

00  
T  
9

13600



# *Semeadora de Precisão com Controle Eletrônico de Performance*



**Embrapa**

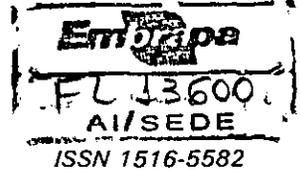
Semeadora de precisão com

1999

FL-13600



44397-1



## ***Semeadora de Precisão com Controle Eletrônico de Performance***

*José Antônio Portella*

*Carlos Amadeu Pallerosi*

*Ruy Casão Júnior*

*Paulo Sérgio Corrêa Molina*

*Passo Fundo, RS*

*1999*



**Embrapa**  

---

**Trigo**

*Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:*

*Embrapa Trigo*

*Rodovia BR 285, km 174*

*Telefone: (54) 311-3444*

*Fax: (54) 311-3617*

*Caixa Postal 451*

*99001-970 Passo Fundo, RS*

*Tiragem: 1.000 exemplares*

***Comitê de Publicações***

*Rainoldo Alberto Kochhann - Presidente*

*Amarilis Labes Barcellos*

*Dirceu Neri Gassen*

*Erivelton Scherer Roman*

*Geraldino Peruzzo*

*Irineu Lorini*

***Tratamento Editorial: Fátima M. De Marchi***

***Referência Bibliográfica: Maria Regina Martins***

***Capa: Liciane Duda Bonatto***

***PORTELLA, J.A.; PALLEROSI, C.A.; CASÃO  
JÚNIOR, R.; MOLINA, P.S.C. Semeadora de  
precisão com controle eletrônico de  
performance. Passo Fundo: Embrapa Trigo,  
1999. 44p. (Embrapa Trigo. Documentos, 9).***

***Semeadora; Máquina Agrícola; Eletrônica  
embarcada.***

***CDD: 631.3***

***© Embrapa Trigo 1999***

## **Apresentação**

*O processo produtivo na agricultura, cada vez mais exige previsibilidade e eficiência de seus instrumentos de trabalho. Vive-se a nova era da agricultura de precisão, a qual permite, inclusive, o acompanhamento de processos produtivos via satélite e a correção de problemas potenciais relativos às condições climáticas, adáfcas e até estruturais de uma propriedade, mesmo antes de eles se concretizarem*

*Quanto mais globalizada a economia, quanto maior a competição entre os países produtores, quanto mais especializados os processos produtivos, mais dependente de inovações tecnológicas e de mão-de-obra especializada será a agricultura. A semeadora de precisão com controle eletrônico de performance é um projeto desenvolvido por pesquisadores da Embrapa Trigo em parceria com pesquisadores da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade de Passo Fundo, que buscam, justamente, oferecer um equipamento para semeadura de grãos de alta performance para atender às atuais demandas desse mercado globalizado.*

*A Embrapa Trigo tem a satisfação de colocar à disposição de seus clientes mais esta publicação, a qual, entende-se, vem, oportunamente, atender a uma exigência do mercado de máquinas e equipamentos para a lavoura brasileira.*

**Benami Bacaltchuk**  
**Chefe-geral da Embrapa Trigo**

## Sumário

<b><i>Semeadora de Precisão com Controle Eletrônico de Performance</i></b> .....	7
<i>Resumo</i> .....	7
<i>Introdução</i> .....	10
<i>Revisão de Literatura</i> .....	12
<i>Material e Métodos</i> .....	15
<i>Projeto e desenvolvimento da válvula geradora de vácuo-     pressão</i> .....	15
<i>Concepção do projeto</i> .....	18
<i>Depósito de sementes e chassi do mecanismo dosador</i> ....	19
<i>Rotor dosador de sementes</i> .....	19
<i>Dinâmica da captura de sementes</i> .....	24
<i>Construção do mecanismo de transporte de sementes</i> ....	25
<i>Controle eletrônico da velocidade do eixo de acionamento     dos mecanismos dosadores de semente</i> .....	26
<i>Diagrama de blocos do sistema eletrônico</i> .....	27
<i>Um exemplo numérico</i> .....	30
<i>Programa de controle</i> .....	34
<i>Resultados e Discussão</i> .....	35
<i>Avaliações preliminares da semeadora Uniflux, com     controle eletrônico de performance</i> .....	35
<i>Conclusões</i> .....	42
<i>Referências Bibliográficas</i> .....	43

# ***Semeadora de Precisão com Controle Eletrônico de Performance***

*José Antonio Portella<sup>1</sup>*

*Carlos Amadeu Palleros<sup>2</sup>*

*Ruy Casão Júnior<sup>3</sup>*

*Paulo Sérgio Corrêa Molina<sup>4</sup>*

## ***Resumo***

*Este projeto foi idealizado com a finalidade de minimizar os principais problemas na regularidade de distribuição de sementes, apresentados tanto pelos sistemas de plantio de precisão como pelos sistemas de plantio de fluxo contínuo, bem como possibilitar o aumento da velocidade de deslocamento da semeadora, através do uso de controlador eletrônico da performance de dosagem de sementes.*

*As semeadoras comerciais hoje existentes no mercado apresentam problemas na regularidade de*

---

<sup>1</sup> *Pesquisador da Embrapa Trigo, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. e-mail: portella@cnpt.embrapa.br.*

<sup>2</sup> *Eng.-Mec., Professor da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp.*

<sup>3</sup> *Pesquisador, Dr., do Iapar.*

<sup>4</sup> *Mestre, Professor da FEAR-UPF.*

*As semeadoras comerciais hoje existentes no mercado apresentam problemas na regularidade de distribuição de sementes, devido a várias limitações mecânicas, tais como:*

- *elevado torque necessário para acionamento dos mecanismos dosadores, pelas rodas da semeadora, através de relações de transmissão (correntes e engrenagens);*

- *movimentação relativa entre as sementes, nos dutos que as levam até o solo, devido ao fato de apenas a força da gravidade ser exercida sobre elas; e*

- *alvéolos não preenchidos, devido a irregularidades na forma e no peso das sementes, bem como à alta velocidade periférica dos pratos dosadores, gerando falhas na distribuição.*

*A semeadora Uniflux, por sua vez, tem a performance de dosagem de sementes gerenciada por um conjunto de sensores eletrônicos que controlam o movimento do eixo de acionamento do dosador de sementes. A semente, depositada em um reservatório, é conduzida até o componente dosador, que possui duas seções distintas. Uma delas, sob vácuo, prende as sementes em orifícios na periferia de um prato dosador. O eixo de acionamento do dosador, cujo controle é determinado eletronicamente, gira esse prato dosador, conduzindo as sementes para o ponto de descarga. Nessa outra seção que está sob pressão, a semente é*

lançada, com velocidade, por uma tubulação de pequeno diâmetro, em regime de fluxo turbulento.

A fonte de energia pneumática é um turboventilador, acionado pela tomada de potência do trator. A transformação de pressão em vácuo é realizada em um conversor que usa o princípio de Venturi para esse fim.

A semeadora foi avaliada tanto em laboratório (captura de sementes) quanto em campo (regularidade de distribuição de sementes). Os estudos iniciais indicaram, em relação à captura de sementes de milho, 78 % de preenchimento para pressões de 20 mbar até 96 % para pressões de 60 mbar. Quando avaliada ao nível de campo, em quatro velocidades de deslocamento (3,5 km/h, 5,0 km/h, 7,5 km/h e 10,0 km/h), dosando sementes de milho e com o turboventilador gerando 60 mbar de pressão, o índice médio de preenchimento de alvéolos foi de 99 %. Finalmente, empregando-se a Norma Brasileira para ensaios de distribuição longitudinal de sementes, foi avaliada a performance da semeadora na distribuição de sementes de milho em velocidade de 5,0 km/h e 60 mbar de pressão. Observou-se que 89,1 % dos valores eram normais, 4,3 % consistiam em duplos e 6,6 % em falhas.

Através dessas observações, é possível afirmar que o mecanismo dosador de sementes e o fluxo positivo de transporte contribuem para o avanço do estado da arte no campo de semeadoras de precisão.

## **Introdução**

*O problema da uniformidade de distribuição de sementes nas semeadoras ainda não foi totalmente equacionado. Embora as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT indiquem que a ocorrência superior a 75 % de espaçamentos aceitáveis entre sementes (espaçamento aceitável compreende distâncias entre 0,5 a 1,5 vez o espaçamento nominal) é considerada desempenho adequado, a procura da perfeição é um constante ponto de competitividade entre as indústrias de semeadoras.*

*As semeadoras pneumáticas existentes no mercado agrícola brasileiro (todas com dosadores importados - Monosem, Becker, Gaspardo, Accord) apresentam o princípio que melhor associa a dosagem adequada ao menor dano às sementes. Além disso, os modelos pneumáticos hoje disponíveis somente efetuam semeadura de precisão, ao passo que os produtores rurais têm exigido semeadoras múltiplas, ou seja, semeadoras com dosadores tanto em precisão quanto em fluxo contínuo, através da troca do disco dosador. Esse é o ponto central do Projeto Uniflux – colocar no mercado um dosador múltiplo de sementes cujo controle permita o plantio de espécies de sementes graúdas e de sementes miúdas.*

*O objetivo principal foi desenvolver um sistema de dosagem e transporte de sementes capaz de distribuí-las*

*uniformemente no solo, liberando-as em velocidade igual e contrária à de deslocamento da semeadora, sem danificá-las. Ao mesmo tempo, objetiva a dosagem e a distribuição de sementes em fluxo contínuo e a espaçamentos estreitos entre linhas de semeadura, como é o caso da cultura de trigo e de outros cereais de inverno.*

*Com a finalidade de apresentar grande versatilidade de uso, os componentes da semeadora, além de apresentar alta confiabilidade, devem proporcionar baixa manutenibilidade, destacando-se pelo prático intercâmbio de peças ou de sistemas.*

*Para atingir os objetivos propostos, foi desenvolvida uma válvula de vácuo para atender às condições do sistema de distribuição e transporte de sementes, obtida a partir da construção de um bocal convergente-divergente para condições ótimas de trabalho.*

*Posteriormente foi projetado e construído um protótipo do sistema de dosagem pneumática de sementes, com dimensões em escala, principalmente quanto ao diâmetro e à largura do rotor de dosagem de sementes e ao número de células de aspiração de sementes, que permitiu avaliar o desempenho do equipamento quanto à rotação do rotor de dosagem, ao nível de pressão e ao tipo de célula de captura que apresentassem melhor comportamento para diferentes tipos de sementes.*

## ***Revisão de Literatura***

*As indústrias nacionais de implementos agrícolas, apesar do distanciamento de seus produtos em relação ao padrão tecnológico internacional, afirmado por Coutinho et al. (1994), têm, nas semeadoras pneumáticas e para plantio direto, o melhor nível entre os implementos nacionais, atribuindo-se isso à integração entre as indústrias e as instituições de pesquisa, assim como à demanda dos produtores para o estabelecimento correto das culturas.*

*Kurachi et al. (1993), em estudo com diferentes mecanismos dosadores de sementes, evidenciaram o uso do sistema pneumático na redução de danos às sementes. Afirmam que a má distribuição longitudinal de sementes na linha de semeadura é oriunda de dois tipos de erro: os de dosagem e os de deposição. O erro de dosagem é resultante da captura múltipla ou nula de sementes pelas células do elemento dosador. Já o erro de deposição resulta de variações na trajetória da semente, desde sua liberação do dosador até atingir o solo pelo rolamento e ricocheteamento da semente no tubo de descarga, assim como seu impacto no solo.*

*Muitas vezes, o desempenho conquistado na unidade dosadora é perdido na tubulação de descarga, acarretando desuniformidade. Para reduzir esse efeito, as modernas semeadoras de precisão têm posicionado os*

*sistemas de dosagem o mais próximo possível do solo. Com isso, o dosador de sementes é montado sobre cada linha de plantio da semeadora, impedindo, por razões de espaço, o seu uso para culturas com espaçamento inferior a 35 cm.*

*Procurando amenizar esses erros, Monteiro (1989) desenvolveu um protótipo de semeadora pneumática que lança sementes do dosador, bem próximo do solo, em velocidade semelhante e em sentido contrário ao deslocamento do implemento, com o objetivo de elas atingirem o terreno a uma velocidade praticamente igual a zero.*

*Portella (1991), estudando o transporte unitário de grãos em tubulações de pequeno diâmetro, levantou parâmetros importantes para a redução dos erros de deposição de sementes no solo. Conseguiu transportar as sementes pneumaticamente, mantendo certa uniformidade da velocidade dos grãos na tubulação e liberando-os em velocidade compatível com o deslocamento da semeadora.*

*Após esse estudo, Pallerosi e Portella (1992) apresentaram proposta de desenvolvimento de uma semeadora pneumática-eletrônica, cujo processo de transporte de sementes do sistema de distribuição ao solo é realizado com fluxo forçado de ar. Esse estudo fundamenta-se na hipótese da existência de conhecimentos científicos que permitam o uso de*

*componentes pneumáticos para a captura e transporte de materiais, possibilitando assim desenvolver um sistema pneumático conjugado de dosagem e transporte de sementes para ser usado apropriadamente em uma semeadora de precisão e de fluxo contínuo.*

*Cação Junior (1996) desenvolveu e estudou o conjunto de interações entre um sistema gerador de vácuo e pressão e o transporte pneumático de sementes.*

*Portella (1991) cita que os primeiros modelos de semeadoras pneumáticas foram desenvolvidos a partir dos anos 60, derivados do protótipo original desenvolvido pela Becker, na Alemanha. No Brasil, a primeira a ser comercializada foi a semeadora Turbo-Max, produzida pela Max, em Carazinho, no Rio Grande do Sul. Posteriormente, os fabricantes Jumil, Marchesan, Baldan e Semeato, respectivamente com os modelos Exacta, Suprema, Solomatic e Par-Turbo, ofereceram ao mercado semeadoras pneumáticas por sucção.*

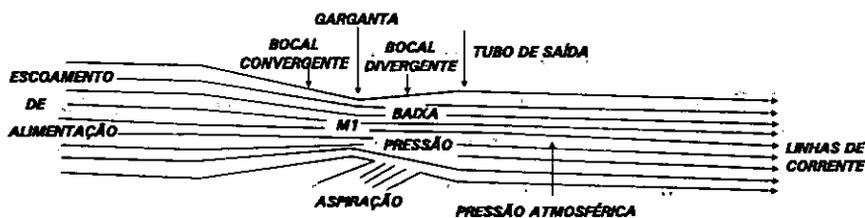
*As semeadoras de precisão, segundo a ABNT (1994), são máquinas que distribuem sementes uma a uma ou em grupos, enterrando-as em sulcos, a distâncias regulares, segundo a densidade de semeadura pré-estabelecida. Já as semeadoras de fluxo contínuo distribuem sementes em sulcos, mas não uma a uma, apresentando variações no número e na posição das sementes (Balastreire, 1987). Esse segundo tipo de semeadora é mais apropriado para sementes miúdas, que*

requerem espaçamento muito estreito entre as linhas. A Norma NBR 9743 (ABNT, 1987) determina inclusive que as sementes sejam avaliadas por seções de 5 cm ao longo do comprimento da linha.

## Material e Métodos

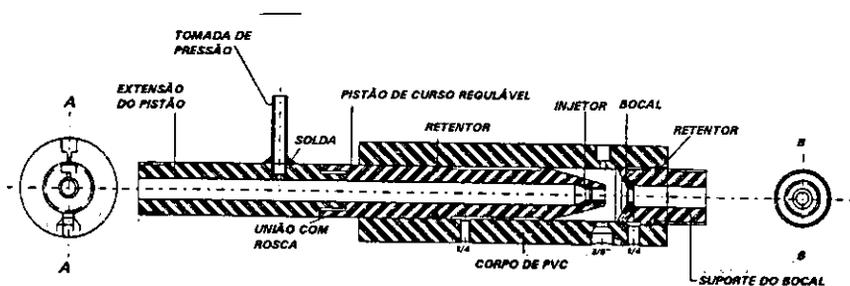
### Projeto e desenvolvimento da válvula geradora de vácuo-pressão

O princípio básico de funcionamento de um conversor de pressão é apresentado na Figura 1. O fluxo de ar sob pressão é acelerado no bocal convergente-divergente, promovendo queda acentuada de pressão, para ser expandido após o estrangulamento, dentro de uma câmara, produzindo vácuo.



**Figura 1.** Princípio básico de funcionamento de uma válvula geradora de vácuo-pressão.

Com o objetivo de variar as dimensões do bocal convergente-divergente, e assim os níveis de vácuo e de pressão, foi construída uma válvula geradora de vácuo-pressão, apresentada na Figura 2. A válvula desenvolvida possibilita variar o ângulo do bocal convergente, o diâmetro de sua garganta e o ângulo e o diâmetro de saída do bocal divergente (Casão Junior, 1996).

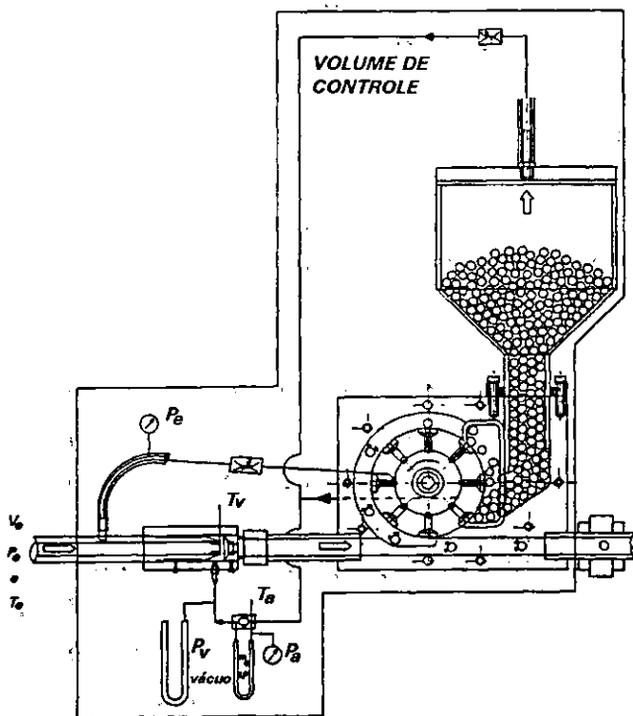


**Figura 2.** Válvula geradora de vácuo; por conversão de pressão em vácuo (Casão Junior, 1996).

Esse arranjo permite à variação do diâmetro da garganta, do ângulo do bocal convergente, ângulo do bocal divergente e do diâmetro de saída deste e, com isso, possibilita realizar avaliações experimentais dos níveis de pressão e de vácuo.

Para que o fluxo de ar permaneça em regime turbulento ( $Re > 2000$ ) na saída do dosador e, com isso, tenha energia cinética suficiente para transportar as

...sentes, é importante considerar todos os componentes como um volume de controle (Figura 3), ou seja, em que as variações das propriedades termodinâmicas que ocorrem em seu interior (calor) não afetem a lei de conservação da massa, que determina que o fluxo mássico que entra e que sai do volume de controle seja constante.



**Figura 3.** Volúme de controlé do mecanismo de dosagem.

*Quanto aos parâmetros de entrada para os cálculos experimentais, Portella (1991) cita que a velocidade recomendada de escoamento do ar na tubulação de descarga deve ser de 25 a 30 m/s, para que as sementes possam ser transportadas com velocidades entre 0,8 a 3,0 m/s, bem como define o diâmetro da tubulação de transporte de sementes que apresenta melhor eficiência no transporte unitário de grãos em 15 mm, selecionando-se então uma tubulação comercial de 16 mm de diâmetro interno.*

### ***Concepção do projeto***

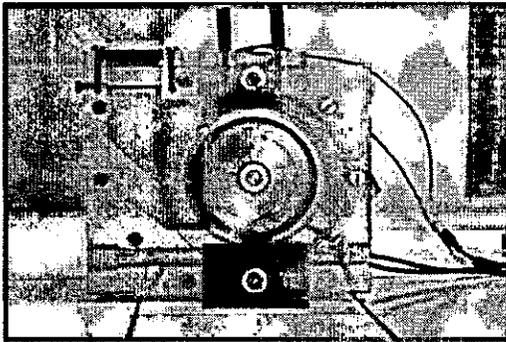
*O protótipo do mecanismo de dosagem de sementes foi construído quase que totalmente em acrílico, com o objetivo de visualizar o fluxo interno da semente e o movimento de seus componentes e dispositivos. A Figura 3 apresenta uma vista do mecanismo dosador, com a visualização do processo de captura e transporte de sementes na tubulação e a concepção do volume de controle.*

*De acordo com a proposta de uso do mecanismo de dosagem de sementes com rotor por sucção, pode-se visualizar que as sementes são capturadas pelas células de aspiração na parte final da câmara de alimentação e conduzidas ao topo do rotor, onde termina a aspiração, liberando as sementes que caem, por gravidade, em direção ao tubo de descarga. Nesse ponto há um fluxo*

de ar, em regime turbulento, para conduzir as sementes "uniformemente" até o solo.

### ***Depósito de sementes e chassi do mecanismo dosador***

*O depósito de sementes e o chassi do mecanismo dosador foram construídos em chapa de acrílico para facilitar a visualização da captura de sementes. As faces laterais do depósito são inclinadas, com ângulos maiores que os de repouso das sementes, para que estas fluam com facilidade. O depósito possui tampa com vedação de borracha, para prevenir vazamentos de ar. Conectado ao depósito, há um tubo que conduz as sementes à câmara de alimentação, com entalhes para vedação, em relação ao chassi do mecanismo dosador (Figura 4).*

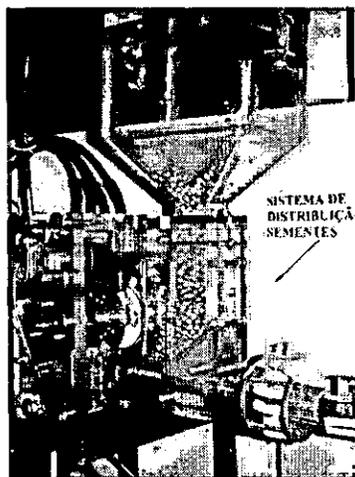


***Figura 4. Depósito de sementes e chassi do mecanismo dosador.***

### ***Rotor dosador de sementes***

*A Figura 5 mostra o rotor dosador de sementes na*

sua versão de “modelo”, ou seja, construído em dimensões reduzidas para os estudos teóricos. Após a concepção dos estudos no modelo, o rotor foi projetado e construído em dimensões reais, prevendo várias possibilidades em função da cultura a ser dosada. Para atender às exigências agronômicas, no modelo final o rotor terá um diâmetro de 300,0 mm, correspondendo a 942,5 mm de comprimento periférico, no qual, dependendo da rotação, haverá de 1 a 4 fileiras de captura de sementes. Na Tabela 1 são detalhados o número e a distância entre células de captura propostos em função do tipo de semente e da rotação do eixo do dosador. A largura do rotor dosador nessa composição deverá ser de 40,0 mm. Todas as regulagens foram calculadas para velocidade de deslocamento de 6,5 km/h e rotor dosador de sementes com 300,0 mm de diâmetro.



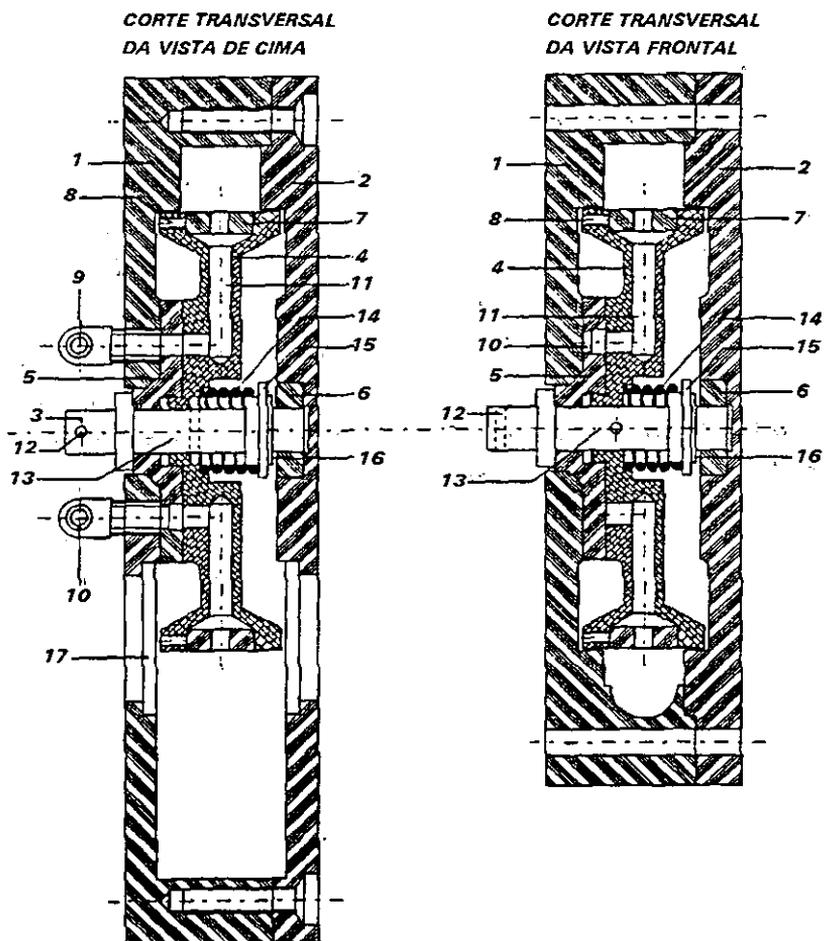
*Figura 5. Rotor dosador de sementes.*

*Tabela 1. Número e distância entre células de captura de sementes em função do tipo de semente e da rotação do rotor dosador*

Sementes/metro			Rotação (rpm)	Velocidade Periférica (m/s)	Dist. entre células (mm)			Nº células por fileira			Nº de fileiras no rotor		
Mi	So	Tri			Mi	So	Tri	Mi	So	Tri	Mi	So	Tri
7	20	80	10	0,157	10	9	4	96	108	216	1	2	4
7	20	80	20	0,314	20	17	9	48	54	108	1	2	4
7	20	80	30	0,471	26	26	13	36	36	72	1	2	4
7	20	80	40	0,628	39	35	17	24	27	54	1	2	4

*Mi = milho; So = soja; Tri = trigo.*

*Na Figura 6 apresenta-se o rotor dosador de sementes em corte transversal das vistas de cima e frontal, cujo funcionamento pode ser assim descrito: o rotor (4) apresenta em seu perímetro células de captura (7). A cada célula corresponde um canal (11) que se comunica com o entalhe (10) do disco de vedação, onde forma uma região de baixa pressão (vácuo parcial) e um orifício (9) para limpeza, com uma pressão acima da atmosférica. O rotor apresenta um orifício central por onde passa o eixo de acionamento (3). A vinculação do eixo ao rotor é feita pelo pino de arraste (13). Um anel de 19 mm de diâmetro encosta-se no disco de vedação (5), encaixando-se num entalhe circular por pressão de mola (14). Com isso obtém-se a vedação do sistema e ao mesmo tempo funciona como mancal do eixo. A superfície esquerda do rotor é usinada com extrema precisão de modo a apoiar-se e girar em relação ao disco de vedação. As células de captura são encaixadas e fixadas por parafusos allen (8), em orifícios construídos perifericamente ao rotor, facilitando sua troca.*



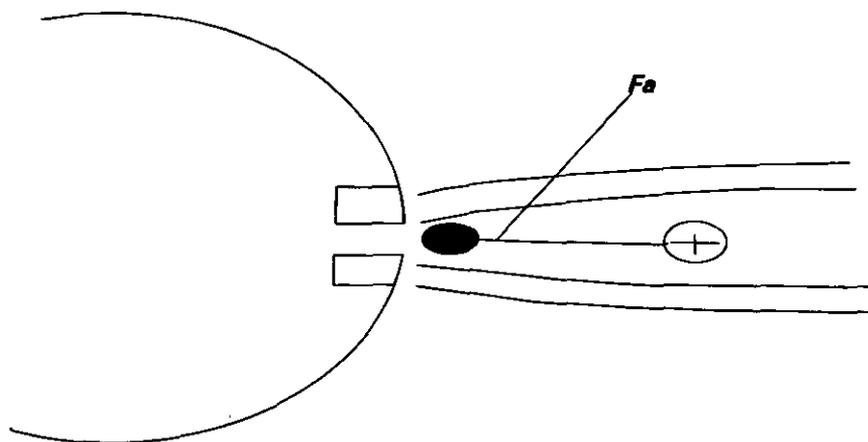
*Figura 6. Corte transversal das vistas de cima e frontal do dosador de sementes.*



## *Dinâmica da captura de sementes*

*A semente é capturada pela célula de aspiração na região onde tem início o vácuo parcial, como apresentado na Figura 7. Nessa posição as sementes estão disponíveis na câmara de alimentação praticamente sem nenhuma semente exercendo peso sobre a que vai ser capturada e a uma distância mínima da célula.*

*Em algumas situações, considera-se que uma distância em torno de 5 mm, da semente à célula, corresponde ao valor máximo para que a semente seja aspirada pela célula. A Figura 7 apresenta o modelo físico da captura dessa semente, indicando que a sucção deve vencer a força de arrasto que atua sobre a semente, conforme citado por Casão Junior (1996).*



**Figura 7.** *Captura de uma semente pela célula de aspiração.*

*A título de exemplo, a pressão para transportar uma semente de milho capturada por um orifício de 3,5 mm de diâmetro, no rotor com 100 mm de diâmetro acionado a 20 rpm, é de 13,5 mbar, e a força é de  $13 \times 10^{-3}$  N. Considerando uma condição dinâmica, em movimento na lavoura, e supondo-se uma aceleração de 2 g (2 vezes o valor da gravidade), a pressão será de 27,0 mbar, e a força de  $25 \times 10^{-3}$  N. Usando-se o rotor com 300 mm de diâmetro, a pressão calculada será de 28 mbar, e a força, de  $27 \times 10^{-3}$  N.*

*A velocidade do rotor dosador de sementes foi selecionada após uma análise física do movimento da semente, por observação experimental, sendo definidas variações de 10 a 40 rpm para semente de soja, 10 a 30 rpm para semente de trigo e 10 a 20 rpm para semente de milho.*

### **Construção do mecanismo de transporte de sementes**

*Dos estudos efetuados por Portella (1991) com transporte unitário de grãos, identificou-se que o duto de 15 mm apresentou elevada eficiência, proporcionando as menores variações na velocidade do grão na tubulação exatamente pelo regime turbulento imposto em seu interior e pela camada limite (película de ar formada nas paredes da tubulação), que forçou o deslocamento retilíneo dos grãos ao longo do duto.*

*Assim, para atender ao objetivo de manter a uniformidade dos intervalos de tempo entre as sementes na tubulação de descarga, usou-se uma mangueira plástica transparente, tipo cristal, com 16 mm de diâmetro interno.*

### ***Controle eletrônico da velocidade do eixo de acionamento dos mecanismos dosadores de semente***

*Uma tendência atual é substituir por sistemas eletrônicos sistemas que originalmente eram mecânicos, em equipamentos e em máquinas agrícolas, para aumentar a praticidade de uso, a precisão etc. Uma semeadora, por exemplo, tradicionalmente usa o próprio movimento de rotação de seu rodado para acionar os mecanismos dosadores de sementes, através de correntes e engrenagens. Isso sobrecarrega mecanicamente o rodado da semeadora, causando patinagem e conseqüentes falhas na dosagem e na deposição de sementes. Além disso, é necessário substituir uma ou mais engrenagens para mudar a vazão de sementes depositadas no solo.*

*A inclusão de um circuito eletrônico, que controle um motor elétrico para impulsionar os mecanismos dosadores de uma semeadora, é alternativa atrativa, pois, além de não sobrecarregar o rodado da semeadora, permite ajustar a vazão de sementes planejada, podendo ser mudado eletronicamente, a qualquer momento, por*

*simples chaveamento elétrico. Para que o circuito eletrônico possa controlar devidamente a velocidade do motor impulsor do mecanismo dosador, ele deve possuir chaves de seleção para a vazão de sementes e sensores para monitorar a velocidade de deslocamento da semeadora. O objetivo deste capítulo é descrever esse sistema eletrônico, inicialmente em diagrama de blocos, enfocando apenas o princípio de funcionamento, e depois detalhando de forma que o leitor possa se aprofundar conforme seu interesse.*

### ***Diagrama de blocos do sistema eletrônico***

*Conforme mostra a Figura 8, o sistema eletrônico completo pode ser descrito em três blocos, já incluídos o rodado da semeadora, o motor e os mecanismos dosadores de sementes. Os cinco blocos restantes são as partes do circuito eletrônico, descritas a seguir:*

- ***microcontrolador 8751*** - esse bloco é composto, basicamente, por um microcontrolador (M8751), que é um circuito integrado capaz de realizar pequenos controles, como o nome indica. Esse circuito integrado reúne, internamente, as características de um microcomputador, só que em menor escala, como memória com programa, capacidade de efetuar cálculos, temporizar ou contar eventos, portas de entrada e de saída capazes de monitorar ou controlar processos etc.

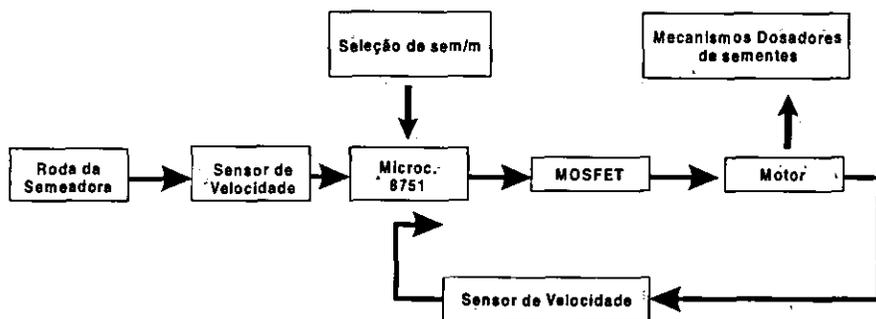
*Atualmente encontram-se microcontroladores até em eletrodomésticos, como televisores, fornos de microondas, controles remotos diversos etc. A função do M8751 na semeadora Uniflux é processar as informações de velocidade do motor do dosador e do rodado da semeadora e a vazão de sementes desejada, com o objetivo de manter a taxa de vazão de sementes o mais próximo possível da selecionada;*

- **sensores de velocidade** - tanto o sensor acoplado ao rodado da semeadora quanto o do motor do dosador podem ser do tipo Encoder ou simplesmente baseados em um emissor e um receptor ópticos com um disco ranhurado entre eles. Basicamente a função dos sensores é fornecer certo número de pulsos elétricos a cada rotação, possibilitando que o M8751 meça a velocidade do motor do dosador e da semeadora, já que possuem, internamente, temporizadores e contadores; e

- **seleção de vazão de sementes** - tem a função de selecionar a vazão de sementes que devem ser depositadas no solo. Esse bloco, acoplado ao M8751, é simplesmente um conjunto de chaves, em que o operador seleciona o número de sementes desejado, por meio do fechamento ou abertura de algumas das chaves. O M8751 sente eletricamente o estado aberto ou fechado de cada chave e usa essas informações para calcular a vazão de sementes desejada e, em seguida, controlar a velocidade do motor;

**MOSFET** - esse bloco é um componente eletrônico chamado transistor de efeito de campo de potência, cujas iniciais em inglês resultam em MOSFET. Sua função é fornecer a corrente que o motor do dosador necessita, da ordem de 5 ampéres, já que o M8751 tem a capacidade de fornecer apenas milésimos de ampéres. O M8751 também usa o MOSFET para variar a tensão de alimentação do motor do dosador, o que conseqüentemente varia sua velocidade.

Além dos blocos discutidos, há também a alimentação elétrica, composta de uma bateria de 12 V e componentes eletrônicos capazes de regular a tensão para manter a alimentação constante em todo o sistema.



**Figura 8.** Diagrama de blocos do sistema eletrônico.

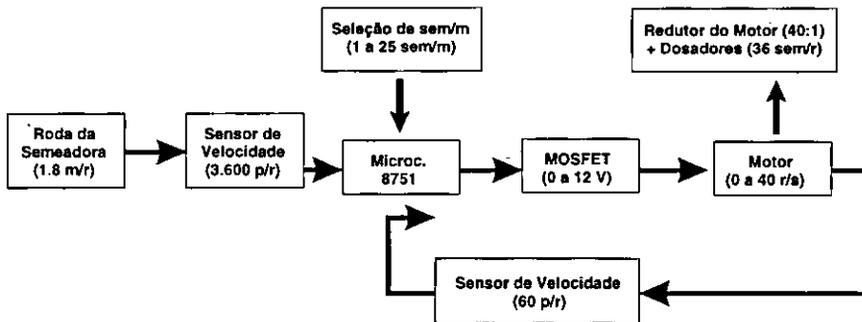
Após analisar separadamente cada bloco, é possível entender o funcionamento geral do mecanismo de controle de velocidade do motor do dosador de

sementes. O M8751 recebe as informações de velocidade do rodado da semeadora e, através do estado das chaves de seleção, reconhece qual a vazão de sementes selecionada. Com essas duas informações, o M8751 calcula a velocidade ideal em que o motor do dosador deve funcionar naquele instante para que realmente seja depositado o número de sementes selecionado. Como também existe um sensor que informa a velocidade real do motor do dosador naquele instante, o M8751 aumenta ou diminui a tensão de alimentação do dosador, se este estiver mais lento ou mais rápido que a velocidade ideal, respectivamente. Na prática, a velocidade real de acionamento do eixo dosador fica próxima da ideal calculada, pois pequenos desvios da velocidade real em relação à ideal recebem a quase imediata correção da alimentação do motor do dosador pela ação do MOSFET e do M8751. Por exemplo, se o operador pressiona o acelerador do trator, a velocidade da semeadora aumenta e, com isso, é necessário maior velocidade do motor do dosador para manter a uniformidade de deposição de sementes no solo (vazão de sementes). Assim, o M8751 aumenta a tensão de alimentação do motor do dosador e, com isso, sua velocidade.

### **Um exemplo numérico**

*Suponha as seguintes características de cada*

*bloco da semeadora, conforme ilustrado na Figura 9, e ainda que a semeadora se desloca a 3 m/s (10,8 km/h), que o tipo de cultura exige 10 sementes por metro linear (feijão) e que isso foi selecionado nas chaves do bloco de seleção da vazão de sementes.*



**Figura 9.** Exemplo prático de uso do controlador.

*Conforme a Figura 9, a roda da semeadora se caracteriza por seu perímetro, ou seja, que distância a semeadora avança para cada rotação da roda (neste exemplo 1,8 m/r). Supondo a velocidade de 3 m/s, a divisão dessa velocidade por 1,8 m/r resulta em 1,67 r/s (rotações da roda da semeadora por segundo).*

*O sensor de velocidade da roda fornece 3.600 p/r, ou seja, 3.600 pulsos para cada rotação da roda da semeadora. Dessa forma, 3.600 p/r multiplicado por 1,67 r/s resulta em 6.000 p/s, isto é, o sensor envia 6.000*

*pulsos a cada segundo para o M8751, que é capaz de contá-los a intervalos tão pequenos como 0,1 s (nesse caso seriam contados 600 pulsos por décimo de segundo).*

*A velocidade de 3 m/s multiplicada pelas 10 sem/m selecionadas resulta em 30 sem/s, que é a quantidade de sementes que o mecanismo dosador necessita liberar. Para isso ele deve ser impulsionado pelo motor elétrico a uma velocidade que resulta da divisão de 30 sem/s por 36 sem/r (número de furos no disco dosador = 36), isto é, 0,833 r/s. Isso situa-se próximo da velocidade máxima, que é de 1 r/s (o motor pode atingir até 40 r/s - redução 40:1). Nessas condições, o MOSFET estará alimentando o motor com uma tensão próxima de 12 V, já que a rotação do motor está próxima da máxima rotação possível.*

*A rotação de 0,833 r/s do mecanismo dosador significa 40 vezes mais no motor, isto é, 33,33 r/s. Como o sensor de velocidade do motor fornece 60 p/r, a multiplicação desse valor por 33,33 r/s fornece 2.000 p/s, que representa o número de pulsos por segundo que o M8751 recebe do rodado nessas condições. Na prática, ocorre que o M8751 recebe como informações 10 sem/s das chaves de seleção e 6.000 r/s do sensor da roda. Ele calcula que o sensor do motor idealmente deve fornecer-lhe 2.000 r/s, através da seguinte fórmula:*

$$K = (p/s [roda] \cdot sem/m) / p/s [motor]$$

*onde:*

*K = constante de proporcionalidade da fórmula.*

*p/s [motor] = pulsos por segundo, ideal, do sensor do motor.*

*p/s [roda] = pulsos por segundo, provenientes do sensor da roda.*

*sem/m = número de sementes por metro linear.*

*Para efetuar esse cálculo, o M8751 deve possuir o valor de K, que é calculado a seguir, pela substituição dos valores numéricos acima:*

$$K = (6.000 \text{ p/s [roda]} \cdot 10 \text{ sem/m}) / 2.000 \text{ p/s [motor]} \Rightarrow K = 30$$

*Assim, a fórmula usada pelo M8751 é a seguinte:*

$$\text{p/s [motor]} = (\text{p/s [roda]} \cdot \text{sem/m}) / 30$$

*Após o cálculo do número de pulsos por segundo, ideal do sensor do motor, esse valor é comparado com o valor real contado no próprio sensor. O M8751, atuando sobre o MOSFET, aumenta ou diminui a alimentação do motor elétrico do dosador de forma a igualar o valor calculado com o valor real. Isso é realizado pela modulação por largura de pulso, conhecida pelas iniciais (em inglês) PWM, que simplesmente é a variação do ciclo de trabalho do motor elétrico. Tal processo baseia-se no*

*rápido chaveamento da tensão que alimenta o motor elétrico.*

### ***Programa de controle***

*O programa de controle da velocidade do motor elétrico foi gravado na memória interna do programa do microcontrolador (EPROM). Para desenvolvê-lo, foi usado o programa uVision/51, da Keil Elektronik GmbH, que roda em computadores com Windows 95. O programa foi escrito em linguagem C e, após compilado, foi gravado no M8751. Os recursos mais importantes do M8751 usados para implementar o software são os dois pinos de interrupção externos e os dois temporizadores internos. Os pinos de interrupção externos são ligados aos sensores de velocidade da roda da semeadora e ao motor do dosador, causando uma interrupção a cada pulso. Tais pulsos, contados durante um intervalo de tempo, resultam na informação de velocidade da roda da semeadora e do motor do dosador. O intervalo regular de tempo usado para isso vem do temporizador 1 do M8751, que também efetua regularmente o aumento ou a redução da alimentação de tensão do motor. O temporizador zero do M8751 é usado para gerar o PWM, isto é, a intervalos pequenos e regulares esse temporizador liga e desliga o MOSFET, que alimenta o motor do dosador. A relação entre os tempos ligado e desligado cria o efeito de maior ou menor tensão média no motor do dosador.*

## **Resultados e Discussão**

### ***Avaliações preliminares da semeadora Uniflux, com controle eletrônico de performance***

*Foram realizadas três avaliações preliminares, tanto em laboratório quanto em campo, para verificar a performance do mecanismo dosador de sementes, bem como o desempenho do controle eletrônico.*

#### ***1. Avaliação do nível de pressão do turboventilador em relação à captura de sementes de milho***

*Em se tratando de semeadoras pneumáticas, um dos fatores que mais influencia a uniformidade de distribuição de sementes é a captura destas nos mecanismos dosadores, seja por vácuo ou por pressão positiva. Os erros mais comuns são de captura múltipla, quando há excesso de pressão ou de vácuo, ou de captura nula, quando o nível de pressão ou de vácuo é ineficiente. Para verificar os níveis de pressão mais adequados à captura de sementes de milho por parte do mecanismo dosador de sementes, foi realizado em laboratório um experimento com pressões de 20 mbar, 30 mbar, 40 mbar e 60 mbar. Observa-se na Tabela 2 que o nível de preenchimento variou de 78 %, na pressão de 20 mbar, a 96 %, na pressão de 60 mbar.*

*Tabela 2. Efeito do nível de pressão do turboventilador sobre a captura de sementes de milho em ensaios de laboratório com o mecanismo dosador acionado durante 10 voltas, perfazendo 360 alvéolos*

<i>Nível de pressão</i>	<i>Captura média</i>	<i>Preenchimento</i>
<i>20 mbar</i>	<i>282 c</i>	<i>78 %</i>
<i>30 mbar</i>	<i>305 b</i>	<i>85 %</i>
<i>40 mbar</i>	<i>321 b</i>	<i>89 %</i>
<i>60 mbar</i>	<i>347 a</i>	<i>96 %</i>

*As letras minúsculas indicam diferenças significativas ao nível de 5 % entre os níveis de pressão estudados. Coeficiente de variação de 3,29 %*

*Harmond, citado por Portella (1991), observou que para capturar sementes pequenas, como as de couve, cenoura e alface, a semeadora necessitava de 30 mbar de vácuo. Para sementes graúdas, como milho e feijão, eram necessários 150 mbar. Gomes e Balastreire (1989), trabalhando com soja, com milho e com feijão, identificaram a exigência de níveis de vácuo em torno de 167 mbar para rotações entre 20 a 50 rpm. Desse modo, pode-se concluir que mesmo no plantio de milho e de feijão (as sementes mais pesadas) o uso do sistema de pressão positiva é 2 vezes menor, em comparação com o sistema de vácuo. Isso faz com que se use menos potência para o acionamento do cardã e, ainda, turbinas de menor porte.*

## 2. Avaliação do índice de preenchimento de alvéolos em função da velocidade de deslocamento da semeadora

As avaliações foram realizadas em campo, em parcelas de 30 metros de comprimento, perfazendo 25 voltas do mecanismo dosador de sementes (900 alvéolos a serem preenchidos), em quatro velocidades de deslocamento da semeadora (V1 = 3,5 km/h; V2 = 5,0 km/h; V3 = 7,5 km/h; e V4 = 10,0 km/h), em cinco repetições.

Observa-se na Tabela 3 que, para os três primeiros níveis de velocidade, não houve diferenças estatísticas quanto ao índice de preenchimento de alvéolos, com percentual de 98,2 % de preenchimento. Na maior velocidade de trabalho a média de preenchimento de alvéolos foi 1,5 % superior à média das três outras velocidades.

Tabela 3. Preenchimento de alvéolos do mecanismo dosador de sementes x velocidade de deslocamento da semeadora, dosando sementes de milho, com pressões de 60 mbar

Velocidade da semeadora	Média de preenchimento <sup>1</sup>
3,5 km/h	885 a
5,0 km/h	884 a
7,5 km/h	883 a
10,0 km/h	897 b

<sup>1</sup> Referente a 25 voltas do mecanismo dosador de sementes, equivalente a 900 sementes dosadas.

As letras minúsculas indicam diferenças significativas, ao nível de 5 %, entre as velocidades estudadas. Coeficiente de variação de 0,67 %

*Verifica-se na Tabela 3 elevado índice de preenchimento de alvéolos, superior ao estado atual da arte, conforme apresentado por Portella et al. (1998). Avaliaram-se 12 semeadoras para plantio direto de milho, em diferentes níveis de velocidade de trabalho. Os testes foram realizados entre 1995 e 1997, na Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, em Passo Fundo, RS. Para a realização dos testes foram usados híbridos de milho da peneira 22M. As velocidades de trabalho foram agrupadas em quatro níveis: A = 3,5 a 4,9 km/h; B = 5,0 a 6,4 km/h; C = 6,5 a 7,9 km/h; e D = 8,0 km/h ou mais. Para avaliar o desempenho da regularidade longitudinal de plantas, foi empregada a Norma Brasileira para Ensaios de Semeadoras, em que são considerados como espaçamento normal os limites entre 0,5 a 1,5 vez o espaçamento nominal entre plantas. As coletas foram efetuadas em parcelas de 50 m de comprimento, sendo repetidas três vezes. Os resultados obtidos foram analisados usando-se o programa SANEST. Foi realizado um "teste de F", como mostra a Tabela 4, e verificou-se que os resultados eram significativos a 5 % de probabilidade para o fator velocidade de trabalho.*

*Para verificar o grau de significância, foi realizado um teste de Tukey para os quatro níveis de velocidade, cujo resultado é apresentado na Tabela 5. Observa-se que apenas o nível A apresenta médias compatíveis com o que se preconiza como semeadora de precisão, ou seja, pelo menos 75 % de plantas com espaçamentos normais entre si. O nível B, embora estatisticamente semelhante*

ao A, já está 10,7 % abaixo do índice ideal. O nível D é exatamente aquele praticado na maioria das lavouras brasileiras, principalmente em áreas de topografia plana. Nesse caso, a precisão diminui sensivelmente (54,75 % de plantas em espaçamento normal), dando margem a uma percentagem significativa de espaçamentos duplos ou acarretando falhas de semeadura.

Tabela 4. Análise de variância para o fator velocidade de trabalho

	Causa de Variação		
	Velocidade	Resíduo	Total
G.L.	3	32	35
S.Q.	1917,14	4734,13	6651,27
Q.M.	639,05	147,94	
Valor F	4,3196		
Prob. > F	0,01149		

Média Geral = 65,8 %; Coeficiente de Variação = 18,5 %.

Tabela 5. Teste de Tukey para as médias dos níveis de velocidade

Velocidade	Média	Significância 5%
A (3,5 a 4,9 km/h)	74,14	a
B (5,0 a 6,4 km/h)	66,96	ab
C (6,5 a 7,9 km/h)	58,96	b
D ( $\geq$ 8,0 km/h)	54,75	b

Na Tabela 6. são apresentados os dados de preenchimento de alvéolos nos testes realizados na Embrapa Trigo com 12 semeadoras para plantio direto de milho; nove dessas semeadoras eram de disco alveolado horizontal e três semeadoras eram pneumáticas. Foram obtidos os seguintes resultados médios para o preenchimento de alvéolos.

Tabela 6. Preenchimento de alvéolos de semeadoras para plantio direto de milho, avaliadas na Embrapa Trigo entre 1995 e 1997

Velocidade de trabalho	Disco alveolado horizontal		Mecanismo dosador pneumático	
	VT	VR	VT	VR
4,5 km/h	67.231	68.470	66.296	70.429
6,0 km/h	67.231	66.687	66.296	69.459
8,0 km/h	67.231	65.008	66.296	69.200
	V3/V1 = -5,1 %		V3/V1 = -1,8 %	

VT = vazão teórica de sementes, calculada pela relação de transmissão;

VR = vazão real de sementes, obtida nas coletas de campo.

Observa-se que o preenchimento de alvéolos, tanto em semeadoras com dosadores de disco alveolado

*quanto em semeadoras de dosador pneumático, diminui à medida que a velocidade de trabalho aumenta. Entretanto o percentual de preenchimento é mais estável nas semeadoras pneumáticas.*

### *3. Avaliação da distribuição longitudinal de plantas de milho, em testes de campo*

*Empregando a Norma Brasileira para ensaios de distribuição longitudinal de sementes para semeadoras, cujos parâmetros são distribuição dupla = espaçamentos menores que 0,5 vez o espaçamento nominal entre plantas, distribuição normal = espaçamentos entre 0,5 e 1,5 vez o espaçamento nominal entre plantas e distribuição falha = espaçamentos superiores a 1,5 vez o espaçamento nominal, foi avaliada a distribuição longitudinal de plantas da semeadora Uniflux em quatro linhas de semeadura com 30 metros de comprimento. As avaliações foram realizadas nos cinco metros centrais da parcela experimental. O teste foi conduzido com sementes de milho, peneira 22M. A pressão do turboventilador foi fixada em 60 mbar e a velocidade de trabalho da semeadora foi de 5,0 km/h. Na Tabela 7 encontram-se os dados da percentagem de distribuição dupla, normal e falha da semeadora Uniflux.*

*Tabela 7. Percentagem de distribuição dupla, normal e falha de 4 linhas de semeadura de milho, com sementes classificadas pela peneira 22M, com a semeadora operando a 5,0 km/h e 60 mbar de pressão no turboventilador*

	<i>Duplos</i>	<i>Normais</i>	<i>Falhas</i>
<i>L1</i>	4,3	91,4	4,3
<i>L2</i>	4,0	96,0	0,0
<i>L3</i>	4,3	82,7	13,0
<i>L4</i>	4,5	86,4	9,1
<i>Média</i>	4,3	89,1	6,6

*Fazendo-se uma distribuição média de frequências para todos os valores, encontra-se que 90,3 % dos dados estão dentro da faixa de distribuição normal ou aceitável de sementes, 3,2 % dos dados estão na faixa de distribuição de duplos e 6,5 % dos dados correspondem a distribuições falhas.*

## **Conclusões**

*Com esses valores é possível afirmar que o mecanismo dosador de sementes e o fluxo positivo de transporte de sementes através de dutos de pequeno diâmetro contribuem para que a dosagem e a distribuição de sementes sejam melhores que o estado atual da arte no campo de semeadoras de precisão.*

## **Referências Bibliográficas**

- ABNT (Rio de Janeiro, RJ). *Projeto de Norma 04.015.06 004 - Semeadora de precisão - ensaio de laboratório - método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994. 7p.
- ABNT (Rio de Janeiro, RJ). *NBR 9743 - Semeadora de fluxo contínuo em linha - ensaio de laboratório*. Rio de Janeiro, 1987. 17p.
- BALASTREIRE, L.A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 310p.
- CASÃO JÚNIOR, R. *Desenvolvimento de sistema de dosagem e transporte pneumático de sementes*. Campinas: UNICAMP, 1996. 198p. Tese Doutorado.
- COUTINHÓ, L.; FERRAZ, J.C.; CASSIONATO, J.E.; SILVA, A.L.C. da; CAPISTRANO M.C.; POSSAS, M.; LAPLACE, M.F.; FURTADO, J.E.M.P.; HAGUENAVER, L.; KUPFER, D.; WANDERLEY, A.; SAGÁZIO, G. *Estudo da competitividade da indústria brasileira: competitividade da indústria de máquinas agrícolas*. Campinas: UNICAMP - Instituto de Economia, 1994. 89p.
- GOMES, E.S.; BALASTREIRE, L.A. *Ensaio de um dosador de sementes pneumático a vácuo*. *Maquinaria Agrícola*, v.4, n.1, p.4-6, 1989.
- KURACHI, S.A.H.; COSTA, J.A. de S.; BERNARDI., J.A.; SILVEIRA, G.M. da; COELHO, J.L.D. *Avaliação tecnológica: resultados de ensaios de mecanismos dosadores de sementes de semeadoras-adubadoras de precisão*. Campinas: IAC, 1993. 46p. (IAC. Boletim Científico, 28).

- MONTEIRO, L.R. *Desenvolvimento e análise de uma semeadora pneumática de grãos.* Campinas: UNICAMP, 1989. 122p. Dissertação Mestrado.**
- PALLEROSI, C.A., PORTELLA, J.A. *Semeadora Uniflux.* Campinas: UNICAMP - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1992. 12p.**
- PORTELLA, J.A. *Transporte unitário de grãos agrícolas.* Campinas: UNICAMP, 1991. 156p. Tese Doutorado.**
- PORTELLA, J.A.; SATTler, A.; FAGANELLO, A. *Efeito da velocidade de trabalho de semeadoras sobre o desempenho de mecanismos dosadores de semente do tipo disco alveolado horizontal, na semeadura de milho.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Anais....* Poços de Caldas: SBEA, 1998. CD-ROM.**