurações dos mecanismos sulcadores, em que muitas vezes ocorre a supressão do mecanismo sulcador. No entanto, o principal entrave tem sido o rompimento da camada superficial de compactação dos solos, especialmente em solos argilosos, que possuem elevada capacidade de compactação, situação que afeta negativamente o rendimento e produtividade de grãos (SECCO et al., 2009).

A adequada mobilização de solo, que produz um ambiente favorável à semente, depende exclusivamente da velocidade de trabalho, da correta seleção e regulagem da profundidade do mecanismo sulcador, somada ao momento propício para o manejo, dado o teor adequado de água no solo, que resultarão em menores mobilizações de solo. Ambiente este que por ocasião da semeadura, de acordo com Silva et al. (1993), é responsável em parte pelo êxito no desenvolvimento das culturas, uma vez que influenciam fatores físicos como aeração, temperatura e umidade deste ambiente.

2.6 EMERGÊNCIA E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO

A germinação e a emergência do milho são diretamente afetadas por fatores físicos como a disponibilidade hídrica, a temperatura e a aeração do solo – situação influenciada pelas condições físicas, tipo de solo e principalmente pela profundidade de semeadura. Neste sentido, mecanismos sulcadores como as hastes que possuem maior profundidade de trabalho, quando em condições de semeadura submetida a situações de déficit hídrico, proporcionam junto com as demais variáveis edafoclimáticas a formação de um microclima favorável à emergência das plântulas de milho e soja no SPD (PORTELLA et al., 1997).

Diversos são os atributos de solo que influenciam o desenvolvimento radicular das plantas de milho, haja visto que interferem na disponibilidade hídrica, bem como influenciam

as trocas gasosas e de nutrientes, tornando-se um ponto limitante quanto a produtividade da cultura (FREDDI et al., 2009).

A profundidade em que se encontram as raízes seminais do milho, depende exclusivamente da profundidade em que foi realizada a semeadura (MAGALHÃES, 2002). Plantas com raízes mais desenvolvidas possuem condições de adaptar-se a condições climáticas estressantes, fato que reforça a importância das raízes enquanto componente estrutural e funcional para a planta de milho (MAGALHÃES, 1995). Desta maneira um ótimo sistema radicular é capaz de proporcionar a cultura a possibilidade de incremento tanto no desenvolvimento quanto na obtenção de maiores produtividades, haja vista que faculta a planta a maior exploração do solo, visando absorver nutrientes e água em volumes adequados e necessários (SANTANA, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido sob condições de cultivo em sequeiro, em uma área experimental do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais da UFSM, *Campus* de Frederico Westphalen (latitude 27° 23' 42" S, longitude 53° 25' 62" W e altitude de 461 m). O relevo da área experimental é suavemente ondulado, sendo que o solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013), com 54 % de argila. A área experimental possui histórico de condução sob SPD. O solo contava com cobertura com palhada de aveia branca (*Avena sativa*) com biomassa seca de 4,5 Mg ha⁻¹.

A cultura do milho foi semeada no dia 06 de outubro de 2014, utilizando-se uma semeadora da marca Vence Tudo, modelo Serrana, de 5 linhas de semeadura, espaçadas de 0,45 m, tracionada por um trator John Deere 5603 de 55 kW de potência máxima, do tipo 4x2 com tração dianteira auxiliar. A semeadora foi equipada com disco de corte liso com 18" de diâmetro que em dado momento foi substituído por um disco ondulado com 18" de diâmetro (dobrado, com ondulação de 0,02 m), de acordo com o mecanismo sulcador a ser testado. Os sulcadores do tipo haste possuíam formato parabólico, ângulo de ataque em torno de 20 graus e espessura da ponteira de 21 mm. Ademais, a configuração da semeadora ainda dispunha de controlador de profundidade com bandas paralelas; discos defasados para deposição de sementes e conjunto compactador flutuante "V". Somam-se ainda os diferentes mecanismos sulcadores que foram testados. A velocidade de trabalho do conjunto mecanizado trator-semeadora foi de 4,3 km h⁻¹.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBA) em esquema de parcela dividida com quatro repetições, composto por sete tratamentos. A área experimental foi constituída por 28 parcelas de 5,0 m x 8,0 m, totalizando uma área de 1.120 m², de modo que a área útil de cada parcela para a avaliação das variáveis é de 18,25 m² (5,00 x 3,65 m). O híbrido de milho utilizado foi o 30F53 (Pionner), ciclo precoce, com tratamento fitossanitário a base de Thiamethoxan e Tiodicarbe, com adubação de base de 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 08-28-16 (N – P₂O₅– K₂O) no sulco de semeadura. Utilizou-se a mistura de pó de grafite na razão de 0,04 kg para 20 kg de sementes de milho a fim de melhorar a fluidez das sementes pelos mecanismos dosadores. As sementes foram depositadas a 0,05 m de profundidade para todos os tratamentos. No momento da adubação de cobertura foram utilizados 300 kg ha⁻¹ do fertilizante 45-00-00 (uréia).

Os tratamentos com mecanismos sulcadores foram assim definidos em função da abertura do sulco para deposição de fertilizantes e profundidades (Figura 1);

Figura 1 – Diferentes mecanismos de sulcagem testados no experimento, Frederico Westphalen, RS.

<p>SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante)</p>	
<p>DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado, profundidade de 0,12 m)</p> <p>DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado, profundidade de 0,06 m)</p>	
<p>H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel, profundidade de 0,12 m)</p> <p>H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel, profundidade de 0,06 m)</p>	
<p>DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina, profundidade de 0,12 m)</p> <p>DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina, profundidade de 0,06 m)</p>	

Durante a semeadura, foi avaliado o volume de solo mobilizado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) no sulco de cada mecanismo sulcador, com o uso de um perfilômetro, com hastes espaçadas em 3 mm, realizando-se três determinações em cada parcela, após a passagem do conjunto trator-semeadora em todos os ensaios. Foram obtidas leituras da forma geométrica do sulco produzido, por meio da retirada do solo mobilizado na linha de semeadura, com o auxílio de um pincel de 2". Após a retirada do solo solto, as varetas do perfilômetro (as quais apresentam o mesmo comprimento e espaçamento) foram liberadas, e ao atingirem o solo, copiaram o desenho do sulco nas suas extremidades superiores, permitindo o registro fotográfico com o

apoio de uma câmera fotográfica digital (12 megapixels), posicionada à frente do painel do aparelho. O cálculo da área da seção transversal foi obtido a partir das leituras de profundidade e de largura do sulco resultante da mobilização do solo pela semeadora, registradas no perfilômetro. O volume de solo mobilizado (VSM) ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) foi obtido multiplicando-se a área da seção transversal em m^2 , pelos 10.000 m^2 de um hectare, e dividido pelo espaçamento das entre-linhas (0,45 m).

Anteriormente à semeadura da cultura foram coletadas em três pontos de cada unidade amostral os dados de resistência a penetração com um penetrômetro eletrônico PenetroLOG, modelo PLG1020 – Falker Automação Agrícola na profundidade de 0- 0,4 m de com resolução de 1 mm, que apresenta haste de metal e ponta em forma de cone (ângulo de 30°). Momento em que também foram coletadas em locais aleatórios amostras de solo indeformadas em anéis volumétricos para a determinação da densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total, nas profundidades de 0,00 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m por meio da abertura de trincheiras no campo experimental, a fim de caracterizar os atributos físicos do solo do local do experimento (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização de atributos físicos do solo na área experimental, Frederico Westphalen, RS.

Profundidade	DS (Mg m^{-3})	PT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Macro ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Micro ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	RP (KPa)
0,00 – 0,05 m	1,29	0,51	0,11	0,41	4472,68
0,05 – 0,10 m	1,26	0,52	0,13	0,39	4683,05

Legenda: DS= densidade do solo; PT= porosidade total; Macro= macroporosidade do solo; Micro= microporosidade do solo, RP= resistência a penetração.

Quando se iniciou a germinação de milho, foi determinado o índice de velocidade de emergência (IVE) e o tempo médio de emergência (TME) (dias) por um período de avaliação de 30 dias. A determinação do IVE foi realizada pelo somatório da relação entre o número de plantas emergidas (primeira, segunda, até a última contagem) pelo número de dias da semeadura (primeira, segunda, até a última contagem), utilizando-se metodologia proposta por Maguire (1962).

$$IVE = \frac{E_1}{T_1} + \frac{E_2}{T_2} + \dots + \frac{E_n}{T_n}$$

em que,

IVE = índice de velocidade de emergência;

$E_{1...n}$ = número de plântulas emergidas na primeira, segunda até a última contagem; e

$T_{1...n}$ = número de dias da semeadura à primeira, segunda até a última contagem.

O TME de plântulas, em dias, foi calculado de acordo com Edmond e Drapala (1958). Para isso, multiplicou-se o número de plântulas emergidas desde a primeira contagem pelo tempo médio de emergência, posteriormente dividiu-se o valor encontrado pelo somatório do número de plântulas emergidas desde a primeira contagem.

$$N_m = \frac{E_1 \cdot T_1 + E_2 \cdot T_2 + \dots + E_n \cdot T_n}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}$$

em que,

N_m = tempo médio de emergência (dias);

$E_{1...n}$ = número de plântulas emergidas desde a primeira contagem; e

$T_{1...n}$ = número de dias após a semeadura.

A população final obtida foi de 68.900 plantas hectare⁻¹.

No momento da colheita (maturação fisiológica), foi realizada a contagem de plantas tombadas e ou dobradas (TP) na área útil de cada unidade experimental.

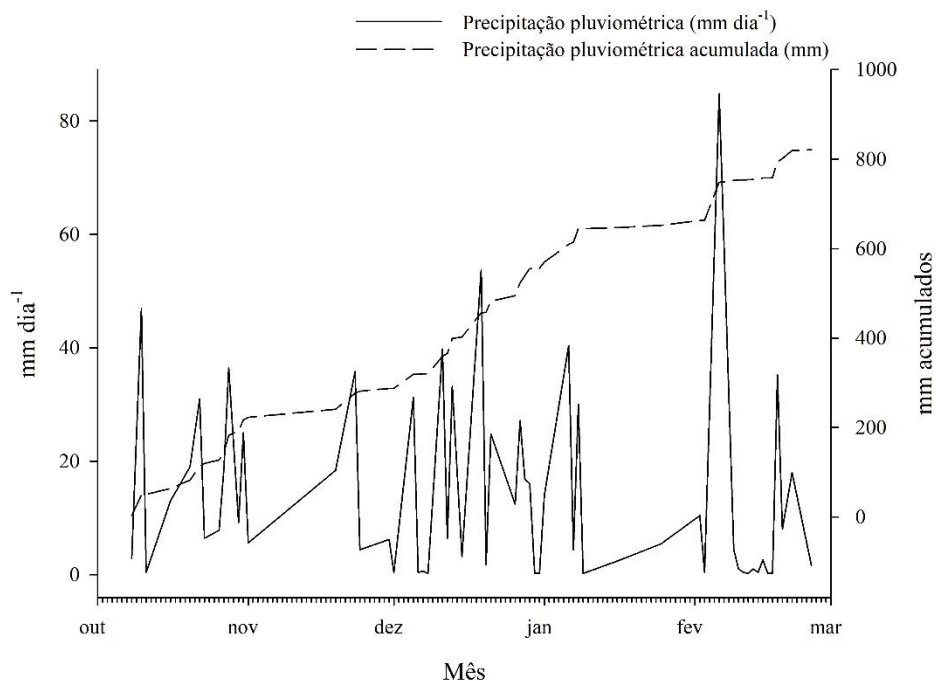
Com a utilização de um paquímetro digital, foram mensurados o diâmetro de colmo (DC) na região basal do caule.

Em estágio R5 foram amostradas as raízes das plantas, coletando-se o sistema radicular através de uma trincheira transversal a uma linha de cultivo em cada parcela, com o auxílio de uma pá de corte respeitando-se as dimensões de 0,4 m de largura, com 0,4 m de comprimento na profundidade de 0,4 m. Para a avaliação das características morfológicas, as raízes coletadas foram lavadas, cortadas em fragmentos e posteriormente digitalizadas com o auxílio de uma câmera fotográfica digital (12 megapixels). As raízes foram avaliadas quanto ao diâmetro médio de raízes (DMR) (mm), comprimento de raízes (CR) (mm), volume de raízes (VR) (mm³) e área de superfície de raízes (ASR) (mm²) pela técnica de limiarização (thresholding) pela macro denominada IJ_Rhizo (PIERRET et al., 2013) utilizando como plataforma o software ImageJ versão 1.52. O método usa-se do pluginIJ_Rhizo desenvolvido em plataforma Java, com aporte da biblioteca Morphological Operators for ImageJ. A avaliação foi realizada com imagens (300 dpi). As raízes foram submetidas ainda à temperatura de 62°C por 72 horas até atingir massa constante, para a coleta de massa seca das raízes analisadas.

Colhida a área útil da parcela, os grãos obtidos foram mensurados em balança de precisão com três casas decimais, para realização dos cálculos de produtividade (PROD) (Mg ha⁻¹), bem como determinação da massa de mil sementes (PMS) (g), ambas calculadas em função da umidade padrão de 13%. A massa de mil grãos, foi determinada conforme metodologias descritas nas regras para análises de sementes (BRASIL, 2009).

Os dados de precipitação pluviométrica diária e acumuladas durante a condução do experimento são apresentados na Figura 2. De maneira geral, observa-se uma boa distribuição da precipitação pluviométrica no período entre outubro de 2014 e fevereiro de 2015, sem ocorrências de deficiências hídricas tanto na emergência, como também no florescimento da cultura do milho, que são considerados os pontos críticos para queda de produtividade durante o desenvolvimento da cultura. O acumulado de chuvas durante o desenvolvimento da cultura totalizou aproximadamente 821 milímetros.

Figura 2 – Precipitação pluviométrica diária e acumuladas durante a condução do experimento, Frederico Westphalen, RS.



Fonte: Dados disponibilizados pelo Inmet (2019), gráfico elaborado pelo autor.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Willks ao nível de significância de 5%. Em seguida submeteu-se os dados à análise de variância (ANOVA), pelo teste de F, ao nível de significância de 5%, para os dados que apresentaram distribuição paramétrica. As variáveis que apresentaram distribuição não paramétrica foram submetidas à ANOVA pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de significância de 5%, o qual possui comparação de médias próprio, para variáveis com interação.

Constatando-se efeito significativo da interação entre os tratamentos para as variáveis amostradas com distribuição normal ($p < 0,05$), procederam-se os desdobramentos necessários. Aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), para a comparação das médias das variáveis analisadas.

Realizou-se também, a análise de correlação linear de Pearson para as variáveis com distribuição paramétrica e a correlação de Spearman para as variáveis com distribuição não paramétrica, com a finalidade de identificar a tendência de correlação entre as variáveis, sendo expressa por coeficientes que compreendem magnitudes de 0 a 1, e sentidos positivos ou negativos. Os coeficientes foram classificados conforme Carvalho et al. (2004).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se do programa estatístico Infostat versão 2018 (DI RENZO et al., 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estatística descritiva para as variáveis estudadas (Tabela 2), onde se atenta para o fato de que algumas das variáveis apresentaram alto coeficiente de variação (CV), denotando algum comportamento aleatório, principalmente da variável tombamento de plantas (TP). Observa-se que as variáveis TP e área superfície de raízes (ASR) não apresentaram distribuição normal para os dados obtidos, sendo que nas demais variáveis ocorrem distribuição normal, já que todas apresentaram probabilidade de ocorrência acima do valor de alfa (0,05).

Tabela 2 – Estatística descritiva e teste de normalidade para as variáveis DC (Diâmetro de Colmo - mm), IVE (Índice de Velocidade de Emergência), TME (Tempo Médio de Emergência - dias), PROD (Produtividade - Mg ha⁻¹), PMS (Peso de Mil Sementes - g), TP (Tombamento de plantas - %), VSM (Volume de Solo Mobilizado - m³ ha⁻¹), MSR (Massa Seca de Raízes - g), DMR (Diâmetro Médio de Raízes - mm), CR (Comprimento de raízes - mm), VR (Volume de Raízes - mm³), ASR (Área de Superfície de Raízes - mm²).

Variável	n	Média	D.P.	CV	Mín.	Máx.	Mediana	Ass.	Curt.	W*	Valor – p
DC	28	23,19	3,14	13,54	17,09	31,98	23,10	0,57	0,80	0,97	0,88*
IVE	28	4,91	1,13	22,92	2,37	7,05	4,94	-0,59	0,29	0,93	0,24*
TME	28	12,61	4,33	34,38	5,50	23,50	11,00	0,78	-0,10	0,93	0,16*
PROD	28	13,63	0,47	3,47	12,71	14,71	13,60	0,39	-0,22	0,96	0,76*
PMS	28	239,26	26,40	11,04	189,80	283,70	239,50	0,10	-1,04	0,93	0,19*
TP	28	18,14	9,13	50,31	5,00	34,00	18,00	0,40	-1,10	0,89	0,01 ^{ns}
VSM	28	50,64	13,28	26,22	25,98	81,04	49,79	0,70	0,26	0,93	0,24*
MSR	28	20,47	5,96	29,14	9,99	31,13	21,41	-0,09	-1,03	0,93	0,22*
DMR	28	1,39	0,22	15,46	1,04	1,88	1,38	0,38	-0,36	0,95	0,56*
CR	28	5161,34	1871,76	36,26	2059,31	8590,35	5209,39	0,19	-1,10	0,93	0,17*
VR	28	3841,31	720,64	18,76	2779,71	5442,05	3826,99	0,69	-0,32	0,92	0,10*
ASR	28	4441,97	1156,77	26,04	3048,18	6773,86	4103,10	0,66	-0,76	0,88	0,01 ^{ns}

Legenda: n.= número de observações; D.P.= Desvio Padrão; CV= Coeficiente de Variação; Mín. = Valor Mínimo; Máx. = Valor Máximo; Ass.= Assimetria; Curt.= Curtose; W = valor do teste de Shapiro-Wilks; ns=não significativo; *= significativo (p>0,05) indica ajuste à distribuição normal.

As variáveis peso de mil sementes (PMS) e massa seca de raízes (MSR), apresentam assimetria lateral praticamente nula. As demais variáveis investigadas relatam uma distribuição assimétrica negativa, com valores cuja concentração localiza-se na extremidade superior da escala. Os dados se distribuem gradativamente em direção à extremidade inferior ou ainda uma distribuição assimétrica positiva uma vez que seus valores se concentram na extremidade inferior da escala tendo uma distribuição gradativa em direção à extremidade superior. A

totalidade das variáveis analisadas apresentam coeficientes de curtose platicúrticas que em sua grande maioria apresentam coeficientes de curtose negativos.

Não se observou diferença significativa para as variáveis diâmetro de colmo (DC), massa seca de raízes (MSR) e diâmetro médio de raízes (DMR) em função dos diferentes mecanismos de abertura de sulco de semeadura (Tabela 3). Sendo que os valores médios obtidos para estas variáveis foram de 23,19 mm; 22,79 g e 2,94 mm, respectivamente.

Tabela 3 – Análise de variância para as variáveis com distribuição paramétrica - Soma dos Quadrados das variáveis; DC (Diâmetro de Colmo - mm), IVE (Índice de Velocidade de Emergência), TME (Tempo Médio de Emergência - dias), PROD (Produtividade - Mg ha⁻¹), PMS (Peso de Mil Sementes - g), VSM (Volume de Solo Mobilizado - m³ ha⁻¹), MSR (Massa Seca de Raízes - g), DMR (Diâmetro Médio de Raízes - mm), CR (Comprimento de raízes - mm), VR (Volume de Raízes - mm³)

FV	GL	DC	IVE	TME	PROD	PMS
Tratamento	6	89,09 ^{ns}	19,43*	455,18*	3,36*	12318,3*
Bloco	3	42,97 ^{ns}	2,97 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1777,4 ^{ns}
Erro	18	133,98	11,83	51,96	2,45	4723,8
CV (%)	-	11,76	16,51	13,48	2,71	6,77
Média	-	23,19	4,91	12,61	13632,22	13,63
FV	GL	VSM	MSR	DMR	CR	VR
Tratamento	6	36382822,62*	345,57 ^{ns}	0,16 ^{ns}	64748041,15*	7232695,66*
Bloco	3	2186189,91 ^{ns}	99,48 ^{ns}	0,08 ^{ns}	3496139,28 ^{ns}	1232870,57 ^{ns}
Erro	18	9019498,79	515,34	1,01	26347407,02	5556151,29
CV (%)	-	13,98	26,10	17,04	23,44	14,46
Média	-	50,64	22,79	20,47	1,39	5161,34

Legenda: GL= Grau de Liberdade; CV= Coeficiente de Variação; ns = não significativo; *= significativo (p<0,05) pelo teste de F.

A ausência de interação estatística entre os tratamentos com relação ao diâmetro médio de raiz é corroborado pela afirmação de Ronchi et al. (2015) e Partelli et al. (2014), que verificaram diminuição do diâmetro médio de raiz em plantas de café, observada no perfil de solo, cuja motivação segundo estes autores deu-se em razão da fertilidade do solo. No entanto, a investigação do diâmetro médio de raiz é de suma importância pois segundo relato de Batista (2012), raízes de milho com menor diâmetro exploram um maior volume de solo em relação à área de superfície de raiz, sendo capazes de influenciar no comprimento e biomassa radicular. Fato que corrobora com os resultados obtidos nesta pesquisa, onde a massa seca de raízes de tal forma como o diâmetro médio de raízes também não diferiu estatisticamente entre os tratamentos.

Os valores obtidos para a variável de diâmetro de colmo de plantas de milho não sofreram influências diante dos diferentes mecanismos de abertura de sulco em semeadura. Este fato se deve por serem características mais afetadas pela adubação nitrogenada do que pelo manejo (FARGONI, 2019), sendo que a adubação nitrogenada foi uniforme para todos os tratamentos. A abordagem do estudo do diâmetro médio de raízes é muito importante pois conforme Kroon e Visser (2003), plantas dotadas de raízes com diâmetros pequenos possuem maior capacidade de absorver nutrientes e água do que as de diâmetro maiores. Em contrapartida, segundo os autores, raízes mais finas são mais suscetíveis ao ataque de patógenos além de apresentarem dificuldades no transporte de água devido à área reduzida na seção transversal do xilema, do que raízes mais grossas.

As variáveis que não possuem distribuição paramétrica foram submetidas aos testes de Kruskal Wallis para análise de variância sendo que ambas variáveis analisadas; tombamento de plantas e área de superfície de raízes, apresentaram interação entre os diferentes tratamentos (Tabela 4).

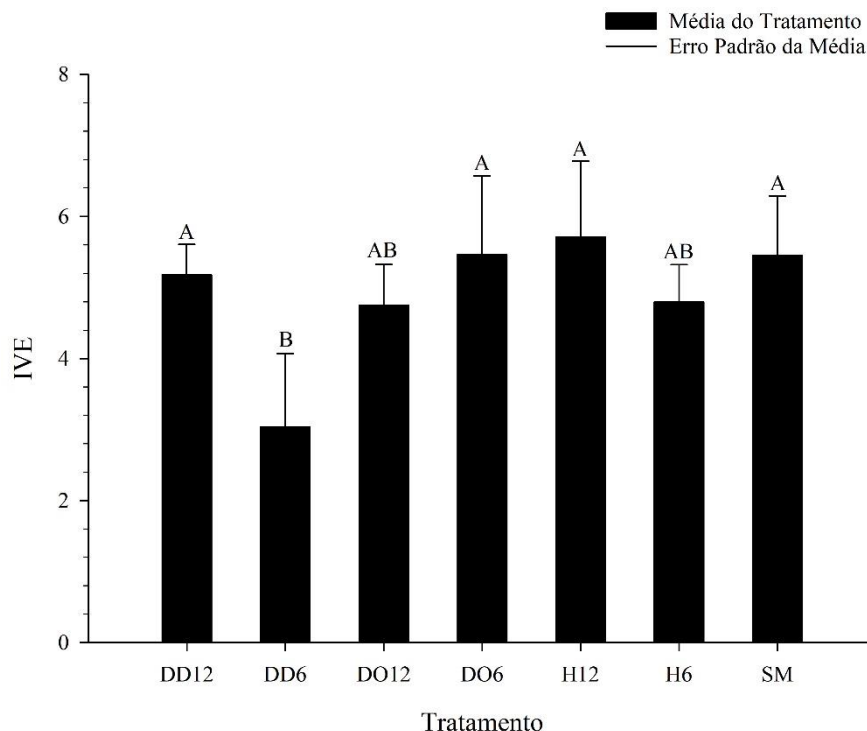
Tabela 4 – Análise de variância para as variáveis com distribuição não-paramétrica; TP (Tombamento de plantas - %), ASR (Área de Superfície de Raízes - mm²)

Variável	Tratamento	n	GL	Médias	D.P.	Mediana
TP	DD12	4	6	18,00*	1,41	18,50
	DD6			28,00*	0,82	28,00
	DO12			12,75*	1,71	12,50
	DO6			19,00*	1,41	18,50
	H12			6,75*	1,50	7,00
	H6			9,50*	1,29	9,50
	SM			33,00*	1,41	33,50
ASR	DD12	4	6	3650,09*	639,46	3511,45
	DD6			5104,85*	780,46	5198,45
	DO12			3316,59*	185,74	3269,11
	DO6			3813,51*	335,80	3830,88
	H12			5953,23*	905,94	6072,81
	H6			5545,15*	850,68	5496,05
	SM			3710,38*	560,91	3721,41

Legenda: n= número; GL= Grau de Liberdade; D.P.= Desvio Padrão; SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); ns = não significativo; *= significativo (p<0,05) pelo teste de Kruskal-Wallis.

Os valores de índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de emergência (TME) apresentam diferenças entre os tratamentos avaliados (Figura 3). A velocidade de germinação, para Tollenaar e Wu (1999), é uma característica importante para a obtenção de altas produtividades na cultura do milho, isto porque geralmente uma rápida germinação está associada com a emergência uniforme, dada a característica de baixa compensação de espaços e da grande eficiência fotossintética desta cultura. Os resultados obtidos são contrários às avaliações de Portella et al. (1997), que não encontraram diferenças significativas no IVE de milho em plantio direto, avaliando a influência de elementos rompedores de solo (tipo disco e facão). Os menores valores de IVE de plantas foram obtidos com os discos defasados a profundidade de 0,06 m. Já os tratamentos com disco ondulado, hastes e discos defasados com profundidade de 0,12 m bem com a ausência de mecanismo sulcador não apresentaram diferenças significativas revelando índices de 5,46, 5,71, 5,45 e 5,18 respectivamente.

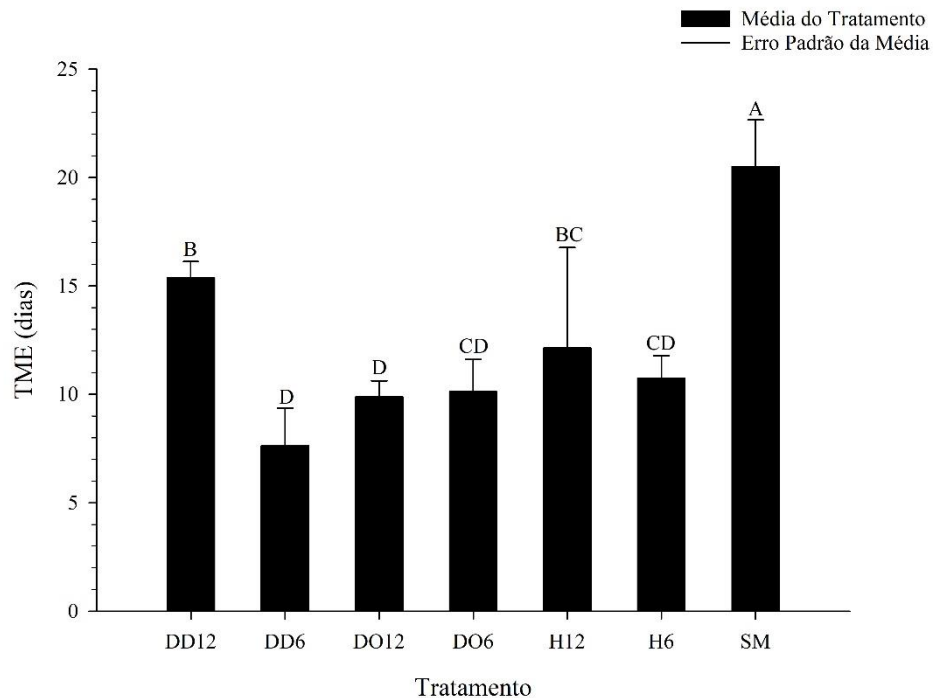
Figura 3 – Índice de Velocidade de Emergência, em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); DMS (Diferença Mínima Significativa) = 1,89. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Condição semelhante foi obtida na avaliação da variável tempo médio de emergência (TME), onde o tratamento com disco defasado profundidade de 0,06 m, obteve o tempo médio de 7,62 dias, o menor dentre os tratamentos, juntamente com disco ondulado profundidade de 0,12 m e tempo médio de emergência de 9,87 dias. Já quando se utilizou o mecanismo sulcador disco ondulado e haste a 0,06 m obtiveram-se médias ligeiramente superiores (Figura 4). Notadamente, conforme relato de vários autores a maximização do contato solo-semente proporcionado pelo sulcador e o dispositivo de cobertura da semente, diminuem o tempo de germinação (CHAUDHRY e BAKER, 1982; IQBAL et al., 1998).

Figura 4 – Tempo Médio de Emergência (dias), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



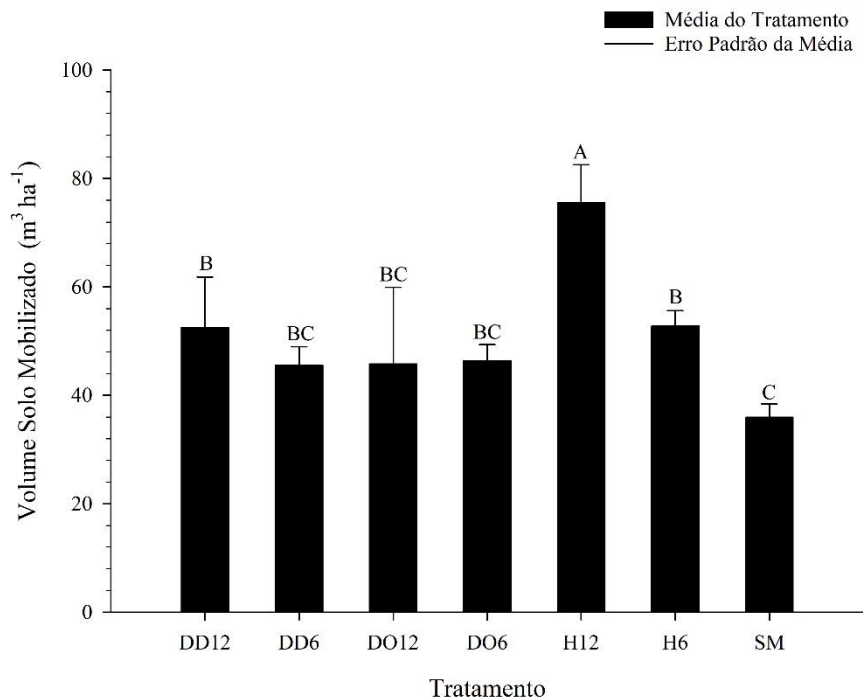
Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); DMS (Diferença Mínima Significativa) = 3,97. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se que as hastes e discos duplos quando submetidos a profundidade de trabalho de 0,12 m promovem a abertura de sulcos demasiadamente largos (maior volume de solo mobilizado), dificultando a cobertura e compactação com solo sobre as sementes, além de prejudicar a germinação da cultura em função de perdas de água por evaporação. Já o tempo

médio de emergência de 10,75 dias obtido por haste a 0,06 m pode ser atribuído ao fato da utilização de hastes na abertura de sulcos de semeadura apresentar menor variação na profundidade média de deposição de sementes em relação à utilização de discos defasados, conforme Modolo et al. (2004).

A semeadura com mecanismos do tipo hastes com profundidade de trabalho de 0,12 m promove maior volume de solo mobilizado, cujas médias foram de $75,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, seguidos por discos defasados também a 0,12 m e haste a 0,06 m com áreas de $52,77$ e $52,48 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ respectivamente, as quais não diferem estatisticamente (Figura 5). Dentre os demais tratamentos com a utilização de mecanismos de sulcadores não se observa diferença estatística. A maior área de mobilização na linha na operação de semeadura pode representar ainda deficiências quanto à cobertura e adensamento de solo sobre as sementes o que significa problemas na emergência.

Figura 5 – Volume de Solo Mobilizado ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); DMS (Diferença Mínima Significativa) = 10,69. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

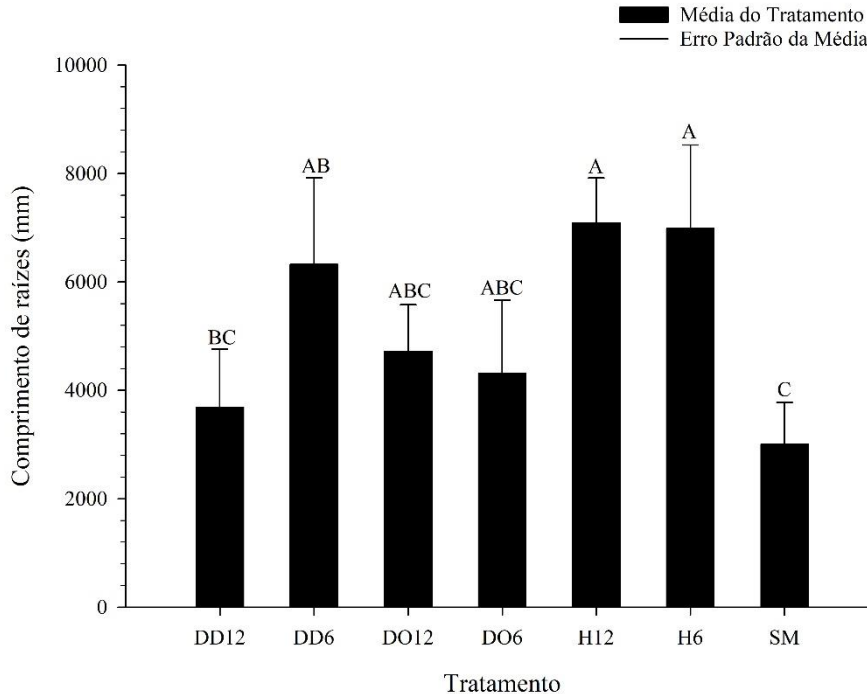
O maior volume de solo mobilizado ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) pela haste sulcadora a 0,12 m corrobora com Mion et al. (2002) que obtiveram resultados que apontam para aumento na área de solo mobilizado quando do incremento de profundidade da haste sulcadora do tipo facão em SPD. A razão do volume de solo mobilizado na parcela conduzida sob o mecanismo do tipo haste chegou a uma diferença de 43% entre a menor profundidade (0,06 m) e a maior profundidade (0,12 m). Em função da maior mobilização de solo Reis et al. (2004) recomendam o uso de sistemas de abertura de sulcos com hastes em solos com alto teor de argila, a fim de minimizar a deposição inadequada de sementes (a baixas profundidades e próximas ao fertilizante).

De outra forma, destaca-se a importância da mobilização de solo, devido à ampla utilização de máquinas cuja consequência é a compactação do solo, o que se reflete no incremento da densidade e resistência a penetração do solo. A estrutura do solo também pode afetar a taxa de crescimento radicular, especialmente por fatores como a diminuição do tamanho de poros e o aumento da resistência mecânica. Neste panorama as raízes apresentam maiores diâmetros e menor crescimento radicular em função da síntese de etileno (JIN et al., 2013). Neste trabalho, o comprimento das raízes apresentou diferenças significativas entre os diferentes tratamentos (Figura 6).

Os tratamentos que apresentaram as maiores médias para o comprimento de raízes foram os mecanismos sulcadores de hastes com ação até 0,12 e 0,06 m, com valores médios de 7094,93 e 6990,82 mm, respectivamente. Enquanto que, a menor média foi registrada na ausência de mecanismos sulcadores (3001,16 mm). Neste sentido há indício de que o uso de hastes sulcadoras nas operações de semeadura é importante devido a contribuição na ação de rompimento da camada compactada até 0,12 m.

Os sulcadores de discos defasados tiveram médias de comprimento radicular em 6322,59 e 3687,00 mm para 0,06 e 0,12 m de profundidade, respectivamente. Conforme Iqbal et al. (1998) discos duplos (defasados) sob condição de solo argiloso compactado produzem uma compactação das paredes laterais do sulco de semeadura. Esta condição pode causar alterações fisiológicas e morfológicas das raízes e afetar o crescimento das culturas, (KOCHANN e DENARDIN, 2000). Assim plantas com maior comprimento radicular proporcionam maior absorção de nutrientes, uma vez que as raízes atingem maiores profundidades no solo e interferindo no desenvolvimento das plantas (CLARKSON, 1985; ALVES et al., 2002) que influenciam drasticamente o desenvolvimento e a produção da planta (MAIRHOFER et al. (2013).

Figura 6 – Comprimento de raízes (mm), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.

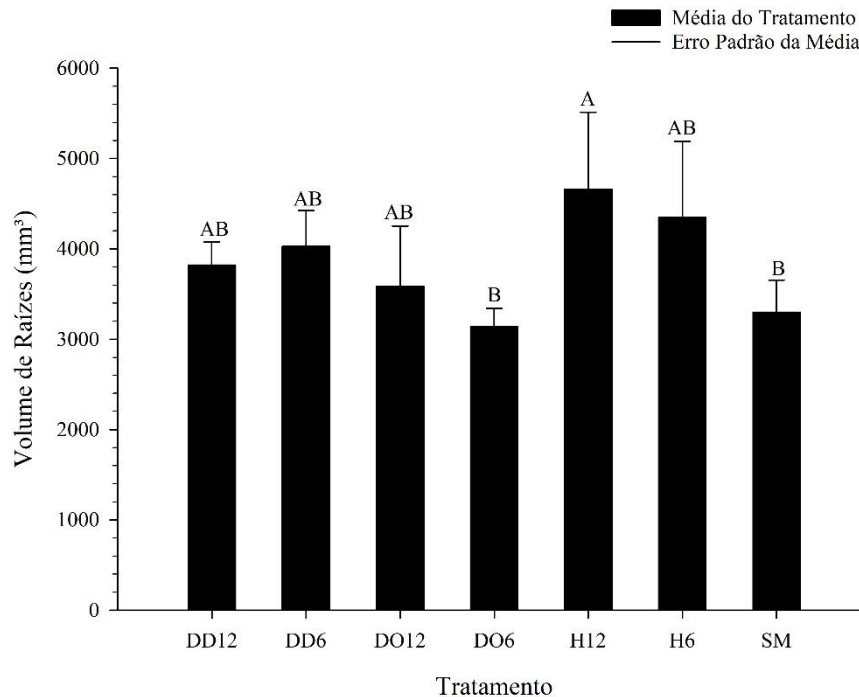


Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); DMS (Diferença Mínima Significativa) = 2826,90. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os valores obtidos em relação ao volume de raízes (VR) (mm^3) demonstraram que a média desta variável também está relacionada com o comprimento de raízes (CR) (mm), quando novamente tais valores são oriundos da semeadura realizada com mecanismos sulcadores com hastes 0,12 e 0,06 m, com volume de 4659,82 e 4349,34 mm^3 , respectivamente (Figura 7).

As diferenças encontradas entre o tratamento com a maior média (haste a 0,12 m) são 48% maiores que o mecanismo de sulcador com disco ondulado a 0,06 m. Sendo que entre os tratamentos compostos por discos defasados de 0,06 e 0,12 m, disco ondulado 0,12 m e haste a 0,06 m não se observa diferença estatística significativa. Destaca-se a importância na análise do sistema radicular justamente para promover a compreensão da interação das plantas com a estrutura de solo e das mudanças promovidas no ambiente (BAUHUS e MESSIER, 1999). Neste sentido, o maior volume de raízes é indicativo de maior ocupação e exploração do solo pelas plantas e diretamente proporcional ao comprimento radicular (ZONTA et al., 2006).

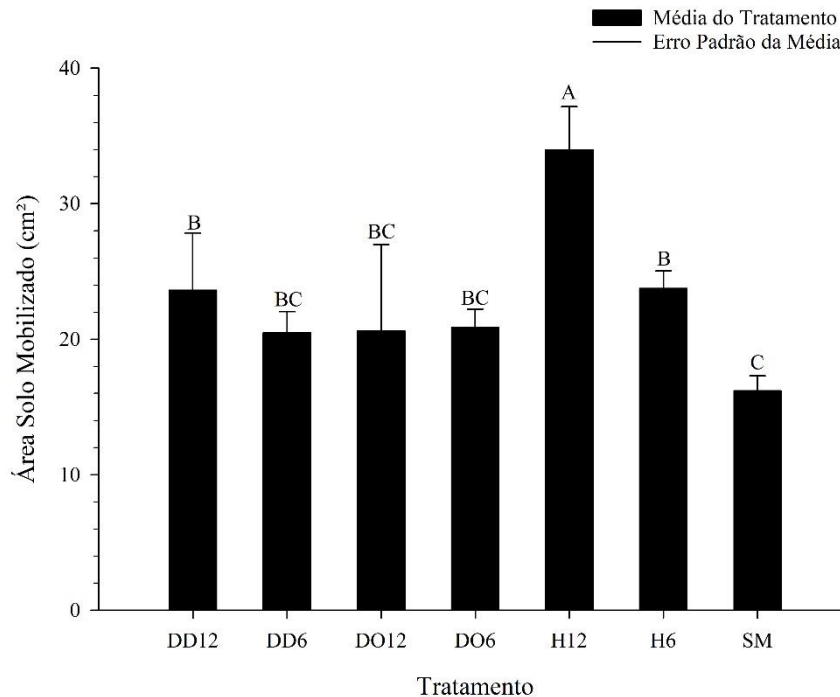
Figura 7 – Volume de Raízes (mm^3), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); DMS (Diferença Mínima Significativa) = 1298,16. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A Figura 8 ilustra o comportamento das plantas de milho quando submetidas aos diferentes tratamentos em relação à avaliação da área superfície de raízes (mm^2). Observa-se novamente que as maiores médias correspondem a utilização de mecanismos sulcadores do tipo haste com 0,06 e 0,12 m de profundidade de atuação 5545,15 e 5953,23 mm^2 , respectivamente. De maneira que comparando-se as maiores médias obtidas com mecanismo sulcadores de hastes a 0,12 m com as menores médias que correspondem à utilização de disco ondulado a 0,12 m (3316,59 mm^2) e disco defasado a 0,12 m (3650,085 mm^2), o decréscimo da área de superfície de raízes em mm^2 supera a diferença de 37% quando comparado com discos defasados a 0,12 m e 45% em relação aos discos ondulados a 0,12 m. A ampla vantagem dos mecanismos sulcadores com ação até 0,12 m de profundidade pode ser creditada a afirmação de Siqueira et al., (2002), que afirmam que as hastes de semeadoras têm estrutura e são desenvolvidas para operarem no rompimento de camadas compactadas de até 0,15 m.

Figura 8 – Área Superfície de Raízes (mm²), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



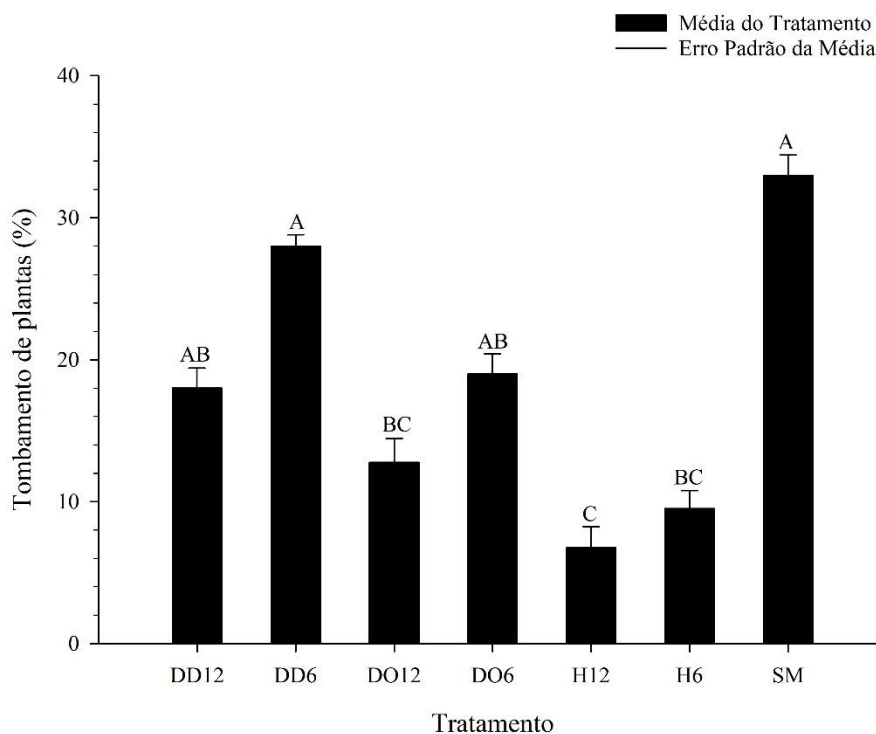
Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Kruskal Wallis.

Assume-se maior relevância da ação no rompimento da camada subsuperficial compactada do solo pela ação dos mecanismos sulcadores do tipo hastes, uma vez que os solos argilosos apresentam potenciais para ocorrência dos processos de compactação, além de ser uma característica inerente ao SPD, podendo restringir as trocas gasosas com a atmosfera, interferindo na mobilidade de água no perfil do solo e limitando o desenvolvimento radicular (REICHERT et al., 2007). Logsdon et al. (1992) observaram o comportamento de raízes em um solo argiloso, onde o incremento da compactação do solo proporciona decréscimo no número de raízes, pois segundo os autores, o crescimento radicular ocorre ao redor dos torrões densos e não no interior destes. O comprimento radicular como já visto anteriormente, é um dos elementos responsáveis por constituir a área de superfície de raízes.

Observa-se que os valores médios correspondentes ao tombamento de plantas com o uso de hastes a 0,12 m (6,75%) e 0,06 m (9,50%), dizem respeito às menores médias, ao passo

que a utilização de mecanismos com discos defasados a 0,06 m (28,00%) igualou-se estatisticamente à ausência de mecanismos sulcadores (33,00%), (Figura 9). Isto significa uma diferença de 26,25% no tombamento de plantas entre a maior e a menor média (SM x H12). Outra fonte de variação pode ser atribuída a elementos como a incidência de ventos na área experimental, já que a distribuição dos dados obtidos não obedece ao comportamento da normalidade, cuja variação também pode ser aleatória.

Figura 9 – Tombamento de plantas (%), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



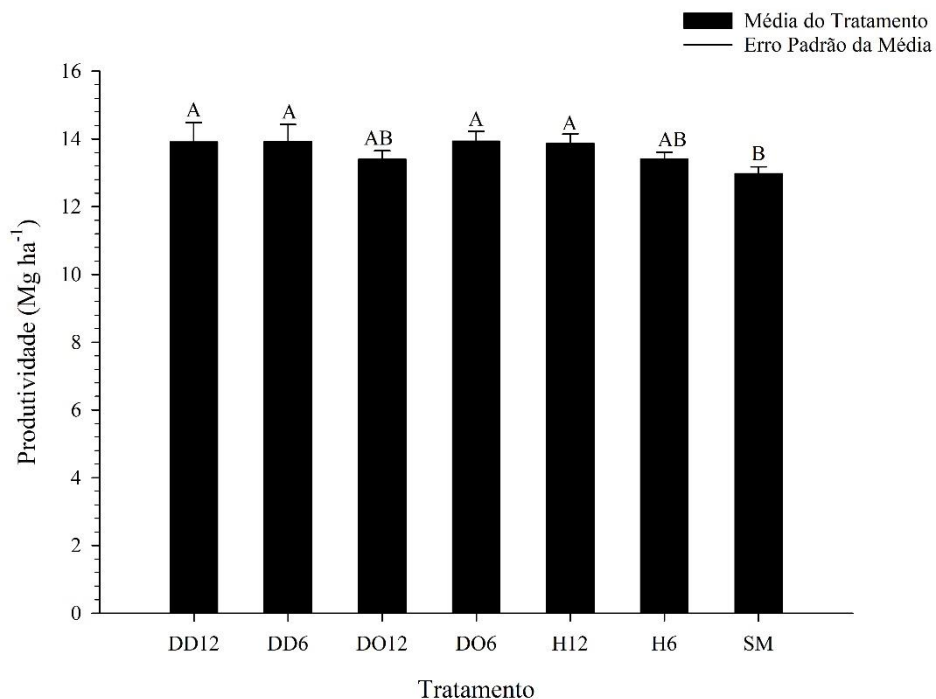
Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Kruskal Wallis.

Dentre os fatores de produção, o estado final de plantas tem suma relevância por ocasião da colheita, seja pelo número de plantas como também pela posição (prostradas ou tombadas) em que se encontram estas plantas, ou seja uma população que será colhida de maneira efetiva, sem dificuldades nesta etapa. Especula-se que em função da menor área de solo mobilizado na ausência de mecanismos sulcadores restringem o comprimento radicular

que por sua vez atinge menores profundidades e tornam as plantas de milho suscetíveis ao tombamento.

Conforme exposto na Figura 10, não houve diferença estatística entre as médias de produtividade (PROD) obtida sob condições de sulcadores do tipo disco ondulado (0,06 m), disco defasado (0,06 e 0,12 m) e haste (0,12 m), sendo que a menor média absoluta obtida condiz com o tratamento sem a ocorrência de mecanismos sulcadores (12,975 Mg ha⁻¹).

Figura 10 – Produtividade da cultura do milho (Mg ha⁻¹), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



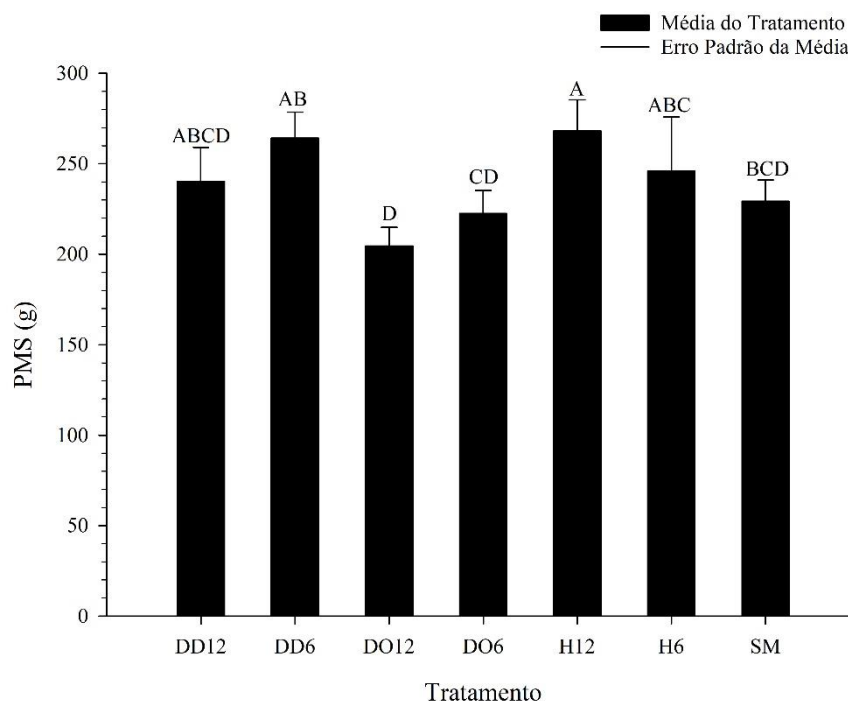
Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); DMS (Diferença Mínima Significativa) = 0,86. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Resultados semelhantes foram obtidos por Trogello et al. (2013) em condições de Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa, onde não se verificou influência significativa da ação dos mecanismos sulcadores sobre a produtividade da cultura do milho. No entanto, os resultados obtidos nesta pesquisa apontam diferenças significativa quando da utilização e da não utilização de mecanismos sulcadores. Fato que no cultivo de milho em

Latossolo Vermelho compactado, ocorre aumento no diâmetro e diminuição do comprimento de raízes, que assumem forma tortuosa (BERGAMIN et al., 2010). Assim o volume de solo explorado é reduzido limitando-se a obtenção de nutrientes e água, e conseqüentemente, a produtividade (FREDDI et al., 2009).

Nota-se certa discrepância entre os resultados obtidos nos valores médios de produtividade com os médias de peso de mil sementes (PMS) (Figura 11). Isto porque a produtividade média obtida pelo tratamento com disco ondulado a 0,12 m não diferiu estatisticamente dos demais mecanismos sulcadores, enquanto que os valores médios de PMS deste mesmo mecanismo sulcador apresentaram as menores médias (204,60 g), o que pode ter sido compensado pela população final de plantas.

Figura 11 – Peso de Mil Sementes (g), em função de diferentes formas de sulcagem, Frederico Westphalen, RS.



Legenda: SM - (disco de corte liso e ausência de sulcador de fertilizante); DD12 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,12 m); DD6 - (disco de corte liso + sulcador de disco defasado profundidade de 0,06 m); H12 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,12 m); H6 - (disco de corte liso + sulcador de cinzel profundidade de 0,06 m); DO12 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,12 m); DO6 - (disco de corte ondulado (dobrado com ondulação de 0,02 m) + sulcador tipo guilhotina profundidade de 0,06 m); DMS (Diferença Mínima Significativa) = 37,85. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No entanto, o maior valor médio de PMS enquanto componente de rendimento é condizente com os resultados obtidos por Mello et al. (2002). Os referidos autores, em ensaio

em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso, avaliaram o mecanismo do tipo haste sulcadora, observaram o acréscimo de 11,30% na produtividade do milho em relação à produtividade obtida no uso de mecanismos sulcadores do tipo discos, pois os mecanismos de hastes apresentam maior capacidade de romper o solo na linha de semeadura, provocando reduções na densidade, resistência do solo à penetração e aumento da sua macroporosidade.

A fim de identificar os parâmetros que evidenciem os maiores efeitos diretos sobre a cultura do milho realizou-se a aplicação da correlação Linear de Pearson entre as diferentes variáveis com distribuição paramétrica, e correlação de Spearman para as variáveis não paramétricas.

De acordo com a correlação de Spearman, a correlação entre as variáveis não foi significativa.

A Tabela 5 apresenta a análise de correlação Linear de Pearson onde estão expressos os coeficientes que compreendem magnitudes de 0 a 1, e sentidos positivos ou negativos. Estes coeficientes são classificados como nulos ($r = 0,00$), baixos ou fracos ($r = 0,00$ a $r = 0,30$), intermediários ou médios ($r = 0,30$ a $r = 0,60$); altos ou fortes ($r = 0,60$ a $r = 1,00$) segundo Carvalho et al. (2004).

O tempo médio de emergência (TME) apresentou correlação intermediária e negativa com a produtividade (PROD) ($r = -0,35$) e comprimento de raízes (CR) ($r = -0,37$), desta maneira um menor tempo médio de emergência propicia um incremento na produtividade.

Tabela 5 – Correlação Linear de Pearson para dez caracteres na avaliação de mecanismos de sulcagem em semeadura da cultura do milho

	DC	IVE	TME	PROD	PMS	ASM	MSR	DMR	CR	VR
DC	1,00									
IVE	-0,46 ^{ns}	1,00								
TME	-0,29*	0,52 ^{ns}	1,00							
PROD	-0,32*	-0,07*	-0,35*	1,00						
PMS	0,12*	-0,20*	-0,08*	0,18*	1,00					
VSM	-0,05*	0,18*	-0,09*	0,33*	0,42 ^{ns}	1,00				
MSR	0,56 ^{ns}	-0,06*	-0,07*	-0,29*	0,03*	-0,12*	1,00			
DMR	-0,09*	-0,28*	0,07*	0,31*	0,05*	-0,39 ^{ns}	-0,05*	1,00		
CR	0,23*	-0,13*	-0,37*	0,14*	0,52 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,31*	-0,38*	1,00	
VR	0,21*	0,02*	-0,16*	0,25*	0,64 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,07*	0,63 ^{ns}	1,00

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste T.

DC (Diâmetro de Colmo - mm), IVE (Índice de Velocidade de Emergência), TME (Tempo Médio de Emergência - dias), PROD (Produtividade - Mg ha⁻¹), PMS (Peso de Mil Sementes - g), VSM (Volume de Solo Mobilizado - m³ ha⁻¹), MSR (Massa Seca de Raízes - g), DMR (Diâmetro Médio de Raízes - mm), CR (Comprimento de raízes - mm), VR (Volume de Raízes - mm³).

A produtividade por sua vez evidenciou correlação intermediária e positiva com o volume de solo mobilizado (VSM) ($r = 0,33$) e o diâmetro médio de raízes (DMR) ($r = 0,31$) indicando que as plantas cultivadas em solo mobilizado em SPD compactado além de promoverem maior diâmetro médio de raízes tendem a incrementar a produtividade da área cultivada.

Desta maneira, o momento da semente precisa proporcionar uma situação de adequada deposição da semente no leito de semente e contato no fundo do sulco, com mobilização de solo suficiente a fim de proporcionar sua cobertura, a fim de favorecer a emergência de plântulas e garantindo um perfil de população. Eficiência esta que também pode ser obtida com a correta seleção do mecanismo de abertura de sulco para efetuar a sementeira. Assim, a escolha do mecanismo de abertura de sulco na sementeira deve ser considerada no momento da implantação da cultura do milho.

O diâmetro médio de raízes (DMR) apresenta correlação média e negativa com o comprimento de raízes (CR) ($r = -0,38$), já a massa seca de raízes denota correlação intermediária e positiva com o comprimento de raízes ($r = 0,31$). Isto porque o sistema radicular do milho inicia seu crescimento a partir do momento da germinação, logo, a profundidade em que se encontram as raízes seminais do milho, depende exclusivamente da profundidade em que foi realizada a sementeira (MAGALHÃES, 2002).

A correlação entre a variável produtividade e a resistência à penetração corrobora com as evidências anteriormente identificadas, que correlacionam de maneira positiva a variável produtividade com o volume de solo mobilizado em SPD compactado (Tabela 6). A produtividade da cultura do milho apresenta correlação intermediária e negativa ($r = -0,34$) com os valores médios da resistência a penetração no perfil de solo avaliado até 0,4 m. De maneira específica, na camada de até 0,4 m os valores da resistência do solo a penetração interferiram negativamente sobre 34% da variação da produtividade do milho. Do mesmo modo, a resistência a penetração do solo quando da ausência de mecanismos sulcadores na camada de 0,06 a 0,12 m, influenciou negativamente sobre 28% da variação do conjunto de dados da variável produtividade da cultura do milho.

Fato que corrobora com o uso de mecanismos sulcadores do tipo haste a 0,12 m, que também apresentaram os maiores valores médios de produtividade. Isto porque os valores médios de resistência a penetração superam os valores entre 2,0 a 2,5 Mpa (Taylor et al., 1966; Taylor, 1971) que estão entre os considerados da faixa crítica de resistência do solo a penetração, havendo desta forma interferência negativa da resistência do solo a penetração quanto ao desenvolvimento radicular.

Tabela 6 – Correlação Linear de Pearson – produtividade e resistência a penetração, na avaliação de mecanismos de sulcagem em semeadura da cultura do milho.

	RP 0-0,06 m	RP 0,06-0,12 m	RP 0,12-0,4 m	RP 0-0,4 m	PROD
RP 0-0,06 m	1				
RP 0,06-0,12 m	0,68 ^{ns}	1			
RP 0,12-0,4 m	0,17*	0,24*	1		
RP 0-0,4 m	0,67 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1	
PROD	-0,17*	-0,28*	-0,29*	-0,34*	1

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste T.

RP= Resistência a Penetração (média - KPa), PROD= (Produtividade - Mg ha⁻¹).

Desta maneira, plantas com raízes mais desenvolvidas possuem condições de adaptarem-se as diferentes condições climáticas, fato que reforça a importância das raízes enquanto componente estrutural e funcional para a planta de milho (MAGALHÃES, 1995). Assim, um ótimo sistema radicular é capaz de induzir a cultura a possibilidade de incremento tanto no desenvolvimento como na obtenção de maiores produtividades, haja vista que facilita a planta maior exploração do solo, visando absorver nutrientes e água (SANTANA, 2012).

5 CONCLUSÕES

A produtividade da cultura do milho foi afetada em função do tipo de mecanismo sulcador. As maiores produtividades foram obtidas quando da utilização de mecanismos do tipo hastes.

O maior volume de solo mobilizado pelo uso de hastes sulcadoras produziu incremento sobre o tempo médio de emergência do milho.

A produtividade da cultura do milho apresenta correlação intermediária com o volume de solo mobilizado ($r = 0,33$) e o diâmetro médio de raízes ($r = 0,31$), os valores médios da resistência a penetração no perfil de solo até 0,40 m ($r = -0,34$) e o tempo médio de emergência ($r = -0,35$).

O cultivo de milho, sem mecanismo sulcador, em um sistema de plantio direto compactado tende a proporcionar decréscimo sobre a produtividade da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, 26:27-34, 2004.
- ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 721-726, 2013.
- AMADO, T.J.C. et al. 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.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra Roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.857-865, 2000.
- ANDREOLLA, V.R.M.; GABRIEL FILHO, A. Demanda de potência de uma semeadora com dois tipos de sulcadores em áreas compactadas pelo pisoteio de animais no sistema integração lavoura pecuária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.768-76, set/dez. 2006.
- ARAÚJO, A.G.; CASÃO JÚNIOR, R.; RALISCH, R.; SIQUEIRA, R. Mobilização de solo e emergência de plantas na semeadura direta de soja (*Glycine max* L.) e milho (*Zea mays* L.) em solos argilosos. **Revista Engenharia Agrícola**, 19:226-237, 1999.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 425- 435, 2005.
- ASSIS, J. P. et al. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, DF, v. 41, n. 3, p. 539-543, 2006.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, p.30, 2005.
- BATISTA, K.D. **Características morfoanatômicas de raízes de milho e de sorgo cultivados sob diferentes concentrações de fósforo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 87p. 2012.
- BAUHUS, J.; MESSIER, C. Evaluation of Fine Root Length and Diameter Measurements Obtained Using RHIZO Image Analysis. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 142-147, 1999.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A. & SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.681-691, 2010.
- BRANCO, R. B. F. et al. Nitrogen Fertilization of Vegetables Cultivated under No-Tillage after Cover Crops. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 103–110, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação Geral de Apoio Laboratorial (2009). **Glossário Ilustrado de Morfologia**. 1ª ed. Brasília, DF, p. 340, 2009.

- CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural** 35: 813-819, 2005.
- CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, v. 142, 2004.
- CASALINHO, H.D.; MARTINS, S.R.; SILVA, J.B.; LOPES, A.S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 195-203, 2007.
- CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R.; SILVA, A. L.; LADEIRA, A. S.; SILVA, J. C.; MACHADO, P.; ROSSETO, R. **Avaliação do desempenho da sementeira adubadora Magnum 2850 PD no basalto paranaense**. Circular do Instituto de Agronomia do Paraná, Londrina, n. 105, p. 1-47, 1998.
- CASÃO JR, R.& SIQUEIRA, R. **Máquinas para manejo de vegetações e semeadura em plantio direto**. In: CASÃO JR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R. (ed). **Sistema plantio direto com qualidade**. Iapar / Itaipu Binacional, Londrina / Foz do Iguaçu, p.85-126, 2006.
- CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. **Sistema Plantio Direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água**. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 333-369. 2007
- CHAN, K.Y.; ROBERTS, W.P.; HEENAN, D. P. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, n. 1, p. 71-83, 1992.
- CHAUDHRY, M.A.; BAKER, C.J. Effects of drill coultter design on soil moisture status on emergence of wheat seedlings. **Soil Tillage Research**, 2:131-142, 1982.
- CLARKSON, D.T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.36, n.6, p.77-115, 1985.
- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:197-201, 1983.
- COELHO, M. E. H. et al. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 369–378, 2013.
- COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação de máquinas para semeadura. In:____. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba S.P.: Fundação de Estudos Agrários Luis de Queiroz, p.551-570, 1996.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 6 - Safra 2018/19, n. 10 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1- 113, julho 2019, ISSN: 2318-6852. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 12 julho. 2019.
- 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**, v. 45, p. 603-612, 2010.

DENARDIN, J.E. et al. **Sistema plantio direto: evolução e implementação.** In: PIRES, J.L.M. et al. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável.** Passo Fundo: Embrapa Trigo. cap.7, p. 185-215. 2011.

DERPSCH, R. Histórico, requisitos, importância e outras considerações sobre plantio direto no Brasil. In: _____. **O plantio direto no Brasil.** Campinas: Fundação Cargill. p. 1-11. 1985.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. **Eschborn: GTZ**, 272 p. 1991.

DERPSCH, R. et al. Current Status of Adoption of No-till Farming in the World and Some of Its Main Benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, n. 1, p. 25, 2010.

DI RIENZO J.A.; CASANOVES F.; BALZARINI M.G.; GONZALEZ L.; TABLADA M.; ROBLEDO C.W. InfoStat versão 2018. Centro de Transferência InfoStat, FCA, Universidade Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

DRESCHER, M.S. et al. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1713-1722, 2011.

EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.L. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 71, p. 428-34, 1958.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade.** Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003.

FAO. **Conservation Agriculture Adoption Worldwide** United Nations, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

FAO. **AQUASTAT Main Database.** United Nations, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>>. Acesso em: 6 abr. 2019.

FARGONI, G.P. Azospirillum brasiliense: interferências na qualidade das sementes e no desenvolvimento das plantas de milho doce. **Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)** - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2019.

FEBRAPDP. **Evolução área do Sistema Plantio Direto no Brasil.** Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, 2012. Disponível em: <<https://febrapdp.org.br/area-de-pd>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

FIORIN, J.E; SCHNELL, A.; RUEDELL, J. **Diagnóstico das propriedades rurais na região de abrangência das cooperativas: COOPATRIGO, COOPEROQUE, COTAP, COTRISA, COTRISAL (SB) e TRITÍCOLA.** Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 2007.

FONSECA, M.G.C. Plantio direto de forrageiras: Sistema de produção. Guaíba, RS: **Agropecuária**, 1997. 101p.

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. (Embrapa Soja. Documentos, 327). 52p, 2011.

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, 2009. 40 p.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A.P.; LEONEL, C.L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I – Características da planta, solo e índice S. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.793- 803, 2009.

GIAROLA, N.F.B. et al. On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian Experience in Oxisols under No-Tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 60–64, 2013.

GOLABI, M. H.; EL-SWAIFY, S. A.; IYEKAR, C. Experiment of “No-Tillage” Farming System on the Volcanic Soils of Tropical Islands of Micronesia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 2, p. 30–38, 2014.

HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. **Soil e Tillage Research**, Amsterdam, v.35, p.85-97, 1995.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil e Tillage Research**, 82:121-145, 2005.

IQBAL, M.; MARLEY, S.J.; ERBACH, D.C.; KASPAR, T.C. An evaluation of seed furrow smearing. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 41:1243-1248, 1998.

ISHAQ, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; IBRAHIM, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab Pakistan. I. Soil physical properties and crop yield. **Soil e Tillage Research**, 59:57- 5. 2001.

JIN, K.; SHEN, J.; ASHTON, R.W.; DODD, I.C.; PARRY, M.A.J.; WHALLEY, W. R. How Do Roots Elongate in a Structured Soil? **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 15, p. 4761-4777, 2013.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

KLEIN, V.A. et al. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural** 38: 365-371, 2008.

KOAKOSKI, A. et al. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42: 725-731, 2007.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Embrapa Trigo, 2000. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84084/1/cnpt-documentos-20-implantacao-e-manejo-do-sistema-plantio-direto-fl-13398.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

KROON, H. de; VISSER, E. J. W. **Root Ecology**. Springer, 2003.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, 1:277-294, 1985.

- LOGSDON, S.D.; ALLMARAS, R.R. NELSON, W.W.; WOORHEES, W.B. Persistence of subsoil compaction from heavy axle loads. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.23, p.95-100, 1992.
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. Fisiologia da produção do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica n.76. 10p.2002.
- MAGALHÃES, P.C; DURÃES, F.O.P. GOMIDE, R.L. Fisiologia da cultura do milho. In: Embrapa Milho e Sorgo, Sete-Lagoas, MG, 1995.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selectyon and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MAIRHOFER, S.; ZAPPALA, S.; TRACY, S.; STURROCK, C.; BENNETT, M.J.; MOONEY, S.J.; PRIDMORE, T.P. Recovering Complete Plant Root System Architectures from Soil via X-ray μ -Computated Tomography. **Plant Methods**, v. 9, n.8, p.1-7, 2013.
- MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Embrapa Milho e Sorgo** - Artigo em periódico indexado (ALICE), 1987. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66338/1/Compactacao-solo.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2019.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, p. 889, 1995.
- MION, R.L.; NERY, M.S. de; CARVALHO, W.P.A.; RUIZ, E.R; FAGGION, F.; GROSSI, C.H.; MARQUES, J.P.; MAHL, D.; SIILVA, A.R.B. da; 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, 1 CD-ROM. 2002.
- MODOLO, A.J.; SILVA, S.L.; SILVEIRA, J.C.M.; MERCANTE, E. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras de precisão em diferentes velocidades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.12, n.3, p.563-7, 2004.
- MORAES, M.T.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; BONETTI, J A.; DEBIASI, H. Corn crop performance in an Ultisol compacted by tractor traffic. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.53, n.4, p.464-477, Apr. 2018.
- MOTTER, P.; ALMEIDA, H.G. **Contexto histórico do surgimento do plantio direto no Brasil**. In: Motter, P.; Almeida, H.G. de (Coord.). **Plantio direto: a tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira**. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu. v.1, p.10-14, 2015.
- NANTES, F. P.; CARVALHO, I. F. B. D. **Componentes de produção do milho e resistência à penetração em função do sistema de manejo e da velocidade de semeadura**. Tese (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados. 2016.
- PARTELLI, F.L.; COVRE, A.M.; OLIVEIRA, M.G.; ALEXANDRE, R.S.; VITÓRIA, E. L.; SILVA, M.B. Root system distribution and yield of ‘Conilon’ coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.5, p.349-355, 2014.

- PEDÓ, F. Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo. (**Tese de Mestrado**). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.
- PEREIRA, R. G.; ALBUQUERQUE, A. W.; MADALENA, J. A. S. Influência dos sistemas de manejo do solo sobre os componentes de produção do milho e *Brachiaria decumbens*. **Revista Caatinga**, v. 22, p.64-71, 2009.
- PIERRET, A.; GONKHAMDEE, S.; JOURDAN, C.; MAEGHT, J. IJ_Rhizo: an opensource software to measure scanned images of root samples. **Plant and Soil**, v. 373, n. 1-2, jul. 2013.
- PILATTI, M. A. Atributos físicos de um Latossolo argiloso sob sistemas de manejo do solo. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura)** – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.58p. 2018.
- PÖHLITZ, J. et al. Computed Tomography and Soil Physical Measurements of Compaction Behaviour under Strip Tillage, Mulch Tillage and No Tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 205–216, 2018.
- PORTELLA, J.A. Plantio de precisão: o desafio para o século XXI. Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 2p.html. 6 ilustr., 1999.
- PORTELLA, J. A.; SATLER, A.; FAGANELLO, A. Índice de emergência de plântulas de soja e de milho em semeadura direta no Sul do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 1, p. 71-78, set. 1997.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S. Dos. S.; MIRANDA, M.A.C, De. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 929-938, 2000.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A. S.; REINERT, D.J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais**: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 5, p. 49-134, 2007.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 27:29-48, 2003.
- 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**, 30:777-786, 2006.
- REIS, E.F.; FERNANDES, H.C.; SHAEFER, C.E.G.R.; ARAÚJO, E.F. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. **Engenharia na Agricultura**, v.12, n.3, p.212-21, 2004.
- REIS, Â.V. dos; FORCELLINI, F. A. Functional analysis in the evaluation of four concepts of planters. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 969-975, 2002.
- RONCHI, C.P.; SOUSA JÚNIOR, J.M.; AMEIDA, W.L.; SOUZA, D.S.; SILVA, N. O.; OLIVEIRA, L.B.; GUERRA, A.M.N.M.; FERREIRA, P.A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.3, p.187-195, 2015.

ROSEMBERG, N.J. Response of plants to the physical effects of soil compaction. **Advances in Agronomy**, 16:181-196, 1964.

SANTANA, C.T. C. de. Comportamento de milho (*Zea mays* L.) e propriedades físicas do solo, no sistema plantio direto, em resposta a aplicação de fertilizante organomineral. 2012. ix, 49 f. **Dissertação (mestrado)** – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2012.

SANTOS et al., H. G. dos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** /. – 3ª ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 353 p., 2013.

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

SILVA, F.R. da; ALBUQUERQUE, J.A.; BORTOLINI, D.; COSTA, A. da; FONTOURA, S. M. V. Semeadura direta com diferentes mecanismos sulcadores: alterações em propriedades de um Latossolo Bruno e produtividade das culturas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, SC, Brasil 428-434, 2018.

SILVA, F.M.; COAN, O.; NATALE, W. Influência da profundidade de semeadura com e sem uso de sulcador na cultura de milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. p. 1438-1452.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JR, R.; ARAÚJO, A.G. Plantadoras - plantio direto: Ângulo ideal. **Cultivar Máquinas**, Pelotas-RS, p.30- 32, julho-agosto 2002.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C.; NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 393- 399, 1999.

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

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, Madison, v. 39, p.1597-1604, 1999.

TROGELLO, E. et al. Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho. **Bragantia**. 72: 101-109, 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Production, Supply and Distribution (PSD) on line. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/data/search?f%5B0%5D=field_commodities%3A14. Acesso em: 20 julho, 2019.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT. D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 92, p. 104-113, 2007.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S., ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.7-52, 2006.