

ANDERSON CANDIDO DA SILVA

**SENSOR ÓPTICO PARA AVALIAÇÃO DE MECANISMO DOSADOR  
PNEUMÁTICO DE SEMENTES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586s  
2018

Silva, Anderson Candido da, 1986-  
Sensor óptico para avaliação de mecanismo dosador  
pneumático de sementes / Anderson Candido da Silva. – Viçosa,  
MG, 2018.  
ix, 59 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 53-59.

1. Agricultura de precisão. 2. Sementes. 3. Semeadura -  
Avaliação. 4. Detectores ópticos. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

ANDERSON CANDIDO DA SILVA

**SENSOR ÓPTICO PARA AVALIAÇÃO DE MECANISMO DOSADOR  
PNEUMÁTICO DE SEMENTES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 13 de setembro de 2018.

---

Mauri Martins Teixeira

---

Roberto Fontes Araújo

---

Denilson Eduardo Rodrigues

---

Nerilson Terra Santos  
(Coorientador)

---

Haroldo Carlos Fernandes  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e irmãos pelo apoio incondicional, confiança e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade e suporte na realização do curso de Doutorado.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pelas oportunidades, orientação, ensinamentos e contribuição para realização deste trabalho.

Ao professor Nerilson Terra Santos, pelos ensinamentos, sugestões e esclarecimentos.

Aos demais professores que contribuíram com seus ensinamentos para realização deste curso de Doutorado.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola pelo auxílio na execução dos experimentos.

Aos colegas do Laboratório de Mecanização Agrícola pelo apoio e companheirismo.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, concedido por meio da bolsa de pesquisa, durante o curso de doutorado.

Aos demais familiares, colegas e amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

ANDERSON CANDIDO DA SILVA, filho de Benedito Candido da Silva e de Durvalina Moutinho da Silva, nasceu no dia 16 de abril de 1986 no Distrito de Nova América, Município de Itápolis, São Paulo.

Em 2003 concluiu o ensino médio pela Escola Técnica Estadual Dr. Adail Nunes da Silva, em Taquaritinga, São Paulo.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais em 2013.

Em 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Mecanização Agrícola, em nível de Mestrado, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2015, submeteu-se à defesa pública de dissertação, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Em 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Mecanização Agrícola, em nível de Doutorado, pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Em setembro de 2018, submeteu-se à defesa pública de tese, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

## SUMÁRIO

|                                                                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMO.....                                                                                                  | vi   |
| ABSTRACT .....                                                                                               | viii |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                          | 1    |
| 2. OBJETIVOS .....                                                                                           | 4    |
| 2.1 Objetivo geral.....                                                                                      | 4    |
| 2.2 Objetivos específicos .....                                                                              | 4    |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA .....                                                                               | 5    |
| 3.1 Semeadoras .....                                                                                         | 5    |
| 3.2 Vácuo no mecanismo dosador de sementes .....                                                             | 6    |
| 3.3 Velocidade operacional de semeadura.....                                                                 | 7    |
| 3.4 Uniformidade de distribuição de sementes .....                                                           | 8    |
| 3.5 Ensaio de semeadoras .....                                                                               | 9    |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                  | 11   |
| 4.1 Caracterização das sementes .....                                                                        | 11   |
| 4.2 Bancada para ensaios de semeadura em laboratório .....                                                   | 12   |
| 4.3 Variáveis operacionais do mecanismo dosador de sementes .....                                            | 15   |
| 4.3.1 Velocidade periférica do disco dosador de sementes.....                                                | 15   |
| 4.3.2 Vácuo no mecanismo dosador de sementes .....                                                           | 16   |
| 4.4 Avaliação da dosagem e da distribuição de sementes .....                                                 | 17   |
| 4.4.1 Determinação dos espaçamentos entre sementes por meio do método<br>padrão.....                         | 17   |
| 4.4.2 Determinação dos espaçamentos entre sementes por meio do método<br>alternativo com sensor óptico ..... | 17   |
| 4.4.3 Dosagem e distribuição de sementes .....                                                               | 18   |
| 4.5 Experimentos e análise estatística .....                                                                 | 21   |
| 4.5.1 Experimento 1 .....                                                                                    | 21   |
| 4.5.2 Experimento 2.....                                                                                     | 21   |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                               | 23   |
| 5.1 Validação do método alternativo para mensuração dos espaçamentos entre<br>sementes .....                 | 23   |
| 5.2 Avaliação da dosagem e da distribuição de sementes .....                                                 | 28   |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 5.2.1 Soja.....                                        | 28 |
| 5.2.1.1 Enchimento do disco dosador de sementes .....  | 28 |
| 5.2.1.2 Espaçamentos duplos.....                       | 30 |
| 5.2.1.3 Espaçamentos falhos.....                       | 31 |
| 5.2.1.4 Espaçamentos normais .....                     | 33 |
| 5.2.1.5 Densidade de semeadura.....                    | 34 |
| 5.2.1.6 Coeficiente de variação dos espaçamentos ..... | 36 |
| 5.2.2 Feijão .....                                     | 37 |
| 5.2.2.1 Enchimento do disco dosador de sementes .....  | 37 |
| 5.2.2.2 Espaçamentos duplos.....                       | 38 |
| 5.2.2.3 Espaçamentos falhos.....                       | 40 |
| 5.2.2.4 Espaçamentos normais .....                     | 41 |
| 5.2.2.5 Densidade de semeadura.....                    | 42 |
| 5.2.2.6 Coeficiente de variação dos espaçamentos ..... | 43 |
| 5.2.3 Milho .....                                      | 45 |
| 5.2.3.1 Enchimento do disco dosador de sementes .....  | 45 |
| 5.2.3.2 Espaçamentos duplos.....                       | 46 |
| 5.2.3.3 Espaçamentos falhos.....                       | 47 |
| 5.2.3.4 Espaçamento normais .....                      | 48 |
| 5.2.3.5 Densidade de semeadura.....                    | 49 |
| 5.2.3.6 Coeficiente de variação dos espaçamentos ..... | 50 |
| 6. CONCLUSÕES .....                                    | 52 |
| REFERÊNCIAS .....                                      | 53 |

## RESUMO

SILVA, Anderson Candido da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2018. **Sensor óptico para avaliação de mecanismo dosador pneumático de sementes.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientador: Nerilson Terra Santos.

O nível do vácuo e a velocidade periférica do disco dosador são determinantes na dosagem e na distribuição das sementes pelas semeadoras. A avaliação de mecanismo dosadores das semeadoras em laboratório por meio do método padrão apresentam elevados tempo e ônus para sua realização. Portanto, objetivou-se com o presente trabalho validar um método alternativo para avaliação da dosagem e da distribuição de sementes, baseado no uso de um sensor óptico, e avaliar um mecanismo pneumático dosador de sementes em função de suas variáveis operacionais para as culturas da soja, do feijão e do milho. O experimento para validação do método alternativo foi conduzido em esquema fatorial (2x4), com dois métodos de mensuração dos espaçamentos entre sementes (método padrão em esteira e método alternativo com sensor óptico) e quatro velocidades periféricas do disco dosador, no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. O experimento para avaliação da dosagem e distribuição das sementes foi conduzido em esquema fatorial (4x4), com quatro níveis de vácuo e quatro velocidades periféricas do disco dosador, no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. No experimento de validação do método alternativo foram utilizados os vácuos de 3,50 kPa para sementes de soja, 4,50 kPa para sementes de feijão e 3,0 kPa para sementes de milho. No experimento de avaliação da dosagem e distribuição das sementes foram utilizados os níveis de 3,0; 3,5; 4,0 e 4,5 kPa para as sementes de soja, 4,0; 4,5; 5,0 e 5,5 kPa para as sementes de feijão e 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0 kPa para as sementes de milho. As velocidades periféricas do disco dosador utilizadas, tanto no experimento de validação quanto no de avaliação, foram 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 m s<sup>-1</sup> para as sementes de soja e feijão e 0,08; 0,11; 0,13 e 0,17 m s<sup>-1</sup> para as sementes de milho. O método alternativo apresentou eficácia na determinação dos espaçamentos entre sementes. O nível de vácuo no mecanismo dosador, opostamente à velocidade periférica do disco dosador de sementes, apresentou efeito linear positivo, sobre o enchimento do disco dosador de sementes, os espaçamentos normais, os espaçamentos duplos, a densidade de semeadura e efeito linear negativo sobre os espaçamentos falhos e o coeficiente de variação dos

espaçamentos, exceto para as sementes de milho em que não foi verificada influência da velocidade periférica do disco dosador. O enchimento de 100% do disco dosador de sementes e a densidade de semeadura teórica são obtidas a partir do vácuo de 4,10 kPa para sementes de soja, 4,70 kPa para sementes de feijão e 3,75 kPa para sementes de milho e da velocidade periférica de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$  para as sementes de soja e de feijão. A obtenção de 90% de espaçamentos normais e coeficiente de variação inferior a 30% ocorre a partir do vácuo de 3,40 kPa para as sementes de soja e 4,10 kPa para as sementes de feijão, sob velocidade periférica do disco dosador de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ , e 3,37 kPa para as sementes de milho.

## ABSTRACT

SILVA, Anderson Candido da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2018. **Optical sensor for evaluation of pneumatic seed dosing mechanism.** Advisor: Haroldo Carlos Fernandes. Co-Advisor: Nerilson Terra Santos.

The vacuum level and the peripheral velocity of the seed metering disc are determinant in seed dosage and distribution by the seeders. The evaluation of seedling dosing mechanism in the laboratory by the standard method presents high time and burden for its accomplishment. Therefore, the objective of this work was to validate an alternative method for evaluation of seed dosage and distribution, based on the use of an optical sensor, and to evaluate a pneumatic seed dosing mechanism in function of its operational variables for soybean crops, beans and corn. The experiment to validate the alternative method was conducted in a factorial scheme (2x4), with two methods of measuring seed spacing (standard method and alternative method with optical sensor) and four peripheral velocities of the metering disc, in a completely randomized design, with four replicates. The experiment to evaluate seed dosage and distribution was conducted in a factorial scheme (4x4), with four levels of vacuum and four peripheral velocities of the metering disc, in a completely randomized design with four replications. In the experiment of validation of the alternative method were used the vacuum of 3.50 kPa for soybean seeds, 4.50 kPa for bean seeds and 3.0 kPa for corn seeds. In the experiment of evaluation of the dosage and distribution of the seeds were used the levels of 3.0; 3.5; 4.0 and 4.5 kPa for soybean seeds, 4.0; 4.5; 5.0 and 5.5 kPa for bean seeds and 2.5; 3.0; 3.5 and 4.0 kPa for corn seeds. The peripheral velocities of the dosing disc used in both the validation and the evaluation experiments were 0.15; 0.20; 0.25 and 0.30 m s<sup>-1</sup> for soybean and bean seeds and 0.08; 0.11; 0.13 and 0.17 m s<sup>-1</sup> for corn seeds. The alternative method was effective in determining seed spacings. The level of vacuum in the metering mechanism, as opposed to the peripheral velocity of the seed metering disc, showed a positive linear effect on the filling of the seed metering disc, quality of feed index, multiple index, sowing density and negative linear effect on the miss index and the coefficient of variation between spacings, except for corn seeds in which no influence of the peripheral speed of the metering disc was verified. The 100% filling of the seed metering disc and theoretical seeding density are obtained from the vacuum of 4.10 kPa for soybean seeds, 4.70 kPa for bean seeds and 3.75

kPa for corn seeds and peripheral velocity of  $0.15 \text{ m s}^{-1}$  for soybean and bean seeds. Obtaining 90% of quality of feed index and coefficient of variation of less than 30% occurs from the vacuum of 3.40 kPa for soybean seeds and 4.10 kPa for bean seeds, under the peripheral velocity of the dosing disc of  $0.15 \text{ m s}^{-1}$ , and 3.37 kPa for corn seeds.

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução das operações mecanizadas na agricultura implica na otimização das tarefas e na melhoria da qualidade dos serviços, favorecendo a obtenção de incrementos na produtividade. O alto custo monetário associado às operações mecanizadas e à utilização de insumos exige das máquinas agrícolas eficácia no desempenho de suas funções. Dessa forma, estas devem realizar as tarefas em tempo hábil e com eficiência na utilização dos insumos, favorecendo a economia de recursos.

A operação de semeadura apresenta extrema importância por ser determinante da população de plantas e, conseqüentemente, da produção agrícola. De maneira geral, na operação de semeadura são realizados os processos de abertura do sulco para dosagem e distribuição de fertilizantes, abertura do sulco de semeadura para dosagem e distribuição das sementes e a compactação do solo sobre as sementes. A falha em qualquer um desses processos pode comprometer o êxito da operação de semeadura e provocar perdas na produção.

Os processos de dosagem e distribuição das sementes são críticos para obtenção da população de plantas e da homogeneidade nos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura. A obtenção de uma população de plantas menor que a recomendada pode resultar em produções inferiores à esperada, devido às falhas no estabelecimento das plantas na linha de semeadura e à competição com plantas daninhas. Por outro lado, a população de plantas superior à desejada aumenta a competição entre plantas na linha de semeadura, que pode promover alterações na morfologia das plantas e nos componentes da produtividade.

Os mecanismos dosadores das semeadoras realizam a seleção das sementes, no reservatório de sementes da semeadora, e a transferência destas ao tubo condutor, que realizará a distribuição no sulco de semeadura. Assim, é necessário que esse mecanismo capture e individualize as sementes para não dosar e distribuir uma quantidade de sementes além ou aquém do requerido. O processo de captura e dosagem das sementes apresenta características particulares para cada tipo de mecanismo dosador.

O mercado nacional conta com uma ampla diversidade de mecanismos dosadores de sementes, no entanto, os mais utilizados para a semeadura de sementes graúdas são os mecanismos dosadores com disco horizontal alveolado e

o pneumático. O mecanismo dosador pneumático tem sido adotado, em detrimento ao mecanismo dosador com disco horizontal alveolado, por causar menos danos às sementes, viabilizar a semeadura com precisão em altas velocidades operacionais e permitir a semeadura de sementes não classificadas, que apresentam heterogeneidade em sua forma e tamanho. A utilização de um lote de sementes heterogêneo dificulta o alojamento das sementes nos alvéolos do disco horizontal, uma vez que estes apresentam forma e tamanho definidos, comprometendo a precisão da dosagem.

Os mecanismos dosadores pneumáticos de sementes podem ser operados com pressão positiva ou negativa (vácuo), sendo mais comum o uso de mecanismos dosadores pneumáticos a vácuo. Neste mecanismo um disco provido de orifícios, posicionado vertical e internamente no mecanismo dosador, realiza a dosagem das sementes. O interior do mecanismo dosador é mantido sob vácuo, gerado por um turboventilador acionado pela tomada de potência de um trator agrícola. À medida que o disco é rotacionado os orifícios, sob efeito do vácuo, realizam a captura das sementes no reservatório. A liberação das sementes é feita quando o vácuo é interrompido nas proximidades do tubo condutor que, por sua vez, distribui as sementes no sulco de semeadura.

As variáveis operacionais do mecanismo dosador de sementes, determinantes da qualidade de semeadura, são o vácuo aplicado no mecanismo dosador e a velocidade periférica do disco dosador de sementes. O nível de vácuo estabelece a força exercida na captura das sementes pelo orifício pneumático do disco dosador. A velocidade periférica do disco dosador de sementes determina o tempo dispensado ao orifício pneumático para realizar a captura das sementes. Além disso, a eficiência do individualizador de sementes, que tem a função de manter uma semente por orifício pneumático por meio da retirada do excesso de sementes, pode ser influenciada pela velocidade periférica do disco dosador. Dessa forma, torna-se importante a determinação das variáveis operacionais do mecanismo dosador de sementes, que determinam a qualidade da semeadura, para as diversas culturas agrícolas.

Os ensaios de semeadoras, realizados geralmente pela avaliação da distribuição longitudinal das sementes na linha de semeadura, por meio da mensuração e classificação dos espaçamentos entre sementes, podem ser executados em laboratório ou em campo. Os resultados da avaliação em campo

podem ser deturpados devido ao deslocamento da semente da sua posição original, no momento de sua localização, ou pela ausência da plântula, devido à sua não germinação ou emergência, no caso da mensuração dos espaçamentos entre plântulas. O método padrão, efetuado em condições de laboratório, envolve a mensuração dos espaçamentos entre sementes depositadas sobre uma esteira revestida por material de alta viscosidade. Este método apresenta a necessidade de interrupção dos ensaios, devido à limitação no comprimento da correia plana da esteira, que impossibilita a mensuração do total de espaçamentos em uma única coleta. Assim, tornam-se cada vez mais importantes o desenvolvimento e a utilização de métodos alternativos para determinação da distribuição longitudinal de sementes em condições de laboratório.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Objetivou-se com o presente trabalho propor um método alternativo para ensaios de semeadoras em laboratório e realizar a avaliação da dosagem e da distribuição de sementes de soja, feijão e milho em função das variáveis operacionais de um mecanismo dosador pneumático.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar a viabilidade de um método alternativo, baseado no uso de um sensor óptico, para determinação da dosagem e da distribuição de sementes de soja, feijão e milho, em condições de laboratório.

Analisar a influência do vácuo no mecanismo dosador e da velocidade periférica do disco dosador de sementes sobre a dosagem e a distribuição de sementes de soja, feijão e milho.

Estabelecer os níveis de vácuo no mecanismo dosador e da velocidade periférica do disco dosador de sementes que contemplem os requisitos de dosagem e distribuição de sementes para as culturas da soja, feijão e milho.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Semeadoras**

As semeadoras podem ser classificadas, de acordo com a forma que realizam a distribuição das sementes na linha de semeadura, como de fluxo contínuo ou de precisão. As semeadoras de fluxo contínuo distribuem as sementes em linha, sem espaçamento regular entre as sementes. Por outro lado, as semeadoras de precisão fazem a distribuição das sementes, uma a uma ou agrupadas, em intervalos regulares de espaçamentos (ABNT, 1994).

As principais funções das semeadoras são a abertura do sulco de semeadura, a dosagem e deposição das sementes nesse sulco, a cobertura das sementes com solo e compactação do solo em torno da semente (PANNING et al., 2000). A ocorrência de falha na execução de alguma dessas funções, pode comprometer o funcionamento de todo conjunto e comprometer a implantação das culturas pelo não estabelecimento da população de plantas recomendada (MANTOVANI et al., 2015). A distribuição das sementes no sulco de semeadura é influenciada por fatores definidos pelas características de projeto e operacionais das semeadoras. Os fatores inerentes aos aspectos construtivos da semeadora são determinados pelo tubo condutor e pelo mecanismo dosador de sementes (ALONÇO et al., 2015).

O tubo condutor tem a função de transportar até o sulco de semeadura as sementes selecionadas pelo mecanismo dosador. As sementes ao serem liberadas pelo tubo condutor adquirem um componente horizontal de velocidade, decorrente da velocidade de avanço da semeadora, que provoca seu deslocamento, em relação à sua posição original de queda ao atingir o solo (PACHECO et al., 1996). Além disso, no trajeto até a liberação no sulco de semeadura as sementes estão sujeitas a rebotes no interior do tubo condutor. A utilização de tubos condutores mais extensos proporciona trajetórias mais longas às sementes, aumentando os rebotes em seu interior e consequentemente afetando a distribuição das sementes na linha de semeadura (CARPES et al., 2016).

A dosagem de sementes apresenta características particulares para cada tipo de mecanismo dosador como a velocidade periférica, o tamanho e o formato dos orifícios e o nível de sementes no reservatório para dosadores mecânicos e a velocidade periférica e a pressão de trabalho para dosadores pneumáticos (ALONÇO et al., 2015). Os mecanismos dosadores de sementes disponibilizados

nas semeadoras no mercado nacional são o disco perfurado (horizontal, vertical ou inclinado), rotor acanalado (paralelo ou helicoidal), pneumático (a vácuo ou de pressão positiva), dedos prensos e copo dosador (ALMEIDA et al., 2003). As semeadoras de precisão em linha, para semeadura de sementes graúdas, utilizam em sua maioria dosadores mecânicos de disco horizontal e dosadores pneumáticos a vácuo (ALONÇO et al., 2014).

### **3.2 Vácuo no mecanismo dosador de sementes**

Nas semeadoras com mecanismo dosador pneumático um disco dotado de orifícios, submetido a um diferencial de pressão, realiza a captura e o transporte das sementes. A liberação destas sementes pelo orifício pneumático ocorre devido à interrupção do vácuo nas proximidades do tubo condutor. O orifício pneumático pode falhar na captura da semente ou deixá-la desprender-se previamente à sua liberação no tubo condutor, provocando espaçamentos falhos, ou pode capturar e transportar mais de uma semente originando espaçamentos duplos (KARAYEL et al., 2004; SHAABAN et al., 2009).

As principais vantagens dos mecanismos dosadores pneumáticos são a precisão e a ausência de danos na dosagem das sementes. Entretanto, a variabilidade das características físicas das sementes exige diversidade nas características dimensionais e operacionais dos discos dosadores. O diâmetro médio, a geometria e a massa das sementes determinam o diâmetro do orifício pneumático, a velocidade periférica do disco dosador e o diferencial de pressão. Por sua vez, o diâmetro do orifício pneumático e o diferencial de pressão determinam a força que captura e transporta as sementes (MIALHE, 2012; REIS et al., 2006; YAZGI;DEGIRMENCIOGLU, 2007, 2014).

Nos estágios de captura e transporte agem sobre as sementes a força da gravidade, a força de fricção com o disco, a força normal do disco, a força do vácuo e a força centrípeta (Figura 1).

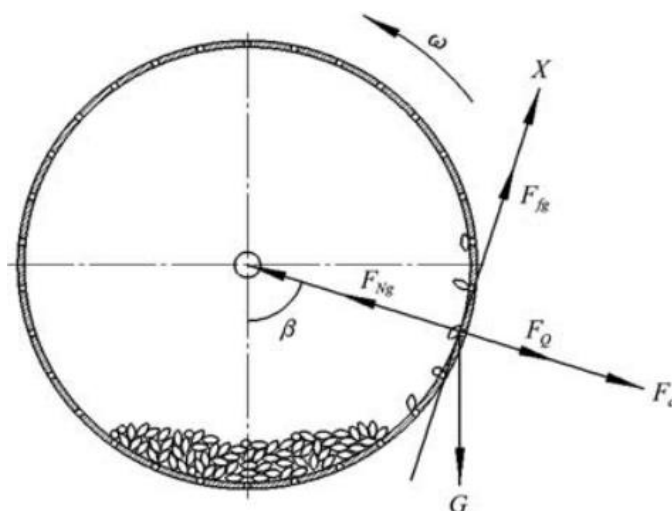


Figura 1 – Forças atuantes sobre as sementes durante sua captura e transporte pelo orifício pneumático do disco dosador. Fonte: Satti et al. (2013)

A força do vácuo ( $F_Q$ ), necessária à captura e transporte das sementes pelo orifício pneumático, deve ser maior que a soma das forças de resistência à captura e as forças externas advindas da instabilidade do terreno. As forças de resistência à captura e manutenção das sementes pelo orifício pneumático são compostas pelas forças da gravidade ( $G$ ), da fricção com o disco ( $F_{fg}$ ), da força normal do disco ( $F_{Ng}$ ) e da força centrípeta ( $F_c$ ) proporcionada pela rotação do disco. A força do vácuo necessário à captura da semente pode ser estimada pelo produto do diferencial de pressão pela área do orifício pneumático (SATTI et al., 2013).

### 3.3 Velocidade operacional de semeadura

A velocidade operacional do conjunto trator-semeadora, juntamente com a regulação de seus mecanismos, é fator determinante da distribuição longitudinal das sementes na linha de semeadura. O disco dosador de sementes é geralmente acionado, por meio de elementos de transmissão, pelo movimento rotacional das rodas da semeadora. Dessa forma, a alteração da velocidade operacional do conjunto trator-semeadora modifica a velocidade periférica do disco dosador e consequentemente a distribuição das sementes. Além disso, a velocidade do disco dosador determina a eficácia do individualizador na diminuição da deposição de múltiplas sementes (ALONÇO et al., 2014; CORTEZ et al., 2006; GARCIA et al., 2011; SANTOS et al., 2003).

A obtenção de uma maior densidade de semeadura, em determinada velocidade operacional, com a utilização de um mesmo disco dosador, implica no aumento da sua velocidade periférica. Nas semeadoras pneumáticas o aumento da velocidade do disco dosador reduz o tempo de exposição da semente ao orifício pneumático, podendo comprometer sua captura e, conseqüentemente, sua dosagem e distribuição. Portanto, a utilização de discos dosadores com maior número de orifícios pode proporcionar maior quantidade de espaçamentos normais entre sementes devido à operação em menores velocidades periféricas (ÖNAL et al., 2012; TOURINO et al., 2007).

A seleção da velocidade operacional do conjunto trator-semeadora deve considerar o tipo de semente e de mecanismo dosador utilizado. Nos mecanismos dosadores mecânicos, com disco horizontal, o preenchimento das células é influenciado pelas características dimensionais das sementes e pelo tempo de exposição da semente à célula. A utilização de altas velocidades periféricas do disco dosador pode diminuir a eficiência na dosagem e, conseqüentemente, o número de sementes distribuídas na linha de semeadura, pela não captura das sementes (BALASTREIRE, 1987; MANTOVANI et al., 1999; ROSA et al., 2014; SILVA et al., 2000).

### **3.4 Uniformidade de distribuição de sementes**

A uniformidade na distribuição de sementes, durante a operação de semeadura, é uma das características mais determinantes do estande de plantas e, conseqüentemente, da produtividade das culturas agrícolas (SANTOS et al., 2011). As falhas ocorridas durante a semeadura serão detectadas somente após a emergência das plantas, ocasionando perdas significativas de produção (MODOLO et al., 2010). A distribuição irregular das plantas na linha de semeadura pode comprometer o aproveitamento de água, luz e nutrientes e, conseqüentemente, afetar o desenvolvimento das culturas agrícolas (SANGOI et al., 2012). Além disso, a falta de uniformidade das plantas na linha de semeadura pode resultar na perda de produtividade pela competição intraespecífica ou pela ocupação por plantas daninhas dos espaços não ocupados pela cultura agrícola de interesse (BOTTEGA et al., 2014).

A variação dos espaçamentos entre plantas é causada principalmente pelas irregularidades na dosagem de sementes e pela movimentação das sementes, na

linha de semeadura, após serem distribuídas pela semeadora (STAGGENBORG et al., 2004). Sendo assim, a dosagem e a distribuição das sementes pelas semeadoras são fatores determinantes da produtividade das culturas agrícolas (FRANCETTO et al., 2015). A maioria das culturas agrícolas é capaz de manter sua produtividade, mesmo com variações na uniformidade de distribuição das sementes, desde que a população média de plantas seja mantida. Porém, o plantio sem falhas ou agrupamento de plantas é preferível por proporcionar fluxo mais contínuo de material para a colhedora na colheita mecanizada (BALASTREIRE, 1987).

### **3.5 Ensaios de semeadoras**

Os ensaios obrigatórios para semeadoras são aqueles relacionados à eficiência na dosagem e à distribuição das sementes pelos mecanismos dosadores. Os ensaios estáticos, realizados em laboratório, devem ser conduzidos com o mecanismo dosador de sementes estacionado e operando na velocidade da semeadura em campo. Sob estas condições deve ser realizada a mensuração de 250 espaçamentos entre sementes, que serão classificados em relação ao espaçamento de referência (ISO 7256/1, 1984).

A qualidade da semeadura pode ser avaliada pela regularidade dos espaçamentos entre as sementes distribuídas longitudinalmente na linha de semeadura. Dessa forma, os espaçamentos entre sementes são classificados em duplos (espaçamentos com valor menor que 50% do espaçamento de referência), falhos (espaçamentos com valor maior que 50% do espaçamento de referência) e normais (espaçamentos compreendidos entre os valores de espaçamento duplo e falho) na avaliação da distribuição longitudinal de sementes (KURACHI et al., 1989). Além disso, podem ser utilizados como parâmetros de avaliação o coeficiente de variação dos espaçamentos e o índice de precisão da semeadura (KACHMAN; SMITH, 1995). As semeadoras de precisão equipadas com mecanismo dosador pneumático de sementes devem proporcionar no mínimo 90% de espaçamentos normais e coeficiente de variação máximo de 30% para o total de espaçamentos (COELHO, 1996).

O tempo e a dificuldade envolvidos na medição dos espaçamentos entre sementes, sem alteração da localização das mesmas, dificultam a avaliação da semeadura em campo. Por outro lado, a mensuração dos espaçamentos entre as plântulas pode superestimar o espaçamento por possíveis falhas na germinação ou

na emergência. O ensaio de semeadoras em laboratório, em esteira revestida com graxa, apresenta limitações como a pequena quantidade de espaçamentos em função do comprimento da esteira, a possibilidade de deslocamento da semente após atingir a esteira e o tempo necessário para mensuração manual dos espaçamentos. Assim, todos estes procedimentos partilham a desvantagem do tempo e do ônus envolvidos na obtenção dos espaçamentos entre sementes (KACHMAN & SMITH, 1995; KOCHER et al., 1998; NAVID et al., 2011; ONAL; ONAL, 2009).

Os métodos alternativos para determinação dos espaçamentos entre sementes, em ensaios de semeadoras em laboratório, têm sido desenvolvidos e testados por vários pesquisadores. O emprego desses métodos, com a utilização de microcontroladores, sensores e computadores possibilita a rápida obtenção e o processamento dos dados obtidos nos ensaios de laboratório. Estes métodos são baseados na utilização de sistemas óptico-eletrônicos (CAY et al., 2017; KOCHER et al., 1998; LAN et al., 1999), sistemas de visão artificial (ALCHANATIS et al., 2002; SHRESTHA et al., 2004; NAVID et al., 2011; ÇAKIR et al., 2016) ou sistemas acústicos (KARIMI et al., 2015).

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Mecanização Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Minas Gerais.

##### 4.1 Caracterização das sementes

As sementes de soja, de feijão e de milho foram caracterizadas de acordo com suas características físicas: comprimento, largura, espessura, esfericidade e massa de 1000 sementes (Tabela 1).

Tabela 1 – Valor médio e desvio padrão das características físicas das sementes

| Característica física     | Soja   |                | Feijão |                | Milho  |                |
|---------------------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|
|                           | Média  | $\bar{\sigma}$ | Média  | $\bar{\sigma}$ | Média  | $\bar{\sigma}$ |
| Comprimento (mm)          | 7,25   | 0,37           | 10,39  | 0,45           | 12,68  | 0,97           |
| Largura (mm)              | 6,40   | 0,30           | 7,13   | 0,34           | 8,83   | 0,87           |
| Espessura (mm)            | 6,73   | 0,40           | 5,20   | 0,39           | 4,04   | 0,43           |
| Esfericidade (%)          | 93,61  | 3,22           | 69,99  | 2,14           | 60,63  | 4,96           |
| Massa de mil sementes (g) | 196,08 | 7,15           | 246,16 | 5,75           | 384,14 | 25,12          |

$\bar{\sigma}$  = desvio padrão

As dimensões lineares das sementes (Figura 2) foram determinadas com auxílio de um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm, pela amostragem de 100 sementes de cada espécie.

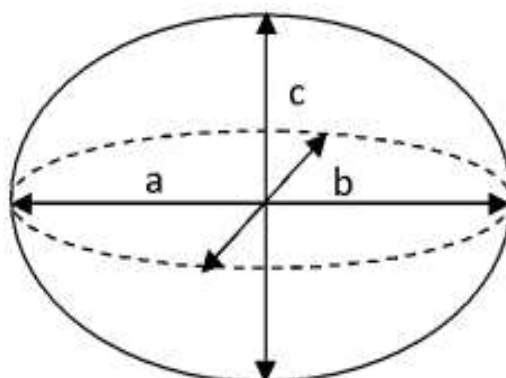


Figura 2 – Dimensões lineares características de uma semente;

a = comprimento, b= largura e c = espessura. Fonte: Araújo et al. (2014)

A esfericidade das sementes (Equação 1) foi obtida a partir de suas

dimensões lineares (MOHSENIN,1986).

$$\varnothing = \frac{(a \ b \ c)^{\frac{1}{3}}}{a} 100 \quad (1)$$

Em que,

$\varnothing$  =esfericidade da semente (%);

a = comprimento da semente (mm);

b = largura da semente (mm); e,

c = espessura da semente (m).

A massa de 1000 sementes foi obtida por meio da determinação da massa de 100 sementes, em balança eletrônica com resolução de 0,01g, com 8 repetições, sendo posteriormente ajustada para 1000 sementes (BRASIL, 2009).

#### 4.2 Bancada para ensaios de semeadura em laboratório

A bancada para ensaios de semeadura em laboratório foi composta por uma esteira (estrutura suporte, tambores, polias, motor elétrico de 1 cv e correia plana), uma estrutura suporte equipada com o mecanismo dosador pneumático de sementes e um sistema de aquisição e armazenamento de dados (Figura 3).



Figura 3 – Bancada para ensaios de semeadura em laboratório

A superfície da correia plana da esteira foi revestida com lubrificante de alta viscosidade (graxa), para que as sementes individualizadas no mecanismo dosador, após serem distribuídas pelo tubo condutor, permanecessem aderidas à correia plana possibilitando a mensuração manual dos espaçamentos entre sementes. O acionamento e o controle da velocidade da correia plana da esteira foram realizados por meio de um inversor de frequência associado a um motor elétrico.

O suporte com o mecanismo dosador de sementes foi constituído de uma estrutura metálica, um dosador pneumático de sementes e um sistema de transmissão composto por motor elétrico de 1 cv, motorreductor (razão de redução 1:11), eixo cardã e conjunto de engrenagens (Figura 4).



Figura 4 – Estrutura suporte com o mecanismo dosador de sementes e sistema de transmissão de velocidade

O motorreductor e o conjunto de engrenagens, interligados por um eixo cardã, foram utilizados para diminuição da velocidade transmitida pelo motor elétrico ao eixo do disco dosador de sementes. O acionamento e o controle da velocidade do disco dosador de sementes foram realizados por meio de um inversor de frequência associado ao motor elétrico. O mecanismo dosador de sementes foi equipado com discos confeccionados em acrílico, de 2,0 mm de espessura, com número de orifícios definido de acordo com a densidade de semeadura e a velocidade

operacional para cada cultura agrícola (Figura 5). Os ensaios de semeadura para sementes de soja e de feijão foram realizados com disco de 75 orifícios, com diâmetro de orifício de 4,50 mm, ao passo que, o ensaio de semeadura para sementes de milho foi realizado com disco de 30 orifícios, com diâmetro de orifício de 5,0 mm. As densidades de semeadura utilizadas foram de 13 sementes  $m^{-1}$  para as sementes de soja e de feijão e 3 sementes  $m^{-1}$  para as sementes de milho.



Figura 5 – Mecanismo dosador de sementes equipado com disco de acrílico

A densidade de semeadura ( $D_s$ ), determinada pelo número de sementes distribuídas ao longo de um metro da correia plana, foi mantida constante por meio da sincronia entre a velocidade da correia plana da esteira e a velocidade periférica do disco dosador. Dessa forma, com a alteração da velocidade da correia plana, que simula a velocidade operacional da semeadura em campo ( $V_o$ ), deve-se utilizar a velocidade periférica do disco dosador ( $V_p$ ) que proporciona a vazão de sementes ( $Q_s$ ) necessária à manutenção da densidade de semeadura para as sementes de soja, feijão (Tabela 2) e milho (Tabela 3).

Tabela 2 – Dosagem de sementes de soja e feijão em função da velocidade operacional da correia plana da esteira

| Vo<br>(m s <sup>-1</sup> ) | Vp<br>(m s <sup>-1</sup> ) | Qs<br>(sementes s <sup>-1</sup> ) | Ds<br>(sementes m <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1,11                       | 0,15                       | 14,44                             | 13,00                             |
| 1,47                       | 0,20                       | 19,14                             | 13,00                             |
| 1,83                       | 0,25                       | 23,83                             | 13,00                             |
| 2,22                       | 0,30                       | 28,89                             | 13,00                             |

Vo – Velocidade operacional; Vp – Velocidade periférica do disco dosador; Qs – Vazão de sementes; Ds – Densidade de semeadura

Tabela 3 – Dosagem de sementes de milho em função da velocidade operacional da correia plana da esteira

| Vo<br>(m s <sup>-1</sup> ) | Vp<br>(m s <sup>-1</sup> ) | Qs<br>(sementes s <sup>-1</sup> ) | Ds<br>(sementes m <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1,11                       | 0,08                       | 3,33                              | 3,0                               |
| 1,47                       | 0,11                       | 4,42                              | 3,0                               |
| 1,83                       | 0,14                       | 5,50                              | 3,0                               |
| 2,22                       | 0,17                       | 6,67                              | 3,0                               |

Vo – Velocidade operacional; Vp – Velocidade periférica do disco dosador; Qs – Vazão de sementes; Ds – Densidade de semeadura

A coleta de dados foi realizada por sensores conectados a um sistema de aquisição HDM<sup>®</sup>, modelo Spider8, e um microcontrolador Arduino<sup>®</sup>, conectados a um computador portátil.

### 4.3 Variáveis operacionais do mecanismo dosador de sementes

#### 4.3.1 Velocidade periférica do disco dosador de sementes

A velocidade periférica do disco dosador de sementes foi monitorada por meio de um sensor tubular indutivo associado ao eixo de acionamento do disco dosador de sementes (Figura 6) e conectado ao sistema de aquisição e armazenamento de dados. A velocidade da correia plana da esteira foi determinada manualmente pela razão entre o deslocamento da correia plana (metros) e a variação do tempo (segundos).

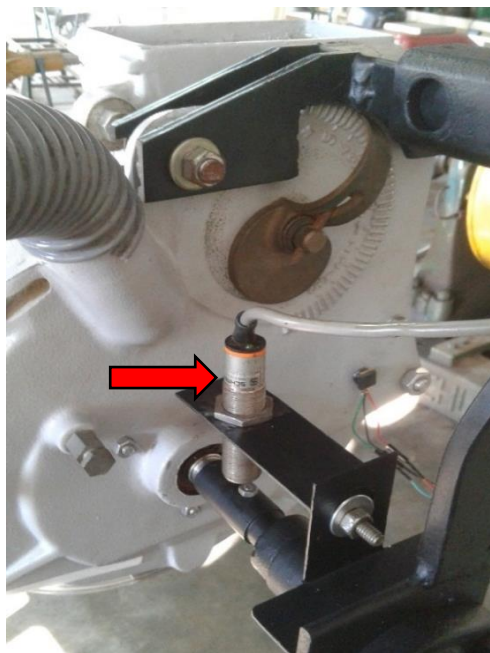


Figura 6 – Sensor tubular indutivo associado ao eixo do disco dosador de sementes

#### 4.3.2 Vácuo no mecanismo dosador de sementes

O vácuo no mecanismo dosador de sementes foi gerado por um turboventilador acionado pela tomada de potência (TDP) de um trator agrícola. Os níveis de vácuo no mecanismo dosador foram obtidos por meio da variação da rotação da TDP do trator. O monitoramento do vácuo foi realizado por meio de um sensor de pressão, marca NXP, modelo MPXV7007, instalado no mecanismo dosador de sementes (Figura 7) e conectado ao microcontrolador Arduino.

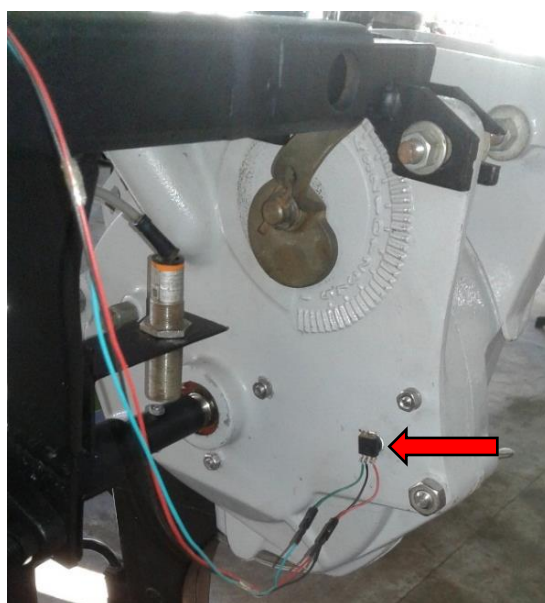


Figura 7 - Sensor de pressão instalado no mecanismo dosador de sementes

#### **4.4 Avaliação da dosagem e da distribuição de sementes**

##### **4.4.1 Determinação dos espaçamentos entre sementes por meio do método padrão**

A mensuração manual dos espaçamentos entre sementes, depositadas sobre a correia plana da esteira, utilizada no método padrão de avaliação da distribuição longitudinal de sementes, foi realizada com um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm (Figura 8), sendo obtidos 250 espaçamentos em cada amostragem.



Figura 8 – Mensuração manual dos espaçamentos entre sementes com paquímetro digital

##### **4.4.2 Determinação dos espaçamentos entre sementes por meio do método alternativo com sensor óptico**

A mensuração dos espaçamentos entre sementes por meio do método alternativo foi realizada por meio de um sensor óptico de sementes, marca DICKEY-John, instalado no interior do tubo condutor de sementes (Figura 9). O sensor óptico detecta as sementes à medida que estas percorrem o tubo condutor, após serem liberadas pelo disco dosador de sementes. A coleta de dados com uso do sensor óptico foi realizada de acordo com o número de voltas do disco dosador de sementes correspondente à distribuição de 251 sementes.



Figura 9 – Sensor óptico instalado no tubo condutor de sementes

Os dados obtidos via sensor óptico foram transformados em espaçamentos por meio da relação entre a velocidade operacional da correia plana da esteira e a frequência de distribuição de sementes obtida via sensor, que corresponde a vazão de sementes (Equação 2).

$$Es = \frac{Vo}{Qs} \quad (2)$$

Em que,

Es = espaçamento entre sementes (m);

Vo = velocidade operacional da correia plana ( $m\ s^{-1}$ ); e,

Qs = vazão de sementes obtida via sensor (sementes  $s^{-1}$ ).

#### 4.4.3 Dosagem e distribuição de sementes

A dosagem de sementes foi avaliada por meio do enchimento do disco dosador de sementes e da densidade de semeadura. O enchimento do disco dosador de sementes (Equação 3), correspondente à porcentagem de orifícios pneumáticos do disco dosador preenchidos com sementes, foi obtida pelo quociente

entre a vazão de sementes obtida na leitura do sensor óptico e a vazão de sementes teórica, determinada em função do número de orifícios e da velocidade periférica do disco dosador de sementes.

$$E = \frac{Q_s}{Q_t} 100 \quad (3)$$

Em que,

E = enchimento do disco dosador de sementes (%);

$Q_s$  = vazão de sementes obtida na leitura do sensor óptico (sementes  $s^{-1}$ ); e,

$Q_t$  = vazão de sementes teórica (sementes  $s^{-1}$ ).

A densidade de semeadura, que representa o número de sementes distribuídas por metro, foi obtida pelo quociente entre a vazão de sementes e a velocidade operacional da correia plana da esteira de ensaios (Equação 4).

$$D_s = \frac{Q_s}{V_o} \quad (4)$$

Em que,

$D_s$  = densidade de semeadura (sementes  $m^{-1}$ );

$Q_s$  = vazão de sementes obtida via sensor (sementes  $s^{-1}$ ); e,

$V_o$  = velocidade operacional da correia plana ( $m s^{-1}$ ).

A distribuição das sementes foi avaliada por meio da distribuição longitudinal das sementes e do coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes. A distribuição longitudinal de sementes foi determinada pela classificação dos espaçamentos entre sementes ( $X_i$ ) em normais, duplos e falhos (Tabela 4), em relação ao espaçamento de referência ( $X_{ref}$ ), conforme proposto por Kurachi et al. (1989). Foi considerado espaçamento de referência o espaçamento teórico previamente determinado em função da densidade de semeadura. Dessa forma, em função da densidade de semeadura previamente estabelecida, foram adotados os espaçamentos teóricos de 7,69 cm para as sementes de soja e feijão e de 33,33 cm para as sementes de milho.

Tabela 4 – Classificação dos espaçamentos entre sementes ( $X_i$ ) em relação ao espaçamento de referência ( $X_{ref}$ )

| Classe do espaçamento | Intervalos de $X_i$                     |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| Normais               | $0,5 X_{ref} \leq X_i \leq 1,5 X_{ref}$ |
| Duplos                | $X_i < 0,5 X_{ref}$                     |
| Falhos                | $X_i > 1,5 X_{ref}$                     |

A porcentagem de espaçamentos normais (Equação 5), duplos (Equação 6) e falhos (Equação 7) foi obtida pelo quociente entre o número de espaçamentos verificados em cada classe e o total de espaçamentos.

$$N = \frac{n_1}{n_t} 100 \quad (5)$$

$$D = \frac{n_2}{n_t} 100 \quad (6)$$

$$F = \frac{n_3}{n_t} 100 \quad (7)$$

Em que,

$N$  = espaçamentos normais (%);

$D$  = espaçamentos duplos (%);

$F$  = espaçamentos falhos (%);

$n_1$  = total de espaçamentos normais obtidos no ensaio;

$n_2$  = total de espaçamentos duplos obtidos no ensaio;

$n_3$  = total de espaçamentos falhos obtidos no ensaio; e,

$n_t$  = total de espaçamentos.

O coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes foi determinado pela razão entre o desvio padrão dos espaçamentos e o espaçamento médio entre sementes (Equação 8).

$$Cv = \frac{\sigma}{Em} 100 \quad (8)$$

Em que,

Cv = coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes (%);

$\sigma$  = desvio padrão dos espaçamentos entre sementes (cm); e,

Em = espaçamento médio entre sementes (cm).

## **4.5 Experimentos e análise estatística**

### **4.5.1 Experimento 1**

O experimento 1, realizado para validação dos dados obtidos por meio do método alternativo de mensuração de espaçamentos, foi conduzido em esquema fatorial (2 x 4) com dois métodos de mensuração de espaçamento entre sementes (método padrão em esteira e método alternativo com sensor óptico) e quatro velocidades periféricas do disco dosador de sementes, no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os níveis de vácuo utilizados foram 3,50 kPa para as sementes de soja, 4,50 kPa para as sementes de feijão e 3,0 kPa para as sementes de milho. Foram utilizadas as velocidades periféricas do disco dosador de sementes de 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 m s<sup>-1</sup> para as sementes de soja e de feijão e as velocidades periféricas do disco dosador de sementes de 0,08; 0,11; 0,14 e 0,17 m s<sup>-1</sup> para as sementes de milho. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão no programa computacional R (R CORE TEAM, 2015).

### **4.5.2 Experimento 2**

O experimento 2, realizado para avaliação da dosagem e da distribuição das sementes, foi conduzido em esquema fatorial (4 x 4), com quatro níveis de vácuo e quatro velocidades periféricas do disco dosador de sementes (Vp), no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, para as sementes de soja, de feijão e de milho (Tabela 5).

Tabela 5 – Níveis de vácuo e velocidades periféricas do disco dosador de sementes

| Semente | Níveis de vácuo (kPa) | Vp (m s <sup>-1</sup> ) |
|---------|-----------------------|-------------------------|
| Soja    | 3,0; 3,5; 4,0 e 4,5   | 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 |
| Feijão  | 4,0; 4,5; 5,0 e 5,5   | 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 |
| Milho   | 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0   | 0,08; 0,11; 0,14 e 0,17 |

Vp – Velocidade periférica do disco dosador

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de regressão e os modelos estatísticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes da regressão, no coeficiente de determinação e na falta de ajuste dos modelos. As análises estatísticas foram realizadas no programa computacional R (R CORE TEAM, 2015).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Validação do método alternativo para mensuração dos espaçamentos entre sementes

O método de mensuração dos espaçamentos entre sementes, assim como a interação entre método de mensuração de espaçamentos e velocidade periférica do disco dosador, não apresentou efeito significativo ( $p\text{-valor} > 0,01$ ) sobre o espaçamento médio para soja (Tabela 6), feijão (Tabela 7) e milho (Tabela 8).

Tabela 6 - Análise de variância do método de mensuração de espaçamentos entre sementes e da velocidade periférica do disco dosador para sementes de soja

| Fonte de variação | Graus de liberdade | Soma de Quadrados | Quadrado Médio | Estatística F | p-valor |
|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|---------|
| Método (M)        | 1                  | 0,4950            | 0,4950         | 2,7966        | 0,1074  |
| Velocidade (V)    | 3                  | -                 | -              | -             | -       |
| M x V             | 3                  | 0,6867            | 0,2289         | 1,2932        | 0,2995  |
| Resíduos          | 24                 | 4,2480            | 0,1770         |               |         |

Tabela 7 - Análise de variância do método de mensuração de espaçamentos entre sementes e da velocidade periférica do disco dosador para sementes de feijão

| Fonte de variação | Graus de liberdade | Soma de Quadrados | Quadrado Médio | Estatística F | p-valor |
|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|---------|
| Método (M)        | 1                  | 0,4753            | 0,4753         | 1,9640        | 0,1739  |
| Velocidade (V)    | 3                  | -                 | -              | -             | -       |
| M x V             | 3                  | 0,1753            | 0,0584         | 0,2414        | 0,8666  |
| Resíduos          | 24                 | 5,8082            | 0,2420         |               |         |

Tabela 8 - Análise de variância do método de mensuração de espaçamentos entre sementes e da velocidade periférica do disco dosador para sementes de milho

| Fonte de variação | Graus de liberdade | Soma de Quadrados | Quadrado Médio | Estatística F | p-valor |
|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|---------|
| Método (M)        | 1                  | 3,5778            | 3,5778         | 1,9945        | 0,1707  |
| Velocidade (V)    | 3                  | -                 | -              | -             | -       |
| M x V             | 3                  | 2,0184            | 0,6728         | 0,3751        | 0,7718  |
| Resíduos          | 24                 | 43,0525           | 1,79395        |               |         |

A diferença estatística não significativa entre os dois métodos de mensuração de espaçamentos entre sementes sugere a possibilidade de utilização do método alternativo. Além disso, a não observação de efeito significativo da interação entre o método de mensuração dos espaçamentos e a velocidade periférica do disco dosador confirma que estes atuam independentemente sobre o espaçamento médio. Sendo assim, o espaçamento médio entre sementes é estatisticamente igual entre os dois métodos de mensuração para cada velocidade.

Na análise de regressão foi observado efeito significativo da velocidade periférica do disco dosador sobre o espaçamento médio entre sementes de soja e de feijão. Por outro lado, não foi observado efeito significativo da velocidade periférica do disco dosador sobre o espaçamento médio entre sementes de milho.

O espaçamento médio entre sementes de soja foi influenciado linear positivamente pela velocidade periférica do disco dosador (Figura 10).

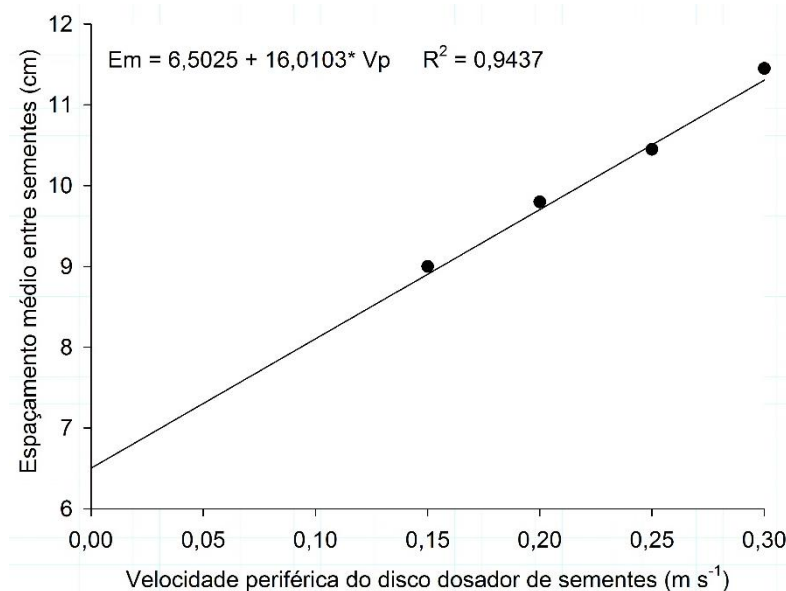


Figura 10 – Espaçamento médio entre sementes de soja ( $E_m$ ) em função da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

O incremento de  $0,10 m s^{-1}$  na velocidade periférica do disco dosador promoveu o acréscimo de  $1,60 cm$  no espaçamento médio entre sementes de soja. O menor espaçamento médio entre sementes ( $8,90 cm$ ) foi observado na velocidade periférica do disco dosador de  $0,15 m s^{-1}$ . Em contrapartida, sob velocidade periférica de  $0,30 m s^{-1}$  foi obtido espaçamento médio de  $11,31 cm$ . Dessa forma, o acréscimo na velocidade periférica do disco dosador de  $0,15$  para  $0,30 m s^{-1}$  promoveu o aumento de  $27,08\%$  no espaçamento médio entre sementes de soja.

A velocidade periférica do disco dosador apresentou efeito linear positivo sobre o espaçamento médio entre sementes de feijão (Figura 11).

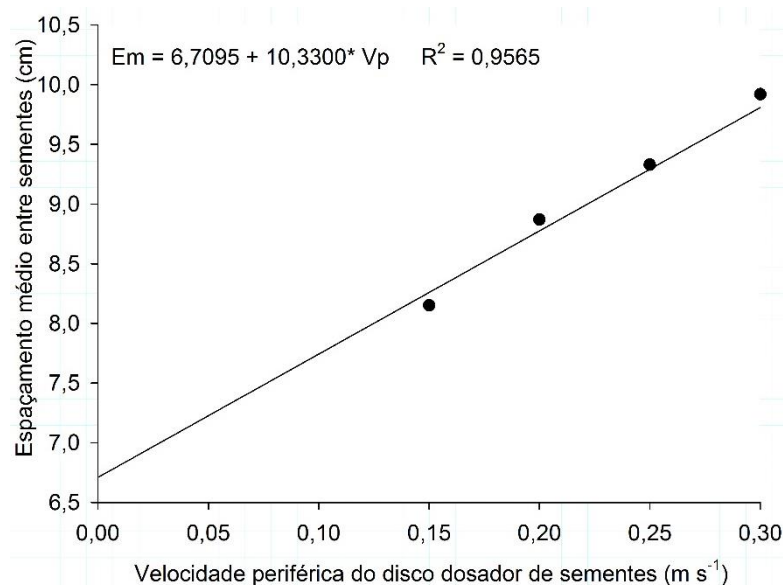


Figura 11 – Espaçamento médio entre sementes de feijão ( $Em$ ) em função da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $Vp$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O acréscimo de  $0,10 \text{ m s}^{-1}$  na velocidade periférica o disco dosador incrementou em  $1,03 \text{ cm}$  o espaçamento médio entre sementes de feijão. Dessa forma, o maior espaçamento médio entre sementes ( $9,81 \text{ cm}$ ) foi observado com o disco dosador de sementes operando na velocidade de  $0,30 \text{ m s}^{-1}$ . Por outro lado, sob velocidade periférica de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$  foi alcançado o menor espaçamento médio entre sementes ( $8,26 \text{ cm}$ ). Sendo assim, o aumento de  $0,15$  para  $0,30 \text{ m s}^{-1}$  da velocidade periférica do disco dosador promoveu acréscimo de  $18,77\%$  no espaçamento médio entre sementes de feijão.

O aumento da velocidade periférica do disco dosador reduz o tempo dispensado ao orifício pneumático para captura das sementes de soja e de feijão. Logo, os orifícios pneumáticos que não retêm as sementes são responsáveis pela falha na dosagem e distribuição destas, dando origem aos espaçamentos falhos, com consequente aumento do espaçamento médio. Além disso, o acréscimo na velocidade periférica implica no aumento da força centrípeta que age na resistência da retenção da semente pelo orifício pneumático.

A velocidade periférica do disco dosador de sementes não apresentou efeito significativo sobre o espaçamento médio entre sementes de milho. Logo, o tempo dispensado a cada orifício pneumático para captura das sementes nas velocidades estudadas não influencia sua retenção e manutenção no disco dosador. Sendo

assim, o espaçamento médio entre sementes de milho em velocidades periféricas do disco dosador de 0,08 a 0,17 m s<sup>-1</sup> é de 30,16 cm.

O método alternativo proporcionou a mensuração dos espaçamentos entre sementes em tempo inferior ao demandado pelo método padrão em esteira e se mostrou menos oneroso por eliminar a tarefa de mensuração manual dos espaçamentos entre sementes na correia plana da esteira. Ademais, este método dispensa a paralisação da correia plana para mensuração dos espaçamentos e a retirada das sementes distribuídas, permitindo a obtenção dos 250 espaçamentos entre sementes em uma única coleta. A utilização de um sistema de aquisição proporcionou o armazenamento instantâneo dos dados de leitura do sensor, dispensando assim, a entrada manual de dados no computador.

A determinação dos espaçamentos entre sementes por meio do sensor óptico apresenta a sensibilidade de identificação de dois ou mais espaçamentos falhos consecutivos. No método padrão a falha na distribuição de duas ou mais sementes consecutivas é interpretada como um único espaçamento falho, devido à mensuração ser em relação às duas últimas sementes distribuídas sobre a correia plana da esteira. Em contrapartida, a utilização dos valores de dados obtidos via sensor

(sementes s<sup>-1</sup>), posteriormente transformados em espaçamentos, permite a detecção de espaçamentos falhos consecutivos.

A viabilidade da utilização de um método alternativo com sensores ópticos, para mensuração do espaçamento entre sementes peletizadas de beterraba, foi verificada por Kocher et al. (1998). Os espaçamentos entre sementes foram determinados indiretamente, por meio do tempo entre a passagem de duas sementes por um aparato equipado com sensores ópticos, instalado na saída do tubo condutor de sementes. Assim, o conhecimento do tempo entre a passagem das sementes e da velocidade operacional possibilitou a determinação dos espaçamentos entre sementes.

Lan et al. (1999) avaliaram um sistema óptico-eletrônico, semelhante ao desenvolvido por Kocher et al. (1998), que considera a posição em que a semente é detectada no conjunto de sensores e o tempo entre a passagem das sementes para as culturas agrícolas da beterraba e da chicória com diferentes tipos de revestimento. Os espaçamentos obtidos por meio deste sistema não apresentaram diferença significativa em relação aos espaçamentos mensurados no ensaio padrão

em esteira. A utilização de um método óptico-eletrônico por Cay et al. (2017) apresentou eficácia na mensuração dos espaçamentos entre sementes para diversas culturas agrícolas. Neste estudo o sensor óptico detectou a vazão de sementes no intervalo de 0,83 a 68,96 sementes  $s^{-1}$ .

Onal & Onal (2009) constataram efetividade no uso de um método alternativo para mensuração dos espaçamentos entre sementes de milho e de algodão com um mouse óptico. A detecção das sementes foi realizada com estas já depositadas sobre a correia plana da esteira. O espaçamento foi determinado em função do tempo entre a detecção das sementes pelo feixe infravermelho do mouse óptico e da velocidade operacional da correia plana da esteira. Reis et al. (2007) utilizaram um sensor óptico posicionado abaixo do tubo condutor de sementes para avaliação da distribuição de sementes de arroz. Os tempos obtidos via sensor foram classificados em normais, duplos e falhos em relação ao tempo de referência, que corresponde ao tempo transcorrido entre a passagem de duas sementes pelo sensor quando é obtido o espaçamento de referência.

Navid et al. (2011) utilizaram uma câmera fotográfica digital para avaliação em laboratório do desempenho de um dispositivo dosador de sementes. Os ensaios foram realizados com a captura de imagens durante funcionamento do mecanismo dosador. O tempo entre a passagem das sementes foi calculado de acordo com a resolução da câmera e a distância entre as sementes obtida na imagem tratada. Os espaçamentos obtidos via processamento de imagens apresentaram valores superiores àqueles mensurados na esteira. No entanto, a diferença entre os valores observados nos dois procedimentos foi constante, possibilitando a correção do espaçamento no próprio algoritmo utilizado no processamento das imagens.

## **5.2 Avaliação da dosagem e da distribuição de sementes**

### **5.2.1 Soja**

#### **5.2.1.1 Enchimento do disco dosador de sementes**

O enchimento do disco dosador de sementes foi influenciado de forma linear positiva pelo vácuo e linear negativa pela velocidade periférica do disco dosador (Figura 12).

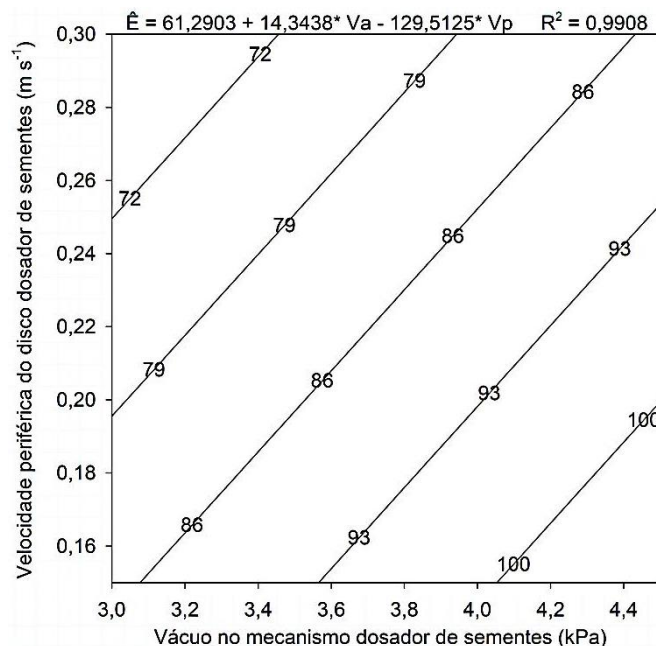


Figura 12 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno do enchimento do disco dosador de sementes (E), para sementes de soja, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo promoveu o incremento de 14,34% no enchimento do disco dosador de sementes, sob velocidade periférica constante. Além disso, o decréscimo de 0,10 m s<sup>-1</sup> na velocidade periférica aumentou em 12,95% o enchimento do disco dosador, sob nível constante de vácuo. O preenchimento de todos os orifícios pneumáticos, correspondente ao enchimento de 100% do disco dosador foi obtido, inicialmente, sob vácuo de 4,10 kPa e velocidade periférica de 0,15 m s<sup>-1</sup>. Dessa forma, a utilização de velocidades periféricas do disco dosador superiores a 0,15 m s<sup>-1</sup> demandou níveis de vácuo superiores a 4,10 kPa para manutenção de 100% de seu enchimento.

O aumento do vácuo no orifício pneumático, em consequência do acréscimo de vácuo no mecanismo dosador, implica em maior força de captura das sementes, possibilitando o preenchimento de maior número de orifícios. Além disso, a redução da velocidade periférica disponibiliza maior tempo para que os orifícios pneumáticos capturem as sementes. O preenchimento dos orifícios pneumáticos por múltiplas sementes, observado nas condições de maiores níveis de vácuo e reduzidas velocidades periféricas, promove enchimento do disco dosador superior a 100% devido ao número de sementes dosadas ser superior ao número de orifícios

pneumáticos em cada rotação do disco dosador.

### 5.2.1.2 Espaçamentos duplos

O vácuo no mecanismo dosador apresentou efeito linear positivo, ao passo que, a velocidade periférica do disco dosador de sementes apresentou efeito linear negativo, sobre os espaçamentos duplos para as sementes de soja (Figura 13).

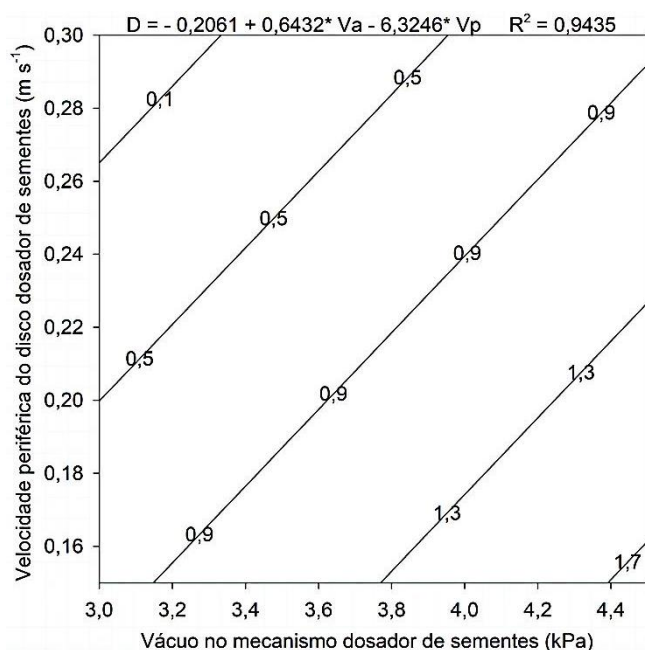


Figura 13 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno dos espaçamentos duplos (D), para sementes de soja, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

A maior ocorrência de espaçamentos duplos (1,74%) foi observada quando utilizados o vácuo de 4,50 kPa e a velocidade periférica do disco dosador de sementes de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ . No entanto, a ocorrência dos espaçamentos duplos, por si só, não é suficiente para reduzir os espaçamentos normais a valores inferiores a 90%, valor este sugerido por Coelho (1996) como mínimo aceitável na avaliação de mecanismos dosadores pneumáticos de sementes. A nulidade de espaçamentos duplos é obtida, inicialmente, com vácuo de 3,0 kPa e velocidade periférica de  $0,28 \text{ m s}^{-1}$ . Nestas condições, o baixo nível de vácuo associado à alta velocidade periférica do disco dosador de sementes proporciona insuficientes força de captura e tempo dispensado ao orifício pneumático para retenção de múltiplas sementes.

Os baixos valores de espaçamentos duplos ocorrem principalmente devido à

difficuldade na captura e manutenção de múltiplas sementes pelos orifícios pneumáticos. A forma esférica da semente de soja proporciona cobertura quase total da área do orifício pneumático do disco dosador dificultando a captura e a manutenção de uma segunda semente por este orifício. Dessa forma, a força de captura, disponibilizada pela mínima área não preenchida do orifício pneumático já ocupado por uma semente, pode ser insuficiente para a retenção e manutenção de outras sementes. Além disso, o individualizador de sementes retira facilmente as sementes de soja mantidas sob baixa força de captura no orifício pneumático.

A avaliação em laboratório da distribução longitudinal de sementes de soja, com velocidade operacional de  $1 \text{ m s}^{-1}$  e níveis de vácuos de 2,0 a 5,0 kPa, realizada por Karayel et al. (2004) demonstrou aumento dos espaçamentos duplos decorrente do acréscimo de vácuo no mecanismo dosador. Neste caso, a maior ocorrência de espaçamentos duplos (3,2%) foi alcançada com o nível de vácuo de 5,0 kPa. A avaliação de mecanismos dosadores feita por Dias et al. (2014) evidenciou efeito linear positivo da velocidade periférica sobre os espaçamentos duplos, para sementes de soja, em velocidades periféricas de 0,09 a  $0,38 \text{ m s}^{-1}$ . Da mesma maneira, Yasgi et al. (2010) observaram aumento de 0,00 para 3,79%, dos espaçamentos duplos entre sementes de soja, em função do aumento da velocidade periférica do disco dosador de 0,08 para  $0,16 \text{ m s}^{-1}$ , sob 4,0 kPa de vácuo.

#### **5.2.1.3 Espaçamentos falhos**

Os espaçamentos falhos entre sementes de soja foram influenciados de forma linear negativa pelo vácuo no mecanismo dosador e de forma linear positiva pela velocidade periférica do disco dosador de sementes (Figura 14).

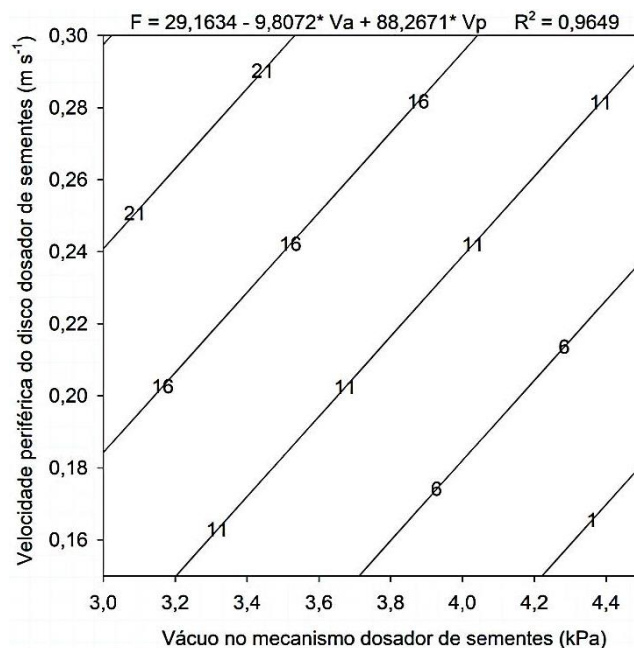


Figura 14 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno dos espaçamentos falhos (F), para sementes de soja, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O aumento de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante do disco dosador, implicou no decréscimo de 9,81% nos espaçamentos falhos. A diminuição de  $0,10 \text{ m s}^{-1}$  da velocidade periférica resultou no decréscimo de 8,83% no total de espaçamentos falhos, sob nível constante de vácuo. A maior ocorrência de espaçamentos falhos (26,22%) foi observada no vácuo de 3,0 kPa e velocidade periférica de  $0,30 \text{ m s}^{-1}$ . Nestas condições a retenção das sementes no disco dosador é dificultada pelas insuficientes forças de captura e de manutenção no orifício pneumático, resultantes do baixo nível de vácuo. Ademais, a alta velocidade periférica reduz o tempo disponível para a captura da semente. Por outro lado, a partir do vácuo de 4,30 kPa e velocidade periférica de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$  é atingida a nulidade de espaçamentos falhos.

O aumento de espaçamentos falhos entre sementes de soja, decorrente da diminuição do vácuo no mecanismo dosador, foi constatado por Karayel et al. (2004) ao simularem a semeadura, em condições de laboratório, com velocidade operacional de  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Neste estudo, a maior ocorrência de espaçamentos falhos (8,2%) foi obtida com o menor nível de vácuo (2,0 kPa). No entanto, a diferença em relação ao maior nível de vácuo (5,0 kPa) foi de apenas 4,20%, uma vez que neste

foram obtidos 4,0 % de espaçamentos falhos. O efeito linear positivo da velocidade periférica do disco dosador sobre os espaçamentos falhos entre sementes de soja foi constatado por Dias et al. (2014) ao utilizarem velocidades periféricas de 0,09 a 0,38 m s<sup>-1</sup>. Entretanto, Yazgi et al. (2010) relataram a redução dos espaçamentos falhos decorrente do aumento da velocidade periférica do disco dosador de 0,08 para 0,16 m s<sup>-1</sup> sob vácuo de 4,0 kPa.

#### 5.2.1.4 Espaçamentos normais

O vácuo no mecanismo dosador apresentou efeito linear positivo, ao passo que, a velocidade periférica do disco dosador de sementes apresentou efeito linear negativo sobre os espaçamentos normais para sementes de soja (Figura 15).

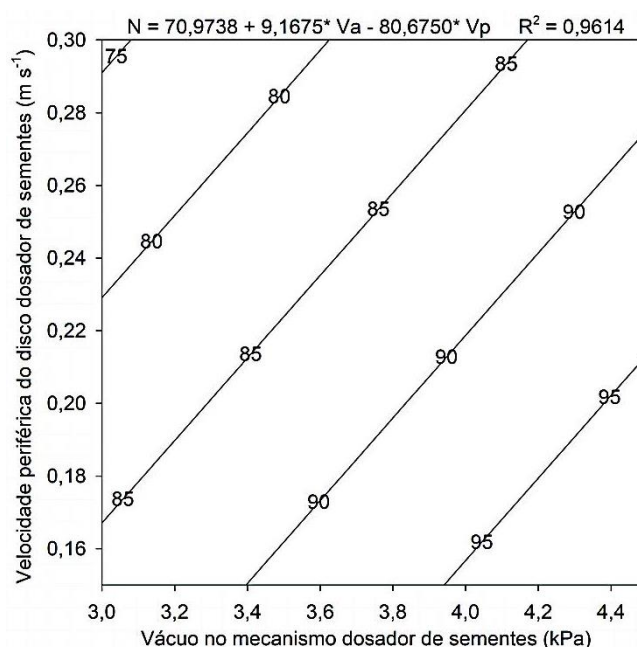


Figura 15 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno dos espaçamentos normais (N), para sementes de soja, em função do vácuo no mecanismo dosador (Va) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes (Vp). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O aumento dos espaçamentos normais ocorreu, principalmente, em detrimento da ocorrência de espaçamentos falhos. Esta situação advém do preenchimento de maior número de orifícios pneumáticos obtido com acréscimo nos níveis de vácuo e diminuição da velocidade periférica do disco dosador de sementes. A obtenção de espaçamentos normais em quantidade inferior a 90% é resultante da ineficácia na captura e manutenção das sementes pelo orifício

pneumático, uma vez que os espaçamentos duplos pouco contribuem para a diminuição deste valor. O mínimo aceitável de 90% de espaçamentos normais é alcançado, inicialmente, sob vácuo de 3,40 kPa e velocidade periférica de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ . Assim, velocidades periféricas do disco dosador superiores a  $0,15 \text{ m s}^{-1}$  exigem níveis de vácuo superiores a 3,40 kPa para manutenção de quantidade aceitável de espaçamentos normais.

Ao realizarem o ensaio de semeadura em laboratório, com velocidade operacional de  $1 \text{ m s}^{-1}$  e níveis de vácuo de 2,0 a 5,0 kPa Karayel et al. (2004) obtiveram mais de 90% de espaçamentos normais em todas as condições estudadas. A maior ocorrência de espaçamentos normais (95,6%) foi obtida no vácuo de 3,0 kPa. No vácuo de 2,0 kPa foi constatada a maior quantidade de espaçamentos falhos, ao passo que, em níveis de vácuo acima de 2,0 kPa, além dos espaçamentos falhos também são verificados espaçamentos duplos. Dias et al. (2014) constataram efeito linear negativo da velocidade periférica do disco dosador sobre os espaçamentos normais em velocidades de 0,09 a  $0,38 \text{ m s}^{-1}$ . No entanto, Yazgi et al. (2010) observaram a redução dos espaçamentos normais de 93,21 para 93,13% ao aumentarem a velocidade periférica do disco dosador de 0,08 para  $0,16 \text{ m s}^{-1}$  sob vácuo de 4,0 kPa.

#### **5.2.1.5 Densidade de semeadura**

A densidade de semeadura das sementes de soja foi influenciada de forma linear positiva pelo vácuo no mecanismo dosador e de forma linear negativa pela velocidade periférica do disco dosador de sementes (Figura 16). Assim, o decréscimo na densidade de semeadura é resultante da redução do vácuo e do aumento da velocidade periférica do disco dosador de sementes.

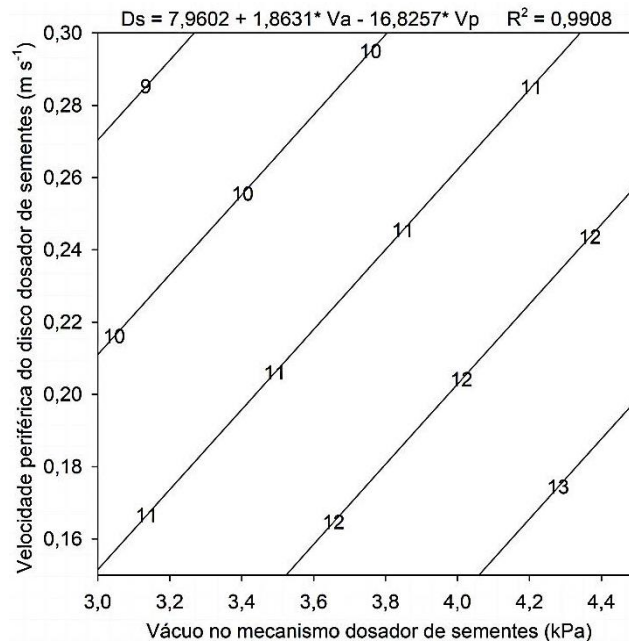


Figura 16 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno da densidade de semeadura ( $D_s$ ), para sementes de soja, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O decréscimo de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante do disco dosador, diminui em 1,86 sementes  $m^{-1}$  a densidade de semeadura. O acréscimo de 0,10  $m s^{-1}$  na velocidade periférica do disco dosador reduz em 1,68 sementes  $m^{-1}$  a densidade de semeadura, sob nível constante de vácuo. A menor densidade de semeadura (8,50 sementes  $m^{-1}$ ) foi observada no vácuo de 3,0 kPa e velocidade periférica de 0,30  $m s^{-1}$ . Por outro lado, sob vácuo de 4,50 kPa e velocidade periférica de 0,15  $m s^{-1}$  obtém-se 13,82 sementes  $m^{-1}$ , determinando assim, uma diferença na densidade de semeadura de 62,59% entre estas duas condições.

A densidade de semeadura teórica (13 sementes  $m^{-1}$ ) é obtida, inicialmente, sob vácuo de 4,10 kPa e velocidade periférica do disco dosador de 0,15  $m s^{-1}$ . Assim, a utilização de velocidade periférica superior a 0,15  $m s^{-1}$  exige nível de vácuo superior a 4,10 kPa para manutenção desta densidade de semeadura. O aumento na densidade de semeadura ocorreu conjuntamente ao aumento do enchimento do disco dosador de sementes e à diminuição dos espaçamentos falhos. O acréscimo de vácuo e a redução da velocidade periférica do disco dosador proporcionam melhora na captura e manutenção das sementes pelo orifício

pneumático, implicando em maior quantidade de sementes distribuídas.

#### 5.2.1.6 Coeficiente de variação dos espaçamentos

O vácuo no mecanismo dosador de sementes apresentou efeito linear negativo, ao passo que, a velocidade periférica do disco dosador de sementes apresentou efeito linear positivo sobre o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes de soja (Figura 17).

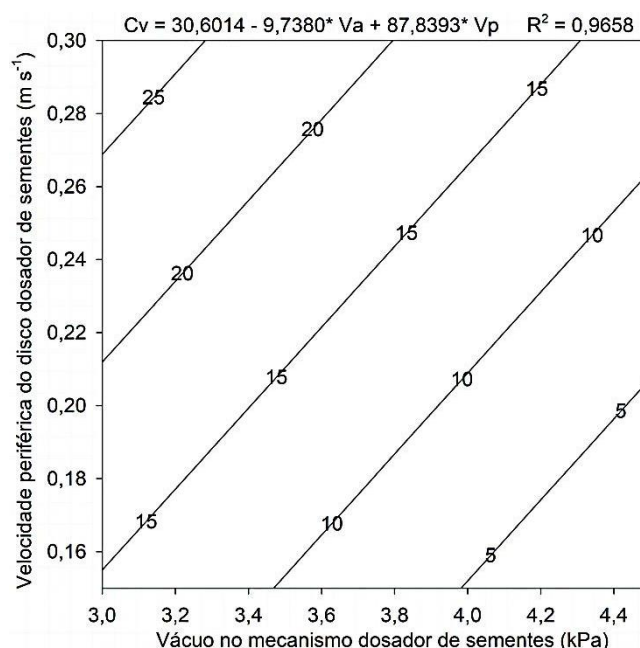


Figura17 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno do coeficiente de variação ( $C_v$ ), para sementes de soja, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante do disco dosador, diminuiu em 9,74% o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes de soja. O decréscimo de 0,10 m s<sup>-1</sup> na velocidade periférica, sob nível constante de vácuo, reduz em 8,78% o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes. O maior coeficiente de variação dos espaçamentos (27,74%) foi observado no vácuo de 3,00 kPa e na velocidade periférica do disco dosador de 0,30 m s<sup>-1</sup>.

O acréscimo no coeficiente de variação dos espaçamentos decorre do aumento dos espaçamentos falhos, obtidos com a redução do nível de vácuo e com

o aumento da velocidade periférica do disco dosador de sementes. A maior ocorrência de espaçamentos falhos proporciona aumento da dispersão dos valores de espaçamento em torno do espaçamento médio. No entanto, o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes de soja não ultrapassou o limite aceitável de 30% sugerido por Coelho (1996) para avaliação de mecanismos dosadores pneumáticos de sementes.

## 5.2.2 Feijão

### 5.2.2.1 Enchimento do disco dosador de sementes

O enchimento do disco dosador de sementes (%) foi influenciado de forma linear positiva pelo vácuo no mecanismo dosador e de forma linear negativa pela velocidade periférica do disco dosador de sementes (Figura 18).

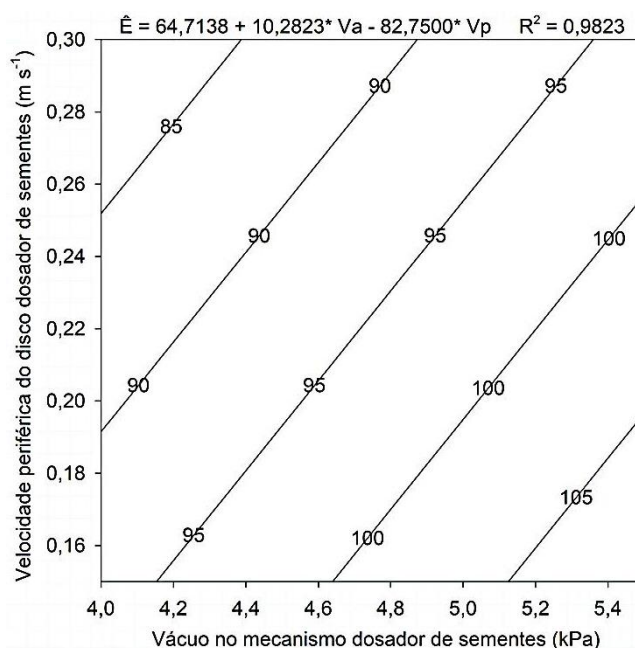


Figura 18 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno do enchimento do disco dosador de sementes (E), para sementes de feijão, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O aumento de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante, incrementa em 10,28%, ao passo que, a diminuição de 0,10 m s<sup>-1</sup> da velocidade periférica do disco dosador, sob nível constante de vácuo, acresce em 8,28% o enchimento do disco dosador para sementes de feijão. O preenchimento de todos os

orifícios pneumáticos, com uma única semente por orifício, correspondente ao enchimento de 100%, é obtido a partir do vácuo de 4,70 kPa e da velocidade periférica de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ . Logo, as velocidades periféricas do disco dosador superiores a  $0,15 \text{ m s}^{-1}$  exigem níveis de vácuo superiores a 4,70 kPa para manutenção de 100% de enchimento para sementes de feijão.

O enchimento do disco dosador superior a 100% advém da captura de múltiplas sementes pelos orifícios pneumáticos. O aumento do nível de vácuo promove acréscimo proporcional na força de captura das sementes fazendo com que estas fiquem retidas ao orifício pneumático mesmo após sofrerem ação do individualizador. Dessa forma, o número de sementes dosadas durante uma rotação completa do disco dosador é superior ao número de orifícios deste disco, que implica em valores de enchimento superiores a 100%.

As altas velocidades periféricas não proporcionam, ao orifício pneumático, tempo suficiente para a captura das sementes de feijão. Os baixos níveis de vácuo não asseguram força suficiente para a retenção e manutenção da semente no orifício pneumático, de modo a não promover o enchimento completo do disco dosador de sementes. Além disso, as sementes capturadas sob os menores níveis de vácuo permanecem fracamente retidas no orifício pneumático, podendo desprender-se com maior facilidade e não serem entregues ao tubo condutor para sua distribuição.

#### **5.2.2.2 Espaçamentos duplos**

O vácuo no mecanismo dosador de sementes apresentou efeito linear positivo, à medida que, a velocidade periférica do disco dosador de sementes apresentou efeito linear negativo, sobre os espaçamentos duplos para as sementes de feijão (Figura 19).

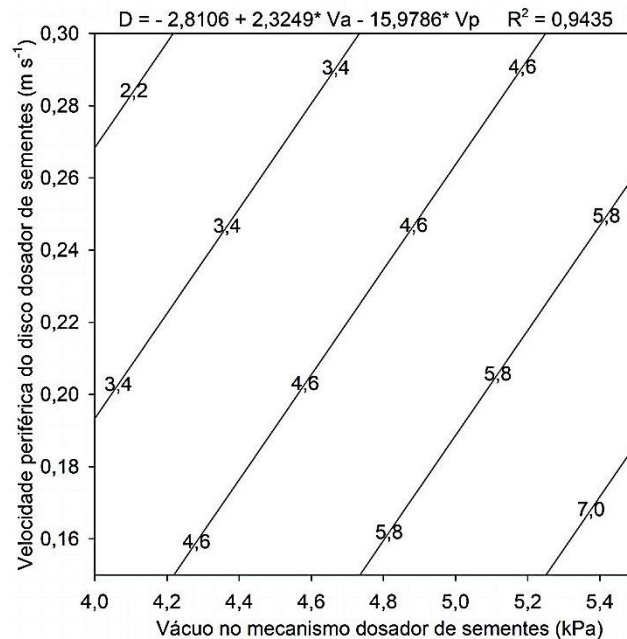


Figura 19 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno dos espaçamentos duplos (D), para sementes de feijão, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O incremento de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante, acresce em 2,32%, ao passo que, o decréscimo de  $0,10 \text{ m s}^{-1}$  na velocidade periférica do disco dosador de sementes, sob nível de vácuo constante, aumenta em 1,60% os espaçamentos duplos entre sementes de feijão. Assim, a maior ocorrência de espaçamentos duplos (7,58%) é obtida sob vácuo de 5,50 kPa e velocidade periférica do disco dosador de sementes de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ . No entanto, a ocorrência de espaçamentos duplos, por si só, não é suficiente para a redução dos espaçamentos normais a valores inferiores a 90%.

A captura de múltiplas sementes de feijão pelo orifício pneumático é facilitada pela forma elíptica da semente. Deste modo, estas sementes são capturadas pela sua extremidade, não promovendo a total cobertura do orifício pneumático, que ao continuar exercendo força de captura sobre as demais sementes do reservatório, promove a retenção de múltiplas sementes nos orifícios pneumáticos. Além disso, o individualizador de sementes apresenta menor eficácia na individualização de sementes com menor esfericidade.

### 5.2.2.3 Espaçamentos falhos

Os espaçamentos falhos, para as sementes de feijão, foram influenciados de forma linear negativa pelo vácuo no mecanismo dosador e de forma linear positiva pela velocidade periférica do disco dosador de sementes (Figura 20). O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante, implica na diminuição de 7,96% no total de espaçamentos falhos. Além disso, o decréscimo de 0,10 m s<sup>-1</sup> na velocidade periférica do disco dosador proporciona redução de 6,68% nos espaçamentos falhos, sob nível constante de vácuo.

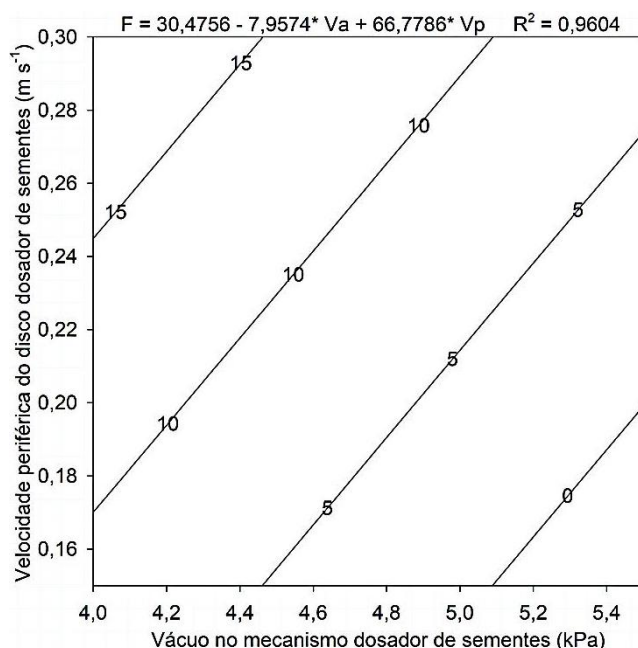


Figura 20 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno dos espaçamentos falhos (F), para sementes de feijão, em função do vácuo no mecanismo dosador (Va) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes (Vp). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

A maior ocorrência de espaçamentos falhos (18,68%) foi observada sob vácuo de 4,0 kPa e velocidade periférica de 0,30 m s<sup>-1</sup>. A não ocorrência de espaçamentos falhos é obtida a partir do vácuo de 5,10 kPa e velocidade periférica do disco dosador de sementes de 0,15 m s<sup>-1</sup>. Dessa forma, a manutenção dessa condição em velocidades periféricas superiores a 0,15 m s<sup>-1</sup> exige níveis de vácuo superiores a 5,10 kPa.

A diminuição do nível de vácuo no mecanismo dosador acarreta proporcional redução na força exercida pelos orifícios pneumáticos na captura das sementes. As altas velocidades periféricas do disco dosador não proporcionam tempo suficiente

para ação do orifício pneumático sobre as sementes, dificultando sua captura. Além disso, o aumento da velocidade periférica do disco dosador acresce a força centrípeta, que dificulta a manutenção das sementes retidas pelos orifícios pneumáticos do disco dosador. Ademais, as sementes fracamente retidas podem ser expulsas do orifício pneumático ao serem submetidas ao individualizador de sementes.

#### 5.2.2.4 Espaçamentos normais

O vácuo no mecanismo dosador de sementes apresentou efeito linear positivo e a velocidade periférica do disco dosador de sementes apresentou efeito linear negativo sobre os espaçamentos normais para as sementes de feijão (Figura 21).

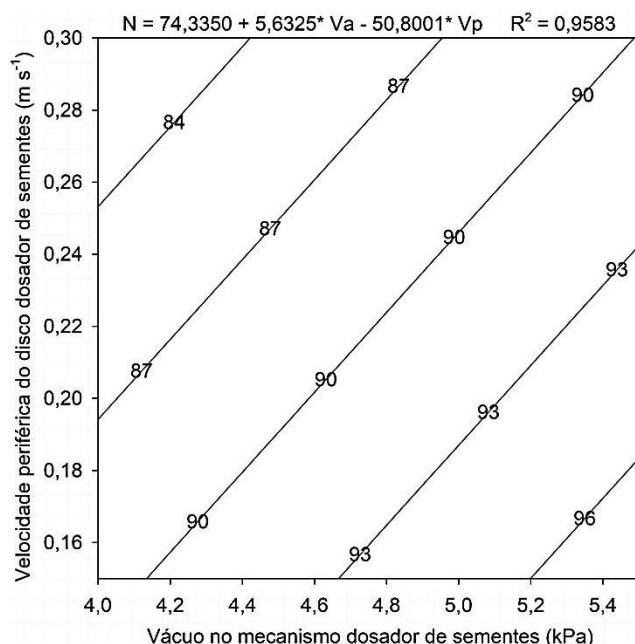


Figura 21 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno dos espaçamentos normais (N), para sementes de feijão, em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O aumento da ocorrência de espaçamentos normais se deve principalmente à diminuição dos espaçamentos falhos, resultante do aumento do vácuo e da diminuição da velocidade periférica do disco dosador de sementes que aumentam o enchimento do disco dosador. O mínimo aceitável de 90% de espaçamentos normais é atingido, inicialmente, sob vácuo de 4,10 kPa e velocidade periférica do disco dosador de sementes de  $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Assim, a utilização de velocidades

periféricas maiores que  $0,15 \text{ m s}^{-1}$  exige aumento do nível de vácuo para valores superiores a 4,10 kPa, para manutenção de valores iguais ou superiores a 90% de espaçamentos normais.

O alcance de 100% de espaçamentos normais não ocorreu nas condições de vácuo e de velocidade periférica do disco dosador de sementes avaliadas. A utilização de altos níveis de vácuo e de baixas velocidades periféricas do disco dosador, apesar de reduzirem os espaçamentos falhos, promove a ocorrência de espaçamentos duplos. Além disso, pode ser verificada a ocorrência simultânea de espaçamentos falhos e duplos, facilitada pela ineficácia do individualizador de sementes, tanto pela não individualização de múltiplas sementes retidas no orifício pneumático, quanto pela expulsão de todas as sementes retidas no orifício.

#### 5.2.2.5 Densidade de semeadura

A densidade de semeadura foi influenciada de forma linear positiva pelo vácuo no mecanismo dosador e de forma linear negativa pela velocidade periférica do disco dosador de sementes (Figura 22).

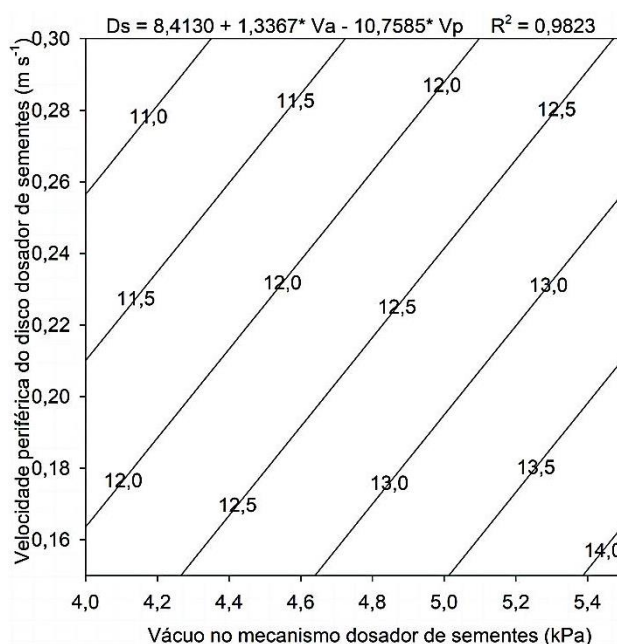


Figura 22 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno da densidade de semeadura ( $D_s$ ), para sementes de feijão, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $V_a$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $V_p$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O decréscimo de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante,

promoveu a diminuição de 1,34 sementes  $m^{-1}$ , ao passo que, o acréscimo de 0,10  $m\ s^{-1}$  na velocidade periférica do disco dosador acarreta a diminuição de 1,08 sementes  $m^{-1}$  sob nível constante de vácuo. A menor densidade de semeadura (10,53 sementes  $m^{-1}$ ) foi observada no vácuo de 4,0 kPa e velocidade periférica do disco dosador de 0,30  $m\ s^{-1}$ . Por outro lado, sob vácuo de 5,50 kPa e velocidade periférica de 0,15  $m\ s^{-1}$  obtém-se a maior de densidade de semeadura (14,15 sementes  $m^{-1}$ ). Dessa forma, a diferença na densidade de semeadura entre estas duas condições é de 34,38 %.

A densidade de semeadura teórica (13 sementes  $m^{-1}$ ) foi atingida, inicialmente, sob vácuo de 4,70 kPa e velocidade periférica de 0,15  $m\ s^{-1}$ . Logo, a utilização de velocidades periféricas do disco dosador maiores que 0,15  $m\ s^{-1}$  demandam níveis de vácuo superiores a 4,70 kPa para manutenção da densidade de semeadura teórica. O aumento da densidade de semeadura ocorre simultaneamente ao aumento do enchimento do disco dosador e da consequente diminuição dos espaçamentos falhos, advindos do acréscimo de vácuo e da redução da velocidade periférica do disco dosador, que favorecem a captura e manutenção das sementes nos orifícios pneumáticos.

#### **5.2.2.6 Coeficiente de variação dos espaçamentos**

O coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes de feijão foi influenciado linear e negativamente pelo vácuo no mecanismo dosador e linear e positivamente pela velocidade periférica do disco dosador de sementes (Figura 23).

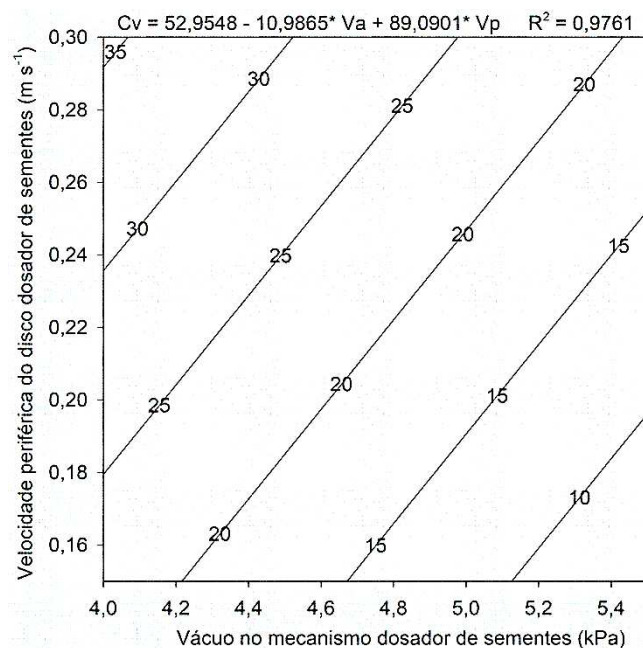


Figura 23 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de contorno do coeficiente de variação ( $Cv$ ), para sementes de feijão, em função do vácuo no mecanismo dosador ( $Va$ ) e da velocidade periférica do disco dosador de sementes ( $Vp$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo, sob velocidade periférica constante, promove a diminuição de 10,98%, ao passo que, a diminuição de 0,10 m s<sup>-1</sup> na velocidade periférica do disco dosador, sob nível constante de vácuo, decresce em 8,91% o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes feijão. O menor coeficiente de variação (5,89%) foi observado sob vácuo de 5,50 kPa e velocidade periférica do disco dosador de 0,15 m s<sup>-1</sup>. Por outro lado, sob vácuo de 4,0 kPa e velocidade periférica do disco dosador de 0,30 m s<sup>-1</sup> foi obtido o maior coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes de feijão (35,76%).

O limite máximo aceitável para coeficiente de variação (30%) foi atingido inicialmente com o vácuo de 4,0 kPa e velocidade periférica do disco dosador de 0,24 m s<sup>-1</sup>. Logo, a utilização de velocidades periféricas a partir de 0,24 m s<sup>-1</sup> exigiram níveis de vácuo superiores a 4,0 kPa para manutenção de valores iguais ou inferiores a 30% para o coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes. A menor ocorrência de espaçamentos falhos, observados nos maiores níveis de vácuo e menores velocidades periféricas do disco dosador, reduz a dispersão dos valores de espaçamentos em torno do espaçamento médio, conferindo menores coeficientes de variação.

### 5.2.3 Milho

#### 5.2.3.1 Enchimento do disco dosador de sementes

O enchimento do disco dosador de sementes foi influenciado somente pelo vácuo no mecanismo dosador, que apresentou efeito linear positivo sobre esta variável (Figura 24). O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo acarretou o aumento de 11,56% no enchimento do disco dosador para sementes de milho.

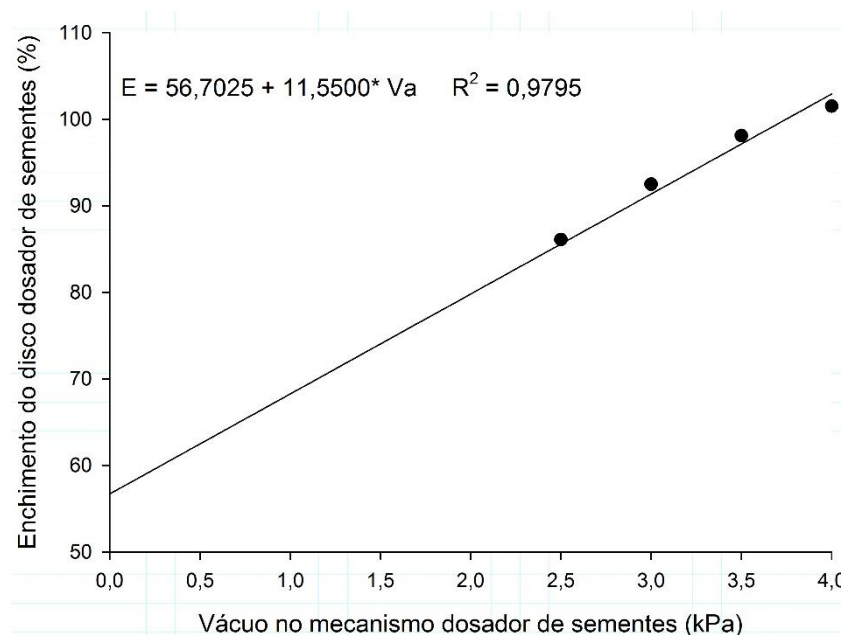


Figura 24 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de linhas do enchimento do disco dosador (E), para sementes de milho, em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes ( $V_a$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O preenchimento de todos os orifícios pneumáticos, que compreende o enchimento de 100% do disco dosador, é obtido com o vácuo de 3,75 kPa. Os níveis de vácuo superiores a 3,75 kPa promovem a captura de múltiplas sementes pelos orifícios pneumáticos. Por outro lado, sob níveis de vácuo inferiores a 3,75 kPa a força dispensada à captura das sementes não é suficiente para o preenchimento de todos os orifícios pneumáticos. As sementes capturadas sob os menores níveis de vácuo podem não ser mantidas no orifício pneumático devido às forças de resistência à sua manutenção e à ação do individualizador de sementes.

O efeito linear positivo do vácuo sobre o enchimento do disco dosador, para

sementes de milho, foi observado por Barut & Ozmerzi (2004) ao utilizarem níveis de vácuo de 1,0 a 4,0 kPa. No entanto, foi constatado efeito linear negativo da velocidade periférica sobre o enchimento do disco dosador em velocidades de 0,16 a 0,40 m s<sup>-1</sup>.

### 5.2.3.2 Espaçamentos duplos

Os espaçamentos duplos, para as sementes de milho, foram influenciados somente pelo vácuo no mecanismo dosador de sementes, que apresentou efeito linear positivo para esta variável (Figura 25).

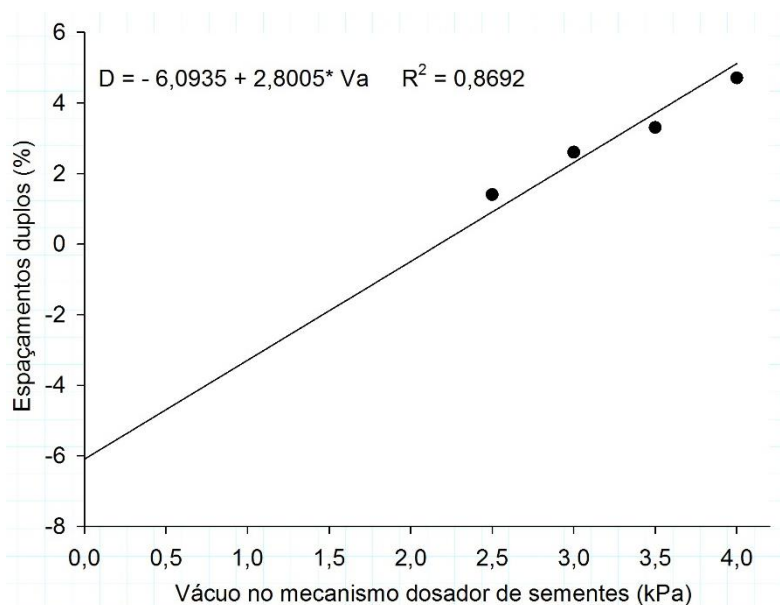


Figura 25 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de linhas dos espaçamentos duplos (D), para sementes de milho, em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (Va). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo promoveu o aumento de 2,80% nos espaçamentos duplos. A menor ocorrência de espaçamentos duplos (0,91%) foi verificada sob vácuo de 2,50 kPa. Por outro lado, a maior ocorrência de espaçamentos duplos (5,11%) foi obtida com vácuo de 4,0 kPa no mecanismo dosador. Apesar disso, os espaçamentos duplos não são suficientes para redução dos espaçamentos normais a valores inferiores a 90%.

A forma achatada das sementes de milho facilita a ocorrência de espaçamentos duplos. A baixa esfericidade desta semente promove sua captura, pelo orifício pneumático do disco dosador de sementes, por meio de sua menor

extremidade. Sendo assim, a cobertura do orifício pneumático pela semente é realizada parcialmente, de forma que a área não coberta do orifício permaneça exercendo força de captura sobre as demais sementes do reservatório. Ademais, o posicionamento da semente no orifício, determinado pela retenção por sua extremidade, dificulta a singularização de múltiplas sementes pelo individualizador.

O efeito significativo da velocidade periférica do disco dosador sobre os espaçamentos duplos, entre sementes de milho, foi verificado por Onal et al. (2012). Neste estudo, foi verificada a diminuição de 0,86% para 0,40% dos espaçamentos duplos, entre sementes de milho, ao aumentar a velocidade periférica do disco dosador de 0,17 para 0,34 m s<sup>-1</sup>, sob vácuo de 6,3 kPa. Karayel et al. (2004) observaram o acréscimo de 0,40 para 8,80% nos espaçamentos duplos para sementes de milho ao aumentarem o vácuo de 2,0 para 5,0 kPa.

### 5.2.3.3 Espaçamentos falhos

O vácuo no mecanismo dosador apresentou efeito linear negativo sobre os espaçamentos falhos para as sementes de milho, não havendo efeito da velocidade periférica do disco dosador sobre esta classe de espaçamentos (Figura 26).

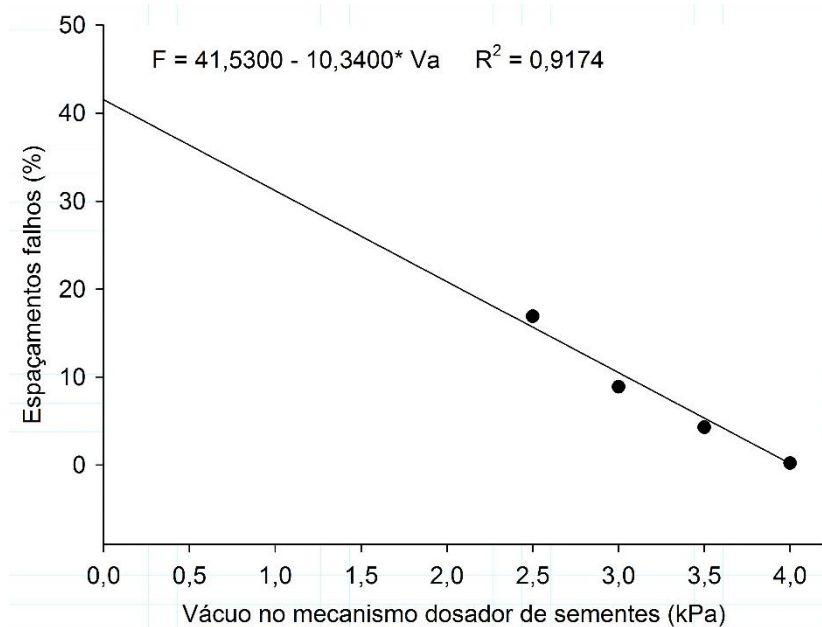


Figura 26 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de linhas dos espaçamentos falhos (F), para sementes de milho, em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (Va). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O aumento de 1,0 kPa de vácuo promoveu o decréscimo de 10,34% nos espaçamentos falhos para sementes de milho. Assim, a menor ocorrência de espaçamentos falhos (0,17%) foi observada no vácuo 4,0 kPa. Em contrapartida, com vácuo de 2,5 kPa no mecanismo dosador foi observada a maior ocorrência de espaçamentos falhos (15,68%). O decréscimo dos níveis de vácuo, que implica na redução da força para retenção da semente dificulta sua captura e manutenção nos orifícios pneumáticos. Além disso, as sementes fracamente retidas podem ser removidas do orifício pneumático ao sofrerem a ação do individualizador.

Onal et al. (2012) observaram o acréscimo de 1,29 para 7,53% de espaçamentos falhos devido ao aumento da velocidade periférica do disco dosador de 0,17 para 0,34 m s<sup>-1</sup>, sob vácuo de 6,30 kPa. Karayel et al. (2004) constataram a redução de 10,70 para 1,30% nos espaçamentos falhos, entre sementes de milho, ao aumentarem o vácuo no mecanismo dosador de 2,0 para 5,0 kPa.

#### 5.2.3.4 Espaçamento normais

O vácuo no mecanismo dosador apresentou efeito linear positivo sobre os espaçamentos normais para as sementes de milho, ao passo que, não houve influência da velocidade periférica do disco dosador de sementes (Figura 27).

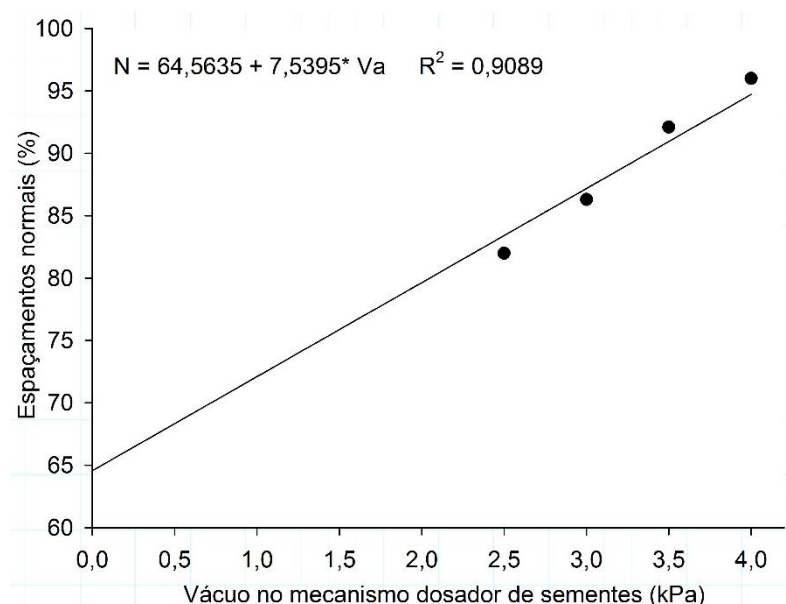


Figura 27 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de linhas dos espaçamentos normais (N), para sementes de milho, em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes (Va). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo promoveu o incremento de 7,54% de

espaçamentos normais para as sementes de milho. A mudança de 2,50 para 4,00 kPa de vácuo aumentou de 83,41 para 94,72% os espaçamentos normais. O mínimo aceitável de 90% de espaçamentos normais é obtido, inicialmente, com vácuo de 3,37 kPa no mecanismo dosador. A partir dos menores níveis de vácuo o aumento dos espaçamentos normais ocorre concomitantemente à diminuição dos espaçamentos falhos. Isto decorre da maior força de captura sobre as sementes de milho, oriunda do aumento do vácuo no mecanismo dosador. No entanto, o acréscimo nos espaçamentos normais, devido ao aumento do nível de vácuo, é limitado pela ocorrência de espaçamentos duplos.

O efeito significativo da velocidade periférica do disco dosador de sementes sobre os espaçamentos normais, entre sementes de milho, foi observado por Onal et al. (2012). Neste estudo foi verificada a redução de 97,85 para 92,05% nos espaçamentos normais entre sementes de milho devido ao aumento na velocidade periférica do disco dosador de 0,17 para 0,34 m s<sup>-1</sup>, sob vácuo de 6,30 kPa. Karayel et al. (2004) constataram acréscimo nos espaçamentos normais, de 88,90 a 94,50 % decorrente do aumento do vácuo de 2,0 para 4,0 Kpa, em detrimento da redução dos espaçamentos falhos. No entanto, a mudança do nível de vácuo de 4,0 Kpa para 5,0 Kpa reduziu os espaçamentos normais para 89,90% devido ao aumento dos espaçamentos duplos.

#### **5.2.3.5 Densidade de semeadura**

A densidade de semeadura, para as sementes de milho, foi influenciada de forma linear e positiva pelo vácuo no mecanismo dosador. No entanto, não houve efeito significativo da velocidade periférica do disco dosador de sementes sobre esta variável (Figura 28).

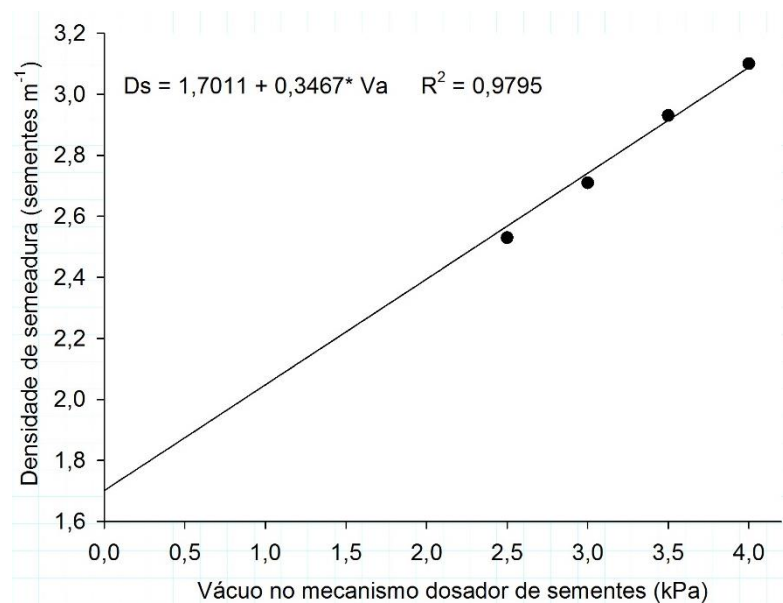


Figura 28 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de linhas da densidade de semeadura ( $D_s$ ), para sementes de milho, em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes ( $V_a$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O acréscimo de 1,0 kPa de vácuo aumentou em 0,35 sementes  $m^{-1}$  a densidade de semeadura. A densidade de semeadura teórica (3 sementes  $m^{-1}$ ) foi obtida com o vácuo de 3,75 kPa no mecanismo dosador de sementes. A utilização de níveis de vácuo inferiores a 3,75 kPa proporcionou densidades de semeadura inferiores à desejada, sendo seu menor valor (2,57 sementes  $m^{-1}$ ) obtido no vácuo de 2,50 kPa. Por outro lado, a maior densidade de semeadura (3,09 sementes  $m^{-1}$ ) foi observada com 4,0 kPa de vácuo no mecanismo dosador. Assim, a alteração do vácuo no mecanismo dosador de sementes de 2,50 para 4,0 kPa acresce em 20,23% a densidade de semeadura para sementes de milho.

O aumento da densidade de semeadura ocorre conjuntamente ao aumento do enchimento do disco dosador. Esta situação resulta da maior captura e retenção das sementes no orifício pneumático, devido ao acréscimo de vácuo no mecanismo dosador. A obtenção de densidades de semeadura superiores a 3 sementes  $m^{-1}$  ocorre devido à captura e a manutenção de múltiplas sementes no orifício pneumático do disco dosador.

#### 5.2.3.6 Coeficiente de variação dos espaçamentos

O vácuo no mecanismo dosador apresentou efeito linear negativo sobre o

coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes de milho. No entanto, não foi verificado efeito significativo da velocidade periférica do disco dosador de sementes sobre esta variável (Figura 29).

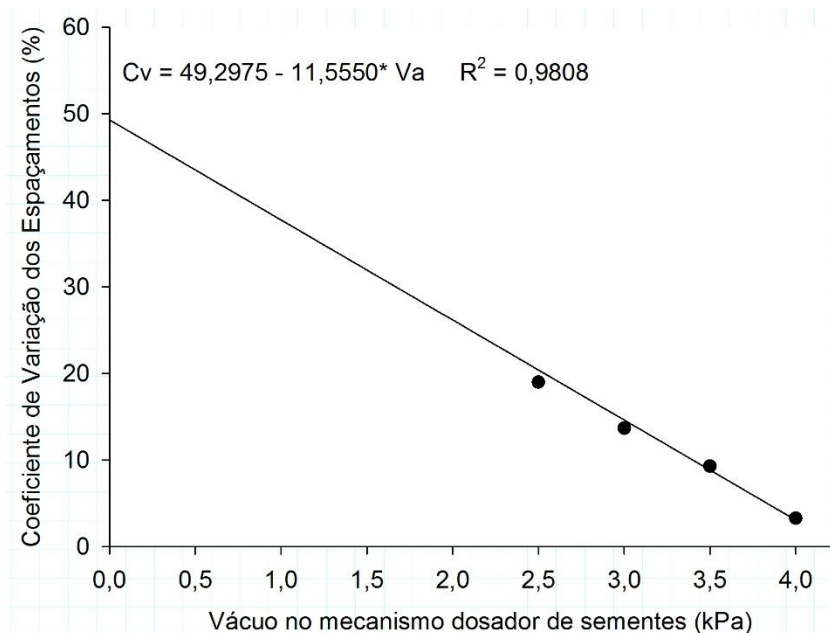


Figura 29 – Equação ajustada, coeficiente de determinação e gráfico de linhas do coeficiente de variação dos espaçamentos ( $C_v$ ), para sementes de milho, em função do vácuo no mecanismo dosador de sementes ( $V_a$ ). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O incremento de 1,0 kPa de vácuo promoveu a redução de 11,56% no coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes. O menor coeficiente de variação (3,08%) foi obtido com vácuo de 4,0 kPa no mecanismo dosador. Por outro lado, sob vácuo de 2,50 kPa foi obtido o maior coeficiente de variação para os espaçamentos entre sementes (20,41%). Onal et al. (2012) constataram o aumento de 11,04 para 21,77% no coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes de milho ao aumentarem a velocidade periférica do disco dosador de 0,17 para 0,34 m s<sup>-1</sup>.

A maior dispersão dos valores de espaçamentos em torno do espaçamento médio, oriunda da maior ocorrência de espaçamentos falhos, resulta nos maiores coeficientes de variação dos espaçamentos entre sementes. Esta situação é determinada pela utilização de níveis de vácuo insuficientes para captura e manutenção das sementes nos orifícios pneumáticos do disco dosador.

## 6. CONCLUSÕES

O método alternativo, baseado no uso de um sensor óptico, apresenta eficácia e viabilidade operacional para mensuração dos espaçamentos entre sementes de soja, de feijão e de milho.

O acréscimo nos níveis de vácuo no mecanismo dosador promove aumento do enchimento do disco dosador de sementes, dos espaçamentos normais, dos espaçamentos duplos, da densidade de semeadura e redução dos espaçamentos falhos e do coeficiente de variação dos espaçamentos para as sementes de soja, feijão e milho.

A redução da velocidade periférica do disco dosador de sementes aumenta o enchimento do disco dosador de sementes, os espaçamentos normais, os espaçamentos duplos, a densidade de semeadura e diminui os espaçamentos falhos e o coeficiente de variação dos espaçamentos para as sementes de soja e de feijão.

A velocidade periférica do disco dosador de sementes não influencia a dosagem e a distribuição de sementes de milho.

O enchimento de 100% do disco dosador de sementes e a densidade teórica de semeadura são atingidos, inicialmente, sob vácuo de 4,10 kPa para sementes de soja e de 4,70 kPa para sementes de feijão, sob velocidade periférica do disco dosador de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ ; e vácuo de 3,75 kPa para sementes de milho.

A obtenção de 90% de espaçamentos normais e coeficiente de variação dos espaçamentos entre sementes menor que 30% é alcançada a partir do vácuo de 3,40 kPa para sementes de soja e 4,10 kPa para sementes de feijão em velocidade periférica do disco dosador de sementes de  $0,15 \text{ m s}^{-1}$ ; e vácuo de 3,37 kPa para as sementes de milho.

## REFERÊNCIAS

ALCHANATIS, V.; KASHTI, Y.; BRIKMAN, R. A Machine Vision System for Evaluation of Planter Seed Spatial Distribution. **CIGR Journal**, v. 4, n. 1, p. 11-20, abr., 2002.

ALMEIDA, R. A.; BARCELLOS, L. C.; XIMENES, P. A. Danos Mecânicos Ocasionados por Sistemas Dosadores de Sementes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 17-22, jan./jun., 2003.

ALONÇO, A. S.; SILVEIRA, H. A. T.; CARDINAL, K. M.; RIST, G. P. Distribuição Longitudinal de Sementes de Algodão e Girassol com Diferentes Velocidades e Inclinações em Dosadores Pneumáticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 63-70, mar./abr., 2015.

ALONÇO, A. S.; SILVEIRA, H. A. T.; BELLÉ, M. P.; CARPES, D. P.; MACHADO, O. D. C. Influência da inclinação transversal e velocidade de operação sobre o desempenho de dosadores pneumáticos com semente de soja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 119-127, mar./abr., 2014.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 279-286, mar., 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Semeadora de precisão: ensaio de laboratório/método de ensaio**. Projeto de norma 12:02.06-004. Rio de Janeiro, 1989. 21 p.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.

BARUT, Z. B.; ÖZMERZI, A. Effect of different operating parameters on seed holding in the single seed metering unit of a pneumatic planter. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 28, p. 435-441, jan., 2004.

BOTTEGA, E. L.; ROSOLEM, D. H.; OLIVEIRA NETO, A. M.; PIAZZETTA, A. V. L.; GUERRA, N. Qualidade da semeadura do milho em função do sistema dosador de sementes e velocidades de operação. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 7, n. 1, p. 107-114, jan./abr., 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395p.

ÇAKIR, E.; AYGUN, I.; YAZGI, A.; KARABULUT, Y. Determination of in-row seed distribution uniformity using image processing. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 40, n. 6, p. 874–881, nov./dez., 2016.

CARPES, D. P.; ALONÇO, A. D. S.; FRANCETTO, T. T.; FRANCK, C. J.; BELLE, M. P.; MACHADO, O. D. C. Effect of different conductor tubes on the longitudinal distribution of soybean seeds. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 8, p. 1144-1150, ago., 2016.

CAY, A.; KOCABIYIK, H.; KARAASLAN, B.; MAY, S.; KHURELBAATAR, M. Development of an opto-electronic measurement system for planter laboratory tests. **Measurement**, London, v. 102, n. 1, p. 90-95, maio, 2017.

COELHO, J. L. D. Ensaio e certificação das máquinas para semeadura. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. Cap. 11, p. 551-570.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. E.; SILVA, R. P.; LOPES, A. 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.

DIAS, V. O.; ALONÇO, A. S.; CARPES, D. P.; VEIT, A. A.; SOUZA, L. B. Velocidade periférica do disco em mecanismos dosadores de sementes de milho e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 11, nov., 2014.

FRANCETTO, T. R.; DAGIOS, R. F.; LEINDECKER, J. A.; ALONÇO, A. S.; FERREIRA, M. F. Características Dimensionais e Ponderais das Semeadoras-Adubadoras De Precisão no Brasil. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 1, p. 18-24, jan./jun., 2015.

GARCIA, R.F.; VALE, W.G.; OLIVEIRA, M.T.R.; PEREIRA, E. M.; AMIM, R.T.; BRAGA, T.C. Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 417-422, jul./set., 2011.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **Sowing equipment-Test methods**. Part 1: Single seed drills (precision drill). ISO 7256/1. 1984. 10p.

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, 1995.

KARAYEL, D.; BARUT, Z. B.; ÖZMERZI, A. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. **Biosystems Engineering**, London, v. 87, n. 4, p. 437- 444, abr., 2004.

KARIMI, H.; NAVID, H.; MAHMOUDI, A. Online laboratory evaluation of seeding-machine application by an acoustic technique. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 13, n. 1, p. e0202, 22, ja./mar., 2015.

KOCHER, M. F.; LAN, Y.; CHEN, C.; SMITH, J. A. Opto-electronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 1, p. 237, 1998.

KURACHI, S. A. H.; COSTA, J. A. S.; BERNARDI, J. A.; COELHO, J. L. O.; SILVEIRA, G. M. Avaliação tecnológica de semeadoras e/ou adubadoras: tratamento de dados de ensaios e regularidade de distribuição longitudinal de sementes. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 2, p. 249-62, jan./jun., 1989.

LAN, Y.; KOCHER, M. F.; SMITH, J. A. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 72, n. 1, p. 119-127, fev., 1999.

MANTOVANI, E.C.; CRUZ, J.C.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação em Campo de uma Semeadora-Adubadora para Semeadura de Milho de Alta Densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 1, p. 38-48, abr., 2015.

MANTOVANI, E. C.; MANTOVANI, B. H. M.; CRUZ, I.; MEWES, W. L. C.; OLIVEIRA, A. C. Desempenho de dois sistemas distribuidores de sementes utilizados em semeadoras de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 93-98, jan., 1999.

MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas para plantio. Campinas: Millennium Editora, 2012.

MODOLO, A. J.; TROGELLO, E.; NUNES, A. L.; FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M.; DAMBRÓS, M. P. Efeito de cargas aplicadas e profundidades de semeadura no desenvolvimento da cultura do feijão em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n. 3, p. 739-745, maio/jun., 2010.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

NAVID, H.; EBRAHIMIAN, S.; GASSEMZADEH, H. R.; MOUSAVI, M. J. Laboratory Evaluation of Seed Metering Device Using Image Processing Method. **Australian Journal of Agricultural Engineering**, v. 2, n. 1, p. 1-4, jan., 2011.

ÖNAL, I.; DEGIRMENCIOGLU, A.; YAZGI, A. An evaluation of seed spacing accuracy of a vacuum type precision metering unit based on theoretical considerations and experiments. **Turkish journal of agriculture and forestry**, Ankara, v. 36, n. 2, p. 133-144, mar./abr., 2012.

ÖNAL, O.; ÖNAL, İ. Development of a computerized measurement system for in-row seed spacing accuracy. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 33, n. 2, p. 99-109, jan., 2009.

PACHECO, E.P.; MANTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; OLIVEIRA, A.C. de. Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 3, p. 209-214, mar., 1996.

PANNING, J. W.; KOCHER, M. F.; SMITH, J. A.; KACHMAN, S. D. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 16, n. 1, p. 7–13 , jan./fev., 2000.

R CORE TEAM (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

REIS, A. V.; MACHADO, A.; BISOGNIN, A. Avaliação do desempenho de três mecanismos dosadores de sementes de arroz com vistas à semeadura de precisão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 3, p. 393-398, jul./set., 2007.

REIS, A. V.; FORCELLINI, F. A.; RAMOS, U. A. P. Avaliação do diâmetro do orifício e da pressão de ar na dosagem pneumática de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Agrociência** Pelotas, v. 12, p. 191-197, abr./jun., 2006.

ROSA, D. P.; TONIASSO, A. M.; SANTOS, C. C.; PAGNUSSAT, L.; ALFLEM, J. A.; BRUINSMA, M. L. Distribuição de sementes com a tecnologia Rampflow. **Revista de Agronomia e Veterinária**, Getúlio Vargas, v. 1, n. 1, p. 37-46, jan./jun., 2014.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J.; PICOLI JÚNIOR, G. J.; SOUZA, C. A.; CASA, R. T.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; MACHADO, G. C.; HORN, D. Variabilidade na Distribuição Espacial de Plantas na Linha e Rendimento de Grãos de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 3, p. 268–277, set./nov., 2012.

SANTOS, A. J.; GAMERO, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; VILLEN, A. C. Análise espacial da distribuição longitudinal de sementes de milho em uma semeadora-adubadora de precisão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 01, p. 16-23, jan./fev., 2011.

SANTOS, S. R.; WEIRICH NETO, P. H.; FEY, E.; WOBETO, C. Variáveis dimensionais de sementes de soja que influenciam o processo de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 177-181, jan./abr., 2003.

SATTI, Y. H.; LIAO, Q.; YU, J.; HE, D. Dynamic analysis for kernel picking up and transporting on a pneumatic precision metering device for wheat. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, Beijing, v. 15, n. 2, p. 95-100, jul., 2013.

SHAABAN, U. A.; AFIFY, M. T.; HASSAN, G. E.; EL-HADAD, Z. A. Development of a vacuum precision seeder prototype for onion seeds. **Misr Journal Of Agricultural Engineering**, Cairo, v. 26, n. 4, p. 751-1775, out., 2009.

SHRESTHA, D. S.; STEWARD, B. L.; BIRRELL, S. J. Video processing for early stage maize plant detection. **Biosystems engineering**, London, v. 89, n. 2, p. 119-129, out., 2004.

SILVA, J. G.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVEIRA, P. M. Desempenho de uma semeadora-adubadora no estabelecimento e na produtividade da cultura do milho sob plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 7-12, jan./mar., 2000.

STAGGENBORG, A. A.; TAYLOR, R. K.; MADDUX, L. D. Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 20, n. 5, p. 573–580 , set./out., 2004.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. M.; ALMEIDA, L. G. P.; SILVA, L. A. Comparativo na uniformidade/distribuição de sementes em função do tipo de semeadoras. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, p. 383-392,

jul./set., 2007.

YAZGI, A.; DEGIRMENCIOGLU, A. Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the number of holes on vacuum plate. **Measurement**, London, v. 56, p. 128-135, out., 2014.

YAZGI, A.; DEGIRMENCIOGLU, A.; ONAL, I.; BAYRAM, E. Mathematical modelling and optimization of the performance of a metering unit for precision corn seeding. **Journal of Agricultural Machinery Science**, Theran, v. 6, n. 2, p. 107-113, 2010.

YAZGI, A.; DEGIRMENCIOGLU, A. Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. **Biosystems engineering**, London, v. 97, n. 3, p. 347-356, jul., 2007.