

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DESEMPENHO DE DOIS PROTÓTIPOS  
DE SEMEADORAS-ADUBADORAS  
PARA PLANTIO DIRETO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Vilnei de Oliveira Dias**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2009**

**DESEMPENHO DE DOIS PROTÓTIPOS DE  
SEMEADORAS-ADUBADORAS  
PARA PLANTIO DIRETO**

**por**

**Vilnei de Oliveira Dias**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Dr. Airton dos Santos Alonço**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2009**

---

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Vilnei de Oliveira Dias.  
Reprodução parcial permitida para fins acadêmicos desde que citada a fonte. É vedada a utilização do conteúdo para fins comerciais.

Santa Maria, RS, 97105-150.

Fone (0xx55) 9111215; End. Eletr.: [vilneidias@yahoo.com.br](mailto:vilneidias@yahoo.com.br)

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

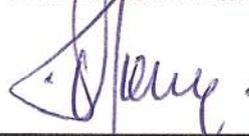
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a dissertação de mestrado

**DESEMPENHO DE DOIS PROTÓTIPOS DE  
SEMEADORAS-ADUBADORAS  
PARA PLANTIO DIRETO**

elaborada por  
**Vilnei de Oliveira Dias**

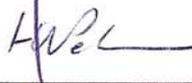
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**Comissão Examinadora**



---

**Airton dos Santos Alonço, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



---

**Pedro Henrique Weirich Neto, Dr., (UEPG)**



---

**Reges Durigon, Dr., (UFSM)**

Santa Maria, 20 de fevereiro de 2009.

À minha noiva, Cleciane, razão maior da minha existência, pelo amor,  
compreensão, companheirismo e incentivo, dedico.

Ao meu pai, seu Cláudio e à minha mãe,  
dona Júlia (*in memoriam*), ofereço.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida.

A Universidade Federal de Santa Maria, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Airton, pela amizade, paciência, doutrina, respeito e ótima convivência durante estes anos.

Aos professores Reges e Pedro Henrique, por aceitarem compor a banca de avaliação deste trabalho.

Aos colegas de LASERG, Gustavo, Mônica, Guidiane, Maurício, Baú, Rolnei, Francisco, Letícia, Juliana, Fabrício, Daniel, Wilson e em especial, ao meu companheiro nessa caminhada, Ulisses**bb**, presente, incondicionalmente durante esses dois anos de minha vida, e ao Dr. Gassen, pela amizade recente, mas verdadeira.

A todos os colegas de PPGEA, em particular ao Dr. David, pela amizade e ensinamentos.

Aos funcionários do Núcleo de Ensaios de Máquinas Agrícolas, pela colaboração na realização desta dissertação. Aos secretários do PPGEA, Luiz e Estevão, pelos auxílios prestados nos trâmites desses dois anos.

A Capes, pela concessão da Bolsa de estudos na segunda metade do curso.

A Stara S.A., nas pessoas dos Engenheiros Lucas Arend e Daniel Durante, pelo apoio financeiro e logístico, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Mano, minha cunhada Rozana e meus sobrinhos Pedro Henrique e Patrick, por tudo.

Aos meus irmãos disfarçados de amigos, pelos momentos de alegria nos almoços de domingo e pela sabedoria transmitida com a convivência.

A todos, que de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

*A ti, meu velho querido, de joelhos no chão ofereço,  
Este rústico adereço trançado de couro cru.  
E esta prece de xirú, que rezo trançando o dedo,  
Já que não guardo segredo, pra um amigo que nem tu.”*

*(Prece, José Mendes)*

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **DESEMPENHO DE DOIS PROTÓTIPOS DE SEMEADORAS-ADUBADORAS PARA PLANTIO DIRETO**

AUTOR: VILNEI DE OLIVEIRA DIAS

ORIENTADOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO

Santa Maria, 20 de fevereiro de 2009

Com o objetivo de avaliar o desempenho de dois protótipos de semeadoras-adubadoras para o sistema plantio direto, foram desenvolvidos trabalhos em condições de lavoura e pista de avaliação conforme norma internacional. Os experimentos foram conduzidos nos anos de 2007 e 2008, avaliando dois protótipos, um de semeadora-adubadora de precisão e outro de semeadora-adubadora múltipla. Quando traçado um paralelo entre os dois protótipos, se permite afirmar que os mesmos apresentam desempenho semelhante nas avaliações realizadas em pista. Se comparados os resultados obtidos nos protótipos deste estudo, com os de outras semeadoras de características semelhantes encontrados na literatura, se pode concluir que os mesmos apresentam desempenho similar senão melhor, quando das mesmas variáveis resposta. Nos experimentos em condições de campo com os dois protótipos, as variáveis estudadas permitem afirmar que os mesmos apresentam bom desempenho na semeadura direta de soja (protótipo de semeadora-adubadora de precisão) e trigo (protótipo de semeadora-adubadora múltipla). Para as culturas estudadas, maiores densidades de semeadura, na faixa de três a cinco e de oito a vinte sementes  $m^{-1}$ , para as culturas de milho e soja respectivamente, reduzem o percentual de espaçamentos aceitáveis entre sementes.

Palavras-chave: engenharia agrícola; distribuição de sementes; *Zea mays*; *Glycine max*; *triticum aestivum*.

## **ABSTRACT**

Master of Science Dissertation  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **PERFORMANCE OF TWO SEEDER-FERTILIZERS PROTOTYPES FROM DIRECT SEEDING**

AUTHOR: VILNEI DE OLIVEIRA DIAS  
ADVISER: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO  
Santa Maria, February, 20<sup>th</sup>, 2009.

With the objective of evaluating the acting of two seeder-fertilizer prototypes for the direct seeding system, works were developed in field conditions and evaluation track according to international standard. The experiments were conducted in the years of 2007 and 2008, evaluating two prototypes, one of precision seeder-fertilizer and another of multiple seeder-fertilizer. When plan a parallel one among the two prototypes, she allow to affirm that the same ones present similar acting in the evaluations accomplished in track. If compared the results obtained for the appraised prototypes in this study, with the one of other seeders of similar characteristics found in the literature, she can conclude that the same ones present acting similar or else better, when of the same variables answer. In the experiments in field conditions with the two prototypes, the studied variables allow to affirm that the same ones present good acting in the direct sowing of soybean (precision seeder-fertilizer prototype) and wheat (multiple seeder-fertilizer prototype). For the studied cultures, larger sowing densities, in the strip from three to five and from eight to twenty seeds  $m^{-1}$ , for the corn cultures and soybean respectively, they reduce the percentile of acceptable spacing's among seeds.

Key-words: Agricultural engineering; seed distribution; *Zea mays*, *Glycine max*, *Triticum aestivum*.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Principais características do PSP. Santa Maria/RS, 2008. ....	31
TABELA 2 - Principais características do PSM. Santa Maria/RS, 2008.....	33
TABELA 3 - Principais características dimensionais das sementes utilizadas nas avaliações em pista. Santa Maria/RS, 2008.....	35
TABELA 4 - Granulometria do fertilizante utilizado nas avaliações em pista para ambos os protótipos de semeadoras-adubadoras. Santa Maria/RS, 2008.....	35
TABELA 5 - Densidades e velocidades testadas, espaçamento teórico (XREF) e intervalos para classificação dos espaçamentos entre sementes da população. Santa Maria/RS, 2008....	38
TABELA 6 - Caracterização da área de realização do experimento a campo com a semeadora-adubadora de precisão. Santa Maria/RS, 2008.....	40
TABELA 7 - Variáveis descritivas da distribuição transversal de fertilizantes para as três razões de distribuição nas quatro velocidades estudadas no (PSP). Santa Maria/RS, 2008. ...	46
TABELA 8 - Variáveis descritivas da distribuição transversal de fertilizantes para as três razões de distribuição nas quatro velocidades estudadas no protótipo de semeadora- adubadora múltipla (PSM). Santa Maria/RS, 2008. ....	47
TABELA 9 – Interações entre velocidade de deslocamento e densidade final de semeadura de soja para os dois protótipos. Santa Maria/RS, 2008. ....	61
TABELA 10 - Interações entre velocidade de deslocamento e densidade final de semeadura de milho para os dois protótipos. Santa Maria/RS, 2008. ....	62
TABELA 11 - Variáveis da avaliação de desempenho do protótipo de semeadora- adubadora de precisão (PSP) realizada em campo experimental. Cachoeira do Sul/RS, 2008. ....	63
TABELA 12 - Distribuição de sementes em três velocidades de deslocamento do conjunto trator/protótipo de semeadora-adubadora múltipla (PSM) para três densidades de semeadura de trigo. Santa Maria/RS, 2007. ....	65
TABELA 13 - Volume de solo mobilizado e profundidade de semeadura em três velocidades de deslocamento do conjunto trator/protótipo de semeadora-adubadora múltipla (PSM). Vacaria/RS, 2006.....	66

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Detalhes da linha de plantio do PSM montado para semeadura de precisão por disco alveolado horizontal (a) e em fluxo contínuo (b). Santa Maria/RS, 2008.....	32
FIGURA 2 - Microperfilômetro desenvolvido para determinação do perfil de solo mobilizado. Santa Maria/RS, 2007.....	41
FIGURA 3 - Determinação da profundidade de semeadura. Santa Maria/RS, 2007.....	42
FIGURA 4 - Determinação do percentual de manutenção da cobertura do solo. Santa Maria/RS, 2007.....	44
FIGURA 5 - Efeito da velocidade de deslocamento sobre o desvio médio para a cultura da soja nas quatro densidades estudadas no protótipo de semeadora de precisão (PSP), onde $x$ é a velocidade de deslocamento e $y$ o desvio médio. Santa Maria/RS, 2008.....	48
FIGURA 6 - Efeito da velocidade de deslocamento sobre o desvio médio para a cultura da soja nas quatro densidades estudadas do protótipo de semeadora múltipla (PSM), onde $y$ é o desvio médio e $x$ é a velocidade de deslocamento. Santa Maria/RS, 2008.....	49
FIGURA 7 - Efeito da velocidade de deslocamento sobre o desvio médio para a cultura do milho nas três densidades estudadas, para os dois protótipos, onde $y$ é o desvio médio e $x$ é a velocidade de deslocamento. PSP: protótipo de semeadora-adubadora de precisão; PSM: protótipo de semeadora-adubadora múltipla. Santa Maria/RS, 2008.....	51
FIGURA 8 - Espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos entre sementes de soja, em função da velocidade de deslocamento nas quatro densidades de sementes, onde $y$ é o percentual de espaçamentos e $x$ a velocidade de deslocamento ( $\text{km h}^{-1}$ ) para o protótipo de semeadora de precisão (PSP). Santa Maria/RS, 2008.....	53
FIGURA 9 - Espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos entre sementes de soja em função da velocidade de deslocamento nas quatro densidades de sementes, onde $y$ é o percentual de espaçamentos e $x$ a velocidade de deslocamento ( $\text{km h}^{-1}$ ) para o protótipo de semeadora múltipla (PSM). Santa Maria/RS, 2008.....	54
FIGURA 10 - Espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos entre sementes de milho em função da velocidade de deslocamento para o protótipo de semeadora de precisão (PSP), nas três densidades de sementes, onde $y$ é o percentual de espaçamentos e $x$ a velocidade de deslocamento ( $\text{km h}^{-1}$ ). Santa Maria/RS, 2008.....	55
FIGURA 11 - Espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos obtidos para a cultura do milho em função da velocidade de deslocamento para o protótipo de semeadora múltipla (PSM),	

nas três densidades de sementes, onde y é o percentual de espaçamentos e x a velocidade de deslocamento ( $\text{km h}^{-1}$ ). Santa Maria/RS, 2008. ....	57
FIGURA 12 - Efeito da densidade de semeadura ( $\text{sementes m}^{-1}$ ) no percentual de espaçamentos aceitáveis da cultura do milho para os protótipos de semeadora-adubadora de precisão (PSP, 11a) e múltipla (PSM, 11b), sendo x a densidade de sementes e y o percentual de espaçamentos aceitáveis. Santa Maria/RS, 2008. ....	58
FIGURA 13 - Efeito da densidade de semeadura ( $\text{sementes m}^{-1}$ ) no percentual de espaçamentos aceitáveis da cultura da soja para os protótipos de semeadora-adubadora de precisão (PSP, 12a) e múltipla (PSM, 12b), sendo x a densidade de sementes e y o percentual de espaçamentos aceitáveis. Santa Maria/RS, 2008. ....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Hipóteses.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Semeadoras para plantio direto .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Velocidade de semeadura em plantio direto .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Distribuição de plantas e produtividade das culturas.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Variáveis e tratamento de dados em avaliações de desempenho de semeadoras.....</b>	<b>26</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Descrição dos protótipos .....</b>	<b>30</b>
3.1.1 PSP .....	30
3.1.2 PSM .....	32
<b>3.2 Avaliações em pista.....</b>	<b>34</b>
3.2.1 Pista de avaliação .....	34
3.2.2 Trator agrícola .....	34
3.2.3 Sementes.....	35
3.2.4 Fertilizante.....	35
3.2.5 Variáveis avaliadas e suas determinações .....	36
3.2.5.1 Regularidade de distribuição transversal de fertilizantes .....	36
3.2.5.2 Regularidade de distribuição transversal de sementes .....	36
3.2.5.3 Regularidade de distribuição longitudinal de sementes .....	36
3.2.6 Tratamentos e análise dos dados .....	37
3.2.6.1 Regularidade de distribuição de sementes.....	37
3.2.6.2 Regularidade de distribuição de fertilizantes.....	38
<b>3.3 Avaliações em campo.....</b>	<b>39</b>
3.3.1 Áreas experimentais .....	39
3.3.2 Tratores agrícolas .....	40
3.3.3 Variáveis estudadas e suas determinações.....	41
3.3.3.1 Perfil de solo mobilizado.....	41
3.3.3.2 Profundidade de deposição de sementes .....	42
3.3.3.3 Regularidade de distribuição transversal de sementes de trigo.....	42

3.3.3.4 Sementes expostas .....	43
3.3.3.5 Capacidade de campo teórica .....	43
3.3.3.6 Manutenção da cobertura do solo .....	44
3.3.4 Tratamentos e análise dos dados .....	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Avaliações em pista.....</b>	<b>45</b>
4.1.1 Regularidade de distribuição transversal de fertilizantes .....	45
4.1.2 Regularidade de distribuição transversal de sementes .....	48
4.1.3 Regularidade de distribuição longitudinal de sementes de soja .....	52
4.1.4 Regularidade de distribuição longitudinal de sementes de milho .....	54
4.1.5 Efeito da densidade de semeadura no percentual de espaçamentos aceitáveis .....	57
4.1.6 Efeito da velocidade de deslocamento na densidade final de semeadura.....	60
<b>4.2 Avaliações a campo.....</b>	<b>62</b>
4.2.1 PSP .....	62
4.2.2 PSM .....	64
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>69</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>70</b>
<b>8 APÊNDICES .....</b>	<b>79</b>
<b>8.1 Apêndice A – Conjunto trator/protótipo de semeadora de precisão (PSP). .....</b>	<b>79</b>
<b>8.2 Apêndice B – Conjunto trator/protótipo de semeadora múltipla (PSM).. .....</b>	<b>79</b>
<b>8.3 Apêndice C – Vista geral da área experimental de Cachoeira do Sul/RS.....</b>	<b>80</b>
<b>8.4 Apêndice D – Vista geral da área experimental de Vacaria/RS.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Semear é uma prática milenar e da sua qualidade depende o sucesso e produtividade de uma cultura agrícola. Somente é possível pensar em retorno econômico e sustentabilidade dos cultivos anuais com uma semeadura bem executada. A degradação dos solos agrícolas por práticas de manejo com mobilização excessiva levou-os a exaustão, o que fez com que se buscassem alternativas conservacionistas para a prática de agricultura. Entre estas, surge o denominado sistema plantio direto. Tal sistema baseia-se na premissa básica de manutenção da cobertura do solo com resíduos vegetais, o que resultou na necessidade de máquinas capazes de implantar as culturas em tais situações.

A semeadura direta representa uma alternativa tecnológica que pode contribuir para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável em regiões onde as características edafoclimáticas permitam (GIL; ALBORNOZ, 1995), principalmente em condições de clima tropical, como no caso do Brasil. As extensas áreas agrícolas cultivadas com culturas anuais em sistema plantio direto levam a necessidade de estudos considerando o aumento da velocidade de trabalho, como forma de elevar a capacidade operacional, sem comprometer a qualidade da semeadura.

Ainda em semeadura direta, um fator que está ligado à produtividade das culturas é a quantidade e distribuição de plantas no ambiente. Diversos estudos têm apontado para a necessidade de adequação da população de plantas ao genótipo da cultura (SANGÓI et al., 2002), nível de manejo empregado (PEIXOTO et al., 1997) e condições climáticas (ALMEIDA et al., 2000). Sendo assim, para que se obtenham diferentes densidades ou populações de plantas, é necessária uma variação na regulação da semeadora, o que pode interferir na qualidade da semeadura. Quantidades diferentes de plantas por hectare resultam em espaçamentos diferentes entre plantas e em quantidades distintas de plantas por metro, o que pode influenciar na uniformidade de distribuição de sementes na linha e entre linhas da semeadora. Logo, estudar a possível interação entre densidade de semeadura e velocidade de deslocamento parece ter importância na avaliação de semeadoras-adubadoras para plantio direto.

Avaliar o desempenho de protótipos é uma ferramenta indispensável à indústria de máquinas agrícolas. Nesse momento do ciclo de vida do produto, é interessante a interação entre instituições de pesquisa e indústria. As principais saídas de tal círculo virtuoso são a melhoria dos equipamentos, com o retorno oferecido à indústria pela instituição de pesquisa

na forma de relatórios técnico-científicos, a melhoria das práticas agrícolas que envolvem máquinas e mecanização em benefício dos agricultores, e aumento da produção científica do país de uma maneira sólida, com ênfase na realidade das empresas e dos produtores rurais.

### **1.1 Hipóteses**

- i. Existe interação entre velocidade de deslocamento e densidade de semeadura na uniformidade de distribuição de sementes de semeadoras dotadas de mecanismos dosadores tipo disco alveolado horizontal, sendo que em maiores densidades de semeadura se deve reduzir a velocidade de deslocamento;
- ii. A razão de distribuição de fertilizante, expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$ , influencia na precisão de dosagem de mecanismos dosadores tipo rotor transportador helicoidal com transbordo lateral;
- iii. Os dois protótipos de semeadora-adubadora, múltipla e de precisão, apresentam desempenho semelhante, referente à distribuição de sementes e fertilizantes, quando comparadas nas mesmas condições.

### **1.2 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho de dois protótipos de semeadoras-adubadoras para plantio direto em diferentes velocidades de deslocamento, quanto à eficiência de distribuição de sementes e fertilizante, fazendo ainda dois experimentos complementares para fornecer informações à indústria sobre o desempenho global dos protótipos.

### **1.3 Objetivos específicos**

- i. Avaliar o efeito da velocidade de semeadura na distribuição de sementes de milho e soja por protótipos de semeadoras-adubadoras;

- ii. Avaliar o efeito da densidade de semeadura na distribuição de sementes de milho e soja por protótipos de semeadoras-adubadoras;
- iii. Identificar possíveis diferenças na distribuição de sementes de dois protótipos de semeadoras-adubadoras com sistemas contrastantes.
- iv. Verificar o efeito da velocidade de deslocamento e da razão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na distribuição transversal de fertilizante tipo mistura de grânulos.
- v. Estudar os protótipos em condições de campo, visando fornecer informações a indústria sobre o desempenho dos mesmos em condições de semeadura direta de soja e trigo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Semeadoras para plantio direto

Para o plantio direto são requeridas máquinas específicas para semeadura que minimizem o revolvimento de solo e remoção da cobertura vegetal. Neste contexto, as semeadoras foram as máquinas que mais sofreram modificações para operação deste sistema, devido a necessidade de realizar o corte da cobertura vegetal, a penetração do sulcador para abertura do sulco e aterramento deste com solo e palha com o mínimo de mobilização (SIQUEIRA et al., 2001).

A primeira geração de semeadoras-adubadoras para semeadura direta chegou ao Brasil no início dos anos 70, importadas de países europeus, sendo dotadas de sulcadores tipo facas rotativas (COELHO, 1998). Dallmeyer (2001), relata que grandes modificações foram sendo introduzidas nos equipamentos nas últimas três décadas, desde a rústica "Rotacaster", uma enxada rotativa de lâminas estreitas provida de caixas de distribuição de sementes e fertilizantes, projetada para a renovação de pastagens na Inglaterra, e trazida junto com a nova técnica nos anos 70.

Semeadoras de precisão, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), são máquinas cuja função é distribuir as sementes no sulco, em linha, individualmente ou em grupos, em uma densidade de semeadura pré-estabelecida. Por outro lado, semeadoras de fluxo contínuo, são definidas também pela ABNT (1987), como equipamentos que distribuem as sementes no solo de forma contínua, na linha de semeadura, sem que ocorra a individualização das sementes. Semeadoras múltiplas ou multisemeadoras, são máquinas adaptáveis para semear tanto em fluxo contínuo quanto em precisão (Reis; Forcellini, 2002).

Existem duas grandes maneiras de aperfeiçoar o estabelecimento de culturas. Em primeiro lugar, produtores e comerciantes de sementes têm a responsabilidade de fornecer sementes de qualidade; em segundo, selecionar e monitorar a maquinaria agrícola, especialmente semeadoras, para que atendam as recomendações agrônômicas das culturas (MURRAY et al., 2006). Reis; Forcellini (2006) comentam que a elevação dos custos com sementes devido a melhoria da qualidade genética dos materiais disponíveis pressiona para a

necessidade de controle da quantidade de sementes, o que pode ser conseguido com semeadoras de precisão.

Realizando a classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto, Silva (2003), concluiu que os catálogos analisados disponibilizaram informações para a seleção de pelo menos 15 características técnicas importantes para a tomada de decisão na escolha do modelo destas máquinas.

As semeadoras-adubadoras podem ser, de acordo com o chassi e acoplamento, montada ou de arrasto (BALASTREIRE, 1987). Semeadoras ditas montadas, são acopladas ao sistema hidráulico de três pontos do trator e, sendo assim, a peça principal do chassi passa a ser constituída pela barra porta-ferramentas onde serão acoplados os sistemas de distribuição de fertilizantes, sementes e os mecanismos rompedores do solo. A máquina de arrasto possui um chassi, formando um quadro resistente onde são montados os componentes e uma barra de tração, a qual serve de suporte para engate ao trator.

As semeadoras podem ser classificadas conforme a forma de distribuição de sementes. De acordo com a ABNT (1994), semeadoras de precisão em linha são máquinas cuja função é distribuir as sementes no sulco, em linha, individualmente ou em grupos, em uma densidade de semeadura pré-estabelecida. Esta densidade é determinada por um mecanismo dosador de sementes, que as capta no reservatório transferindo-as ao sulco de semeadura (AENOR, 1990). Já as semeadoras de fluxo contínuo em linha, segundo a ABNT (1987), são equipamentos que distribuem as sementes no solo de forma contínua, na linha de semeadura, sem que ocorra a individualização das sementes; são comumente empregadas para culturas de sementes miúdas, com elevada densidade de sementes.

De acordo com Murray et al. (2006) os componentes de uma semeadora podem ser classificados em: componentes de ataque inicial ao solo; componentes de abertura do sulco e controle de profundidade; componentes de dosagem de sementes e componentes de condução das sementes. O autor comenta que componentes idênticos podem ter funções diferentes, como por exemplo, um disco liso, que pode ser empregado para cortar resíduos culturais, abrir ou fechar o sulco.

Os componentes de ataque ao solo incluem disco de corte de palha e sulcador para deposição de fertilizante, existindo basicamente dois tipos de sulcadores: de discos ou hastes, sendo que estes últimos tem sido usados com mais frequência, pela maior capacidade de penetração no solo (MODOLO et al., 2008). Os autores explicam que a transferência de força para os sulcadores é realizada por molas helicoidais, que também fazem a regulação da profundidade de deposição de fertilizantes. A manutenção da cobertura do solo, premissa

básica do sistema plantio direto, depende da qualidade, disposição e regulação desse sistema. O disco de corte e a haste sulcadora, que são necessários para o corte da palha e abertura de um sulco para deposição de fertilizante e sementes, em geral mobilizam muito o solo (IAPAR 2002).

Os componentes de abertura do sulco e controle da profundidade são de extrema importância, estando muitas vezes relacionados à produtividade final da cultura (MAHL et al., 2004) e a demanda de tração do conjunto em função do número de unidades em contato com o solo (MODOLO et al., 2005).

## **2.2 Velocidade de semeadura em plantio direto**

Dentre os diversos fatores que afetam a qualidade do processo de semeadura em sistema de plantio direto está a velocidade de deslocamento. A principal questão, está relacionada à demanda de trabalho por ocasião do plantio de grandes culturas, nas quais o período recomendado para execução da atividade é restrito, determinado principalmente pelas condições ambientais. Nesse caso, expressivamente as condições de umidade do solo e recomendações agronômicas de período de semeadura para cada cultura agrícola. Aliar qualidade na semeadura com capacidade operacional capaz de suprir a demanda de trabalho é o principal ponto a ser equalizado.

A elevação na velocidade de semeadura aumenta a demanda de tração (FURLANI et al., 2006). Os autores estudaram as velocidades de 4,6, 6,2 e 8,1 km h<sup>-1</sup> e cargas de fertilizante no reservatório de uma semeadora e concluíram que a maior potência exigida no motor foi observada na maior carga e velocidade. Estudaram ainda o consumo horário de combustível do trator, observando que o aumento nas velocidades e cargas resultou maior consumo, evidenciando que maiores velocidades e cargas exigem maior potência do motor e, conseqüentemente maior consumo de combustível. Silveira et al. (2005), estudaram as velocidades de 5, 6 e 7 km h<sup>-1</sup>, concluindo que a demanda de potência média, potência por linha de semeadura e potência específica por profundidade aumentou com o aumento na velocidade de deslocamento.

Modolo et al. (2004) estudando duas velocidades (5,2 e 8,4 km h<sup>-1</sup>) e de maneira similar aos trabalhos descritos no parágrafo anterior, concluíram que o incremento na velocidade de deslocamento aumentou a potência média na barra. Entretanto, a variação da

velocidade de deslocamento não influenciou os parâmetros: força de tração média na barra, profundidade de semeadura e uniformidade de distribuição de sementes.

Objetivando estudar o desempenho de uma semeadora-adubadora, operando em velocidades de 5,2 e 7,3 km h<sup>-1</sup> sobre a palhada da cultura do milho, Branquinho et al. (2004) verificaram que os manejos na cultura do milho e a velocidade de deslocamento do conjunto trator/semeadora-adubadora não influenciaram no número médio de dias para a emergência das plântulas, na distribuição longitudinal de sementes e na produtividade da soja. Furlani et al. (1999), estudando as velocidades de 3 e 5 km h<sup>-1</sup>, concluíram que a velocidade de semeadura de 3 km h<sup>-1</sup> mostrou resultados significativamente superiores para o estande final de plantas da cultura do milho.

Quanto à distribuição de sementes, Silva; Silveira (2002), concluíram que o número de sementes de milho na linha de semeadura é afetada pelas velocidades da semeadora-adubadora de 9 e 11,2 km h<sup>-1</sup>, que reduzem a quantidade de sementes distribuídas por metro em relação às velocidades de 3 e 6 km h<sup>-1</sup>. Os autores observaram ainda que as velocidades de operação da semeadora-adubadora de até 6 km h<sup>-1</sup> e a adubação realizada a 10 cm de profundidade, propiciam maior estande de plantas, quantidade de espigas e produtividade, em comparação com as velocidades de 9 e 11,2 km h<sup>-1</sup>.

Pesquisando três velocidades de deslocamento (4,4; 6,1 e 8,1 km h<sup>-1</sup>) e duas condições de solo, Mahl et al. (2004), concluíram que nas duas menores velocidades de semeadura a eficiência na distribuição de sementes de milho foi semelhante e significativamente melhor que na velocidade de 8,1 km h<sup>-1</sup>. A maior velocidade proporcionou menor porcentual de espaçamentos normais e aumento no porcentual de espaçamentos múltiplos e falhos, bem como maior coeficiente de variação. A melhor acurácia na distribuição de sementes ocorreu na menor velocidade de deslocamento.

A elevação na velocidade de deslocamento afeta a distribuição de sementes (CANOVA et al., 2007). Avaliando as velocidades de deslocamento de 6,0, 8,0 e 9,0 km h<sup>-1</sup> associadas a modificações em mecanismos dosadores de sementes, os autores corroboraram a afirmação de que aumentos na velocidade de deslocamento interferem na distribuição de sementes, sendo que a menor velocidade proporcionou densidades de semeadura mais próximas da densidade almejada. Estes resultados estão em acordo com os apresentados por Cortez et al. (2006), que estudou as velocidades de 4,24, 4,8 e 6,0 km h<sup>-1</sup> para a cultura da soja. Os autores constataram que a elevação da velocidade de deslocamento diminuiu o número de espaçamentos aceitáveis em uma semeadora-adubadora pneumática, no sentido de que quanto maior foi a velocidade, menor a quantidade de espaçamentos aceitáveis e maior a

quantidade de espaçamentos falhos. Entretanto, Klein et al. (2002), estudando os efeitos da velocidade de semeadura da soja, apresentaram resultados de 24%, 38% e 38% para espaçamentos falhos, duplos e aceitáveis, respectivamente, e afirmam que o aumento de velocidade não afetou o percentual pesquisado. No entanto, Mercante et al. (2005) estudaram duas semeadoras nas velocidades de 5,2 e 8,4 km h<sup>-1</sup>, concluindo que a uniformidade de distribuição não foi afetada significativamente pela velocidade; os autores encontraram tendência de aumento no espaçamento entre plantas, com o aumento da velocidade de deslocamento. Esta última observação é pertinente a de Lopes et al. (1999), que atestam que a velocidade tem influência na distribuição das sementes, ou seja, que o espaçamento se eleva na medida em que a velocidade de deslocamento aumenta, o que causa redução no número de plantas ha<sup>-1</sup>. Esta redução pode ser crucial na produtividade conforme abordado por Nielsen (2001) e Merotto Junior et al., (1999).

A qualidade da semeadura e produtividade das culturas são fortemente influenciadas pela velocidade de deslocamento em semeadoras de precisão (IVANČAN et al., 2004). Velocidades mais elevadas aumentam a capacidade operacional do equipamento, o que reduz custos operacionais, mas podem comprometer o sucesso da semeadura. Celik et al. (2007), estudaram velocidades de deslocamento para a cultura do girassol, e concluíram que aumentos na velocidade de semeadura de 3,6 para 7,2 km h<sup>-1</sup> causaram diminuição no tempo para emergência da cultura. Estudando a cultura do milho em três locais e por dois anos LIU et al. (2004), verificaram que o aumento de 7,2 para 11,3 km h<sup>-1</sup> ocasionou uma redução na produtividade de 0,4 Mg ha<sup>-1</sup> na média dos anos e locais. Os autores afirmam que variabilidade e falhas na emergência da cultura ocasionados pela elevação da velocidade são causas de queda no rendimento. A desuniformidade na emergência e variabilidade de espaçamentos entre plantas são causas de redução no rendimento de culturas agrícolas (NIELSEN, 2001; MEROTTO JUNIOR et al., 1999). Mello et al. (2003), estudaram velocidades de semeadura para a cultura do milho e concluíram que para o mecanismo dosador tipo discos alveolados a melhor distribuição de sementes ocorreu na velocidade de 6,2 km h<sup>-1</sup>.

Estudando a cultura do algodão, Moody et al. (2003), verificaram aumento na variabilidade do espaçamento entre sementes com o aumento da velocidade de 4,8 para 9,7 km h<sup>-1</sup>. Os autores mencionam que este resultado era esperado, devido ao aumento da velocidade rotacional do mecanismo dosador. Silveira et al. (2005) avaliaram o espaçamento longitudinal de plantas de milho em três velocidades de deslocamento de duas semeadoras-adubadoras de precisão. A distribuição longitudinal de plantas não foi uniforme em mais da

metade dos espaçamentos medidos tanto na semeadora com mecanismo de distribuição de sementes pneumático quanto na semeadora com mecanismo de discos horizontais, nas três velocidades estudadas (3,0; 4,5 e 7,0 km h<sup>-1</sup>). Concluíram ainda que a porcentagem de espaçamentos entre plantas considerados normais foi melhor na semeadora pneumática, principalmente quando a velocidade de deslocamento foi igual ou inferior a 4,5 km h<sup>-1</sup>.

Estudando as velocidades de semeadura de 3, 6, 9 e 11,2 km h<sup>-1</sup> na cultura do milho em plantio direto, Silva et al. (2000) concluíram que o número de sementes de milho na linha de semeadura é afetada pelas velocidade da semeadora-adubadora de 9 e 11,2 km h<sup>-1</sup>, que reduzem a quantidade de sementes distribuídas por metro em relação às velocidades de 3 e 6 km h<sup>-1</sup>. Outra importante afirmação dos autores é a de que as menores velocidades proporcionaram melhor estande de plantas e maior produtividade. Weirich Neto et al. (2001) estudaram a distribuição de sementes de feijão em sementes classificadas dimensionalmente em três velocidades. Os autores encontraram interação entre os fatores velocidade e classificação dimensional da semente. Com o aumento da velocidade houve decréscimo do índice de enchimento do mecanismo dosador de sementes, exceto para as sementes classificadas como grandes que apresentaram o índice de enchimento próximo do esperado em todas as velocidades estudadas.

Avaliando o desempenho de uma semeadora-adubadora em plantio direto em um solo basáltico do estado do Paraná, Casão Junior et al. (2000), encontraram percentuais de espaçamentos aceitáveis para a cultura do milho de 68,6% para a velocidade de 4 km h<sup>-1</sup> e de 47,2% para a velocidade de 8,5 km h<sup>-1</sup>. Conseqüentemente, houve aumento no número de espaçamentos falhos e múltiplos com elevação da velocidade. Na cultura da soja, os autores observaram redução significativa na densidade de plantas (plantas ha<sup>-1</sup>) na maior velocidade.

Os trabalhos de efeito da velocidade de deslocamento em semeadoras de fluxo contínuo são encontrados em menor número na literatura. No estado do Rio Grande do Sul são semeados em fluxo contínuo gramíneas de estação fria como aveia, trigo e centeio e o arroz irrigado. Teoricamente, estas culturas por apresentarem capacidade de perfilhamento toleram maiores variações na densidade de plantas, como no caso da aveia (ALMEIDA; MUNDSTOCK, 2001) e do trigo (COMISSÃO..., 2005). Debiasi et al. (2007), estudaram duas velocidades para a cultura da aveia preta, concluindo que o aumento da velocidade de semeadura de 3,6 para 8,2 km h<sup>-1</sup> não afetou negativamente a população de plantas e a produtividade de grãos de aveia preta, assim como não modificou os componentes do rendimento, à exceção do número de cariopses por panícula.

Uma observação importante, diz respeito ao número de velocidades estudadas em experimentos com semeadoras-adubadoras. Quando estudadas três ou mais velocidades, independente da variável resposta estudada há o subsídio para a análise de regressão linear em caráter quantitativo, expressando o resultado em funções matemáticas e não por teste de separação de médias, de maneira qualitativa (STORCK et al., 2001).

A profundidade de semeadura também influencia o estabelecimento das culturas, afetando a velocidade de emergência e a homogeneidade de distribuição das plantas (SORDI, 2001; ÖZMERZI et al., 2002; SILVA et al., 2004). Portella et al. (1997), estudaram as velocidades de 5 e 7 km h<sup>-1</sup> para a cultura da soja e 4,5, 6,5 e 8,0 km h<sup>-1</sup> para milho. Neste trabalho, os autores afirmam que a maior velocidade de trabalho influenciou tanto as semeadoras de discos quanto as de facão, em relação à profundidade trabalhada. Em soja, houve reduções de até 18% da profundidade com o aumento da velocidade. Em milho, todas as máquinas avaliadas mantiveram ou aumentaram a profundidade com o aumento da velocidade. Por outro lado, Casão Junior et al. (2000), não observaram diferença significativa na profundidade de deposição de sementes de uma semeadora-adubadora nas velocidades de 4,5 e 8 km h<sup>-1</sup>.

### **2.3 Distribuição de plantas e produtividade das culturas**

As consequências de uma sub-otimização do estabelecimento das culturas na lucratividade da propriedade, incluem redução de rendimento e supressão de invasoras, adição de custos de replantio, além de efeitos diretos e indiretos de uma germinação prejudicada (BLACKET, 1987).

A maximização do potencial produtivo das plantas cultivadas depende da duração do período de interceptação da radiação solar incidente, da eficiência de uso da radiação interceptada na fotossíntese e da distribuição adequada dos fotoassimilados produzidos para atender às diferentes demandas (SANGÓI et al., 2002). Aumentando-se o número de plantas por unidade de área aumenta-se a eficiência de interceptação da radiação solar (TOLLENAAR et al., 1997). Para a cultura do milho, Sangói (2001) afirma que a densidade de plantas é uma das práticas culturais que mais interfere no rendimento de grãos, em virtude da pequena capacidade de emissão de afilhos férteis da cultura, da sua organização floral monoica e do curto período de florescimento.

As duas formas básicas de modificar o arranjo de plantas são através de alterações na densidade de semeadura e espaçamento entre linhas. Para a cultura do milho, o interesse em reduzir o espaçamento entre linhas tem aumentado nas regiões brasileiras com estação estival de crescimento reduzida, devido a vantagens potenciais, tais como a maior eficiência de uso da radiação solar (SANGÓI et al., 2001). Através do aumento na eficiência da interceptação de luz e do melhor aproveitamento da água e nutrientes disponíveis, acréscimos na produtividade podem ser obtidos pelo aumento da densidade de semeadura associado à redução do espaçamento entre linhas (PALHARES, 2003). Para a cultura do milho, a elevação do rendimento de grãos com a redução do espaçamento entre linhas é atribuída à melhor eficiência na interceptação de radiação e ao decréscimo de competição entre plantas por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição mais equidistante das plantas (JOHNSON et al., 1998).

Estudando a resposta de híbridos simples de milho a redução do espaçamento entre linhas, Argenta et al. (2001), concluiu que a resposta do rendimento de grãos à redução do espaçamento é influenciada pelo híbrido e pela densidade das plantas. Em sistema plantio direto, Pereira et al. (2008), concluiu que, isoladamente, as práticas de manejo de redução do espaçamento e densidade de plantas não alteram a produtividade do milho. Os autores verificaram que a associação das práticas de manejo, redução no espaçamento e aumento na população de plantas, resultou em significativo incremento na produtividade de grãos de um dos híbridos estudados. A afirmação anterior corrobora a de outros autores, que afirmam que a potencialização no rendimento pelo arranjo de plantas é variável de acordo com a base genética do híbrido (ARGENTA et al., 2001; MARCHÃO et al., 2005).

Para a cultura do milho safrinha, Shioga et al. (2004), afirma que a densidade de plantas praticada deve ser entre 44 e 55 mil plantas  $ha^{-1}$ . Os híbridos mais modernos de milho tendem a responder mais positivamente à densidade de plantas pelo maior número de grãos por espiga, compensando a menor massa individual de cada grão (ECHARTE et al., 2000; SANGÓI et al., 2006). Estudando o efeito da densidade de plantas em três híbridos de milho de diferentes décadas, Sangói et al. (2006), verificaram resposta curvilínea quanto ao rendimento de grãos para todos os híbridos com aumento da densidade de plantas. Incrementos de 25 para 100 mil plantas  $ha^{-1}$ , resultaram em aumentos significativos no rendimento de grãos.

Avaliando o efeito da densidade de plantas e espaçamento entre linhas no desempenho de cultivares de milho desenvolvidas pela Embrapa, Teixeira et al. (2006), concluíram que a variação de densidade de 40 até 90 mil plantas  $ha^{-1}$  proporcionou rendimento de grãos de

milho diferenciado e a amplitude de variação oscilou conforme o genótipo. Quanto ao espaçamento entre linhas, os autores verificaram que a redução de 0,8 para 0,4 m entre linhas ocasionou elevação no rendimento de grãos independente do material genético. Andreoli et al. (2002), estudaram a influência da germinação da semente associada a densidade de semeadura no estabelecimento do estande e na produtividade de milho. Os resultados mostraram que houve aumento linear na produtividade de grãos com aumento da densidade de plantas de cerca de 30 para 65 mil plantas  $ha^{-1}$  em dois anos de estudo. Os autores concluíram que aumentos na densidade de semeadura não compensam o uso de sementes de baixa qualidade.

A soja apresenta características de alta plasticidade, ou seja, capacidade de se adaptar às condições ambientais e de manejo, por meio de modificações na morfologia da planta e nos componentes do rendimento. A forma com que tais modificações ocorrem pode estar relacionada com fatores como a população de plantas e espaçamento entre linhas (PIRES et al. 2000). Os autores concluíram que a utilização de 400 mil plantas  $ha^{-1}$  diminui a perda de potencial produtivo durante a ontogenia, mas não resulta em rendimentos ao final do ciclo superiores aos obtidos com 300 mil plantas  $ha^{-1}$ . O uso de arranjos de plantas com menor espaçamento e população de plantas proporciona menor competição intraespecífica, resultando em maior rendimento de grãos, ocasionado pelo maior número de legumes férteis  $m^{-2}$  associado ao maior peso do grão (RAMBO et al., 2003).

O espaçamento entre plantas influencia diretamente o fechamento do dossel da cultura da soja (HEIFFIG et al., 2006). Ainda segundo os autores, certos materiais genéticos apresentam alta plasticidade, sendo que o índice de área foliar aumenta com a elevação da densidade de plantas. Normalmente a soja é cultivada em arranjos de plantas que combinam espaçamentos entre linhas de 0,4 ou 0,5 m e densidades de plantas de 400 mil plantas  $ha^{-1}$  (RAMBO et al., 2004).

Estudando a resposta fisiológica de genótipos de soja à densidade de plantas, Gan et al. (2002) sugere que programas que visam maximizar o rendimento de grãos devem prever o uso de elevadas densidades de plantas. Ball et al. (2000) reporta que a elevação da densidade de plantas resulta em redução do rendimento por planta e aumento no rendimento por unidade de área.

Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação técnica para a cultura da soja é de 300 mil plantas  $ha^{-1}$ , tolerando-se variações de 20% neste valor, ou seja, a faixa recomendada é de 240 a 360 mil plantas  $ha^{-1}$  e espaçamentos entre linhas de 0,20 a 0,50 m (REUNIÃO..., 2006). Estudando épocas de semeadura e densidade de plantas em soja com relação a componentes do rendimento e produtividade, Peixoto et al. (2000), concluíram que

os caracteres componentes do rendimento apresentam variações entre eles, com efeito de compensação no sentido de uniformizar o rendimento de grãos, entre cultivares, densidades e época de semeadura. Apenas para a época de semeadura considerada safrinha, houve elevação do rendimento com aumento da população de plantas de 10 para 30 plantas  $m^{-1}$ . Considerando o espaçamento entre linhas usado pelos autores (0,5 m), podemos constatar que as densidades testadas estão bastante abaixo dos experimentados em outros trabalhos anteriormente citados. Os autores afirmam que, as respostas da soja à variação no espaçamento e densidade de plantas não são, via de regra, consistentes, variando de ano para ano e em função de cultivares e das condições ambientais.

Na publicação intitulada Tecnologias de produção de soja – Paraná, A EMBRAPA (2007) relata que em função de avanços nos sistemas de semeadura, como maior precisão das semeadoras, surgimento de novas cultivares, uso de cobertura vegetal do solo e da semeadura direta, entre outros fatores, a população padrão de plantas de soja foi reduzida nos últimos anos, de 400 mil para, aproximadamente, 320 mil plantas  $hectare^{-1}$ .

Em 1999, afirmava-se que o uso de populações de plantas muito acima da recomendada (400 mil plantas  $ha^{-1}$ ), além de não proporcionar acréscimos no rendimento de grãos de soja, pode acarretar riscos de perdas por acamamento e pelo aumento do custo de produção (REUNIÃO..., 1999). Em 2004 não houve alteração na recomendação, sendo mantida a população de 400 mil plantas  $ha^{-1}$  (REUNIÃO..., 2004). De acordo com a EMBRAPA (2008), a soja é uma espécie que apresenta uma grande plasticidade quanto à resposta ao arranjo espacial de plantas, variando o número de ramificações e de vagens e grãos por planta e o diâmetro do caule, de forma inversamente proporcional à variação na população de plantas. Variações entre 200 e 500 mil plantas  $ha^{-1}$ , normalmente, não influenciam o rendimento de grãos ou o faz muito pouco, aumentando ou reduzindo, dependendo de diversos fatores. Entretanto, Dutra et al. (2007) afirmam que em trabalhos recentes com cultivares transgênicas e convencionais demonstrou que a ampla maioria dos dados aponta que o uso de populações maiores do que 300 mil plantas  $ha^{-1}$  não reduz, mas mantém ou até aumenta o rendimento de grãos. Apenas um trabalho contrariou esta tendência.

## 2.4 Variáveis e tratamento de dados em avaliações de desempenho de semeadoras

O mecanismo dosador de sementes consiste no órgão mais importante da semeadora, logo, a grande maioria dos estudos voltados à avaliação do desempenho de tais máquinas se concentra no estudo de tais mecanismos. Com a evolução tecnológica, os laboratórios de avaliação de mecanismos dosadores passaram a evoluir na mesma proporção, substituindo métodos de aquisição de dados mecânicos por eletrônicos.

Uma forma comumente usada para avaliar o espaçamento entre sementes consiste no uso de uma esteira engraxada que propicie a correta deposição e fixação das sementes, as quais posteriormente têm seus espaçamentos medidos (KACHMAN; SMITH, 1995). Entretanto, este tipo de aquisição de dados esbarra em diversos problemas, como o comprimento da esteira e conseqüentemente o tamanho da amostra, além do elevado tempo necessário para a tomada dos espaçamentos entre as sementes coletadas.

A International Organization for Standardization (ISO, 1984) e Kachman; Smith (1995) recomendam que sejam usados como critérios para avaliar a distribuição de sementes o índice de aceitáveis, índice de múltiplos e índice de falhos, índice de qualidade de alimentação e precisão além da média e coeficiente de variação da população de espaçamentos entre sementes. De acordo com ISO (1984) as populações de espaçamento são distribuídas em classes de frequência, com amplitude de  $0,1 \text{ XREF}$ , onde XREF corresponde ao espaçamento teórico de cada máquina, obtido por cálculo ou indicado pelo fabricante. Os coeficientes de variação (CV) são calculados sobre os espaçamentos contidos no intervalo de  $0,5$  a  $1,5 \text{ XREF}$ . Entretanto, se os dados são estudados por ABNT (1984), cada população é distribuída de modo semelhante ao tratamento ISO, porém os coeficientes de variação (CV) são calculados sobre toda a população e as porcentagens de espaçamentos normais, determinadas no mesmo intervalo de  $0,5$  a  $1,5 \text{ XREF}$ .

Para quantificar a regularidade de distribuição transversal, Coelho (1996), propõe que de posse dos dados obtidos pela contagem das sementes coletadas, calcule-se a densidade média de semeadura da máquina (Q) considerando-se o número total de unidades de semeadura que compõe a mesma e a densidade média de semeadura (q) de cada uma das unidades da máquina. Logo, pode-se estimar o desvio da média (DM) de cada unidade de semeadura em relação à densidade global da máquina, pela seguinte equação:  $DM\% = (Q - q)/Q \times 100$ .

Um estudo clássico da interpretação de dados em avaliação de semeadoras é o de Kurachi et al. (1989). Os autores utilizaram populações de 250 espaçamentos entre sementes de milho obtidos em bancada de ensaios e submeteram tais dados a diferentes tratamentos. Foi investigado pelos autores o efeito do tratamento, segundo critérios preconizados pelos textos de normas de ensaios da ISO (1983a, b), Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984), e também do método adotado experimentalmente pela Divisão de Engenharia Agrícola/laboratório de ensaios de semeadoras e de adubadoras/seção de projetos e materiais. Os autores identificaram grandes diferenças nos valores de espaçamentos aceitáveis e coeficientes de variação de acordo com o modo avaliado.

De acordo com o texto da norma Une 68-081-88 (1988) equivalente a ISO 9256/1 (1984), os valores diferentes do XREF devem ser agrupados em intervalos de classe iguais a  $0,1 \text{ XREF}$  divididos em valores acima e abaixo do XREF, tendo-se dessa forma os intervalos ao redor do XREF:  $[0,9\text{XREF}, \text{XREF}]$ ;  $[\text{XREF}, 1,1\text{XREF}]$  etc. confecciona-se então, uma tabela de frequência com os seguintes intervalos:  $[0 < \text{XREF} < 0,5]$ ;  $[0,5 < \text{XREF} < 1,5]$ ;  $[1,5 < \text{XREF} < 2,5]$ ;  $[2,5 < \text{XREF} < 3,5]$ ;  $[3,5 < \text{XREF} < \infty]$ .

Alguns estudos têm desenvolvido sensores no intuito de substituir o uso da esteira adesiva para a avaliação do desempenho de mecanismos dosadores de sementes. A maioria dos sistemas relatados na literatura está baseado em diodos emissores de luz (LED's) e foto-sensores que captam a passagem da semente e transmitem o sinal a um sistema de aquisição de dados (KOCHER et al., 1998; LAN et al., 1999). Outros trabalhos usaram a análise cinética de imagens para estudar a distribuição de sementes por dosadores (HU et al., 2000).

Testando o uso de um sensor ótico-eletrônico para aquisição de dados de espaçamentos entre sementes de tamanho pequeno, variando de 1,8 a 4,5 mm de diâmetro, Lan et al. (1999), compararam o uso de tal sensor com uma esteira engraxada, constatando correlação entre os espaçamentos entre sementes obtidos pelo sensor e pelas medições realizadas direta e manualmente na esteira.

Medidas a campo de espaçamentos entre plantas podem ser usadas para medir a acurácia de dosadores de sementes, entretanto, os dados obtidos podem não ser uma representação do real desempenho da semeadora. Lan et al. (1999), afirmam que este tipo de medição está sujeito a influência de condições ambientais, qualidade de preparação do leito de semeadura, capacidade de emergência da cultura e de invasoras que podem comprometer a fidelidade dos dados gerados.

A necessidade de estabelecer combinações de fatores para tornar mais completa a avaliação de desempenho de semeadoras, ou seja, os chamados tratamentos em estatística

experimental sugerem que alguns fatores devem ser considerados. Kurachi et al. (1989), citam os fatores nível de sementes no reservatório; velocidades simuladas de deslocamento; velocidade de operação do mecanismo dosador, regulagens básicas do mecanismo (dosagem) e posições do mesmo ou do equipamento ensaiado em relação ao solo.

De acordo com SINGH et al. (2005), um parâmetro comumente utilizado para avaliar a uniformidade de distribuição de sementes por semeadoras é o coeficiente de variação (CV). O CV é dado pelo desvio padrão da média amostral dividido pela média sendo expresso em percentual (STORCK et al., 2000). Pequenos valores de CV são indicativos de alta uniformidade de distribuição tanto de sementes quanto de fertilizantes.

Maleki et al. (2006), apresentaram um novo método para avaliar a eficiência de distribuição de sementes por semeadoras ou comparar sistemas de dosadores de sementes. Os autores denominaram tal índice de coeficiente de uniformidade ( $U_c$ ), e sugeriram que o mesmo pode ser uma alternativa ao que chamaram de método rotineiro, que avalia a uniformidade pelo coeficiente de variação, que julgam falho pela variação induzida pela amostragem ao acaso. O  $U_c$  baseia-se no método “least absolute deviation” que possui a propriedade de ser menos sensível a dados periféricos (outlying’s) e variações entorno da média. Alves (2001), afirma que o “Least Absolute Deviation” não requer a hipótese de normalidade da distribuição dos erros para que o estimador seja consistente.

Os sulcadores podem afetar a distribuição de sementes dentro do sulco de semeadura. Visando quantificar este efeito. Karayel; Özmerzi (2006), estudaram um método denominado área de distribuição de sementes. Foi caracterizada pelos autores a profundidade de deposição e distância de sementes que se afastam lateralmente ao sentido da linha de deslocamento. Por métodos matemáticos de equações elípticas e integrais, os autores concluíram que os métodos podem determinar com boa precisão bidimensional a distribuição de sementes no campo, e este fato subsidia o estudo de efeitos de mecanismos dosadores contrastantes.

Além da distribuição de sementes, existe uma série de outros fatores que podem ser estudados em avaliação de desempenho de semeadoras-adubadoras. Estudando o desempenho de duas semeadoras-adubadoras em solos argiloso, Casão Júnior et al. (2000), estudaram dosagem de fertilizantes e sementes através do desvio da média e coeficiente de variação, estande inicial de plantas e emergência de trigo, corte de palha, perfil de solo mobilizado, abertura, cobertura e compactação do sulco e demanda energética das semeadoras.

Estudando o desempenho de uma semeadora-adubadora em dois solos com diferentes coberturas vegetais, Oliveira et al. (2000), utilizaram como variáveis resposta o número de sementes distribuídas, o estande final, a profundidade de plantio e a distribuição longitudinal

de sementes. A uniformidade de distribuição longitudinal foi avaliada pela porcentagem de espaçamentos aceitáveis, duplos e falhos e pelo coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes.

Comparando o uso de um novo sulcador com o usual duplo disco, Vamerali et al. (2006) usaram como variáveis resposta profundidade de semeadura, índice de emergência, rugosidade superficial, manutenção da cobertura do solo, resistência do solo à penetração e crescimento radicular das plantas de milho. A manutenção da cobertura do solo foi expressa em um índice de incorporação de resíduos (RI – residue incorporation). A emergência de plantas foi acompanhada até os 25 dias após a emergência DAE (dias após a emergência), sendo que para visualização dos resultados foram realizadas análises de regressão linear, expondo os coeficientes das equações e de determinação ( $r^2$ ).

Para avaliar o efeito de resíduos vegetais na semeadura direta do milho, Tourn et al. (2003), empregam um índice denominado percentual de sementes perdidas (percentual seed loss) determinado em função do número de plantas emergidas e expostas por metro e potencial germinativo das sementes. Os autores estudaram ainda o que denominaram de eficiência de implantação, de acordo com os parâmetros média, desvio padrão, coeficiente de variação e percentual de sementes perdidas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em duas etapas, sendo que para tal foram realizados três experimentos: um em pista de avaliação e dois em áreas experimentais em condições de campo. Os experimentos a campo visaram adicionar subsídio quanto à avaliação dos protótipos de semeadoras-adubadoras em função da velocidade de deslocamento, enquanto que o experimento em pista teve como principal alvo estudar o efeito de velocidades de semeadura e densidades de plantas ou razões de distribuição de fertilizantes na qualidade de distribuição destes dois insumos.

#### 3.1 Descrição dos protótipos

Para facilitar a leitura e compreensão, os protótipos de semeadoras-adubadoras serão apenas designados: PSP, referindo-se ao protótipo de semeadora-adubadora direta de precisão, e PSM quando se trata do protótipo de semeadora-adubadora direta múltipla.

Ambas as semeadoras são próprias para o sistema plantio direto, com tração completamente de arrasto pela barra de tração do trator. Os espécimes avaliados foram os primeiros produzidos pela empresa, e vinham sendo submetidos a testes a campo em diversas regiões do estado do Rio Grande do Sul.

##### 3.1.1 PSP

O PSP avaliado foi o modelo Victória 3600, marca Stara<sup>1</sup>, fabricado no ano de 2007. Demais características técnicas são apresentadas na Tabela 1.

---

<sup>1</sup> A citação de marcas comerciais não implica na indicação das mesmas pelo autor.

**Tabela 1 - Principais características do PSP. Santa Maria/RS, 2008.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição<sup>1</sup></b>
Reservatórios de fertilizante e sementes	Polietileno alta densidade, capacidade de 1.550 kg para fertilizante e 50 kg em cada linha para semente;
Largura útil	3,6 m
Massa total	4000 kg
Culturas Recomendadas	Soja, milho, feijão, algodão, sorgo e girassol
Sistema de distribuição fertilizante	Rosca-sem-fim, montado paralelamente a linha de plantio
Sistema de distribuição de sementes	Disco alveolado (distribuidor horizontal)
Sistema de acoplamento	Cabeçalho articulável com fuso para regulagem de altura, caixa de ferramentas acoplada no mesmo.
Sistema de rodado	Lateral, acionado por cilindro; 04 pneus 7.50x16 de 12 lonas
Sistema de transmissão	Acionada através eixos-cardãs paralelos ao sentido de deslocamento
Disco de corte de palha	Liso, com 0,51 m de diâmetro
Sulcador de fertilizante	Facão
Sulcador de semente	Disco duplo defasados, com 0,4 e 0,39 m de diâmetro
Tipo de linhas	Pantográfica para fertilizante e pivotada para semente
Espaçamento e número de Linhas	Nove linhas espaçadas em 0,45 m

<sup>1</sup>dados informados pelo fabricante.

O protótipo possuía nove linhas espaçadas em 0,45 m, com diferentes possibilidades de regulagens, visto que as barras porta-ferramentas possibilitam o deslocamento transversal das linhas de plantio. O chassi é do tipo monobloco, com cabeçalho articulável, sistema de rodados com 4 pneus 7.50x16 individuais dentro do corpo da máquina em sistema que distribui o peso conforme as ondulações do terreno. O sistema de levantamento hidráulico é constituído por um pistão central. A plataforma de acesso é em aço expandido.

Os sulcadores de fertilizantes são pivotados, tipo facão, com 0,10 m de espessura acoplados à barra porta-ferramentas dianteira juntamente com os discos de corte, e possuem um sistema que permite o seu deslocamento longitudinal. Cada um destes dispõe de mola

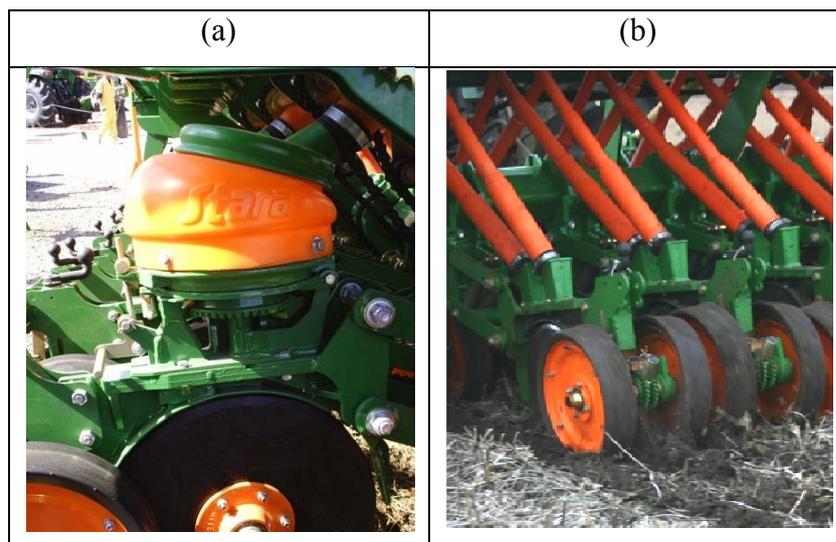
individual para ajuste da pressão e profundidade de trabalho. Os sulcadores de semente são do tipo duplo-disco defasado, e na máquina pivotada as molas são verticais.

O sistema de dosagem de fertilizante é do tipo rotor transportador helicoidal (rosca sem fim), por transbordo, individual para cada linha de plantio posicionado paralelamente ao sentido de deslocamento da máquina. O mecanismo dosador de sementes é do tipo disco alveolado horizontal, sendo que as linhas de semente também são do tipo pivotadas. As rodas compactadoras são em “V”, com sistema de regulagem da pressão exercida sobre a linha de plantio, além de também ter mecanismo de ajuste do ângulo de ataque em relação ao sulco.

### 3.1.2 PSM

O PSM avaliado foi o modelo Prima 3910, marca Stara, fabricado no ano de 2007.

Para culturas de verão, o protótipo é equipado com dosadores de sementes tipo disco alveolado horizontal, dotados de reservatório tipo individual tipo “pipoqueira”, sendo a alimentação feita diretamente do reservatório principal (Figura 1). As unidades, tanto de semente quanto de fertilizante são do tipo pantográfico. As principais características do PSM são apresentadas na tabela 2, e o conjunto trator/PSM pode ser visualizado no apêndice B.



**Figura 1 - Detalhes da linha de plantio do PSM montado para semeadura de precisão por disco alveolado horizontal (a) e em fluxo contínuo (b). Santa Maria/RS, 2008.**

**Tabela 2 - Principais características do PSM. Santa Maria/RS, 2008.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição<sup>1</sup></b>
Reservatórios de fertilizante e semente	Polietileno alta densidade, capacidade de 1576 kg para fertilizante e 777 kg para semente; na linha da semente, reservatórios individuais (pipoqueiras) de 3,5 kg;
Culturas recomendadas.	Soja, milho, feijão, algodão, sorgo, girassol, aveia, trigo e cevada
Massa	5000 kg
Largura útil	3,91 m
Sistema de distribuição fertilizante	Rosca-sem-fim, montado paralelamente a linha de plantio
Sistema de distribuição de sementes	Fluxo contínuo: rotor acanalado helicoidal. precisão (sementes grandes): disco alveolado (distribuidor horizontal)
Sistema de acoplamento	Cabeçalho articulável com fuso para regulagem de altura, caixa de ferramentas acoplada no mesmo.
Sistema de rodado	Articulável, lateral, dois pneus 14.4-28 R1
Sistema de transmissão	Correntes e engrenagens; caixa de transmissão com 50 regulagens para fertilizante e semente
Tipo de sulcadores	Verão: facão e disco de corte para fertilizante e disco duplo inverno: discos duplos defasados e desencontrados de 0,39 e 0,4 m de diâmetro.
Tipo de linhas	Pantográficas para semente e fertilizante
Espaçamento entre linhas	Nove linhas espaçadas em 0,45 m ou 23 linhas espaçadas em 0,17 m

<sup>1</sup>dados informados pelo fabricante.

## 3.2 Avaliações em pista

### 3.2.1 Pista de avaliação

As avaliações em pista foram realizadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2007. A pista de avaliação está localizada no Centro de Eventos/Parque de Exposições da Universidade Federal de Santa Maria, posicionada geograficamente de acordo com as seguintes coordenadas: latitude sul 29°43'37'', longitude oeste 53°42'44'' e altitude média 99,0 m.

Como preparação inicial para as avaliações, foram realizadas duas gradagens pesadas com grade agrícola de discos de dupla ação excêntrica, com 32 discos de 0,4 m de diâmetro tracionada por trator agrícola 4x2 Massey Ferguson, MF 275 com 53 kW de potência na rotação nominal do motor. Para complementar a preparação e correção final do micro-relevo da pista, foi realizado nivelamento por meio de ancinhos e remoção de pedriscos e restos vegetais presentes na área. Esta preparação final foi feita nas denominadas macroparcelsas correspondentes a largura das semeadoras-adubadoras.

Os resultados da análise granulométrica da pista de avaliação revelaram que esta era composta por 76% de areia, 24% de argila e granulometria de média à grossa. Estes valores estão de acordo com o ensaio nº 5.1.3 da norma UNE 68-081-88, descrito em Aenor (1988) para avaliação da distribuição de sementes por semeadoras de precisão.

### 3.2.2 Trator agrícola

Para tracionar os protótipos foi utilizado um trator agrícola Massey Ferguson MF 295 com tração dianteira auxiliar (TDA), com potência de 81 kW na rotação nominal do motor, rodados simples, pneu traseiro 23.1-26 R2 e dianteiro 14.4-24 R2. A TDA do trator permaneceu acionada durante todas as avaliações. Os conjuntos trator/semeadora-adubadora são mostrados nos apêndices A e B.

### 3.2.3 Sementes

Foram utilizadas sementes de milho híbrido Dekalb C435, peneira 6,5 e cultivar de soja BRS 247, peneira 5,5. As principais características dimensionais, medidas através de paquímetro em amostras de 100 sementes, são explicitadas na Tabela 3.

**Tabela 3 - Principais características dimensionais das sementes utilizadas nas avaliações em pista. Santa Maria/RS, 2008.**

Variável dimensional (mm)	Soja		Milho	
	Média	DP	Média	DP*
Comprimento	6,03	0,31	10,78	0,80
Largura	5,79	0,18	8,92	0,43
Espessura	4,66	0,35	5,89	0,92

\*desvio padrão.

### 3.2.4 Fertilizante

Foi empregado fertilizante tipo mistura de grânulos (PK), com composição declarada pelo fabricante de 25% de  $P_2O_5$  e 15% de  $K_2O$ . O ângulo de repouso medido foi de  $40^\circ$  e a granulometria é descrita na tabela 4.

**Tabela 4 - Granulometria do fertilizante utilizado nas avaliações em pista para ambos os protótipos de semeadoras-adubadoras. Santa Maria/RS, 2008.**

Tamanho da partícula (P)	Percentual (%)
$P > 4,8$ mm	1,26
$4,8$ mm $> P > 4$ mm	3,36
$4,0$ mm $> P > 2,0$ mm	83,65
$2,0$ mm $> P > 1,0$ mm	10,76
$P < 1,0$ mm	0,56

### 3.2.5 Variáveis avaliadas e suas determinações

#### 3.2.5.1 Regularidade de distribuição transversal de fertilizantes

A distribuição transversal de fertilizante foi avaliada em 05 linhas casualizadas na semeadora-adubadora de acordo com a recomendação de COELHO (1996). Para esta determinação, foram adequadas embalagens plásticas ao final do tubo condutor de fertilizantes, permanecendo este na posição original através de atilhos que prendiam os mesmos ao mecanismo sulcador. Após a instalação das embalagens plásticas, foi percorrida a distância de 20 m com rotação constante no motor do trator. Durante esta determinação, a semeadora-adubadora permaneceu com os órgãos ativos suspensos sem tocar o solo. Os reservatórios foram mantidos com 25% da sua capacidade durante as avaliações.

#### 3.2.5.2 Regularidade de distribuição transversal de sementes

Para esta determinação, foi percorrida sobre a pista, distância suficiente para a coleta das sementes de cinco metros em quatro linhas ao acaso na semeadora. Durante a passagem da semeadora-adubadora as rodas compactadoras foram mantidas suspensas para evitar o enterrio das sementes. A altura dos mecanismos sulcadores foi regulada para que os mesmos apenas tocassem o solo, depositando desta forma as sementes na superfície arenosa da pista de avaliação. Este procedimento foi adaptado do que é estabelecido pela norma UNE (AENOR, 1988).

#### 3.2.5.3 Regularidade de distribuição longitudinal de sementes

Após a passagem da semeadora-adubadora, eram medidos e anotados os espaçamentos entre sementes utilizando para isso trena de 30 m; na trena eram identificadas as posições das sementes, sendo que o espaçamento entre duas sementes foi obtido pela expressão conforme Modolo et al. (2004):

$$EES = S_n - S_{n-1} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

EES: espaçamento entre sementes (mm);

S: posição da semente;

n: número da semente amostrada.

### 3.2.6 Tratamentos e análise dos dados

#### 3.2.6.1 Regularidade de distribuição de sementes

Para avaliar a regularidade de distribuição de sementes, os tratamentos foram compostos da combinação de 4 (quatro) velocidades de deslocamento dos conjuntos combinados com 3 (três) densidades de semeadura para milho e 4 (quatro) para soja em delineamento blocos ao acaso com parcelas subdivididas sendo a parcela principal a velocidade e a subparcela as densidades de semeadura. As velocidades testadas e densidades de sementes são descritas na tabela 5.

A uniformidade de distribuição longitudinal de sementes foi avaliada pelo percentual de espaçamentos aceitáveis, falhos ou múltiplos de acordo com espaçamento teórico esperado na regulagem da semeadora-adubadora (XREF) conforme descrito em 2.4. Foram considerados falhos os espaçamentos com valor  $\geq 1,5$  XREF, múltiplos os espaçamentos  $\leq 0,5$  XREF e os demais foram classificados como aceitáveis (COELHO, 1996; ELMORE, 2002).

Para avaliar a regularidade de distribuição transversal de sementes, foi utilizado o coeficiente proposto por Coelho (1996), calculado pela seguinte equação:

$$DM\% = \sum \left| \frac{Q-q}{Q} \right| \times 100. \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

DM: desvio da média ou desvio médio;

Q: densidade média de semeadura da máquina;

q: densidade média de semeadura (q) de cada uma das unidades da máquina.

**Tabela 5 - Densidades e velocidades testadas, espaçamento teórico (XREF) e intervalos para classificação dos espaçamentos entre sementes da população. Santa Maria/RS, 2008.**

Densidade almejada (sementes ha <sup>-1</sup> )	Sementes m <sup>-1</sup>	XREF (m)	Intervalo de tolerância (m)	Velocidades testadas (km <sup>-1</sup> )
Soja*				
177.778	08	0,013	0,063<A<0,019	
266.666	12	0,083	0,042<A<0,025	4,3; 5,3;
355.555	16	0,063	0,031<A<0,093	7,0 e 11,0
444.444	20	0,050	0,025<A<0,075	
Milho*				
33.333	03	0,333	0,167<A< 0,500	
55.556	05	0,200	0,100<A<0,300	3,5; 4,3;
77.777	07	0,143	0,072<A<0,215	5,5 e 7,0

\*Espaçamento entre linhas considerado: 0,45m para soja e 0,90m para milho.

A Tabela 5 mostra as densidades de semeadura avaliadas, os espaçamentos teóricos entre sementes (XREF) e os intervalos para classificação dos espaçamentos (cm).

A variável densidade final de semeadura foi submetida a análise da variância (ANOVA), e quando encontradas diferenças significativas as médias foram separadas pelo teste de Duncan com 5% de probabilidade de erro. Foi realizada análise de regressão linear simples entre as variáveis desvio médio, percentual de espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos e velocidade de semeadura, sendo x a velocidade semeadura (variável independente) e y o desvio médio e percentual de espaçamentos (variável dependente).

### 3.2.6.2 Regularidade de distribuição de fertilizantes

Para estudo da regularidade de distribuição de fertilizante, foram combinadas 4 (quatro) velocidades de deslocamento com 3 (três) razões de distribuição de fertilizante, em experimento fatorial com parcelas subdividas sendo a parcela principal a velocidade e a subparcela a razões de distribuição de fertilizante. As velocidades testadas para fertilizante foram as mesmas empregadas para soja (tabela 5).

A regularidade de distribuição transversal foi avaliada pelos índices: razões de distribuição média ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), coeficiente de variação (%), amplitude total (kg) e desvio da média (%). Para cálculo do desvio da média foi empregada a mesma equação mostrada em 3.3.6.1, substituindo densidade média de semeadura por razões de distribuição média de fertilizante. A variável razões de distribuição média foi submetida a análise da variância (ANOVA), e quando encontradas diferenças significativas as médias foram separadas pelo teste de Duncan com 5% de probabilidade de erro.

### **3.3 Avaliações em campo**

#### **3.3.1 Áreas experimentais**

Para avaliação do PSP, o experimento foi conduzido no município de Cachoeira do Sul/RS, (latitude sul  $30^{\circ}15'24''$ , longitude oeste  $52^{\circ}50'49''$  e altitude média de 74,0 m) em solo classificado como Argissolo vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999). A umidade volumétrica do solo na camada de zero a 10 cm foi calculada pela diferença de peso úmido e seco das amostras que foram submetidas à estufa a  $100^{\circ}\text{C}$  até obtenção de peso constante; a resistência à penetração foi medida com penetrômetro de impacto marca Stara.

A cobertura vegetal predominante era de trigo, logo após a operação de colheita, sendo que para sua determinação, foi coletado com o auxílio de uma tesoura a cobertura vegetal de um retângulo de  $0,25 \text{ m}^2$ , e esta amostra foi submetida a temperatura de  $100^{\circ}$  até obtenção de peso constante; o resultado encontrado foi extrapolado para  $\text{Mg ha}^{-1}$ .

A topografia do terreno onde foram realizadas as avaliações era plana. Uma visão geral da área experimental da avaliação a campo do protótipo PSP é demonstrada no Apêndice C.

**Tabela 6 - Caracterização da área de realização do experimento a campo com a semeadora-adubadora de precisão. Santa Maria/RS, 2008.**

Parâmetro	Valor
Resistência a penetração (kPa)	1152,70
Cobertura vegetal (Mg ha <sup>-1</sup> )	6,87
Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	1,43
Macroporosidade (%)	22,95
Microporosidade (%)	6,03
Porosidade total (%)	28,98
Umidade (g g <sup>-1</sup> )	0,34
Declividade média (%)	2,00

O experimento com o PSM foi conduzido no município de Vacaria/RS, (latitude sul 28°33'00'', longitude oeste 50°42'21'' e altitude média de 954,6 m) em solo classificado como Latossolo bruno alumínico (EMBRAPA, 1999). No momento da avaliação, a umidade volumétrica do solo na camada de zero a 10 cm era de 37,84 g g<sup>-1</sup>, calculada pela diferença de peso úmido e seco das amostras que foram submetidas à estufa a 100°C até obtenção de peso constante; a resistência à penetração de 3.980 kPa foi medida com penetrômetro de impacto marca Stara. A cobertura vegetal predominante era de azevém (*Lolium multiflorum* L.), manejado por meio de dessecação pré-semeadura com glifosato, sendo que a cobertura média encontrada foi de 5,7 Mg ha<sup>-1</sup> expressos com base em matéria seca. A topografia do terreno era plana com declividade média de 3%.

### 3.3.2 Tratores agrícolas

No experimento com o PSP, foi utilizado como fonte e potência um trator Valmet 148-4 turboalimentado, de 109 kW de potência operando na rotação nominal, provido de TDA, rodado traseiro simples 18.4-34 R2 e dianteiro 14.9-28 R2.

Para tracionar a semeadora-adubadora PSM foi utilizado um trator Valmet 118-4 turboalimentado com 87 kW de potência bruta no motor à rotação nominal, rodado traseiro

duplo 23.1-26 R1, rodado dianteiro simples 14.9-26 R1 e com TDA. Em ambas as avaliações, os tratores permaneceram com a TDA acionada e rotação nominal constante no motor.

### 3.3.3 Variáveis estudadas e suas determinações

#### 3.3.3.1 Perfil de solo mobilizado

Para avaliação do perfil de solo mobilizado, foi construído um microperfilômetro em alumínio com 25 hastes espaçadas 0,01 m. Para levantamento da área de perfil mobilizado, o microperfilômetro foi posicionado sobre a linha de semeadura após a passagem da semeadora-adubadora e foi feita a marcação do perfil em papel A4; após isso, foi retirado o solo solto do local e retornando o microperfilômetro a posição original foi feita nova leitura do perfil de solo. Foi calculada a área correspondente à diferença entre as duas leituras, a qual equivale à área de perfil de solo mobilizado em  $\text{cm}^2$ . As leituras foram feitas nas 3 velocidades com 4 repetições em linhas sorteadas ao acaso.



**Figura 2 - Microperfilômetro desenvolvido para determinação do perfil de solo mobilizado. Santa Maria/RS, 2007.**

### 3.3.3.2 Profundidade de deposição de sementes

A avaliação da profundidade de deposição de sementes foi feita com o auxílio de régua graduada e espátula metálica. Abriu-se uma pequena trincheira na linha de semeadura até encontrar a semente ao lado, e com o auxílio da régua graduada, foi medida a profundidade de deposição de sementes. Estas medidas foram tomadas cinco repetições em três linhas ao acaso para cada velocidade estudada. A avaliação da profundidade de deposição de fertilizante não foi avaliada por este ser alocado no mesmo sulco de semeadura.



**Figura 3 - Determinação da profundidade de semeadura. Santa Maria/RS, 2007.**

### 3.3.3.3 Regularidade de distribuição transversal de sementes de trigo

Para o protótipo PSM, foi avaliada a distribuição transversal de sementes de trigo, em seis linhas casualizadas, de acordo com o recomendado por COELHO (1996) com três repetições, em três razões de distribuição de sementes: 70, 150 e 205 kg ha<sup>-1</sup>, reguladas diretamente na caixa de transmissão do PSM. Para esta determinação, foram adequadas embalagens plásticas no final do tubo condutor, este último permanecendo na posição original através de atilhos que prendiam os mesmos ao mecanismo sulcador. Após a colocação das embalagens plásticas foi percorrida distância de 20 m com rotação constante no motor do trator, sendo as embalagens então coletadas, identificadas e posteriormente pesadas em balança digital. Foram realizados testes inicialmente para conferir as

### 3.3.3.4 Sementes expostas

A avaliação do índice de sementes expostas foi feito pela observação visual e contagem do número de sementes que permaneciam sobre a superfície do solo após a passagem dos protótipos em uma distância de 10 m, em cinco linhas ao acaso da semeadora. De posse do número de sementes expostas, foi calculado o índice de exposição de sementes, sugerido por Mahl (2002), através da equação:

$$IES = \frac{se - st}{st} \times 100$$

onde:

IES: índice de exposição de sementes, %;

se: número de sementes expostas no intervalo considerado;

st: número total de sementes do intervalo considerando a densidade média de semeadura praticada.

### 3.3.3.5 Capacidade de campo teórica

A capacidade de campo teórica foi calculada com base na largura efetiva de trabalho da semeadora-adubadora, medida com trena em polietileno de 30 m, a partir da equação obtida em ASAE (1999):

$$Cct = \frac{L \times V}{10}$$

Onde:

Cct: capacidade de campo teórica (ha h<sup>-1</sup>);

L: largura de trabalho da semeadora-adubadora (m);

V: velocidade de deslocamento (km h<sup>-1</sup>).

### 3.3.3.6 Manutenção da cobertura do solo

Para determinar o índice de cobertura do solo após a passagem dos protótipos, foi utilizada trena de 15m, sendo tomados pontos a 0,15 m, totalizando 100 pontos; a trena foi posicionada em ângulo de 45° em relação ao sentido de deslocamento do conjunto trator-protótipo. Foram contabilizados os pontos com ou sem palha e posteriormente calculado o percentual de cobertura da área.



**Figura 4 - Determinação do percentual de manutenção da cobertura do solo. Santa Maria/RS, 2007.**

### 3.3.4 Tratamentos e análise dos dados

No experimento conduzido com o PSM, os tratamentos foram compostos de três velocidades de deslocamento, as quais foram de 6,2; 9,8 e 12,6 km h<sup>-1</sup> respectivamente. Para o experimento com o PSP foram empregadas as velocidades de 6,0, 8,0 e 10,3 km h<sup>-1</sup>.

As variáveis foram submetidas à análise da variância (ANOVA) e as médias separadas por teste de Duncan com P<0,05 em ambos os experimentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliações em pista

#### 4.1.1 Regularidade de distribuição transversal de fertilizantes

Houve diferença significativa entre as velocidades de deslocamento quanto às razões de distribuição médias de fertilizantes aplicadas, para as três razões de distribuição testadas no PSP (Tabela 7). Os coeficientes de variação ficaram em torno de 4,5% para este protótipo. A amplitude total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) não apresentou qualquer tendência em função da velocidade de deslocamento, fato também observado quanto ao desvio médio (DM, %). Este último permaneceu praticamente estável em todas as razões de distribuição e velocidades testadas. Na razão de distribuição média, foi observado aumento das razões de distribuição de fertilizante com acréscimo na velocidade de semeadura. Casão Júnior et al. (2000c), estudando as velocidades de 4,5 e 8,0  $\text{km h}^{-1}$ , não observaram efeito significativo na dosagem de fertilizante com acréscimo na velocidade.

Para o PSM, apenas na menor razão de distribuição houve variação com alteração da velocidade de deslocamento (Tabela 8). As variáveis CV, amplitude total e desvio médio foram superiores às do PSP. Quando consideradas as três razões de distribuição estudadas entre si, não houve variação significativa do CV.

Não se observou tendência de aumento ou redução das razões de distribuição de fertilizante para as três razões testadas com aumento da velocidade no PSM. Resultados semelhantes foram obtidos por Rocha et al. (1992), que avaliando oito semeadoras-adubadoras não encontraram diferenças significativas na dosagem de fertilizante em velocidades de 5,0 a 7,5  $\text{km h}^{-1}$ .

Comparando os dois protótipos, o efeito da velocidade de deslocamento foi maior no PSP, sendo que no PSM, apenas para a menor razão, houve diferença entre as razões de distribuição. Os CV's do PSM foram maiores em todas as razões de distribuição e velocidades testadas.

As amplitudes totais também foram maiores no PSM, assim como os desvios médios. Observando as variáveis CV, amplitude total e desvio médio, se pode inferir que o PSP foi mais preciso na dosagem de fertilizante.

**Tabela 7 - Variáveis descritivas da distribuição transversal de fertilizantes para as três razões de distribuição nas quatro velocidades estudadas no (PSP). Santa Maria/RS, 2008.**

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Média (kg ha <sup>-1</sup> )	CV (%)	AT (kg ha <sup>-1</sup> )	DM (%)
163,50 kg ha <sup>-1</sup>				
4,3	161,67ab	5,27	27,05	4,4
5,5	165,60ab	4,58	26,57	3,8
7,0	166,70a	4,86	28,99	3,9
11,0	160,15b	4,59	25,60	3,7
248,14 kg ha <sup>-1</sup>				
4,3	243,22b	4,58	43,33	3,3
5,5	247,55ab	4,40	38,89	3,6
7,0	248,07ab	4,54	40,00	3,9
11,0	253,70a	4,54	36,67	3,9
484,95 kg ha <sup>-1</sup>				
4,3	456,00c	5,60	88,89	4,4
5,5	479,62b	4,73	68,89	4,2
7,0	506,81a	4,26	64,44	3,8
11,0	497,29a	4,58	84,44	4,0

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna, na mesma razão de distribuição, não diferem significativamente pelo teste de Duncan com P <0,05. AT: amplitude total; DM: desvio médio.

Os coeficientes de variação dos dois protótipos estão abaixo dos encontrados por Casão Junior et al. (2000b). Os autores estudaram as velocidades de 4,5 e 8,0 km h<sup>-1</sup>, com CV's de até 17,2% entre unidades de semeadura.

Estudando as mesmas velocidades acima, Casão Junior et al. (2000a), encontraram coeficientes de 0,9 a 9,0%, e consideraram o desempenho da semeadora-adubadora avaliada muito bom, quanto à distribuição de fertilizante. Oliveira et al. (2000), encontraram CV's na

ordem de 2,6 e 2,8% para as velocidades de 5 e 7 km h<sup>-1</sup> respectivamente. Os desvios médios encontrados por Casão Junior et al. (2000b), são maiores que os encontrados neste trabalho, mostrando boa dosagem de fertilizante por ambos os protótipos avaliados.

O tipo de mecanismo dosador que equipa os dois protótipos é o mesmo, sendo encontradas características contrastantes apenas no sistema de transmissão. Esse mecanismo dosador, segundo Silva (2003), equipava 65,1% dos modelos de semeadoras descritos pelos autores. Ferreira et al. (2008), avaliaram o desempenho de dosadores helicoidais e verificaram que os modelos que apresentam sistema de transbordo, como os que equipam os protótipos, são mais precisos na dosagem de fertilizante quando submetidos à inclinações longitudinais do que os modelos com distribuição por gravidade.

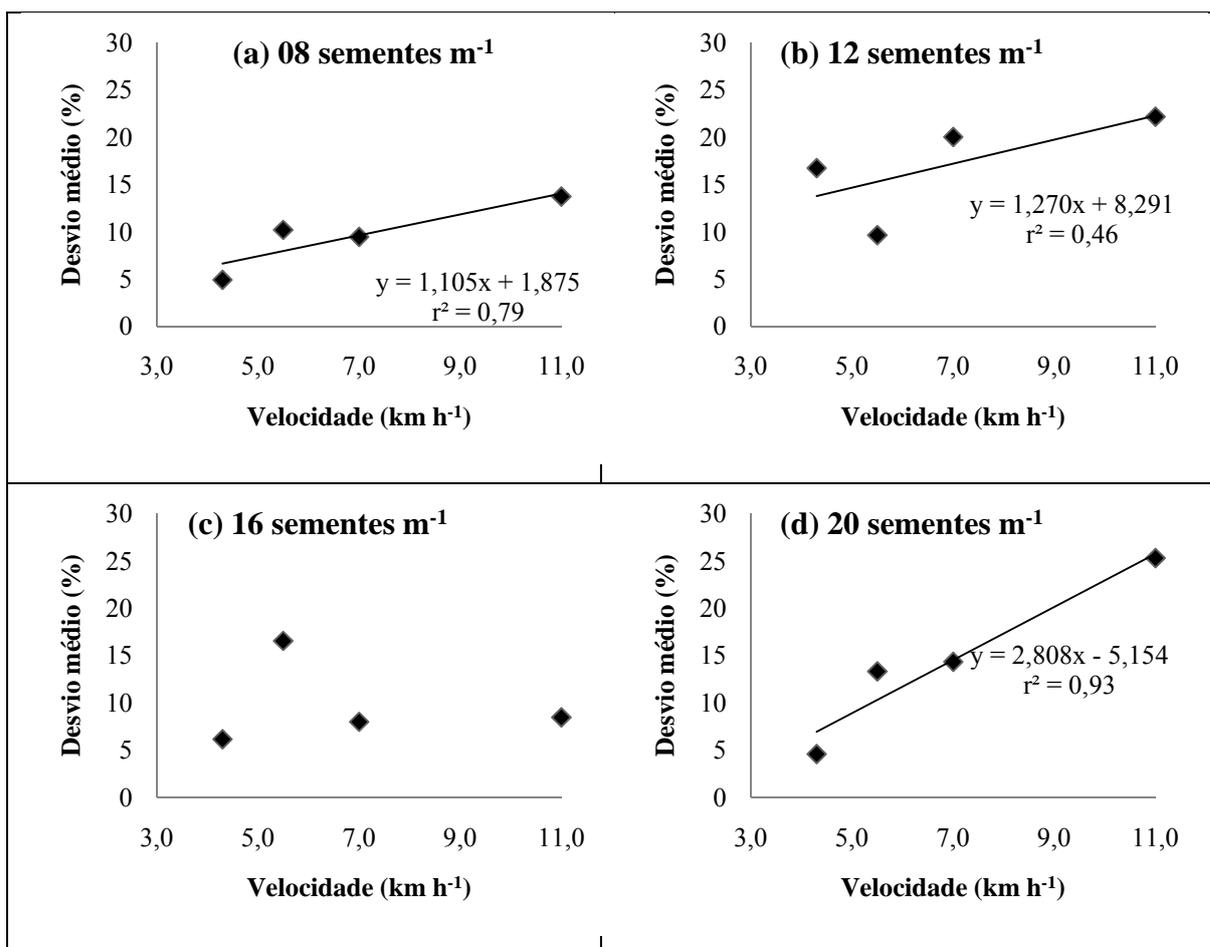
**Tabela 8 - Variáveis descritivas da distribuição transversal de fertilizantes para as três razões de distribuição nas quatro velocidades estudadas no protótipo de semeadora-adubadora múltipla (PSM). Santa Maria/RS, 2008.**

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Média (kg ha <sup>-1</sup> )	CV (%)	AT (kg ha <sup>-1</sup> )	DM (%)
163,50 kg ha <sup>-1</sup>				
4,3	166,81b	7,05	44,44	5,5
5,5	160,44ab	6,45	33,33	5,3
7,0	152,15a	7,87	38,89	6,2
11,0	155,41a	6,28	31,11	4,9
270,25 kg ha <sup>-1</sup>				
4,3	267,78 <sup>NS</sup>	7,72	70,00	6,5
5,5	271,78	7,03	58,89	6,0
7,0	269,92	5,86	45,56	4,8
11,0	271,48	6,20	56,67	5,0
503,31 kg ha <sup>-1</sup>				
4,3	494,37 <sup>NS</sup>	7,39	94,44	4,4
5,5	507,70	8,86	110,00	4,9
7,0	514,29	7,58	91,11	4,1
11,0	496,88	8,74	116,67	5,2

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna, na mesma razão de distribuição, não diferem significativamente pelo teste de Duncan com P <0,05. <sup>NS</sup> não significativo. AT: amplitude total; DM: desvio médio.

#### 4.1.2 Regularidade de distribuição transversal de sementes

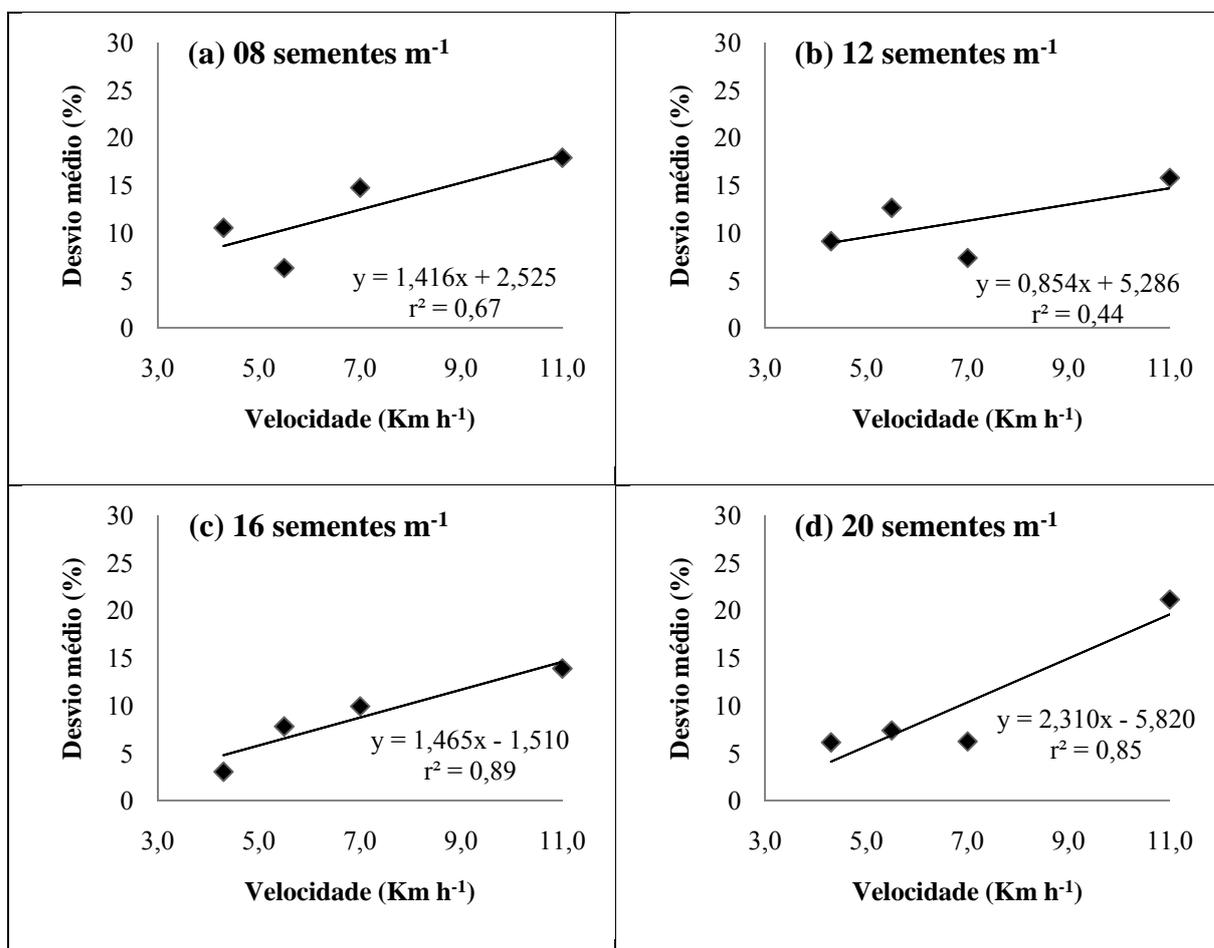
A regularidade de distribuição transversal, expressa pelo desvio médio dos espaçamentos entre sementes, mostrou comportamento semelhante para ambos os protótipos nas quatro densidades avaliadas para a cultura da soja. Houve elevação significativa do desvio médio com o aumento da velocidade de deslocamento independente da densidade de sementes, exceto para a densidade de 16 sementes  $m^{-1}$  no PSP (Figura 5 e Figura 6). O desvio médio, que é uma forma de avaliar a variação na vazão de sementes entre linhas da semeadora, mostra que quanto maior a velocidade de semeadura, maior a variabilidade entre linhas dos protótipos, quando comparadas à densidade média obtida na semeadora.



**Figura 5 - Efeito da velocidade de deslocamento sobre o desvio médio para a cultura da soja nas quatro densidades estudadas no protótipo de semeadora de precisão (PSP), onde x é a velocidade de deslocamento é y o desvio médio. Santa Maria/RS, 2008.**

Os resultados foram semelhantes para ambos os protótipos, mostrando não haver diferença neste critério quando consideradas as características construtivas contrastantes das duas máquinas. O fato de o PSP possuir transmissão por eixo - cardã e o PSM por correntes de rolos não alterou o comportamento da distribuição transversal de sementes.

A velocidade extrema de 11,0 km h<sup>-1</sup> colaborou significativamente para elevação do desvio médio para a cultura da soja. Entretanto, Casão Júnior et al. (2000c) não observaram efeito significativo do aumento da velocidade de 4,5 para 8,0 km h<sup>-1</sup> para distribuição transversal de sementes de soja. Os autores classificaram como sendo muito boa a distribuição transversal de sementes pela semeadora avaliada nas velocidades citadas, sendo que a mesma também dispunha de dosadores do tipo disco alveolado horizontal.

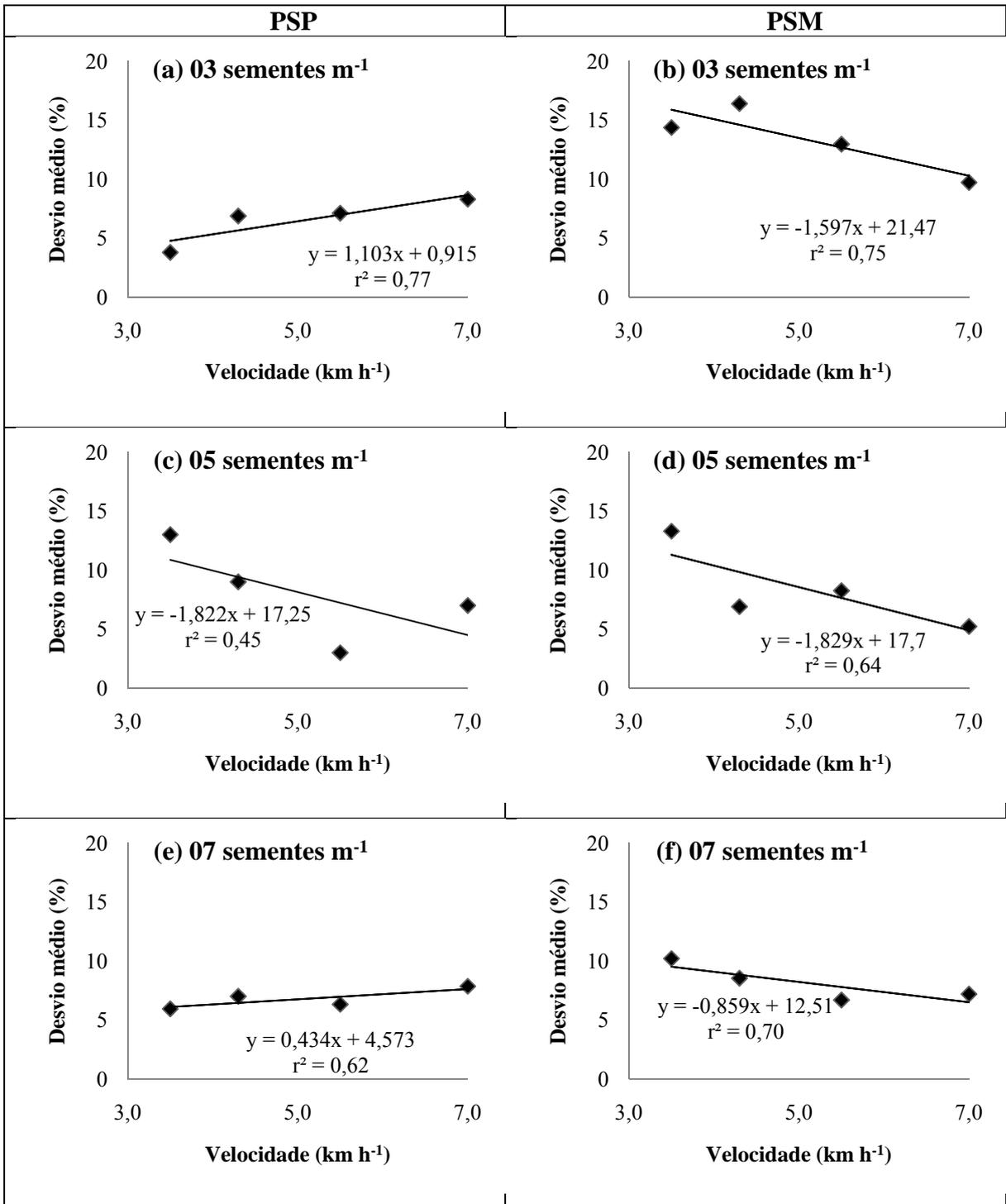


**Figura 6 - Efeito da velocidade de deslocamento sobre o desvio médio para a cultura da soja nas quatro densidades estudadas do protótipo de semeadora múltipla (PSM), onde y é o desvio médio e x é a velocidade de deslocamento. Santa Maria/RS, 2008.**

Para a cultura do milho, não foi observada a mesma tendência da cultura da soja. Para a densidade de três sementes  $m^{-1}$ , houve elevação do desvio médio para o PSP e redução para o PSM com aumento da velocidade de semeadura (Figura 7a, b).

Para a densidade de cinco sementes houve redução no desvio médio com aumento da velocidade de deslocamento (Figura 7c, d) para os dois protótipos avaliados. Para a densidade de sete sementes, também houve comportamento contrário entre os protótipos, sendo observado aumento para o PSP e redução para o PSM (Figura 7e, f).

Quando observado separadamente o PSP, foi verificado aumento nas densidades de três e sete sementes e redução na de cinco sementes (Figura 7a, c, e), não permitindo qualquer inferência a respeito do comportamento do desvio médio para esse protótipo. Para o PSM, houve redução no desvio médio em todas as densidades testadas (Figura 7b, d, f). Este comportamento pode estar relacionado ao sistema de transmissão do PSM, que em menores velocidades apresenta rotação menor, o que pode causar ressaltos nas correntes, ou seja, nas maiores velocidades pode haver melhor sincronia entre as engrenagens motora e movida através da corrente. A tensão desta também pode interferir na transmissão de força para o mecanismo dosador, sendo que esta deve estar dentro de limites pré-definidos pelo fabricante. Da mesma forma, a lubrificação das correntes deve ser realizada de forma adequada visando manter a precisão na dosagem de sementes.



**Figura 7 - Efeito da velocidade de deslocamento sobre o desvio médio para a cultura do milho nas três densidades estudadas, para os dois protótipos, onde y é o desvio médio e x é a velocidade de deslocamento. PSP: protótipo de semeadora-adubadora de precisão; PSM: protótipo de semeadora-adubadora múltipla. Santa Maria/RS, 2008.**

#### 4.1.3 Regularidade de distribuição longitudinal de sementes de soja

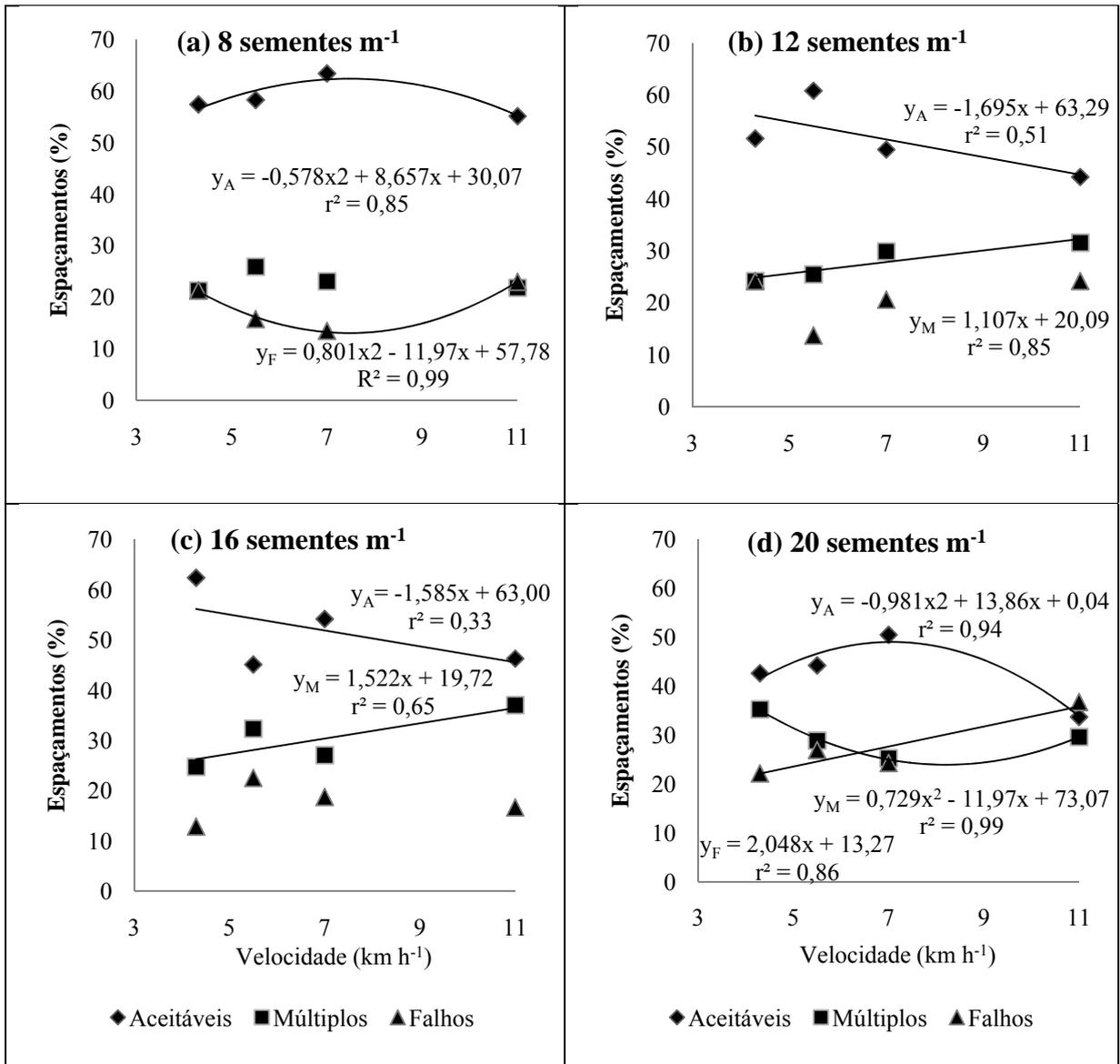
Na cultura da soja, para o PSP, as regressões para espaçamentos aceitáveis foram significativas nas densidades de 8, 12 e 20 sementes  $m^{-1}$ , sendo que nas densidades de 8 e 20 sementes o melhor ajuste ocorreu por equações do tipo  $y = ax^2 + bx + c$  (Figura 8a, d). Nestes casos, houve elevação do percentual de espaçamentos aceitáveis até a velocidade de  $7,0 \text{ km h}^{-1}$  com redução na velocidade de  $11,0 \text{ km h}^{-1}$ . Esta velocidade foi testada para simular condições extremas de semeadura, sendo pouco usuais em condições normais de solo e máquina para semeadura direta. Entretanto, o objetivo da simulação foi alcançado, visto que mesmo para a densidade de 12 sementes  $m^{-1}$  onde a regressão foi do tipo  $y = ax + b$ , o número de aceitáveis foi menor na maior velocidade.

Para as densidades de 12 e 16 sementes (Figura 8b, c), houve elevação significativa do número de múltiplos com aumento da velocidade.

Para a densidade de 20 sementes  $m^{-1}$ , na medida em que houve aumento no percentual de aceitáveis houve redução no percentual de espaçamentos múltiplos, sendo que as inflexões das parábolas ocorrem na velocidade de  $7,0 \text{ km h}^{-1}$ . KLEIN et al. (2002) não verificou efeito da velocidade de deslocamento no percentual de múltiplos e falhos para soja. Porém, a definição de aceitáveis empregada pelos autores foi a média mais ou menos o desvio padrão da amostra, o que pode ter interferido na interpretação dos dados.

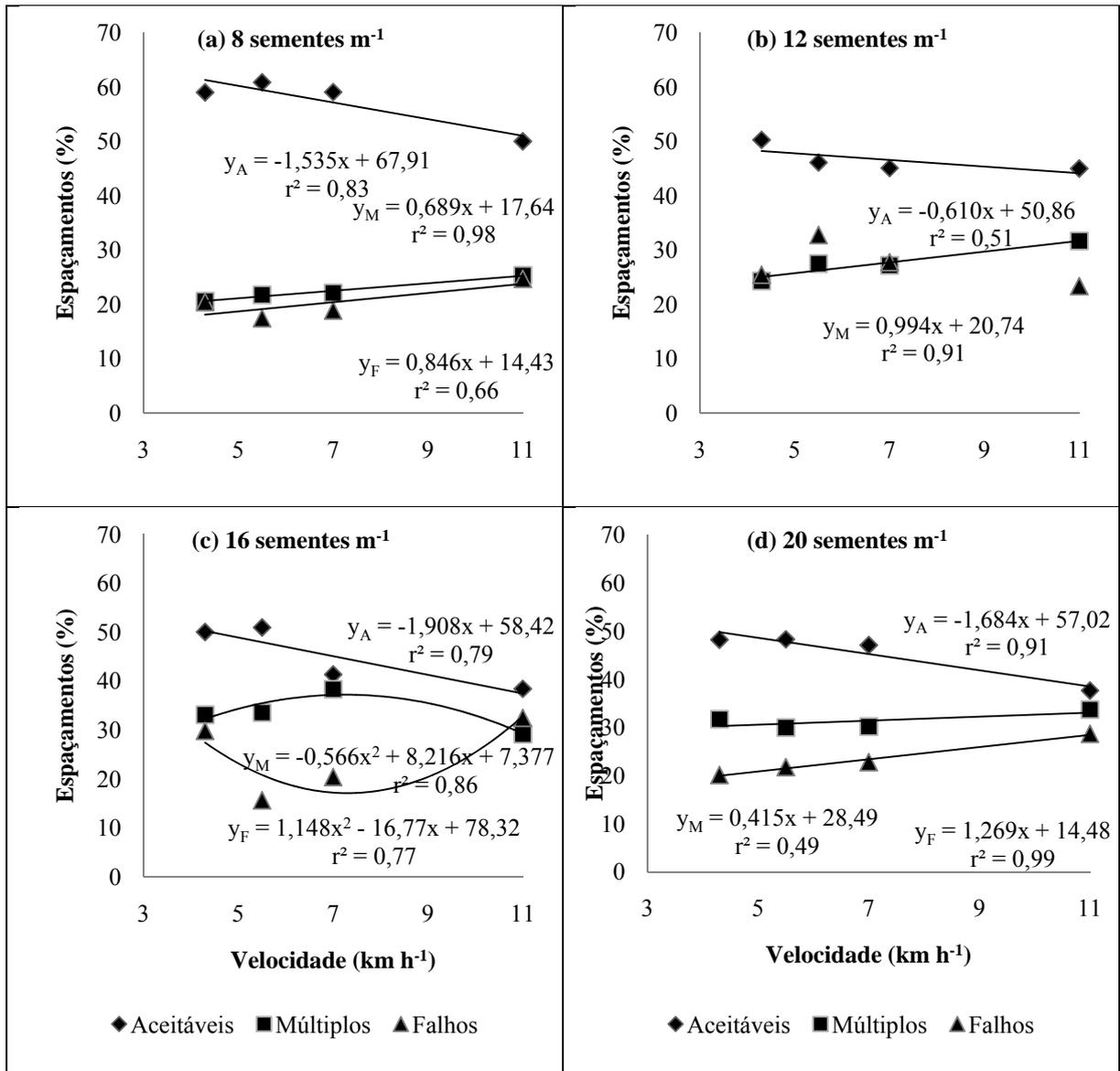
Para o PSM, as regressões ajustadas para espaçamentos aceitáveis foram do tipo linear, reduzindo com aumento da velocidade para as quatro densidades (Figura 7). O percentual de falhos também teve tendência crescente em função da velocidade de semeadura, para todas as densidades testadas. As regressões mostraram variações mais claras referentes ao PSP.

Ainda no PSM, o número de espaçamentos falhos aumentou nas densidades de 8, 16 e 20 sementes (Figura 9a, c, d). Para a densidade de 12 sementes, a regressão não foi significativa. O percentual de múltiplos aumentou nas densidades de 8, 12 e 20 sementes  $m^{-1}$ .



**Figura 8 - Espaços aceitáveis, múltiplos e falhos entre sementes de soja, em função da velocidade de deslocamento nas quatro densidades de sementes, onde y é o percentual de espaçamentos e x a velocidade de deslocamento (km h<sup>-1</sup>) para o protótipo de semeadora de precisão (PSP). Santa Maria/RS, 2008.**

Nas densidades de 8 e 12 sementes, os coeficientes de correlação foram elevados, mostrando relação positiva entre o percentual de múltiplos e velocidade de deslocamento. Para a densidade de 16 sementes m<sup>-1</sup>, houve aumento no percentual de múltiplos até a velocidade de 7,0 e posterior redução na de 11,0 km h<sup>-1</sup>. Nesta mesma densidade, o percentual de falhos se comportou de forma inversa ao de múltiplos.

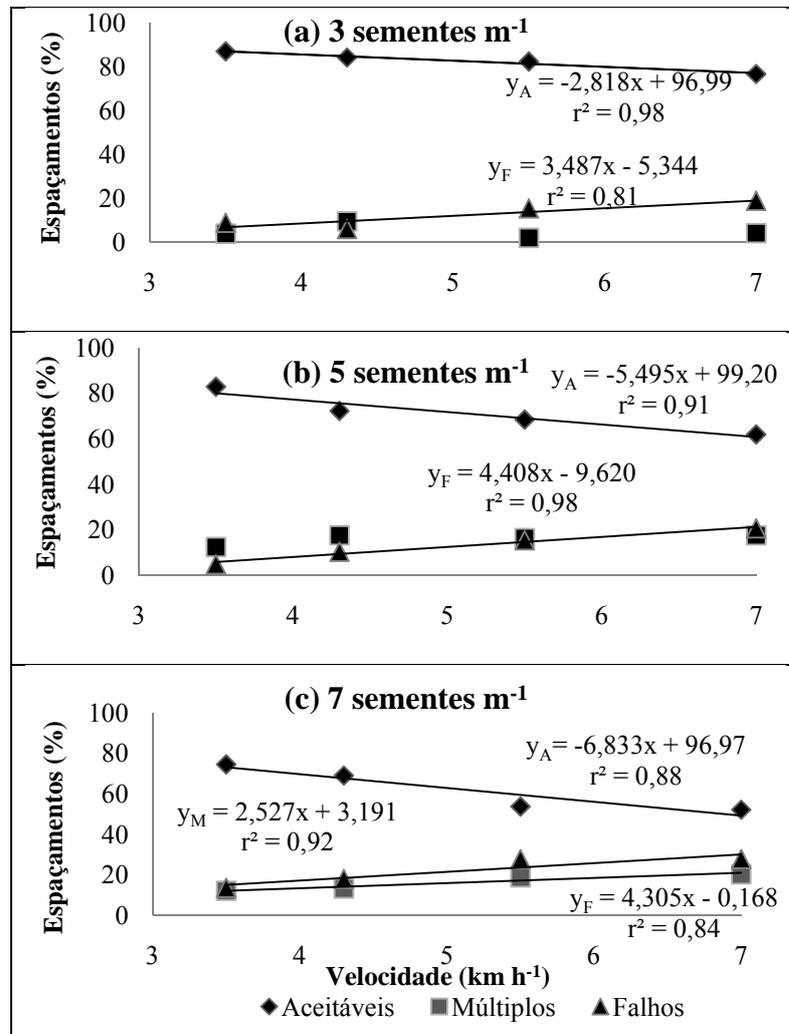


**Figura 9 - Espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos entre sementes de soja em função da velocidade de deslocamento nas quatro densidades de sementes, onde y é o percentual de espaçamentos e x a velocidade de deslocamento (km h<sup>-1</sup>) para o protótipo de semeadora múltipla (PSM). Santa Maria/RS, 2008.**

#### 4.1.4 Regularidade de distribuição longitudinal de sementes de milho

Quanto à distribuição longitudinal de sementes de milho, para todas as velocidades e densidades testadas, houve redução no percentual de aceitáveis e aumento no número de falhos com aumento da velocidade de deslocamento para os dois protótipos (Figura 10 e Figura 11). O percentual de espaçamentos múltiplos teve aumento significativo apenas na densidade

de sete sementes  $m^{-1}$  no protótipo PSP. Nas densidades de três e cinco sementes  $m^{-1}$ , não houve significância, sendo que a variação nos espaçamentos aceitáveis foi inversa ao percentual de falhos, mantendo estável o número de múltiplos.



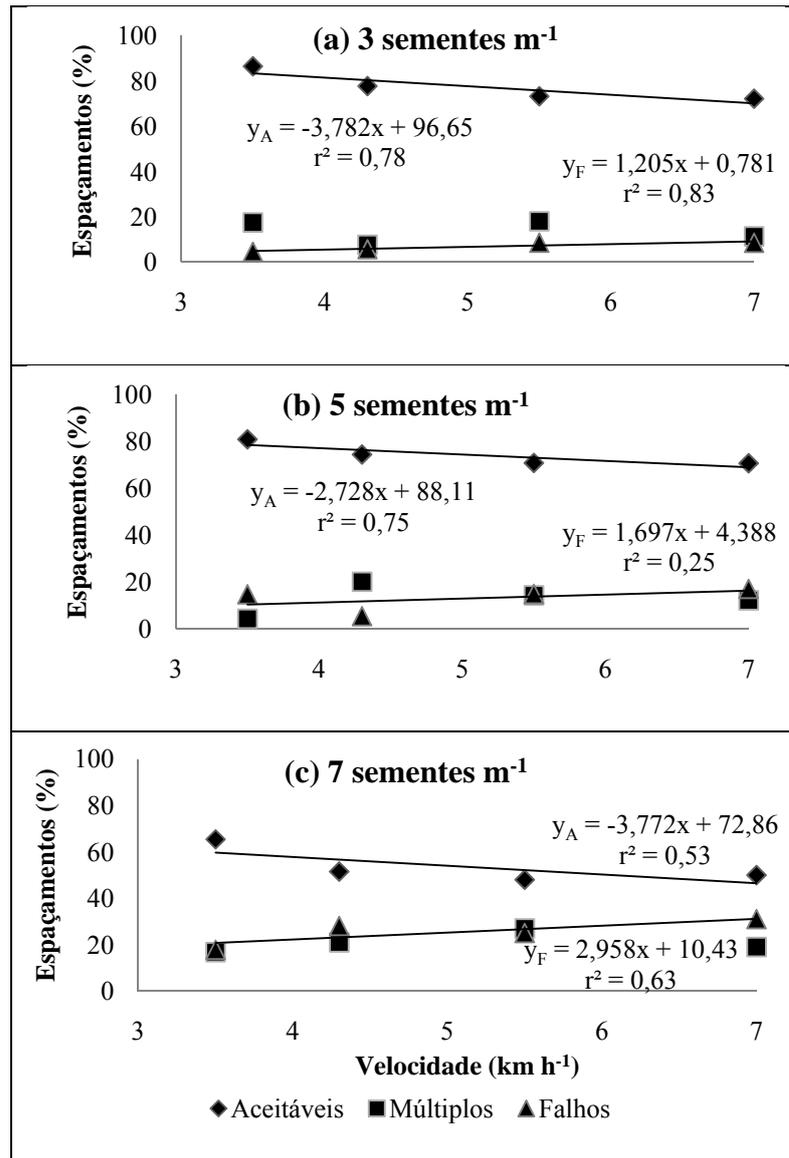
**Figura 10** - Espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos entre sementes de milho em função da velocidade de deslocamento para o protótipo de semeadora de precisão (PSP), nas três densidades de sementes, onde  $y$  é o percentual de espaçamentos e  $x$  a velocidade de deslocamento ( $km\ h^{-1}$ ). Santa Maria/RS, 2008.

Para o PSM, as regressões do percentual de espaçamentos entre sementes aceitáveis e falhos em função da velocidade de semeadura, para a cultura do milho, foram significativas (Figura 11).

Da mesma forma que ocorreu com o PSP, houve redução no número de aceitáveis e aumento no número de falhos com aumento da velocidade de 3,5 para 7,0 km h<sup>-1</sup>. Esta informação é corroborada a de diversos autores (MELLO et al., 2003; LIU et al., 2004; MAHL et al., 2004) que verificaram efeito negativo do aumento da velocidade de deslocamento na distribuição de sementes de milho, expresso pela redução do percentual de aceitáveis.

O percentual de espaçamentos múltiplos não mostrou tendência em nenhuma das densidades testadas. Estes resultados estão em concordância com os de Mahl (2002) e Liu et al., (2004).

Esta redução no percentual de aceitáveis é devida à elevação da velocidade tangencial dos dosadores tipo disco alveolado horizontal, causada pelo aumento da velocidade de deslocamento (MOODY et al., 2003). Como a relação de transmissão entre o dosador e a roda motriz permanece a mesma, a velocidade tangencial do dosador aumenta na mesma proporção da velocidade de deslocamento, o que prejudicou a individualização das sementes pelo mecanismo dosador.

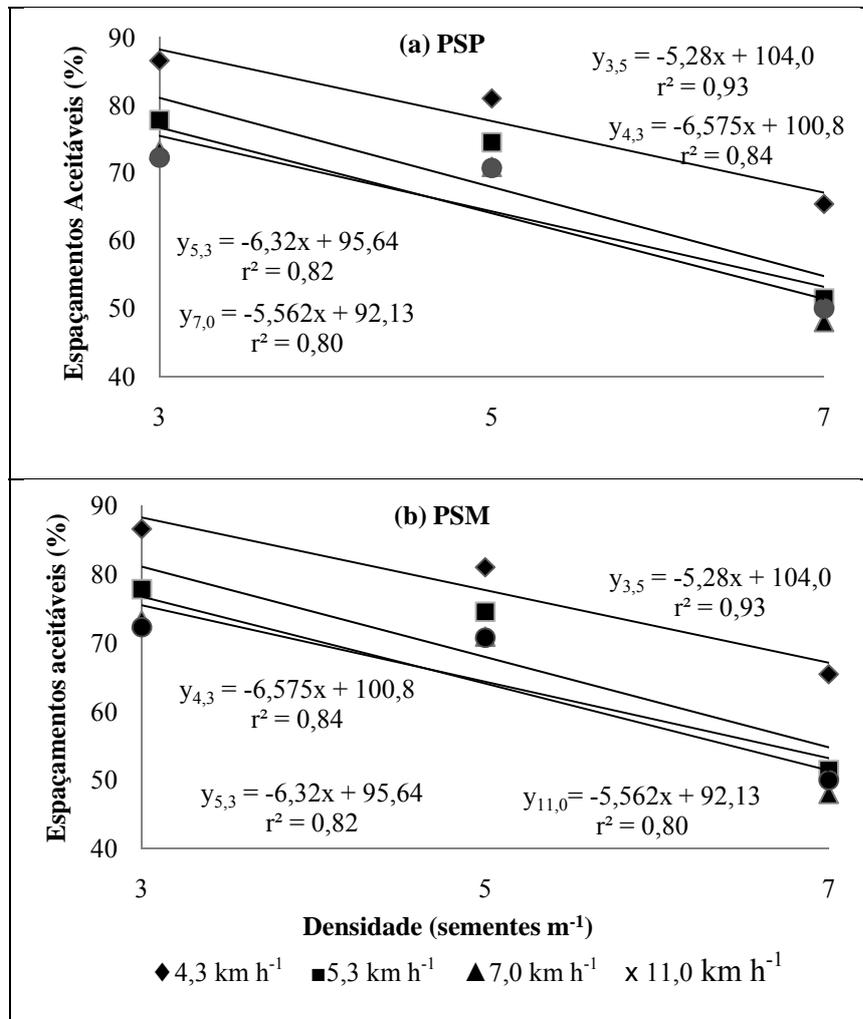


**Figura 11 - Espaçamentos aceitáveis, múltiplos e falhos obtidos para a cultura do milho em função da velocidade de deslocamento para o protótipo de semeadora múltipla (PSM), nas três densidades de sementes, onde y é o percentual de espaçamentos e x a velocidade de deslocamento (km h<sup>-1</sup>). Santa Maria/RS, 2008.**

#### 4.1.5 Efeito da densidade de semeadura no percentual de espaçamentos aceitáveis

Na Figura 12 são apresentadas as regressões entre espaçamentos aceitáveis de milho em função da densidade de semeadura para ambos os protótipos. Houve redução no percentual de espaçamentos aceitáveis com aumento da densidade de semeadura. Esta

constatação mostra que, quanto menor o espaçamento entre sementes, ou maior a quantidade de sementes na linha, menor é a qualidade de distribuição, expressa pela redução no número de aceitáveis.

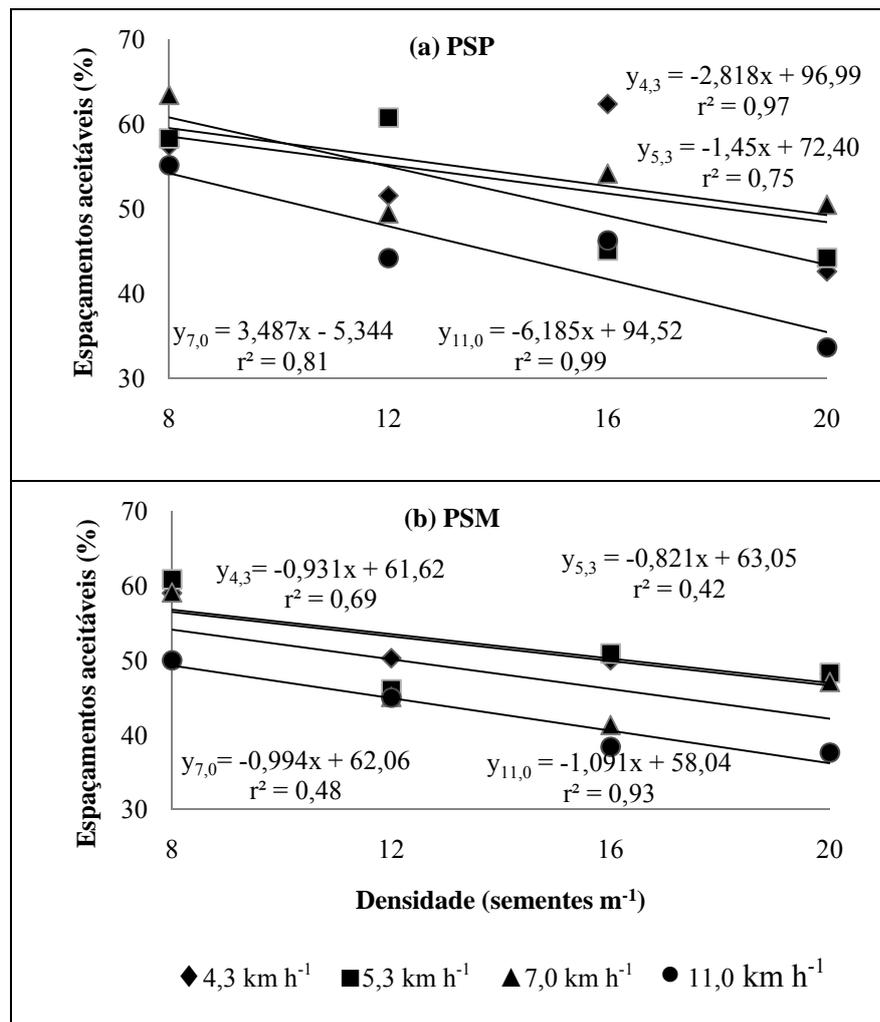


**Figura 12** - Efeito da densidade de semeadura (sementes m<sup>-1</sup>) no percentual de espaçamentos aceitáveis da cultura do milho para os protótipos de semeadora-adubadora de precisão (PSP, 11a) e múltipla (PSM, 11b), sendo x a densidade de sementes e y o percentual de espaçamentos aceitáveis. Santa Maria/RS, 2008.

O fato descrito anteriormente ocorreu também para a cultura da soja nos dois protótipos. Houve redução no percentual de espaçamentos aceitáveis com aumento da

densidade de semeadura (Figura 13). Para os dois protótipos, as maiores inclinações expressas pelos maiores coeficientes angulares das retas, ocorreram na velocidade de 11,0 km h<sup>-1</sup>.

Para o PSM, os coeficientes lineares encontrados foram bastante similares em todas as velocidades. Outro fato interessante é a pouca diferença entre o percentual de aceitáveis das velocidades de 4,3 e 5,3 km h<sup>-1</sup>, identificado pela similaridade das equações dentro das regressões do PSP.



**Figura 13 - Efeito da densidade de semeadura (sementes m<sup>-1</sup>) no percentual de espaçamentos aceitáveis da cultura da soja para os protótipos de semeadora-adubadora de precisão (PSP, 12a) e múltipla (PSM, 12b), sendo x a densidade de sementes e y o percentual de espaçamentos aceitáveis. Santa Maria/RS, 2008.**

O aumento na densidade expresso pelo maior número de sementes na linha de semeadura reduz o intervalo de tolerância para classificação dos espaçamentos em aceitáveis, múltiplos ou falhos; esta afirmação ajuda a entender as Figura 12e Figura 13.

#### 4.1.6 Efeito da velocidade de deslocamento na densidade final de semeadura

Na Tabela 9 é mostrado o efeito da velocidade de deslocamento em combinação com as densidades testadas na densidade final obtida para soja. Para o PSP, apenas na densidade de 20 sementes  $m^{-1}$  foi observada diferença significativa para o efeito da velocidade de deslocamento na densidade final de semeadura.

Para as densidades de 8, 12 e 16 sementes  $m^{-1}$  não houve redução na densidade de semeadura com aumento da velocidade. A alteração no número de aceitáveis descrita no item 4.1.5 é compensada pela elevação no número de múltiplos, não alterando a densidade semeada, mas sim a distribuição das sementes na linha de plantio. Tais resultados são contrastantes aos de LOPES et al. (1999), que atestam que o espaçamento se eleva na medida em que a velocidade de deslocamento aumenta, o que causa redução no número de plantas  $ha^{-1}$ . WEIRICH NETO et al. (2001), que estudaram a distribuição de sementes de feijão, concluindo que com o aumento da velocidade houve decréscimo do índice de enchimento do mecanismo dosador de sementes, exceto para as sementes classificadas dimensionalmente como grandes, que apresentaram o índice de enchimento próximo do esperado em todas as velocidades estudadas.

Para o PSM, as diferenças foram significativas exceto na densidade de oito sementes  $m^{-1}$  (Tabela 9). Na velocidade de 11,0  $km\ h^{-1}$ , ocorreram reduções na densidade final de semeadura quando nas densidades de 16 e 20 sementes  $m^{-1}$ . Na densidade de 20 sementes, foi observada acentuada redução na densidade semeada quando a velocidade foi de 11,0  $km\ h^{-1}$ , fato também observado na densidade de 16 sementes  $m^{-1}$ . Para a densidade de 8 sementes, embora quando observados os valores seja notada redução, esta não foi significativa.

Quanto à média das quatro densidades, apenas no PSM houve diferença significativa em relação à velocidade de deslocamento, sendo que na de 11,0  $km\ h^{-1}$  houve redução na densidade final de semeadura. Os resultados das maiores densidades e da média das quatro densidades permitem afirmar que a velocidade de 11,0  $km\ h^{-1}$  reduz significativamente a densidade de semeadura da soja em maiores quantidades de sementes por metro.

**Tabela 9 – Interações entre velocidade de deslocamento e densidade final de semeadura de soja para os dois protótipos. Santa Maria/RS, 2008.**

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Densidade de semeadura teórica (sementes m <sup>-1</sup> )				
	08	12	16	20	Média
	Sementes de soja m <sup>-1</sup>				
PSP					
4,3	7,75 <sup>NS</sup>	12,00 <sup>NS</sup>	16,75 <sup>NS</sup>	20,50ab*	14,25 <sup>NS</sup>
5,5	8,25	12,75	18,25	16,75b	14,00
7,0	9,00	12,25	16,50	17,25b	13,75
11,0	7,25	11,00	18,25	24,00a	15,12
PSM					
4,3	8,20 <sup>NS</sup>	11,00ab	15,00ab	20,00a	13,60a
5,5	8,00	10,60b	15,80a	20,00a	13,60a
7,0	7,60	10,80ab	16,60a	19,80a	13,70a
11,0	6,80	13,20a	13,00b	16,20b	12,30b

<sup>NS</sup> não significativo na coluna; CV PSP: 18,30%; CV PSM: 11,43; PSP: protótipo de semeadora-adubadora de precisão; PSM: protótipo de semeadora-adubadora múltipla.

Para a cultura do milho, não houve diferença significativa na densidade de plantas com o aumento da velocidade de deslocamento (Tabela 10). Para o PSP, na densidade de sete sementes m<sup>-1</sup> houve tendência de redução, embora não significativa estatisticamente.

Estes resultados concordam com os apresentados por MELLO et al. (2003), que não encontraram diferenças significativas na população de plantas de milho em função de velocidades variando de 3,5 a 7,7 km h<sup>-1</sup>.

**Tabela 10 - Interações entre velocidade de deslocamento e densidade final de semeadura de milho para os dois protótipos. Santa Maria/RS, 2008.**

Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Densidade de semeadura teórica (sementes m <sup>-1</sup> )			
	03	05	07	Média
	Sementes de milho m <sup>-1</sup>			
	PSP			
3,5	2,70 <sup>NS</sup>	4,45 <sup>NS</sup>	6,85 <sup>NS</sup>	4,67 <sup>NS</sup>
4,3	2,80	5,45	6,75	5,00
5,5	2,45	5,05	6,35	4,62
7,0	2,60	5,05	6,15	4,60
	PSM			
3,5	2,70 <sup>NS</sup>	4,45 <sup>NS</sup>	6,85 <sup>NS</sup>	4,90 <sup>NS</sup>
4,3	2,80	5,45	6,75	4,57
5,5	2,45	5,05	6,35	4,71
7,0	2,60	5,05	6,15	4,48

<sup>NS</sup> não significativo na coluna; CV PSP: 8,90%; CV PSM: 10,62; PSP: protótipo de semeadora-adubadora de precisão; PSM: protótipo de semeadora-adubadora múltipla.

## 4.2 Avaliações a campo

### 4.2.1 PSP

Os resultados referentes à avaliação de campo com o PSP são apresentados na Tabela 11. Com relação à profundidade de semeadura, houve efeito significativo da velocidade de deslocamento, sendo que com aumento da velocidade, ocorreu aumento da profundidade de semeadura. Casão Junior et al. (2000) observaram efeito contrário, ou seja, houve redução da profundidade de semeadura com aumento da velocidade de 4,5 para 8,0 km h<sup>-1</sup>. Todavia, Mahl (2002) não observou efeito da velocidade na variável profundidade de semeadura. Aumentos na profundidade de semeadura podem retardar a emergência da cultura e reduzir o estande de plantas (CELIK et al., 2007).

O índice de sementes expostas não foi afetado significativamente pela velocidade de deslocamento. Mahl (2006) obteve resultados semelhantes, sendo que de seis condições

diferentes, em apenas uma houve efeito da velocidade de deslocamento nesta variável. Casão Junior et al. (2000) também não verificaram efeito significativo da velocidade nesta variável.

A manutenção da cobertura do solo também não foi influenciada pela velocidade de deslocamento, mostrando boa capacidade de corte de palha dos discos de corte e aterramento e cobertura do sulco pelas rodas compactadoras de borracha do protótipo.

O volume de solo mobilizado foi influenciado significativamente pela velocidade de deslocamento. Houve elevação da mobilização de solo com aumento da velocidade, embora as velocidades de 8,0 e 10,3 km h<sup>-1</sup> não tenham diferido entre si. Cepik et al. (2005) não encontraram diferenças significativas para esta variável com aumento da velocidade, embora os autores tenham experimentado velocidades mais baixas. A umidade elevada do solo (33,63 g g<sup>-1</sup>), combinada à baixa profundidade de deposição de fertilizante (0,07 m), contribuiu para os baixos valores de mobilização de solo. O sulcador tipo facão afastado que equipava o protótipo foi projetado com perfil longitudinal reduzido, para minimizar o volume de solo mobilizado, o que em sistema de semeadura direta é desejável para suprimir a emergência de invasoras e manter a cobertura do solo.

**Tabela 11 - Variáveis da avaliação de desempenho do protótipo de semeadora-adubadora de precisão (PSP) realizada em campo experimental. Cachoeira do Sul/RS, 2008.**

Parâmetro de avaliação	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )		
	6,0	8,0	10,3
Profundidade de semeadura (mm)	38,95 b*	43,65 b	51,10 a
Índice de sementes expostas (%)	1,10 <sup>NS</sup>	1,70	1,80
Manutenção da cobertura do solo (%)	97,06 <sup>NS</sup>	96,23	96,89
Volume de solo mobilizado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	73,83 b	99,27 a	100,65 a
Deslizamento das rodas do PSP (%)	3,19 c	9,69 b	13,30 a
Capacidade de campo teórica (ha h <sup>-1</sup> )	2,43	3,24	4,17

\*Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan com P < 0,05. <sup>NS</sup> não significativo.

Houve elevação do deslizamento das rodas do protótipo com aumento da velocidade de deslocamento (Tabela 11). Na maior velocidade houve deslizamento de 13,30%, o que pode comprometer a dosagem de sementes, visto que os mecanismos dosadores são acionados

pelas rodas da semeadora. O protótipo possuía 4 rodas independentes, sendo as duas centrais responsáveis pelo acionamento dos dosadores de semente e fertilizante. Este sistema pode reduzir o contato das rodas motoras de dosadores em velocidades mais elevadas, conforme observado no experimento. Os valores de deslizamento são maiores que os obtidos por Furlani et al. (2004) para semeadura direta.

#### 4.2.2 PSM

Na Tabela 12 está representada a distribuição de sementes de trigo nas seis linhas avaliadas no PSM. Foi verificada variação na distribuição de sementes, independente da velocidade de deslocamento e da densidade, mesmo que diferenças significativas tenham ocorrido apenas para as densidades de 150 e 205 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, para a densidade de 70 kg ha<sup>-1</sup> não houve efeito da velocidade na dosagem de sementes. Convém ressaltar que a distribuição transversal é avaliada entre linhas da semeadora, por isso são apresentados a média, desvio padrão, CV e variação máxima.

A velocidade de 6,2 km h<sup>-1</sup> foi a que proporcionou menores desvios da média, independente da densidade de semeadura. O Desvio Padrão (DP) variou de 7,66 a 19,19 kg ha<sup>-1</sup> da menor densidade associada à menor velocidade à maior velocidade combinada à maior densidade.

Quando analisadas separadamente as velocidades dentro das densidades testadas, foi observado que o DP é menor na velocidade de 6,2 km h<sup>-1</sup>. Estes dados conferem com as afirmações de Delafosse (1986), que afirma que a velocidade de deslocamento afeta a distribuição de plantas na semeadura. No entanto, Modolo et al. (2004), avaliando uma semeadora de precisão, verificaram que a velocidade de deslocamento não afetou a uniformidade de distribuição de sementes.

Outro fato que contribui para a diminuição da regularidade de distribuição de sementes é a altura do mecanismo dosador tipo rotor acanalado, ficando este posicionado logo abaixo do reservatório de sementes, em uma altura considerável do solo. Silva (2000), afirma que a maioria dos mecanismos são posicionados na máquina em uma altura distante do solo, fazendo com que as sementes após serem dosadas, tenham de percorrer uma grande distância em queda livre dentro do tubo condutor, até o solo, o que, de acordo com Rocha et al. (1998) a altura de queda das sementes afeta o desempenho dos mecanismos dosadores.

**Tabela 12 - Distribuição de sementes em três velocidades de deslocamento do conjunto trator/protótipo de semeadora-adubadora múltipla (PSM) para três densidades de semeadura de trigo. Santa Maria/RS, 2007.**

Densidade (kg ha <sup>-1</sup> )	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )	Média (kg ha <sup>-1</sup> )	Desvio padrão (kg ha <sup>-1</sup> )	CV (%)**	Amplitude Total (%)***
70	6,2	71,05 <sup>NS</sup>	7,66	10,78	27,06
	9,8	70,25	8,65	12,32	30,81
	12,6	67,60	8,56	12,66	27,45
150	6,2	140,48 b	10,67	7,60	18,48
	9,8	151,88 ab	16,18	10,66	24,55
	12,6	160,56 a	14,06	8,76	20,47
205	6,2	187,87 b	10,16	5,41	13,04
	9,8	215,69 a	19,19	8,90	21,09
	12,6	213,39 a	19,13	8,96	20,71

\*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, na mesma densidade, não diferem significativamente pelo teste de Duncan com  $P < 0,05$ . <sup>NS</sup> não significativo.

Variações maiores de desuniformidade de distribuição de sementes de trigo foram observadas na densidade de semeadura de 205 kg ha<sup>-1</sup>. Isto se deve ao fato de, que pequenas oscilações na densidade ocasionadas por diferentes fatores, inclusive velocidade de deslocamento, afetam mais a distribuição de sementes do que em menores densidades de semeadura.

Kepner et al. (1982) destaca que ao contrário do que acontece com as culturas de sementes grandes, onde a densidade de plantas tem grande influência na produção da lavoura, para as culturas de sementes pequenas, há uma grande faixa de população de plantas que não afeta a produtividade. Isso vem ao encontro das variações proporcionadas pelo mecanismo dosador rotor acanalado, não comprometendo sua usabilidade em máquinas dessa natureza.

Na Tabela 13 são apresentados os valores de volume de solo mobilizado (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), profundidade de semeadura (mm) e índice de sementes expostas (%), para as três velocidades estudadas no PSM. A análise da variância mostrou diferenças significativas ao nível de significância de 5% para as duas primeiras variáveis, sendo que para índice de sementes expostas não houve efeito significativo da velocidade.

**Tabela 13 - Volume de solo mobilizado e profundidade de semeadura em três velocidades de deslocamento do conjunto trator/protótipo de semeadora-adubadora múltipla (PSM). Vacaria/RS, 2006.**

	Velocidade de deslocamento (km h <sup>-1</sup> )		
	6,2	9,8	12,6
	Volume de solo mobilizado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
Média	39,78b*	54,22ab	67,22a
CV (%)	15,22	08,96	17,41
	Profundidade de semeadura (mm)		
Média	34,40ab	41,07a	36,67b
CV (%)	39,14	53,67	15,92
Capacidade de campo teórica (ha h <sup>-1</sup> )	02,51	03,97	05,10
	Índice de exposição de sementes (%)		
Média	0,43 <sup>NS</sup>	0,77	0,64
CV (%)	13,70	10,54	07,88

\*Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan com  $P < 0,05$ . <sup>NS</sup> não significativo.

A variável perfil de solo mobilizado, aumentou significativamente com elevação da velocidade de deslocamento. Perfil mobilizado representa a quantidade de solo que é revolvida após a passagem da semeadora-adubadora, sendo que valores elevados podem proporcionar problemas de perda de solo por erosão quando da ocorrência de precipitação após a operação de semeadura, principalmente em áreas declivosas, além de comprometer a continuidade de características físicas desejáveis do solo agrícola sob semeadura direta.

Outro fator que influencia o volume de solo mobilizado é a umidade do solo, sendo que maiores umidades do solo tendem ao aumento do volume de solo mobilizado. Neste estudo, embora a umidade fosse elevada (0,38 g g<sup>-1</sup>), os valores de volume de solo mobilizado são pequenos, visto que para semeadura do trigo não são empregados sulcadores de fertilizante, sendo este acondicionado junto à semente no sulco aberto pelo sulcador de sementes.

Quanto à profundidade de semeadura, não houve correlação entre aumento da velocidade e profundidade de semeadura. Em discordância a isto, Silva et al. (1999) verificaram que a semeadura ocorreu mais superficialmente nas maiores velocidades de

deslocamento na semeadura do feijoeiro comum em semeadora-adubadora também equipada com mecanismo sulcador de sementes tipo duplo disco defasado. A elevada quantidade de palha no momento do experimento pode ter contribuído para a elevação dos coeficientes de variação para profundidade de semeadura.

Em relação ao índice de sementes expostas, não houve efeito da velocidade de deslocamento sobre esta variável. Mahl (2002) encontrou resultados semelhantes. A autora estudou diferentes semeadoras-adubadoras, velocidades e manejos do solo, verificando efeito apenas do fator semeadora-adubadora. A autora comenta ainda, que a ausência de efeito da velocidade no percentual de sementes expostas é desejável, permitindo aumentar a capacidade de campo sem expor as sementes, o que teria influência na emergência, estande de plantas e produtividade.

## 5 CONCLUSÕES

Para as culturas estudadas, maiores densidades de semeadura, na faixa de três a sete e de oito a vinte sementes  $m^{-1}$ , para as culturas de milho e soja respectivamente, reduzem o percentual de espaçamentos aceitáveis entre sementes.

O aumento da velocidade de semeadura para a cultura do milho, de 3,5 para 7,0  $km\ h^{-1}$ , não ocasiona redução na densidade de semeadura, expressa pelo número de sementes por metro nos dois protótipos avaliados.

Para a cultura da soja, somente no protótipo de semeadora-adubadora múltipla, o aumento da velocidade ocasiona redução significativa na densidade final de semeadura da cultura.

Quanto à distribuição de fertilizantes, ambos os protótipos apresentam regularidade de distribuição independente da velocidade e das razões de distribuição de fertilizante estudada, sendo que a razões de distribuição de fertilizante apresentou efeito apenas no protótipo de semeadora-adubadora múltipla, onde o comportamento da menor razão de distribuição foi diferente das demais; para o protótipo de semeadora-adubadora de precisão, as mesmas tendências são observadas nas três razões de distribuição estudadas.

Quando traçado um paralelo entre os dois protótipos, se permite afirmar que os mesmos apresentam desempenho semelhante nas avaliações realizadas em pista.

## **6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com base na revisão bibliográfica realizada, na metodologia empregada e nos resultados obtidos, algumas considerações são necessárias com o intuito de embasar ideias de novos estudos relacionados ao tema da dissertação. Entre estas:

Desenvolver trabalhos visando determinar tamanho de amostra e número de repetições para as variáveis comumente empregadas em avaliações de desempenho de semeadoras-adubadoras, principalmente no que se refere à distribuição longitudinal e transversal de sementes.

Avaliar a distribuição longitudinal de fertilizantes por mecanismos dosadores helicoidais; para tanto, se faz necessário o desenvolvimento de um equipamento que possibilite este estudo, considerando a universalidade que deve existir para comportar todos os tipos de mecanismos dosadores.

Ainda com relação a mecanismos dosadores de fertilizantes, seria relevante, o desenvolvimento, através de metodologia sistemática de projeto, de um sistema de monitoramento da distribuição por tais mecanismos dosadores, a exemplo dos sistemas comerciais disponíveis no mercado, que usam sensores óptico-eletrônicos para monitoramento da distribuição de sementes.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR/9743 - Semeadora de fluxo contínuo em linha - ensaio de laboratório**. São Paulo: Fórum Nacional de Normalização, 1987. 16p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.. **Projeto de norma 04: 015.06-004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994. 7p.

ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C.M. O afilhamento da aveia afetado pela qualidade da luz em plantas sob competição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 393-400, jan./fev. 2001.

ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; ENDER, M. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 23–29, jan./fev. 2000.

ALVES, D. Gastos com saúde: uma análise por domicílios para a cidade de São Paulo. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 3, p. 479-494, jul. 2001.

ASAE - American Society Agricultural Engineering. **ASAE Standars: ASAE D497.2 Agricultural machinery management data**. St. Joseph, p. 332-339, 1999.

ANDREOLI, C. et al. Influência da germinação da semente e da densidade de semeadura no estabelecimento do estande e na produtividade de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 24, n. 2, p.1-5, maio. 2002.

ARGENTA, G. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 71-78, jan. 2001.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. 1. ed. São Paulo: Manole, 1987. 310 p.

BALL, R. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Short-season soybean yield compensation in response to population and water regime. **Crop Science**, Madison, 40, p. 1070-1078, 2000.

BLACKET, D. S. **Improving crop emergence with management and agronomy**. In: I. M. WOOD, I.M; HAZARD, W.H.; FROM, F.R. (Ed.). *Crop Establishment Problems in Queensland: Recognition, Research and Resolutions*. Occas. Publ. n. 34, Australian Institute of Agricultural Science, Brisbane, p. 192–207, 1987.

BRANQUINHO, K. B. et al. Desempenho de uma semeadora-adubadora direta, em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo da biomassa da cultura de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 374-380, maio/ago. 2004.

CANOVA, R. et al. Distribuição de sementes por uma semeadora-adubadora em função de alterações mecanismo dosador e de diferentes velocidades de deslocamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 299-306, jul./set. 2007.

CASÃO JUNIOR, R. et al. **Desempenho da semeadora-adubadora SA 13500 Vence Tudo em solos argilosos**. IAPAR (Circular Técnica nº 110), 2000a, 46p.

CASÃO JUNIOR, R. et al. **Desempenho das semeadoras-adubadoras MPS 1600 e MPS 1000 Imasa em solos argilosos**. IAPAR (Circular Técnica nº 110), 2000b, 44p.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. de; RALISCH, R. Desempenho da semeadora-adubadora MAGNUM 2850 em plantio direto no basalto paranaense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 523-532, mar. 2000c.

CELIK, A.; OZTURK, I.; WAY, T. R. Effects of various planters on emergence seed distribution uniformity of sunflower and seed distribution uniformity of sunflower. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23, n. 1, p. 57-61, 2007.

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

COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. Universidade Estadual de Campinas, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Campinas, 1998, 96f.

CORTEZ, J. W. et al. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 502-510, maio/ago. 2006.

DALLMEYER, A. U. Opções na semeadura. **Cultivar Máquinas**, v. 1, n. 2, p. 06-09, 2001.

DEBIASI, H, MARTINS, J. D., MISSIO, E. L. Produtividade de grãos e componentes do rendimento da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) afetados pela densidade e velocidade de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 649-655, mar./abr. 2007.

DELAFOSSÉ, R. M. **Máquinas sembradoras de grão grosso**. Santiago: FAO, 1986. 48 p.

DUTRA, L. M. C. et al. População de plantas em soja. In: 35ª Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. **Ata e resumos**. Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria, p. 95, 2007.

ECHARTE, L. et al. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 1-8, 2000.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – Paraná 2007**. (Sistemas de Produção 10/ Embrapa soja) Londrina, 2006, 217p.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil**. (Sistemas de Produção/Embrapa Soja) Londrina, 2008, 280p.

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

FERREIRA, M. F. et al. Fertilizers flow uniformity by helical dozers in function of the longitudinal leveling. In: International Conference of Agricultural Engineering, 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2008.

FURLANI, C. E. A. et al. Avaliação do desempenho de uma semeadora-adubadora em função da velocidade de deslocamento e carga no depósito de fertilizante. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 4, 268-275, out./dez. 2006.

FURLANI, C. E. A. et al. Desempenho operacional de uma semeadora-adubadora de precisão, em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 388-395, maio/ago. 2004.

FURLANI, C. E. A. et al. Características da cultura do milho (*Zea mays* L.) em função do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 177-186, maio/ago. 1999.

GAN, Y. et al. Physiological response of soybean genotypes to plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, n. 74, p. 231-241, 2002.

GIL, L. R.; ALBORNOZ, A. Adaptacion experimental de una sembradora para siembra directa. **Agronomía Tropical**, v. 45, n.1, p. 73-84, 1995.

HEIFFIG, L. S. fechamento e índice de área foliar da cultura da soja Em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

HU, S. X. et al. Application of kinetic image processing to measurement of seed distribution. **Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 16, n. 5, p. 56-59, 2000.

IAPAR. **Direto na qualidade**. Boletim de divulgação da operação de comunicação plantio direto com qualidade, n. 4, 2002, 6p.

IVANČAN, S.; SITO, S.; FABIJANIĆ, G. Effect of precision on the intra-row seed distribution for parsley drill operating speed. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 89, n. 3, p. 373-376, mar. 2004.

JOHNSON, G. A.; HOVERSTAD, T. R.; GREENWALD, R. E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 1, p. 40-46, jan./fev. 1998.

KACHMAN, S. D.; SMITH, J. A. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 2, p. 379-387, mar./abr. 1995.

KARAYEL, D.; ÖZMERZI, A. Comparison of vertical and lateral seed distribution of furrow openers using a new criterion; **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n. 95, p. 69-75, 2007.

KEPNER, R. A.; BAINER, R.; BARGER, E. L. **Principles of farm machinery**. 3rd ed. Westport: Avi Publishing Co., 1982. 527p.

KLEIN, A. et al. Efeito da velocidade na semeadura direta da soja. **Engenharia Agrícola**, Jabotical, v. 22, n. 1, p. 75-82, jan./abr. 2002.

KOCHER, M. F. et al. Opto-electronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 1, p. 237-245, jan./fev. 1998.

KURACHI, S. A. H. et al. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, v. 48, n. 2, p. 249-262, 1989.

LAN, Y.; KOCHER, M. F.; SMITH, J. A. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. **Journal Agricultural Engineering Research**, n. 72, p. 119-127, 1999.

LIU, W., et al. Impact of planter type, planting speed, and tillage on stand uniformity and yield of corn. **Agronomy Journal**, Madison, n. 96, n. 6, p. 1668–1672, Nov./dez. 2004.

LOPES, A. et al. Efeito do tipo de preparo do solo e da velocidade de semeadura em características agronômicas da cultura do milho (*Zea mays* L.). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, 1999. Pelotas, **Anais...** Pelotas: SBEA, 1999. CD Rom.

MAHL, D. et al. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes milho sob variação de velocidade e condição de solo; **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 150-157, jan./abr. 2004.

MALEKI, M. R. et al. A new index for seed distribution uniformity evaluation of grain drills. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 94, n. 3, p. 471–475, mar. 2006.

MARCHÃO, R. L. et al. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MERCANTE, E. et al. Demanda energética e distribuição de sementes de milho em função da velocidade de duas semeadoras; **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 424-428, maio/jun. 2005.

MEROTTO JÚNIOR, A. et al. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 595-601, jul./ago. 1999.

MODOLO, A. J.; GABRIEL FILHO, A.; SILVA, S. de L.; GNOATTO, E. Força de tração necessária em função do número de linhas de semeadura utilizadas por uma semeadora-adubadora de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 465-73, 2005.

MODOLO, A. J.; SILVA, S. de L.; GABRIEL FILHO, A. Força necessária. **Cultivar Máquinas**, v. 8, n. 73, p. 6-9, 2008.

MODOLO, A. J. et al. Avaliação do desempenho de duas semeadoras-adubadoras precisão em diferentes velocidades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p. 298-306, out./dez. 2004.

MOODY, F. H.; HANCOCK, J.H.; WILKERSON, J. B. Evaluating planter performance-cotton seed placement accuracy. **ASABE Paper number 031146**, St. Joseph, ASABE Annual Meeting, 2003.

MURRAY, J. R.; TULLBERG, J. N.; BASNET, B.B. **Planters and their Components: types, attributes, functional requirements, classification and description**. ACIAR Monograph nº 121. University of the Queensland, Australia, 2006. 178p.

NIELSEN, R. L. Planting speed effects on stand establishment and grain yield of corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, n.8, p.391–393, 1995.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. Dissertação (mestrado em agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003, 90f.

PEIXOTO, C. M. et al. Produtividade de híbridos de milho em função da densidade de plantas, em dois níveis de manejo da água e da adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 63–71, 1997.

PEIXOTO, C. P. et al. Épocas de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, Jaboticabal, v. 57, n. 1, p. 89-96, jan./abr. 2000.

PEREIRA, F. R. da S. Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.69–74, jan./fev. 2008.

PIRES, J. L. F. et al. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1541-1547, 2000.

PORTELLA, J. A. **Mecanismos dosadores de sementes e de fertilizantes em máquinas agrícolas**. Passo Fundo: EMBRAPA – CNPT, 1997. 40p.

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.2, p.71-78, maio/ago. 1997.

RAMBO, L. et al. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 33-40, jan./fev. 2004.

RAMBO, L. et al. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 405-411, mai./jun. 2003.

REIS, A. V. dos; FORCELLINI, F. A. Identificação de requisitos de clientes para o projeto de um dosador de precisão para sementes miúdas. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 309-320, jan./abr. 2006.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (34:2006: Pelotas). **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2006/2007**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 237 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 27., 1999, Chapecó. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1999/2000**. Chapecó, SC. Epagri/CPMP, 1999. 167p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 32., 2004, Passo Fundo. **Indicações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina – 2004/2005**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 149 p.

ROCHA, F. E. C. et al. Avaliação de três mecanismos de distribuição de sementes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p.331-337, mar. 1998.

ROCHA, F. E. C. et al. Comparação de semeadoras-adubadoras de milho com relação a preços de aquisição e eficiência operacional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.5, p.751-757, maio 1992.

SANGÓI, L. et al. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, 101-110, 2002.

SANGÓI, L. et al. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 6, p. 861-869, jun. 2001.

SANGOI, L. et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 79, p. 39–51, 2002.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, jan./fev. 2001.

SHIOGA, P. S. et al. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.3, n.3, p.381-390, dez. 2004.

SILVA, J. G. da; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M., da. Desempenho de uma semeadora adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agrícola**, Jaboticabal, v.57, n.1, p. 07-12, jan./abr. 2000.

SILVA, M. R. da. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação**. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003, 96f.

SILVA, R. P. da, TEIXEIRA, F. A. C, CAMPOS, M. A. O. Efeito da profundidade de semeadura e da carga sobre a roda compactadora no desenvolvimento da soja (*Glycine max*); **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.12, n.3, 169-176, jul/set. 2004.

SILVA, S. de L. **Máquinas para semeadura, plantio e transplântio**. Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel, 2005, 32p.

SILVA, S. L. **Avaliação de semeadoras para plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de deposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento**. 2000. 123 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, J. G. da, SILVEIRA, P. M. da. **Avaliação de uma semeadora adubadora na cultura do milho**. EMBRAPA CNPAF (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 02), Santo Antonio de Goiás, 2002, 19p.

SILVEIRA, J. C. M. da et al. Uniformidade de distribuição de plantas e estande de milho (*Zea mays* L.) em função do mecanismo dosador de sementes; **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 467-472, jul. 2005.

SILVEIRA, J. C. M. da; FILHO, A. G.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto; **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 4, 256-267, out./dez. 2005.

SINGH R. C.; SINGH, G.; SARASWAT D. C. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 92, n. 4, p. 429–438, abr. 2005.

SIQUEIRA, R.; CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G. Escolha certa. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v.1, n.4, p. 15-19, abr. 2001.

SORDI, F. **Efeito da profundidade de semeadura e da compactação do solo sobre a semente na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. Jaboticabal 2001. 50p. Trabalho de graduação. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista.

STORCK, L. et al. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2000. 198p.

TEIXEIRA, M. C. C.; BEMYGDIO, B. M.; RODRIGUES, O. **Efeito da densidade de plantas e espaçamento entre linhas no desempenho de cultivares de milho da Embrapa.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 14 p. html (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 34). Disponível: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp34.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp34.htm).

TESSIER, S., et al. Zero-tillage furrow opener effects on seed environment and wheat emergence. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 21, n.3-4, p. 347-360, 1991.

TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A.; NISSANKA, S. P. Grain yield is reduced more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 2, p. 239-246, mar./abr. 1997.

VAMELARI, T.; BERTOCCO, M. SARTORI, L. Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays*, L.): A comparison with double-disk opener. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p. 196-209, 2006.

WHEIRICH NETO, P. H. et al. Distribuição de sementes de feijão, classificadas dimensionalmente, utilizando mecanismo dosador tipo disco perfurado horizontal. **Publicatio UEPG**, Ponta Grossa, v. 7, n. 1, p. 7-20, jan./dez. 2001.

## 8 APÊNDICES

### 8.1 Apêndice A – Conjunto trator/protótipo de semeadora de precisão (PSP).



### 8.2 Apêndice B – Conjunto trator/protótipo de semeadora múltipla (PSM).



### 8.3 Apêndice C – Vista geral da área experimental de Cachoeira do Sul/RS.



### 8.4 Apêndice D – Vista geral da área experimental de Vacaria/RS.

