

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

**DESEMPENHO DE DOSADORES DE
FERTILIZANTES DE SEMEADORAS-ADUBADORAS
EM LINHAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gustavo José Bonotto

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

DESEMPENHO DE DOSADORES DE FERTILIZANTES DE SEMEADORAS-ADUBADORAS EM LINHAS

Por

Gustavo José Bonotto

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

Orientador: Professor Dr. Airton dos Santos Alonço

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bonotto, Gustavo José
Desempenho de dosadores de fertilizantes de
semeadoras-adubadoras em linhas / Gustavo José Bonotto.-
2012.

99 p.; 30cm

Orientador: Airton dos Santos Alonço
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2012

1. Ensaio de máquinas agrícolas 2. Distribuição de
fertilizantes 3. Engenharia agrícola I. Alonço, Airton dos
Santos II. Título.

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Gustavo José Bonotto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. Fone (0xx)54 96296359; Endereço Eletrônico: gustavobonotto@yahoo.com.br

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

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

**DESEMPENHO DE DOSADORES DE FERTILIZANTES DE
SEMEADORAS-ADUBADORAS EM LINHAS**

elaborada por
Gustavo José Bonotto

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Thomé Lovato, Dr. (UFSM)

Mauro Pranke Ferreira, Dr. (UFPEL)

Santa Maria, 16 de agosto de 2012

*Ao sonhador e altruísta ser humano,
Ao sonhador e brilhante Engenheiro Agrícola,
Ao sonhador e estimado amigo:
Hendriigo Alberto Torchelsen da Silveira (in memoriam)
Dedico.*

*À minha querida mãe, Terezinha, que ensinou-me a
gostar de ler e é exemplo de busca pelo conhecimento ,
ao meu estimado pai, Gaspar, que sempre ouviu e
estimulou minhas ideias e sonhos, por mais estranhos
que estes fossem, sem vocês eu JAMAIS conseguiria,
pois, “só vou tão longe pela certeza de ter pra onde
voltar”, com todo meu amor e carinho, ofereço.*

AGRADECIMENTOS

Após esta jornada, ímpar em aprendizagem, acadêmica e pessoal, agradeço:
A Deus, pelos dons a mim atribuídos.

Na instituição da Universidade Federal de Santa Maria, agradeço as pessoas que fazem dela um centro de conhecimento e desenvolvimento humano.

Ao Prof. Airton dos Santos Alonço, meu orientador, pela paciência, compreensão, motivação e principalmente, amizade.

A minha família, pela força e estímulo, em todas as etapas de minha vida.

As pessoas que compõem e compuseram o Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas, em especial aos amigos Paulo Roberto Bedin e Lauri Junior Moreira, pelo incondicional apoio, sem o qual não seria possível concluir este trabalho, e aqueles que tornaram esta caminhada mais animada e enriquecedora, desde os tempos de iniciação científica, Vilnei de Oliveira Dias, Ulisses B. Baunhardt, Mônica Baslestra, Guidiane Moro, Rolnei Coradini, Mauricio Mousquer, Andersom Baú, Leticia Aveline, Juliana Zotti, José Renê Gassen, Benhur Ries, Alexandre Altmann, Dauto Carpes, Mateus P. Bellé, Otávio da Costa Machado, Kátia Cardinal, Paula Lassen, Giovanna Rist, Fernando Rossato e Mariana Rodrigues.

Ao amigo e sempre colega, Dirceu S. Noller.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo consentimento de bolsa de estudos, na primeira metade do curso;

A Stara S.A., nas pessoas dos engenheiros Lucas Arend, Edson Renato e Bruno Dalmagro, pelo apoio logístico e financeiro, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Henrique Bley, e a Yara Fertilizantes, na pessoa do Senhor João Maças, pelo apoio prestado.

Aos amigos e colegas de apartamento, Angelo Bonotto e Leodário Montemezzo Junior, pelas conversas e confraternizações.

A minha namorada, Raquel Dalberto, pela compreensão, carinho e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da Emater/RS, pela compreensão e incentivo.

A todos, que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento deste trabalho e me apoiaram neste período, agradeço.

*Se “a única constante da vida é a mudança” e,
nada, nem ninguém é tão perfeito que não possa melhorar, então:
O melhor esta por vir, ser descoberto ou inventado.*

RESUMO

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

DESEMPENHO DE DOSADORES DE FERTILIZANTES DE SEMEADORAS-ADUBADORAS EM LINHAS

AUTOR: GUSTAVO JOSÉ BONOTTO
ORIENTADOR: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO
Santa Maria, 16 de agosto de 2012.

Este trabalho teve por objetivo comparar o desempenho de cinco mecanismos dosadores de fertilizantes, utilizados em semeadoras-adubadoras em linhas, quanto a sua distribuição longitudinal de fertilizantes, uniformidade de vazão em função de inclinações longitudinais e transversais e diferentes níveis de reservatório. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), da Universidade Federal de Santa Maria. Os experimentos foram conduzidos em laboratório, utilizando-se uma bancada para ensaios de mecanismos dosadores de fertilizantes. Foram avaliados três dosadores com elemento transportador sem-fim, um com descarga por transbordo transversal, um com transbordo e descarga lateral e outro com descarga de fertilizantes por gravidade, e ainda, os mecanismos do tipo rotor acanalado e disco estrela. Os ensaios foram realizados com três fertilizantes, mistura de grânulos 02-20-20, mistura granulada 16-16-16 e mistura farelada 00-15-30. Foi possível observar que na distribuição longitudinal de fertilizantes, os coeficientes de variação dos mecanismos avaliados foram superiores a 30%, sendo os dosadores sem-fim com transbordo transversal e rotor acanalado, os que obtiveram maior uniformidade de distribuição. Em relação às inclinações longitudinais, todos os dosadores tiveram alterações significativas em sua dosagem, no entanto, o coeficiente de variação médio dos dosadores sem-fim com transbordo e descarga lateral, sem-fim com transbordo transversal e disco estrela, foram inferiores a 10%. Nos ensaios com diferentes inclinações transversais, foram observadas variações na vazão, inferiores a 5%, sendo os dosadores sem-fim com transbordo transversal, sem-fim com descarga por gravidade e rotor acanalado aqueles que alcançaram os melhores desempenhos. Em função dos diferentes níveis de reservatório, os coeficientes de variação médios foram inferiores a 3%, e os dosadores do tipo sem-fim foram os mais uniformes em relação a este fator.

Palavras-chave: Ensaios de máquinas agrícolas. Distribuição longitudinal de fertilizantes. Inclinações longitudinais. Inclinações transversais. Níveis de Reservatório.

ABSTRACT

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

FERTILIZERS METERING MECHANISM PERFORMANCE OF SEEDS AND FERTILIZERS DRILLS IN LINES

AUTHOR: GUSTAVO JOSÉ BONOTTO
ADVISER: AIRTON DOS SANTOS ALONÇO
Santa Maria, August 16nd, 2012.

This dissertation aimed at comparing the performance of five (5) fertilizer metering mechanism, utilized at seed and fertilizer drill in lines, relating to its longitudinal distribution of fertilizers, its uniformity of flow according to its longitudinal function and its transverse inclinations and different levels of the reservoir. This research was developed in the Agriculture Machinery Laboratory of Research and Development (LASERG), in the Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Experiments were conducted in the lab, using a counter for tests of fertilizer metering mechanism. Three metering mechanisms with auger-type element have been evaluated, one with a transverse discharge through overflow, one with overflow and discharge to the side and the other with gravity discharge of fertilizers, and also the mechanisms of type fluted cylinder and star wheel. Essays were performed with three fertilizers, granule mixture 02-20-20, 16-16-16 granulated mixture and blending mash 00-15-30. It was observed that in the longitudinal distribution of fertilizers, the coefficients of variation of the mechanisms were evaluated over 30%, and the metering mechanism, auger-type transverse discharge through overflow and fluted cylinder, who had a more uniform distribution. In relation to the longitudinal inclination, all feeders had significant change in their dosages, however, the coefficient of variation of the auger-type with overflow and discharge to the side and star wheel, were lower than 10%. In tests with different slopes transverse changes were observed in less than 5%, with the auger-type transverse discharge through overflow, auger-type with discharge by gravity and fluted cylinder those who achieved the best performance. Depending on the different levels of the reservoir, the average coefficient of variation was less than 3%, and the auger-type type were more uniform in relation to this factor.

Keywords: Testing of agricultural machinery. Longitudinal distribution of fertilizers. Longitudinal inclinations. Transverse slopes. Levels reservoir.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.3.1 –	Velocidades de acionamento dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em rotações por minuto, para obtenção das vazões utilizadas no trabalho.....	46
Tabela 3.4.1 -	Propriedades físicas dos fertilizantes.....	48
Tabela 4.1.1 –	Coefficientes de variação da distribuição longitudinal de fertilizantes dos mecanismos dosadores avaliados.....	56
Tabela 4.2.1 –	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função de inclinações longitudinais, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20.....	62
Tabela 4.2.2 –	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função de inclinações longitudinais, nas três vazões com o fertilizante mistura granulada 16-16-16.....	65
Tabela 4.2.3 –	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função das inclinações longitudinais, nas três vazões com o fertilizante mistura farelada 00-15-30.....	66
Tabela 4.3.1 -	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função das inclinações transversais, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20.....	73
Tabela 4.3.2 -	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores, coletada em 30 segundos, em função das inclinações transversais, nas três vazões, com o fertilizante mistura de grânulos 16-16-16.....	73
Tabela 4.3.3 -	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função de inclinações transversais, nas três vazões com o fertilizante mistura farelada 00-15-30.....	74
Tabela 4.4.1 -	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função dos níveis de reservatório, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20.....	81
Tabela 4.4.2 -	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função dos níveis de reservatório, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 16-16-16.....	83
Tabela 4.4.3 -	Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função dos níveis de reservatório, nas três vazões com o fertilizante mistura farelada 00-15-30.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1 -	Classificação das semeadoras-adubadoras.....	20
Figura 2.2.1 –	Distribuição de frequência dos mecanismos dosadores.....	24
Figura 2.2.2 -	Dosador de fertilizantes disco estrela	25
Figura 2.2.3 -	Dosador de fertilizantes rotor acanalado.....	26
Figura 2.2.4 -	Dosador de fertilizantes disco horizontal giratório.....	27
Figura 2.2.5 -	Dosador de fertilizantes rotor vertical impulsor.....	27
Figura 2.2.6 -	Elementos transportadores do tipo sem-fim: a) Helicoidal; b) rosca sem-fim longitudinal.....	29
Figura 2.2.7 -	Sistemas para descarga de fertilizante dos dosadores sem- fim: a) gravidade; b) transbordo; c) lateral	29
Figura 3.2.1 -	Bancada para ensaio de mecanismos dosadores de fertilizantes.....	41
Figura 3.3.1 -	Dosador de fertilizantes do tipo sem-fim, transportador helicoidal e descarga de fertilizantes por transbordo.....	42
Figura 3.3.2 -	Dosador de fertilizantes do tipo sem-fim, transportador helicoidal, com transbordo e descarga de fertilizante lateral.....	43
Figura 3.3.3 -	Dosador de fertilizantes tipo sem-fim, transportador helicoidal, com descarga de fertilizantes por gravidade.....	43
Figura 3.3.4 -	Dosador de fertilizantes do tipo rotor acanalado.....	44
Figura 3.3.5 –	Dosador de fertilizantes do tipo disco estrela.....	45
Figura 3.4.1 –	Dispositivo para determinação de ângulo de repouso dos fertilizantes.....	47
Figura 3.5.1 –	Caixa coletora de amostras de fertilizante.....	49
Figura 3.5.2 –	Esteira para simulação do deslocamento da semeadora- adubadora.....	49
Figura 3.6.1 –	a) Bancada na posição 11° no sentido ascendente; b) bancada na posição 11° no sentido descendente.....	51
Figura 3.7.1 –	a) Bancada 11° para esquerda; b) bancada 11° para direita.....	53
Figura 3.8.1 –	Níveis de reservatório utilizados: a) Cheio b)1/2 c)1/4.....	54
Figura 4.1.1 –	Coefficiente de variação médio dos dosadores, na distribuição longitudinal de fertilizantes, com os três fertilizantes e vazões	59
Figura 4.2.1 –	Coefficiente de variação dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações longitudinais	68
Figura 4.2.2 –	Coefficiente de variação médio dos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações longitudinais, com os três fertilizantes e vazões.....	70
Figura 4.3.1 –	Coefficiente de variação dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações transversais.....	77
Figura 4.3.2 –	Coefficiente de variação médio dos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações transversais, com os três fertilizantes e vazões.....	79
Figura 4.4.1 –	Coefficientes de variação dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em função dos níveis de reservatório.....	86
Figura 4.4.2 –	Coefficiente de variação médio dos dosadores de, em função dos níveis de reservatório, com três fertilizantes e vazões.....	87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Hipóteses	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Semeadoras-adubadoras.....	18
2.2 Sistemas para dosagem de fertilizantes.....	23
2.3 Características físicas dos fertilizantes	30
2.4 Avaliações de semeadoras-adubadoras	32
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1 Local.....	39
3.2 Bancada para ensaios de dosadores de fertilizantes	40
3.3 Mecanismos dosadores de fertilizantes	42
3.4 Fertilizantes	46
3.5 Distribuição longitudinal de fertilizantes	48
3.6 Uniformidade de vazão em função de inclinações longitudinais	50
3.7 Uniformidade de vazão em função das inclinações transversais	52
3.8 Uniformidade de vazão em função do nível de reservatório.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Distribuição longitudinal de fertilizantes	56
4.2 Uniformidade de vazão em função de inclinações longitudinais	62
4.3 Uniformidade de vazão em função de inclinações transversais	71
4.4 Uniformidade de vazão em função do nível do reservatório de fertilizantes ...	80
5. CONCLUSÕES	88
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	90
7. REFERÊNCIAS	91

1. INTRODUÇÃO

A população rural do Brasil, entre os anos de 2000 e 2010, reduziu 3,15%, enquanto o crescimento total foi de 12,32%, chegando a mais de 190 milhões de pessoas em 2010. Neste mesmo período, a produção de grãos aumentou de 83.029 para aproximadamente 149.254 mil toneladas, o que representa um acréscimo de 79,76%, no entanto, a área plantada aumentou apenas 25,36% (IBGE, 2000; IBGE, 2010; CONAB, 2010).

Este aumento de 43,46% na produtividade de grãos é devido aos avanços tecnológicos, dentre os quais é possível destacar as áreas de biotecnologia, defesa fitossanitária, manejo do solo e mecanização agrícola.

As máquinas agrícolas potencializam a capacidade de trabalho do homem, e é através delas que são aplicados os demais avanços tecnológicos nos sistemas de cultivo. A mecanização dos sistemas agrícolas esta diretamente relacionada ao desenvolvimento da agricultura, foi através dela que se atingiu o patamar de produção atual e sua evolução representa uma ferramenta para o aumento de produtividade dos cultivos, pois como citado anteriormente, a mão-de-obra rural esta cada vez mais escassa, e mesmo assim, tem-se um aumento de produção superior ao de área plantada.

Segundo Flores (2008), atualmente o desenvolvimento de máquinas agrícolas esta sendo realizado com olhos na evolução global, diferentemente do passado, onde os produtos lançados eram semelhantes aos concorrentes e com pouca inovação tecnológica. Em partes, isso se deve a crescente exigência do mercado consumidor, por máquinas agrícolas mais eficientes e econômicas.

Um exemplo desta tendência são as semeadoras-adubadoras. Segundo Machado et. al (2005), estas máquinas, entre outras funções, são responsáveis pela deposição de sementes e fertilizantes no sulco de semeadura. Para isso possuem mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes.

Dias (2009), sugere que os dosadores de sementes são o “coração” das semeadoras. Pode-se acrescentar na afirmação do autor, que os dosadores em si, de sementes e fertilizantes, são as partes fundamentais do equipamento. Isto, porque, o desempenho de toda máquina é dependente destes mecanismos, ou seja,

de nada adianta os demais sistemas terem um bom resultado, se a dosagem de sementes e fertilizantes for errônea.

Segundo Menegatti e Barros (2007), os fertilizantes respondem por cerca de 25% dos custos de uma lavoura de soja. Desta forma, pode-se dizer que o funcionamento dos mecanismos dosadores pode afetar a rentabilidade do empreendimento agrícola, além de ser determinante para a qualidade do processo de semeadura e por isso, seu desempenho deve ser avaliado em diferentes condições de trabalho.

No sistema de plantio direto na palha, o uso de fertilizantes foi reduzido, pois ocorrem menores perdas e maior ciclagem de nutrientes. Paralelo a isto, o aumento do custo e a crescente preocupação com os aspectos ambientais relacionados ao uso destes produtos, fazem os agricultores utilizarem estes insumos racionalmente.

Com o advento da agricultura de precisão, a necessidade de aplicar a quantidade exata de fertilizante, no momento certo, ganhou mais ênfase. Este processo desencadeou uma série de trabalhos científicos, como os de Martins (1999), Capelli et al. (2000) e Menegatti (2004), com o objetivo de desenvolver ou melhorar dosadores de fertilizantes e controladores eletrônicos de vazão, para utilização em semeadoras-adubadoras com condições de realizar a fertilização de uma forma eficiente.

Garcia et al. (2006), ressaltam que os mecanismos dosadores de fertilizantes não são precisos, proporcionando um estande irregular de plantas, prejudicando economicamente os cultivos. Ainda conforme os autores, superdosagens de fertilizantes são prejudiciais ao meio ambiente, e a subdosagem, representa um desperdício de energia e investimento dos agricultores.

Desta forma, pode-se dizer que um mecanismo dosador deve ser preciso, ou seja, capaz de distribuir uma taxa fixa ou variável de fertilizantes, de forma uniforme, independentemente das condições de trabalho e do tipo de material distribuído.

As semeadoras-adubadoras tem sido amplamente estudadas em trabalhos científicos, no entanto, a maioria refere-se a avaliações quanto a distribuição de sementes e desempenho em diferentes sistemas de manejo do solo.

Nos trabalhos que contemplam o estudo de dosadores de fertilizantes, como no caso do realizado por Ferreira et al. (2010), foram extraídas conclusões relevantes ao desenvolvimento tecnológico e científico da área. Os autores concluíram que os mecanismos que utilizam a descarga de fertilizante por

transbordo, são menos afetados pelo efeito de inclinações longitudinais, quando comparados aos com descarga por gravidade.

Já na pesquisa realizada por Camacho-Tamayo et al. (2009), foi comprovado que os mecanismos que utilizam o princípio sem-fim, para transporte de fertilizantes, e os mecanismos de disco estrela, são adequados para distribuição de produtos granulares e em grandes vazões. Já os de rotor acanalado são apropriados para baixas razões de distribuição.

Com tudo, praticamente inexistem trabalhos que avaliaram o desempenho dos dosadores de fertilizantes quanto ao efeito de nível de reservatório e inclinações transversais, e ainda sua distribuição longitudinal em laboratório, onde é possível conhecer o funcionamento dos mesmos sem os efeitos do ambiente.

É comprovado que os dosadores helicoidais com liberação de fertilizante por transbordo são mais precisos que os por gravidade, em relação as inclinações longitudinais, no entanto, não há a comparação dos mesmos com os mecanismos de disco estrela e rotor acanalado, também, representativos no mercado de semeadoras-adubadoras, nestas condições.

Também é importante ressaltar que os efeitos das inclinações longitudinais e da intermitência de vazão dos mecanismos helicoidais são conhecidos, porém suas causas pouco definidas, o que dificulta o desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e menos sujeitos as consequências destes fatores.

Assim sendo, é possível afirmar que a realização deste trabalho justifica-se pelo conhecimento em relação ao desempenho de diferentes mecanismos dosadores de fertilizantes oferecidos no mercado, sobre os quais não há uma avaliação simultânea e sob os mesmos critérios, o que torna sua comparação difícil, tornando a opção de escolha por parte dos agricultores e projetistas de máquinas agrícolas empírica e, muitas vezes, sujeitas a influência do marketing de empresas produtoras destes mecanismos.

1.1 Hipóteses

- i) Se o passo dos helicóides provoca intermitência em sua vazão, então, a distribuição longitudinal de fertilizantes por estes mecanismos será mais desuniforme em relação a dos dosadores de disco estrela e rotor acanalado;
- ii) Se o sistema de regulação de fluxo dos dosadores de fertilizantes reduz os efeitos das inclinações longitudinais e transversais, então, nestas condições as vazões dos mecanismos dosadores que possuem este sistema, serão mais uniformes que a dos dosadores com descarga por gravidade e do tipo disco estrela e rotor acanalado;
- iii) Se a pressão exercida pelo fertilizante no reservatório influencia o tempo de enchimento e a capacidade de vazão de fertilizante dos mecanismos dosadores, então, a vazão dos mesmos será proporcional ao nível de fertilizante no reservatório;
- iv) Se as características físicas dos fertilizantes influenciam no desempenho dos mecanismos dosadores, então, os dosadores terão um desempenho singular a cada fertilizante.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve por objetivo caracterizar e comparar o desempenho de dosadores de fertilizantes utilizados em semeadoras-adubadoras em linhas, em diferentes condições de trabalho.

1.2.2 Objetivos Específicos

- i) Determinar e comparar o desempenho dos dosadores de fertilizantes utilizados, quanto à distribuição longitudinal;
- ii) Determinar e comparar o desempenho dos dosadores de fertilizantes utilizados, quanto ao efeito de inclinações longitudinais;
- iii) Determinar e comparar o desempenho dos dosadores de fertilizantes utilizados, quanto ao efeito de inclinações transversais;
- iv) Determinar e comparar o desempenho dos dosadores de fertilizantes utilizados, quanto ao efeito do nível do reservatório.

2. REVISÃO DE LITERATURA

As atividades agrícolas desafiam o conhecimento, continuamente, quanto maior a evolução da tecnologia e de seus equipamentos, maior é a preocupação pela melhoria de seus resultados. A busca pela preservação do crescimento da produção de grãos, destaca a importância, na atualidade, do desempenho de semeadoras-adubadoras, como recursos de economia, produtividade e sustentabilidade, das atividades de semear e adubar as culturas.

Neste capítulo, busca-se interpretar conceitos e definições que embasam a investigação do desempenho de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras na realidade da aplicação, segundo os autores consultados. No primeiro momento, apresenta-se a semeadora-adubadora como equipamento, explicando sua utilidade, origem e capacidade como tecnologia de trabalho.

Na continuidade, busca-se descrever os sistemas para dosagem de fertilizantes, identificando o uso de dosadores, suas capacidades e posições definidas e apontadas como ideais, encontradas no mercado tecnológico material, da atualidade. Em prosseguimento, estuda-se as características físicas dos fertilizantes, descrevendo suas propriedades impactantes nos aspectos relacionados a sua distribuições pelas máquinas adubadoras.

Ao final, revisa-se os principais trabalhos científicos que avaliaram ou desenvolveram mecanismos dosadores de fertilizantes, construindo uma análise dos fatores relacionados que afetam o desempenho das semeadoras-adubadoras em linhas.

2.1 Semeadoras-adubadoras

A arte de semear é tão antiga quanto o modelo de sociedade atual, pois foi a partir do momento em que o homem conseguiu produzir alimentos para o seu sustento, que passou a viver em forma de comunidade. Segundo Balastreire (2005), a ideia de semear utilizando máquinas provém desde os povos persa e hindu, no entanto, só foi adotada pelos europeus no século XVII.

De acordo com o mesmo autor, a primeira semeadora europeia foi desenvolvida em 1636, por Joseph Locatelli de Corinto, sendo aperfeiçoada por Jethro Tull, no final daquele século.

A partir desta data, estas máquinas passaram a ser aperfeiçoadas, e em 1785 James Cook projetou uma semeadora cujos princípios de funcionamento são utilizados até hoje. A primeira fábrica de semeadoras que se tem conhecimento, data de 1840, e estava localizada no estado da Pensilvânia, nos Estados Unidos da América. Cerca de quatro décadas depois, mais da metade da semeadura de trigo, naquele país, era realizada de forma mecanizada (BALASTREIRE, 2005).

Segundo Portella (2001), apesar de ter havido uma evolução constante nos sistemas e técnicas empregados nas semeadoras, sua utilização em larga escala somente aconteceu em meados do século XX, depois que os agricultores perceberam as vantagens da semeadura mecanizada, como a redução do número de sementes por área e a regularidade de distribuição.

Desde então, a fabricação de semeadoras-adubadoras no Brasil cresceu e evoluiu muito. Hoje, existem aproximadamente duas dezenas de fabricantes, que exportam para diversos países do mundo.

Um dos marcos quanto à tecnologia de semeadura, e por consequência, também das máquinas para semear, é o plantio direto na palha, que mudou conceitos e quebrou paradigmas deste processo da agricultura. É nítido que tal sistema, só teve aplicação possível pelo acompanhamento das inovações tecnológicas das semeadoras-adubadoras.

De acordo com Casão Junior et al. (2009a), uma das principais inovações das semeadoras-adubadoras para o sistema de plantio direto na palha, é a capacidade de cortar palhas e resíduos vegetais, o que permite a realização da semeadura, sem necessidade de revolvimento do solo.

Portella (2001), acrescenta ainda, que estas máquinas desenvolvidas para o sistema de plantio direto na palha, dispõem de energia suficiente para transferir aos mecanismos de ataque ao solo, a força suficiente para corte da palha e abertura do sulco de semeadura, em solo não preparado.

Balastreire (2005), define semeadora como a máquina que dosa e coloca no solo exclusivamente sementes, no entanto, se a mesma aplica uma razão pré-determinada de fertilizantes concomitantemente no sulco de semeadura, deve ser denominada como semeadora-adubadora.

Assim sendo, pode-se dizer que a função global de uma semeadora-adubadora é distribuir de forma regular, contínua ou equidistantemente, as sementes no solo, assim como, depositar uma razão uniforme de fertilizantes ao longo do sulco de semeadura.

No entanto, há uma grande diversidade de equipamentos para realização do processo de semeadura. Segundo Silva (2003), são quase 300 modelos disponíveis no mercado brasileiro, adaptados ao sistema de plantio direto na palha. Esta diversificação deve-se a heterogeneidade da agricultura brasileira, pois para atender as diferentes demandas dos agricultores, existem distintos princípios de solução, para as mesmas funções.

Quanto às características funcionais, Machado et al. (2005), destacam as diferentes formas de tração, engate ou acoplamento a fonte de potência e o modelo de distribuição de sementes. As combinações destas possibilidades formam máquinas adaptadas aos mais diferentes contextos, atendendo as necessidades dos produtores rurais. Para melhor ilustrar esta classificação, e as diferentes combinações possíveis, é apresentada a figura 2.1.1.

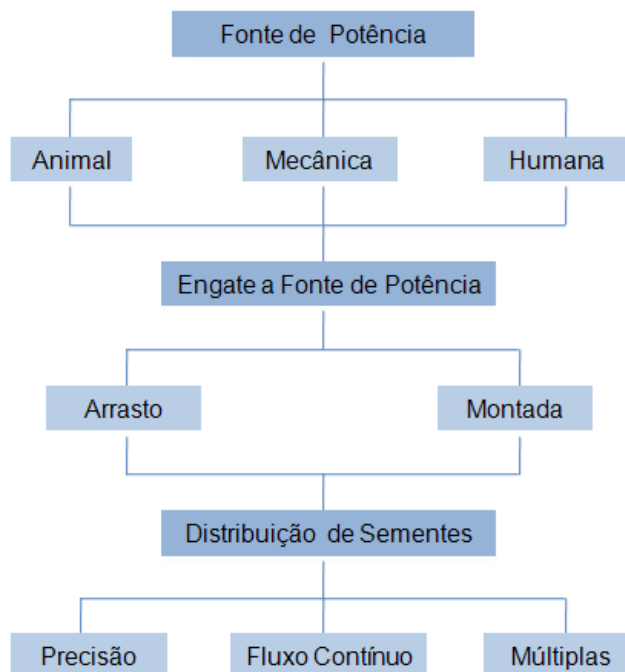


Figura 2.1.1 - Classificação das semeadoras-adubadoras quanto às suas características funcionais. Fonte: Autor.

A fonte de potência refere-se à forma de tração do equipamento, ou seja, o que vai deslocá-lo. As semeadoras-adubadoras podem ser acionadas, manualmente, pela força humana, com auxílio de animais de tração, ou ainda, por tratores agrícolas.

Quanto ao engate a fonte de potência, podem ser encontrados basicamente dois modelos, os acoplados ao sistema hidráulico dos tratores, que suspendem toda semeadora-adubadora, e os de arrasto, que trafegam com rodados próprios, e apenas os sistemas de ataque ao solo são levantados ou impulsionados pelo sistema hidráulico de seus propulsores. Segundo Silva (2003), mais de 80 % dos modelos são engatados pela barra de tração dos propulsores, esta supremacia deve-se as vantagens como melhor controle da profundidade de semeadura, menor esforço do sistema hidráulico dos tratores, entre outros.

Quanto à distribuição das sementes, têm-se três grupos principais, as semeadoras-adubadoras de precisão, as de fluxo contínuo e as múltiplas. As semeadoras de precisão são descritas pela ISO 7256/1 (1982), como aquelas em que o dosador distribui unitariamente as sementes, em espaçamentos pré-determinados, com um sulcador, para formar uma linha de sementes no solo. Estas semeadoras são utilizadas para semear culturas com uma densidade populacional relativamente baixa, como milho e soja, por exemplo, por isso, são também chamadas de semeadoras de “verão”, ou ainda, de grãos “graúdos”.

A semeadora de fluxo contínuo, segundo ABNT (1996 p.4), “é a máquina agrícola, que enterra as sementes em sulcos, em filetes contínuos e uniformes, segundo densidade de semeadura preestabelecida”. Estas semeadoras são utilizadas para semear culturas com grande densidade populacional, como trigo e arroz, por exemplo, por isso, também são conhecidas popularmente como semeadoras de sementes “miúdas”, ou ainda, de “inverno”.

Existem, ainda, as semeadoras-adubadoras múltiplas, capazes de distribuir as sementes de forma unitária no sulco de semeadura, como as semeadoras de precisão, ou então, continuamente, como as semeadoras de fluxo contínuo, sendo capazes de semear uma grande variedade de culturas agrícolas, independentemente do tamanho da semente ou densidade populacional (SILVEIRA, 1989).

Além destas divisões, é possível diferenciar as semeadoras-adubadoras em relação aos seus principais subsistemas, que atuam em conjunto para o

cumprimento de sua função global. Para Machado et al. (2005), Balastreire (2005) e Portella (2001), as principais funções são: cortar a palha; abrir o sulco de semeadura; dosar sementes e fertilizantes; depositar sementes e fertilizantes, cobrir e compactar o solo próximo as sementes.

A operação de cortar a palha é realizada pelos discos de corte, posicionados na barra porta ferramentas das semeadoras, são mecanismos impulsionados ao solo, por molas, capazes de cortar os resíduos vegetais. Variam de acordo com sua forma, sendo que os principais são os discos lisos, que segundo Silva (2003), estão presentes em mais de 90% das semeadoras-adubadoras, e ainda conforme o autor, existem os discos ondulados, os discos corrugados e os discos estriados.

Em relação aos sulcadores, que são responsáveis pela abertura do solo para deposição de sementes e fertilizantes, os tipos mais frequentes são os de discos e hastes sulcadoras (BALASTREIRE, 2005). Dentro do grupo dos discos, existe uma grande variedade, sendo os tipos mais comuns os duplos defasados e os duplos desencontrados (Silva, 2003). Quanto às hastes sulcadoras, também pode ser encontrada uma grande variedade de modelos, no entanto, as maiores diferenças referem-se ao tamanho, ângulo de ataque, formato e material da ponteira, responsável pela abertura do sulco, segundo Canova (2010), sua utilização têm vantagens, especialmente em solos argilosos, como alternativa para rompimento da camada superficial compactada do solo.

Para Machado et al. (2005), os componentes de cobertura e acondicionamento são os elementos que completam a semeadura, cobrindo e firmando as sementes e fertilizantes depositados no solo. Fazem parte deste subsistema os recobridores e os compactadores. A compactação do sulco de semeadura, normalmente, é feita pelas rodas compactadoras, cujo formato é bastante variável, sendo os mais frequentes em “V” e côncavos.

Os dosadores de sementes são de fundamental importância ao funcionamento e a qualidade da semeadora-adubadora. Dentre os principais tipos descritos por Portella (2001), Balastreire (2005) e Machado et al. (2005) é possível destacar os de discos perfurados horizontal e os pneumáticos, para distribuição de sementes “graúdas”, e os de rotor acanalado para dosagem de sementes “miúdas”.

Por fim, o próximo subsistema a ser apresentado, é o de dosagem de fertilizantes, que devido a sua importância para esta pesquisa, é melhor detalhado e discutido no item subsequente.

2.2 Sistemas para dosagem de fertilizantes

Para ABNT (1996, p. 5), o mecanismo dosador é aquele que “transfere o material, semente ou fertilizante, para o componente de deposição, segundo densidade de semeadura ou razão de distribuição, em ambos os casos, preestabelecidas”.

Geralmente, o mecanismo dosador, localizado na parte inferior do depósito de fertilizantes, é acionado por um conjunto cremalheira e pinhão, através de um sistema de transmissão de correntes e/ou eixos e engrenagens, cuja, força motriz é proveniente da roda da semeadora-adubadora (MACHADO et al., 2005).

Estes mecanismos variam de acordo com o fabricante, propósito, e, tecnologia da semeadora-adubadora. Silva (2003), que elaborou um índice de adequação de semeadoras para plantio direto, estudou 278 modelos de semeadoras-adubadoras, e encontrou, basicamente, quatro modelos de dosadores de fertilizantes.

Da mesma forma, Leindecker et al. (2011), estudaram o nível tecnológico dos dosadores de fertilizantes das semeadoras-adubadoras em linhas de precisão, e em 292 modelos de máquinas, encontraram quatro tipos de dosadores. Na figura 2.2.1, é apresentada a distribuição de frequência dos dosadores mencionados pelos autores, anteriormente referidos. A nomenclatura utilizada pelos autores foi adaptada, para uma melhor compreensão e comparação dos resultados.

É possível observar um crescimento no mercado de máquinas para semeadura dos dosadores sem-fim, também chamados de helicoidais, que aumentaram sua participação de 65,1% para, aproximadamente, 90% dos modelos de semeadoras-adubadoras. Martins (2006), relatando o desenvolvimento de um dosador sem-fim, com descarga de fertilizantes por transbordo transversal, afirmou que estes mecanismos apresentam uma grande uniformidade de distribuição, que antes não era possível, com a utilização dos mecanismos dosadores disponíveis até o final da década de 90.

Consequentemente, mecanismos dosadores como disco estrela, eixo helicoidal (rotor vertical impulsor) e fundo horizontal giratório tiveram suas participações no mercado sensivelmente reduzidas.

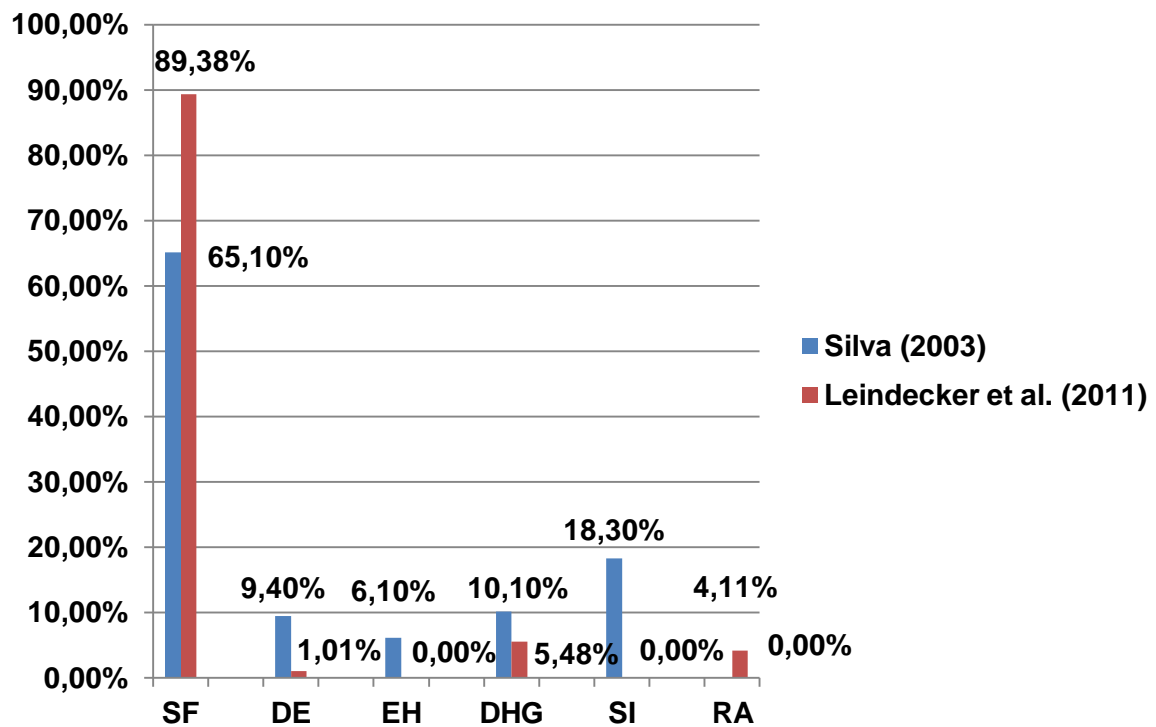


Figura 2.2.1 – Distribuição de frequência dos mecanismos dosadores de fertilizantes. Fonte: Adaptado de Silva (2003) e Leindecker et al. (2011). SF – Sem-fim; DE – Disco Estrela; EH – Eixo Helicoidal; DHG – Disco Horizontal Giratório; SI- Sem informação; RA – Rotor Acanalado.

Existe uma grande variedade de nomenclaturas utilizadas pelos autores, no entanto, através da descrição e ilustração dos sistemas de dosagens, pode-se dizer que os mecanismos do tipo disco estrela, rotor dentado e roseta helicoidal ou dentada são os mesmos, assim como fundo móvel e disco horizontal rotativo, cilindros canelados e rotor acanalado, rotor vertical impulsor e eixo helicoidal duplo ou simples. Os dosadores sem-fim, também são chamados de helicoidais, helicoidais flutuantes ou espirais flutuantes (BALASTREIRE (2005); CAMACHO-TAMAYO et al. (2009), PORTELLA (1997), SILVA (2003))

Os dosadores de correias e correntes, apresentados por Balastreire (2005), atualmente são pouco utilizados em semeadoras-adubadoras. O autor descreve o funcionamento deste mecanismo como uma correia, ou corrente, que trabalha sob o fundo do depósito de fertilizante, dosando a quantidade de material a ser aplicada, que é realizado pelo transporte e passagem através de uma janela de abertura

regulável. Este sistema, atualmente, pode ser encontrado em distribuidores superficiais.

Segundo Casão Junior et al. (2009b), até a década de noventa, a predominância para distribuição de fertilizantes em semeadoras-adubadoras, era dos mecanismos do tipo disco estrela (Figura 2.2.2). De acordo com Balastreire (2005) e Portella (1997), estes dosadores foram os primeiros a surgir, sendo utilizados em quase todos os modelos de semeadoras da época.

Atualmente, algumas empresas ainda oferecem estes mecanismos em suas semeadoras, principalmente, por se tratar de um equipamento simples e de baixo custo (PORTELLA, 1997).



Figura 2.2.2 - Dosador de fertilizantes disco estrela.
Fonte: Vence Tudo, Catálogo de produtos: SA 11500 A, 2011.

Estes mecanismos dosadores são montados na parte interna do depósito de fertilizantes das semeadoras, e consistem, basicamente, em um disco estrelado horizontal, que gira sobre uma placa de apoio, onde contém o orifício de saída do fertilizante. A quantidade de fertilizante que é transportada pelo rotor, para o orifício de saída, é regulada através de uma comporta, que controla a espessura da camada de material dosada pelos dentes do rotor.

Os dosadores de rotores acanalados são contemporâneos aos anteriores, sendo que seu uso é comum à distribuição de sementes e fertilizantes, os quais são utilizados principalmente em semeadoras de fluxo contínuo, para dosagem de grãos “miúdos”, porém, antes do surgimento dos dosadores de discos horizontais perfurados, eram amplamente empregados para semeadura de grãos “graúdos”. Seu uso como dosador de adubo, ainda é comum em algumas semeadoras, neste

sentido Portella (1997), descreve este sistema, como uma forma precisa de dosagem de fertilizantes.

A dosagem deste sistema pode ser regulada pela velocidade de rotação do eixo, no entanto, o mais comum para se alterar a vazão é aumentar ou diminuir a área de contato do cilindro com a massa de material do depósito. Outra possibilidade é pela abertura e fechamento da comporta ajustável, localizada abaixo do rotor, que limita a passagem de produto para o tubo de descarga (BALASTREIRE, 2005). Na figura 2.2.3 o mecanismo dosador de rotor acanalado pode ser visualizado.



Figura 2.2.3 - Dosador de fertilizantes rotor acanalado.
Fonte: Jumil, Catálogo de produtos, 2010.

Outro sistema de dosagem utilizado para adubação, é o fundo móvel (disco horizontal rotativo ou giratório), segundo Silveira (1989), este mecanismo era utilizado na maioria das semeadoras de precisão, até o final da década de 80. Refere o autor, que o funcionamento deste equipamento consiste em um prato giratório e um raspador de altura regulável, que retira o fertilizante do reservatório, conduzindo-o para o tubo de descarga. O mecanismo dosador de disco horizontal giratório pode ser visualizado na figura 2.2.4.



Figura 2.2.4 - Dosador de fertilizantes disco horizontal giratório.
Fonte: Jumil – Catálogo de produtos, JM J2 S, 2011.

O rotor vertical impulsor, também chamado de eixo helicoidal ou duplo eixo helicoidal (figura 2.2.5), é constituído de um eixo transversal ao sentido da semeadora, equipado com secções impulsionadoras, que possuem duas funções, agitar e impulsionar material dosado para fora do reservatório. (PORTELLA, 1997).



Figura 2.2.5 - Dosador de fertilizantes rotot vertical impulsor.
Fonte: Catálogo de produtos – IMASA MPS, 2011.

Os mecanismos dosadores sem-fim, atualmente, são encontrados na maioria dos modelos de semeadoras-adubadoras, conforme visto anteriormente. Estes equipamentos são compostos, basicamente, por uma carcaça, pelo elemento transportador e pelo sistema de descarga de fertilizantes. Também, são diferenciais

nestes produtos, a forma de acoplamento e substituição do eixo e o elemento transportador.

Quanto à carcaça, as maiores variações são em relação às dimensões, particulares a cada fabricante, e ao material de construção. A maioria é feita com material anti-corrosivo, de derivados de petróleo, todavia, existem modelos de ferro fundido, por exemplo.

O princípio de solução sem-fim é muito utilizado no meio agrícola, desde reboques graneleiros, até em silos e armazéns para secagem e armazenagem de grãos, também, para dosagem de fertilizantes, há uma grande variedade de sistemas. Os dosadores que utilizam roscas sem-fim como princípio de solução para a dosagem e transporte de fertilizantes, podem ser divididos quanto ao seu elemento transportador, que pode ser do tipo rosca sem-fim (figura 2.2.6 a.) ou helicoidal (figura 2.2.6 b.), sendo que os mais frequentes, são os helicoidais, de perfil triangular.

A dosagem de fertilizantes por este sistema, consiste no movimento de uma rosca sem-fim, onde o material a ser transportando preenche o espaço entre as cristas da rosca, ou helicóide, e através da rotação do elemento transportador, o material é deslocado do reservatório ao tubo condutor. A vazão deste equipamentos é determinada pela velocidade de acionamento, que segundo Garcia et al. (2006) e Lassen et al. (2010), possuem correlação linear, ou então, pela substituição do passo da rosca, que de acordo com Portella (1997), são três: $\frac{3}{4}$ " (19,05mm), 1" (25,4mm) e 2" (50,08mm). Ferreira et al. (2007), estudaram a uniformidade de vazão dos mecanismos dosadores em função de inclinações longitudinais e concluíram que as menores variações são obtidas com as maiores velocidades e os menores passos de rosca.

Quanto à forma de liberação do material dosado, para o tubo condutor de fertilizantes, existem, basicamente, três tipos de sistemas de descarga: por gravidade (figura 2.2.7 a.); quando não há impedimento da transferência para o elemento condutor, e esta é realizada em uma das extremidades longitudinais do dosador; por transbordo transversal (figura 2.2.7 b.), quando existe uma barreira perpendicular ao sentido de transporte do fertilizante, que é descarregado também na extremidade longitudinal do equipamento, e, por transbordo e descarga lateral (figura 2.2.7 c.), quando há uma barreira paralela ao elemento transportador e a descarga do produto é realizada através desta, lateralmente.

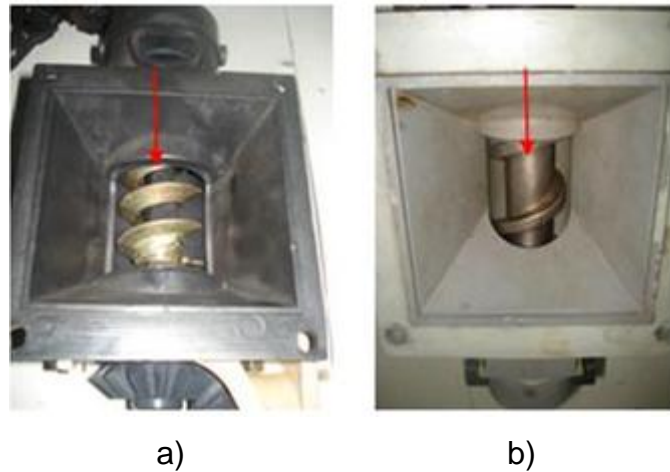


Figura 2.2.6 – Elementos transportadores do tipo sem-fim: a) Helicoidal; b) Rosca sem-fim. Fonte: Autor.

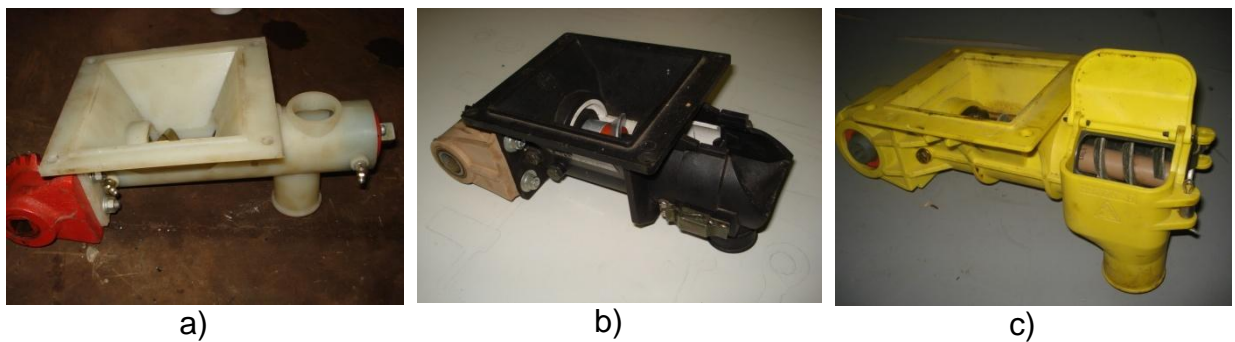


Figura 2.2.7 - Sistemas para descarga de fertilizante dos dosadores sem-fim: a) gravidade; b) ransbordo; c) lateral. Fonte: Autor.

Neste capítulo, foi observado que existem basicamente cinco modelos de dosadores de fertilizantes, utilizados em semeadoras-adubadoras em linhas. Atualmente destacam-se os dosadores do tipo sem-fim, que apresentam características distintas, específicas de cada fabricante, sendo as principais distinções a forma de expulsão do fertilizante, por gravidade ou transbordo, a forma do elemento transportador, que pode ser do tipo rosca ou helicóide.

Na próxima secção, serão apresentadas informações referentes às características físicas dos fertilizantes, importantes no processo de dosagem e aplicação dos mesmos.

2.3 Características físicas dos fertilizantes

As propriedades físicas dos fertilizantes influenciam seu escoamento, e podem afetar a regularidade de vazão do material e a taxa de aplicação do mesmo (SILVEIRA 1989). Desta forma, é preciso conhecer e caracterizar o material com que se trabalha, pois mesmo tratando-se do mesmo equipamento de aplicação, os resultados podem ser particulares para cada tipo de fertilizante.

Luz et. al. (2010), relatam que as principais propriedades físicas dos fertilizantes que devem ser consideradas quando se discutem aspectos relacionados à aplicação são: estado físico, granulometria, dureza dos grânulos, fluidez ou escoabilidade; higroscopicidade, densidade e empedramento. Silveira (1989), ainda ressalta a importância da segregação e da umidade do material para aplicação de fertilizantes.

Quanto ao estado físico, segundo Luz et al. (2010), os fertilizantes podem ser classificados em sólidos, líquidos e gasosos. Os fertilizantes sólidos são os mais utilizados na agricultura brasileira. (LUZ et al., 2010; RODELLA e ALCARDE, 2000; ALCARDE et al., 1992; SILVEIRA, 1989)

Os fertilizantes sólidos podem ser subdivididos em:

- Misturas de grânulos: são os fertilizantes mistos ou misturas fertilizantes obtidos pela mistura física de dois ou mais fertilizantes granulados;
- Misturas granuladas: são os fertilizantes mistos ou misturas fertilizantes onde cada grânulo contém todos os nutrientes garantidos;
- Misturas complexas: são os fertilizantes mistos ou misturas resultantes de reação química entre matérias, primas como NH_3 , H_3PO_4 e H_2SO_4 , onde cada grânulo também contém todos os nutrientes garantidos (RODELLA e ALCARDE, 2000, p. 59).

A granulometria dos fertilizantes sólidos é determinada pelo tamanho e pela forma de suas partículas, sendo expressa quantitativamente por meio dos resultados de uma análise granulométrica. Esta análise consiste em fazer uma massa conhecida do produto, passar por uma série de peneiras com tamanho de malha decrescente, e então, é pesada a massa retida em cada peneira, que deve ser expressa em termos percentuais (RODELLA e ALCARDE, 2000).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2007), a granulometria dos fertilizantes sólidos pode ser dividida em seis grupos: granulados, mistura de grânulos, microgranulado, pó, farelado fino, farelado e farelado grosso.

O MAPA (2007), ainda indica a seqüência de peneiras que devem ser utilizadas para classificar os fertilizantes quanto à granulometria. Para ser considerada uma mistura de grânulos, por exemplo, no mínimo 95% do seu material deve passar pela peneira ABNT nº 5 (4,0 mm) e ser retida pela peneira ABNT nº 18 (1,0 mm).

A dureza dos grânulos, varia de acordo com a natureza da matéria-prima do insumo e umidade do ambiente. Esta propriedade tem influência sobre a capacidade de resistência a quebra e, é um indicativo de qualidade, quando os grânulos são frágeis ocorre formação de pó, que resulta em partículas desuniformes.

A fluidez está relacionada com a capacidade de escoamento do material, e pode influenciar a eficiência da aplicação. Esta propriedade pode ser avaliada pelo parâmetro do ângulo de repouso, quanto menor este for, melhor a capacidade de escoamento do material. (RODELLA e ALCARDE, 2000).

Segundo Milan e Gadanha Junior (1996), o ângulo de repouso depende de particularidades do produto, como densidade, forma das partículas, granulometria e umidade. Ainda segundo os autores, materiais com este parâmetro menor que 40° apresentam boas características de escoamento e acima de 50° têm um baixo índice de fluidez, o que pode prejudicar a sua aplicação pelas máquinas adubadoras.

A higroscopicidade é a característica que os fertilizantes têm de absorver água normalmente da atmosfera. Para cada substância ou mistura de substâncias há uma umidade relativa, chamada umidade crítica, até a qual o produto pode ser exposto sem absorver grande quantidade de água. Os fertilizantes de baixa umidade crítica, possuem alta higroscopicidade, ou seja, absorvem água mesmo quando a umidade relativa do ar é baixa (ALCARDE et al., 1992).

A segregação pode ser entendida como a separação dos grânulos componentes de uma mistura. As partículas mais finas e densas vão para o fundo do reservatório e são distribuídas primeiro, o que pode ocasionar uma variação na composição e na quantidade aplicada (SILVEIRA, 1989).

A densidade é a relação da massa de um material com o volume que este ocupa. Esta característica é importante para determinação da capacidade de vazão

dos dosadores, dimensionamento de reservatórios e embalagens dos fertilizantes. (RODELLA e ALCARDE, 2000).

O empedramento é a tendência dos fertilizantes em formarem aglomerados ou torrões, quando estocados em lugares com alta umidade, o que pode prejudicar e até impedir a distribuição dos mesmos. As condições de armazenamento, temperatura e umidade favorecem essa tendência, boas práticas de manejo e cuidados com o acondicionamento e estocagem do fertilizante, podem reduzir este problema (SILVEIRA, 1989).

Assim, pode-se observar que as propriedades físicas dos fertilizantes são importantes para o estudo na sua distribuição por mecanismos dosadores de fertilizantes, e é preciso caracterizar o material utilizado, para que se possa assegurar a confiabilidade dos resultados e a repetibilidade do trabalho, além de ampliar sua representatividade.

Na próxima secção, serão abordadas as metodologias e os trabalhos, relacionados a avaliações e ensaios de semeadoras-adubadoras, e em especial, a distribuição de fertilizantes.

2.4 Avaliações de semeadoras-adubadoras

A grande diversidade de marcas e modelos de máquinas agrícolas, assim como a necessidade de garantir que os equipamentos comercializados tenham requisitos mínimos de qualidade técnica e segurança na operação, fundamentam a relevância da realização de ensaios e experimentos relacionados a mecanização agrícola.

Segundo Alonço (1999), o ensaio é realizado de forma padronizada, de acordo com uma norma, cuja metodologia visa garantir a representatividade dos resultados, apresentados na forma de relatórios de ensaios, com vistas a comparação destas informações, de natureza quantitativa. Ainda conforme o autor, a experimentação possui um objetivo em comum com os ensaios, que é provar ou experimentar o desempenho dos equipamentos em diferentes condições, no entanto, não é necessariamente realizada conforme normas ou procedimentos

padronizados, e acrescenta aos resultados encontrados, uma revisão da literatura relacionada, análise e discussão dos mesmos, chegando a conclusões.

Segundo Coelho (1996), os ensaios de semeadoras podem ser realizados em três ambientes distintos, a campo, em pista ou em laboratório. No primeiro dos lugares, é possível observar o desempenho da máquina como um todo, em determinada região, com características próprias. Já os ensaios realizados em pistas, têm por objetivo a obtenção de dados que podem ser extrapolados para diversas partes do mundo. Por fim, os ensaios em laboratórios, permitem o isolamento de variáveis, principalmente as relacionadas ao ambiente, e também, o acompanhamento particular de determinado componente dos equipamentos.

Muitos autores têm utilizado as normas para realização de ensaios de máquinas agrícolas, ou adaptações destas, como base, para elaboração de metodologias para realização de suas pesquisas.

Dias et al. (2009), por exemplo, avaliaram dois protótipos de semeadoras - adubadoras para o plantio direto, sendo uma de precisão, e outra múltipla, na distribuição de milho e soja. A metodologia empregada pelos autores, para avaliação da distribuição longitudinal de sementes, foi baseada na norma ABNT (1994), que trata dos ensaios de semeadoras-adubadoras de precisão.

Esta norma, assim como sua equivalente ISO 7256/1(1982), são referências dos principais trabalhos de avaliações de semeadoras - adubadoras. Assim como, é possível encontrar trabalhos, que desenvolveram equipamentos e metodologias alternativas, baseados nos ensaios propostos por estas normas. Jasper et al. (2009), comparou duas bancadas para avaliação de dosadores de sementes, uma utilizando esteira revestida com graxa, conforme proposta inicial das normas, e outra com cobertura carpetada, e não encontrou diferenças significativas entre os resultados obtidos nas duas esteiras, na distribuição longitudinal de milho.

As esteiras, ou bancadas, para ensaios de dosadores de sementes, são utilizadas nas avaliações em laboratório, onde os mecanismos são submetidos a diferentes condições de nivelamento, longitudinal e transversal, velocidades de deslocamento (simuladas pelo movimento da esteira), e demais fatores que o pesquisador considerar relevantes ao problema pesquisado.

Silveira et al. (2010) e Alonço et al. (2010), desenvolveram uma bancada para ensaio de dosadores de sementes, de semeadoras de precisão, cujos mecanismos podem ser mecânicos ou pneumáticos. Esta bancada, segundo os autores, mostrou-

se adequada para a realização de experimentos com os mecanismos dosadores, permitindo avaliar, por exemplo, o efeito da velocidade de deslocamento, velocidade tangencial dos discos, tratamentos de sementes, inclinações longitudinais e transversais, níveis de pressão nos dosadores pneumáticos, entre outros, possibilitando a geração de informações úteis a melhor utilização dos equipamentos, assim como, para o desenvolvimento de inovações tecnológicas, aplicáveis às máquinas agrícolas.

Nesta metodologia, em que se utilizam esteiras para avaliação da distribuição longitudinal de sementes, orientada pela ABNT (1994), a verificação dos espaçamentos é manual, com auxílio de uma trena disposta sobre a esteira, sendo possível a determinação da distância entre sementes. Lan et al. (1999), Nardón et al. (2001), Alchanatis et al. (2002) e Silveira et al. (2008), desenvolveram sistemas alternativos, com a utilização de sensores para obtenção do intervalo entre a queda das sementes no tubo condutor, e a partir deste, estimar o espaçamento correspondente.

Apesar de prática e rápida, segundo Montemezzo Junior (2011) e Bonotto (2008), esta metodologia é suscetível a variações que podem ocasionar erros, como por exemplo, vibrações do tubo condutor e ricochetes das sementes, chegando a haver 20% de diferença entre a contagem manual de sementes e a obtida com o auxílio dos sensores. Para ser aplicado, com menores fontes de variações, este método exige que sejam realizadas modificações na estrutura de acoplamento e descarga do dosador, sendo possível alcançar erros inferiores a 5%, no entanto, em virtude das alterações realizadas, os resultados podem não refletir a realidade da influência dos fatores sobre a distribuição longitudinal das sementes.

As avaliações em laboratório, já permitiram a identificação de diversos fatores de influência na qualidade da semeadura, assim como, condições em que as máquinas responsáveis por este processo, têm um desempenho superior.

Montovani et al. (1999), avaliaram a distribuição longitudinal de sementes de milho, por dois tipos de dosadores, discos horizontais e dedos prensores, em função de diferentes tratamentos de sementes, com auxílio de uma bancada, e constataram que a adição de inseticidas, prejudicou o desempenho do sistema de discos, e melhorou a distribuição pelo sistema de dedos prensores, e ainda observaram, que a adição de grafite ao tratamento, torna a distribuição longitudinal de sementes, com ou sem inseticida, sem diferenças significativas.

Santos et al. (2003), em ensaios de laboratório, avaliaram a distribuição longitudinal e a germinação de sementes, em função do espaço livre entre as sementes e os orifícios dos discos horizontais dos mecanismos dosadores, constatando que a germinação não é afetada por este fator, e que se obtêm uma maior quantidade de espaçamentos aceitáveis quando a folga entre a semente e o diâmetro do alvéolo é no mínimo de 20, e no máximo 55%.

Reis e Alonço (2001), compararam a precisão funcional de mecanismos dosadores de sementes, em trabalhos realizados no Brasil, entre os anos de 1989 e 2000, chegando a conclusão que os dosadores pneumáticos e de dedos prensos possuem um desempenho superior aos demais, e que os dosadores de discos horizontais, discos inclinados e rotores verticais tem sua qualidade de distribuição de sementes afetadas pelos altos índices de espaçamentos múltiplos e fallhos.

Em relação à distribuição de fertilizantes, Molin e Ruiz (1999), validaram métodos simplificados para determinação da largura efetiva de distribuidores centrífugos, alternativos a norma ISO 5690/1 (1982), que recomenda a utilização de coletores padronizados, com dimensões de 1000 x 250 mm ou 500 x 500 mm, com profundidade mínima de 150 mm. Segundo os autores, a falta de recursos e técnicas dificulta a realização de ensaios para determinação da largura de trabalho dos distribuidores de fertilizantes, no entanto, em seu trabalho, concluíram que coletores de papelão e latas de óleo, podem ser utilizados como métodos alternativos aos coletores propostos pela ISO 5690/1 (1982), sem decréscimo da qualidade de avaliação.

Na distribuição de fertilizantes em linhas, a norma que estabelece os padrões para realização dos ensaios, é a ISO 5690/2 (1984), esta norma, prescreve os métodos para realização de ensaios, de duas naturezas, estáticas e dinâmicas. Os testes estáticos são realizados com a máquina de forma estacionária, onde a vazão dos mecanismos dosadores é coletada, com auxílio de uma caixa, e tem por objetivo a verificação da uniformidade de vazão. Já os testes dinâmicos, são realizados para averiguar a precisão de dosagem da semeadora, a máquina é deslocada sobre uma superfície de coletores padronizados, de 500 x 500 x 150 mm, onde é armazenado o fertilizante dosado, sendo possível estimar o coeficiente de variação da aplicação realizada.

A norma preconiza que a realização destes ensaios seja realizada com três tipos de fertilizantes, representativos, e com características físicas distintas. A

uniformidade e a precisão de dosagem da semeadora-adubadora, devem ser verificadas, com diferentes níveis de reservatório, velocidades e inclinações, transversais e longitudinais.

Dias (2009), utilizou uma metodologia alternativa para avaliação da uniformidade transversal de distribuição de fertilizantes, fixou sacos plásticos com atilhos aos condutores de fertilizantes, facilitando a realização do ensaio. Neste trabalho, o autor constatou que o coeficiente de variação entre as vazões dos mecanismos sem-fim, utilizados nas semeadoras avaliadas, foram inferiores a 5%.

Ainda quanto à regularidade de distribuição transversal de fertilizantes, Portella et al. (1998), avaliando seis semeadoras-adubadoras encontraram melhores resultados com os modelos que utilizavam os dosadores do tipo sem-fim e rotor acanalado helicoidal, com coeficientes de variação em torno de 9 e 13 % respectivamente.

Casão Junior et al. (2000), avaliaram duas semeadoras com dosadores de fertilizantes do tipo rotor vertical impulsor, e as variações entre linhas foram próximas a 15%. Estes resultados são relativamente altos, pois Oliveira et al. (2000), avaliaram o desempenho de uma semeadora-adubadora, em diferentes solos e velocidades de deslocamento, onde o mecanismo dosador de fertilizantes era do tipo disco estrela, e os coeficientes de variação entre linhas, foram inferiores a 3%.

Kempeski (2006), desenvolveu uma bancada onde as rodas da semeadora são posicionadas sobre rolos, acionados por um motor elétrico, movimentando os sistemas de dosagem da semeadora-adubadora, permitindo a realização de diversos testes, em laboratório.

Já Altmann et al. (2010), desenvolveram uma metodologia, onde são utilizados apenas os mecanismos dosadores de fertilizantes das semeadoras-adubadoras em linhas, sendo possível realizar experimentos em função de diferentes inclinações longitudinais, com auxílio de uma bancada, onde os dosadores são acionados por um motor elétrico, a diferentes rotações, permitindo que sejam simuladas velocidades de deslocamento e vazões.

Ferreira et al. (2007), utilizaram um equipamento semelhante, e compararam a regularidade de vazão de dois modelos de mecanismos sem-fim, em função de inclinações longitudinais, um com descarga de fertilizante por transbordo transversal e outro com descarga por gravidade, com dois passos de rosca, 25,4 e 50,8 mm, e concluíram que o dosador do tipo transbordo é menos afetado pelas inclinações,

assim como os menores passos de rosca proporcionaram menores variações na vazão.

Camacho-Tamayo et al. (2009), avaliaram quatro dosadores com diferentes fertilizantes e velocidades de acionamento. De acordo com os mesmos, os dosadores helicoidais obtiveram os melhores resultados quanto à uniformidade de vazão, enquanto o dosador rotor acanalado teve a maior irregularidade de vazão. Ainda, observaram que, os dosadores do tipo sem-fim são adequados para distribuição de produtos granulares e os de disco estrela para pós e grânulos.

Bonotto et al. (2011), desenvolveram uma bancada para avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes, onde os mesmos podem ser submetidos a diferentes inclinações longitudinais, níveis de reservatório e avaliações de uniformidade de vazão estática. Os testes são realizados a partir da prévia regulagem da razão de distribuição dos dosadores, determinada pela velocidade de acionamento, e coleta da vazão nas diferentes condições de avaliação, sendo esta quantidade de fertilizante coletada, uma amostra, ou seja, uma unidade experimental.

Este tempo de coleta, nas avaliações de regularidade de distribuição por distribuidores centrífugos, Milan e Gadanha Junior (1996), recomendam que seja de no mínimo 30 segundos. Cardinal et al. (2011), realizaram um experimento para determinação do tamanho de amostra em ensaios de dosadores em linhas, e também verificaram que este deve ser de no mínimo 30 segundos, pois quando menor, há uma superestimativa da vazão. Estes resultados foram corroborados por Bellé et al. (2011).

Em relação à distribuição longitudinal de fertilizantes, Uliana et al. (2005), compararam o desempenho de dois dosadores sem-fim, com e sem transbordo, utilizando coletores alternativos aos propostos pela ISO 5690/2 (1984), e concluíram que os dosadores com descarga por transbordo possuem maior uniformidade de distribuição, sendo que os coeficientes de variação foram de aproximadamente 25 e 50%, para os dosadores com descarga por transbordo e gravidade, respectivamente.

Werner et al. (2007), verificaram coeficientes de variação na distribuição longitudinal de um distribuidor centrífugo, inferiores a 15%, ou seja, até três vezes menos que a observada por Uliana et al. (2005), que avaliaram os mecanismos

dosadores em linhas do tipo sem-fim. Esta grande variação, em partes pode ser explicada pela intermitência de vazão.

A intermitência de vazão é popularmente chamada de efeito de golfeamento, segundo Casão Junior (2006), os dosadores sem-fim liberam o fertilizante em pulsos, gerando desuniformidade na linha de plantio. O autor ainda comenta que, embora seja discutível se tal efeito provoca prejuízos econômicos, tem se dado grande atenção ao fenômeno.

Os ensaios em laboratório, também, tem sido úteis para avaliações de protótipos de dosadores e controladores eletrônicos de vazão. Umezu e Capelli (2006), avaliaram em laboratório, um sistema para regulagem eletrônica de vazão, passível de ser usada em equipamentos para distribuições a taxa variáveis, e constaram que tal equipamento mostrou-se adequado, não tendo variações em função do aquecimento do óleo do sistema hidráulico de acionamento do dosador.

Menegatti (2004), desenvolveu um mecanismo para aplicação de fertilizantes a taxa variável, semelhante aos rotores acanalados, e observou que estes equipamentos, possuem uma baixa demanda de potência e seus componentes são modulares, com ampla utilização no mercado, o que tornaria sua fabricação de baixo custo. Martins (1999), adaptou um dosador sem-fim helicoidal, e comparou com o modelo original. O autor aumentou o espaço, entre o fim do helicóide e o tubo de descarga de fertilizante, conseguindo, assim, uma menor intermitência de vazão, e ainda constatou que esta, é menor, nas maiores velocidades de acionamento.

Por fim, pode-se dizer que os trabalhos referentes à avaliação de semeadoras-adubadoras, em especial os relacionados ao desempenho de dosadores de fertilizantes, são cada vez mais frequentes, pela grande variedade de produtos disponíveis no mercado, que é reforçada pelo crescente nível de exigência do mercado consumidor, e neste contexto, as avaliações em laboratório, tem mostrado ser uma ferramenta de grande valia, tanto na observação do desempenho dos equipamentos atuais, como no auxílio ao desenvolvimento de novos mecanismos dosadores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste momento, são apresentadas as estruturas físicas, e os métodos utilizados, para realizar este trabalho. Inicialmente, são descritos os recursos materiais, como o local em que foram realizados os experimentos, os equipamentos e instrumentos necessários à condução da pesquisa, bem como, os mecanismos dosadores, fertilizantes e vazões, que compõem as variáveis e fatores do trabalho.

A pesquisa pode ser dividida em quatro partes. A primeira, visou avaliar a precisão de dosagem dos mecanismos dosadores, longitudinalmente, o que corresponde à quantidade de fertilizante distribuída ao longo da linha de plantio. A segunda, e a terceira parte, tiveram por objetivo observar a influência das inclinações longitudinais e transversais, respectivamente, sobre a vazão dos mecanismos dosadores. Por último, foi verificada a uniformidade de vazão em função de diferentes níveis de reservatório.

Os métodos desenvolvidos, ou utilizados, tiveram o intuito de avaliar e comparar os mecanismos dosadores de fertilizantes, sem considerar os demais subsistemas que compõem o sistema de dosagem das semeadoras-adubadoras, como tubos condutores e sulcadores, portanto, os resultados refletem o desempenho dos equipamentos avaliados, e não, das marcas ou modelos que os utilizam, assim como, não são julgadas, recomendadas ou indicadas às indústrias que os fabricam.

3.1 Local

Este trabalho, foi desenvolvido no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (LASERG), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado pelas coordenadas 29°43'37" latitude Sul e 53° 42' 44" longitude Oeste, altitude média de 99,00 m, no município de Santa Maria, RS.

3.2 Bancada para ensaios de dosadores de fertilizantes

Para que fosse possível a realização dos experimentos, necessários à investigação das hipóteses propostas por esta pesquisa, foi preciso desenvolver um equipamento que permitisse o acionamento dos dosadores, e também, proporcionasse as diferentes condições em que deveriam ser avaliados.

A bancada desenvolvida por Bonotto et al. (2011), denominada BANFERTI, bancada para ensaios de mecanismos dosadores de fertilizantes, que permitia a avaliação dos mecanismos dosadores, em diferentes inclinações longitudinais, serviu como referência para o desenvolvimento da BANFERTI II (figura 3.2.1), elaborada pela equipe do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas - LASERG – da UFSM, descrita por Moreira et al. (2011), utilizada na realização deste trabalho, projetada para que fosse possível a realização dos ensaios previstos pela norma ISO 5690/2 (1984).

A BANFERTI II, é composta por quatro subsistemas, acionamento, fixação, nivelamento e coleta de dados. O sistema de acionamento, é composto por um motor elétrico, de 736 W de potência, que é acoplado a um redutor mecânico 10:1. O motor é ligado por um controlador de frequência, CFW 8, permitindo que os dosadores sejam acionados de 4 a 174 rotações por minuto.

O sistema de fixação, chamado mesa de inclinações, detalhe “a” da figura 3.2.1, é projetado para que seja possível, fixar todos os mecanismos dosadores de fertilizantes das semeadoras-adubadoras existentes, atualmente no mercado, sendo que a estrutura tem capacidade para acoplamento, e acionamento, de até quatro mecanismos dosadores simultaneamente. A fixação é realizada através da ligação, por parafusos, entre a carcaça do mecanismo dosador, e as travessas vazadas da mesa de inclinações, que também é vazada, permitindo assim, movimentos nos sentidos transversal e longitudinal, na estrutura de fixação, adaptando-se as diferentes dimensões dos mecanismos dosadores.

O sistema de inclinações longitudinais, é composto por dois conjuntos de duas metades de círculo (detalhe “b” da figura 3.2.1), e o suporte metálico (detalhe “c” da figura 3.2.1). As duas metades de círculos, fixadas nas extremidades da mesa de inclinações, possuem três furos, cujo alinhamento da metade soldada na mesa com a fixada na estrutura externa da bancada, determinam as inclinações

longitudinais pré-determinadas, que são: nivelado, 5° e 11° , para frente e para trás. Para obtenção das demais inclinações, é utilizado o suporte metálico, que através da ligação entre uma chapa perfurada, fixada a mesa de inclinações, e uma chapa vazada na estrutura externa da bancada, permitem o posicionamento dos dosadores em qualquer inclinação longitudinal, até 45° , em ambos os sentidos.

O sistema das inclinações transversais, é composto por diferentes conjuntos de “pés”, da estrutura externa da bancada (detalhe “d” da figura 3.2.1), do lado esquerdo, e a articulação no lado direito das hastes de sustentação da bancada (detalhe “e” na figura 3.2.1). Para obtenção das diferentes inclinações, substituem-se as hastes laterais de sustentação da bancada, e quando se reduz a altura, os mecanismos dosadores ficam inclinados para esquerda (considerando posição dos elementos na semeadora-adubadora), quando se aumenta a altura da lateral esquerda da bancada, os dosadores ficam inclinados para direita.

O sistema de coleta consiste em uma gaveta, posicionada abaixo dos mecanismos dosadores, que permite ao operador da bancada, retirar os coletores de fertilizante simultaneamente de todos os mecanismos avaliados.

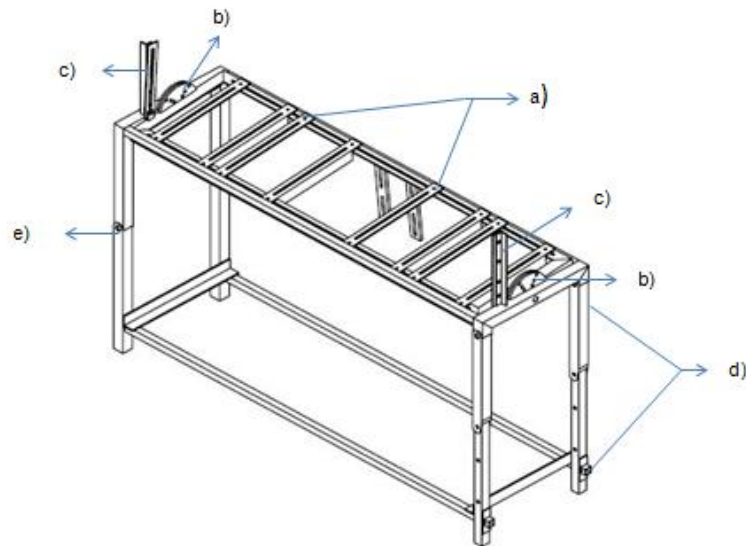


Figura 3.2.1 – BANFERTI: Bancada para ensaio de mecanismos dosadores de fertilizantes.

Fonte: Autor.

- a) Mesa de inclinações;
- b) Sistema para inclinações de 0° , 5° e 11° no sentido longitudinal
- c) Sistema para inclinações de 0° a 45° no sentido longitudinal
- d) Sistema para variação das inclinações transversais
- e) Articulação para posicionamento inclinado transversalmente

3.3 Mecanismos dosadores de fertilizantes

Os mecanismos dosadores escolhidos para realização deste trabalho, ou modelos semelhantes a estes, são utilizados na maioria das semeadoras-adubadoras fabricadas no Brasil. A escolha dos espécimes avaliados, foi determinada pelas diferenças entre os equipamentos, com intuito de observar o funcionamento dos diferentes princípios de solução empregados para dosagem e transporte de fertilizante. Neste contexto, foram escolhidos três com elemento transportador sem-fim, um modelo do tipo rotor acanalado e ainda, o sistema disco estrela.

Dos mecanismos dosadores sem-fim, foram selecionados três modelos, com distinções entre si, quanto a descarga de fertilizantes, além das características funcionais específicas de cada fabricante.

O dosador do tipo sem-fim, com descarga de fertilizante por transbordo transversal, neste trabalho chamado de “dosador 1”, pode ser visualizado na figura 3.3.1. Este modelo, possui um sistema de regulação de fluxo, que consiste em uma barreira localizada transversalmente no corpo do dosador, logo após o fim do helicóide. Este dispositivo, faz com que o fertilizante chegue ao tubo condutor, somente, após transbordar a barreira, sendo por isso, denominado como descarga por transbordo.



Figura 3.3.1 – Dosador 1: Tipo sem-fim, transportador helicoidal e descarga de fertilizantes por transbordo. Fonte: Autor.

O dosador 2 (figura 3.3.2), também possui como elemento transportador um helicóide, no entanto, sua descarga de fertilizante é feita sem restrições, ou seja, apenas por gravidade, por isso, é chamado como sistema de descarga por gravidade.



Figura 3.3.2 – Dosador 2: Tipo sem-fim, transportador helicoidal, com descarga de fertilizantes por gravidade. Fonte: Autor.

O dosador 3 (figura 3.3.3), é do tipo sem-fim, possui um sistema para regulação de fluxo, que é localizado paralelamente ao helicóide, ao fim deste, de onde o fertilizante passa para o tubo condutor, por isso, é chamado como sistema por transbordo e descarga lateral.



Figura 3.3.3 – Dosador 3: Tipo sem-fim, transportador helicoidal, com descarga de fertilizante lateral. Fonte: Autor.

Os três mecanismos dosadores do tipo sem-fim, utilizaram helicóide com passo de 50,80 mm, em todos os experimentos realizados.

O dosador 4, além de dosador de fertilizantes, também é muito utilizado como dosador de sementes miúdas, em algumas semeadoras-adubadoras. O sistema de dosagem é do tipo rotor acanalado, que realiza a dosagem através do contato de seu rotor, que consiste em cilindro com ranhuras na forma de canais, com o material a ser dosador. Sua vazão, é determinada variando a velocidade de acionamento, a área de exposição do rotor ao material e a abertura de uma comporta localizada abaixo do rotor, no entanto, neste trabalho a comporta foi mantida totalmente aberta, assim como, todo o cilindro foi exposto ao fertilizante, utilizando-se apenas a velocidade de acionamento para determinação da vazão necessária. O modelo utilizado nesta pesquisa, pode ser visualizado na figura 3.3.4.



Figura 3.3.4 – Dosador 4: Tipo rotor acanalado. Fonte: Autor.

O dosador 5, é do tipo disco estrela (figura 3.3.5), a dosagem é realizada pelo transporte do material alocado entre as pontas tangenciais ao disco, embora chamado disco estrela, o formato do mesmo lembra uma engrenagem, por isso, este sistema, também, é conhecido como rotor dentado.



Figura 3.3.5 – Dosador 5: Tipo disco estrela. Fonte: Autor.

A vazão dos mecanismos dosadores foi sempre à mesma, ou seja, foram realizados testes preliminares de calibração, onde foram identificadas as rotações do eixo de acionamento, correspondentes as vazões de 6, 18 e 31 gs^{-1} , utilizadas nos experimentos de distribuição longitudinal de fertilizantes, e 10, 30 e 50 gs^{-1} , utilizadas nos trabalhos com diferentes inclinações longitudinais e transversais, e níveis de reservatório. Na tabela 3.3.1, são apresentadas as velocidades angulares de acionamento, em rotações por minuto, necessárias para obtenção das vazões mencionadas, com os três fertilizantes.

Os mecanismos, disco estrela, e rotor acanalado, atualmente são pouco utilizados como dosadores de fertilizantes em semeadoras-adubadoras, no entanto, são modelos de fabricação simples, de baixo custo, sobre os quais não há informações quanto ao desempenho em diferentes inclinações e sua precisão de dosagem ao longo da linha de semeadura.

O dosador sem-fim com transbordo transversal, foi amplamente testado, mostrando-se superior na maioria dos trabalhos realizados com sua utilização, porém, seu sistema de regulagem de fluxo, não foi comparado ao existente no dosador 3, com descarga e transbordo lateral. Já o dosador sem-fim com descarga por gravidade, tem por objetivo servir como referência ao demais dosadores sem-fim, para que se possa observar a eficiência dos sistemas de regulagem de fluxo.

Tabela 3.3.1 – Rotações de acionamento dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em rotações por minuto, para obtenção das vazões utilizadas no trabalho.

	D1	D2	D3	D4	D5
Mistura de grânulos 02-20-20					
06 gs⁻¹	10,2	8,6	6,7	14,4	42,2
10 gs⁻¹	13,9	18,3	11,3	24,5	70,3
18 gs⁻¹	29,3	30,3	18,5	42,2	119,5
30 gs⁻¹	45	54,9	32,7	71,7	211,1
31 gs⁻¹	49,3	56,3	38	73,4	209,9
50 gs⁻¹	73,6	93,8	54,8	131	373,7
Mistura granulada 16-16-16					
06 gs⁻¹	10,2	8,6	6,7	14,4	42,2
10 gs⁻¹	13,9	18,3	11,3	24,5	70,3
18 gs⁻¹	29,3	30,3	18,5	42,2	119,5
30 gs⁻¹	45	54,9	32,7	71,7	211,1
31 gs⁻¹	49,3	56,3	38	73,4	209,9
50 gs⁻¹	73,6	93,8	54,8	131	373,7
Mistura farelada 00-15-30					
06 gs⁻¹	6,5	3,9	4,1	3,9	41,5
10 gs⁻¹	9,6	6,9	7,2	9,9	68,7
18 gs⁻¹	18,7	17,5	12	34,2	122,8
30 gs⁻¹	28,5	30,5	21,6	45,6	192,2
31 gs⁻¹	31,6	33,3	20,3	63,4	210,1
50 gs⁻¹	50,7	57,4	33,1	76,5	338

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

3.4 Fertilizantes

Os fertilizantes utilizados neste trabalho, são três misturas de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), com formas distintas. O objetivo, é ampliar a representatividade dos dados obtidos, pois segundo Silveira (1989), o desempenho das máquinas adubadoras é particular ao fertilizante.

As fórmulas utilizadas, foram 02-20-20, mistura de grânulos, 16-16-16, mistura granulada, 00-15-30, misturada farelada de nutrientes, denominadas F1, F2 e F3 respectivamente.

As características físicas dos fertilizantes, granulometria, umidade, ângulo de repouso e densidade aparente, que de acordo com Milan e Gadanha Junior (1996), devem ser apresentadas para caracterização do material utilizado, podem ser visualizadas na tabela 3.4.1.

A granulometria, foi obtida através da passagem de uma massa conhecida de fertilizante, por uma série de peneiras, com malhas de tamanho sequenciais, descritas na tabela 3.4.1.

A densidade aparente, foi determinada, com auxílio de uma proveta volumétrica e uma balança com precisão centesimal. A proveta foi preenchida com o fertilizante a uma velocidade constante, posteriormente, esta massa foi pesada. A razão, entre o volume e a massa de fertilizante observado, consiste na densidade aparente.

O ângulo de repouso foi mensurado, com auxílio de um dispositivo específico (figura 3.4.1), concebido a partir do modelo apresentado por Chavez et al. (2005), onde uma massa de fertilizantes, é colocada em um reservatório em formato de funil, cuja passagem, é regulada através de uma comporta, o que garante uma velocidade constante de descarga sobre uma superfície plana, onde o ângulo de talude é determinado através das dimensões do cone formado.



Figura 3.4.1 – Dispositivo para determinação de ângulo de repouso dos fertilizantes.
Fonte: Autor.

Tabela 3.4.1 - Propriedades físicas dos fertilizantes. Santa Maria, RS, 2012.

Granulometria (mm)	Fertilizantes		
	02-20-20	16-16-16	00-15-30
	Percentagem Retida Peneira ⁻¹		
4,00	14,5	0,8	0,0
2,00	81,5	73	1,05
1,00	3,75	14	3,3
0,50	0,08	7,8	19,25
Fundo	0,17	4,4	76,4
	Propriedades Físicas		
Densidade (g.ml ⁻¹)	1,04	0,85	1,24
Ângulo de Repouso (°)	30	27	21
Umidade (%)	2,21	4,82	1,30

3.5 Distribuição longitudinal de fertilizantes

Esta unidade do trabalho, foi desenvolvida com vistas à avaliação da precisão de dosagem dos mecanismos dosadores. A norma ISO 5690/2 (1984), recomenda que sejam utilizados coletores padronizados, com dimensões de 500 x 500 mm, com profundidade mínima de 150 mm. Todavia, esta indicação refere-se ao ensaio da semeadora-adubadora, e este trabalho, tem por objetivo, comparar o desempenho apenas dos mecanismos dosadores. Neste contexto, foram desenvolvidos coletores alternativos aos propostos pela ISO 5690/2 (1894).

Os coletores utilizados neste trabalho (figura 3.5.1), possuem 300 mm de comprimento, 250 mm de largura e altura. Estas medidas, referem-se às distâncias internas, sendo acrescidas pela espessura do material. No interior da caixa coletora, existem seis células de 50 mm cada. A intenção de se avaliar a quantidade de fertilizante dosada a cada 50 mm, provém das recomendações da NBR 9793 (1987), que trata dos ensaios das semeadoras-adubadoras de fluxo contínuo, mesmo princípio de distribuição dos fertilizantes.

Os mecanismos dosadores foram acoplados a BANFERTI II (item 3.2.1), e os coletores passaram abaixo do tubo condutor 500 mm, distância recomendada pela ISO 5690/2 (1984), sobre uma esteira carpetada (figura 3.5.2), acionada por um motor elétrico de 736 W, controlado por um inversor de frequência CFW 10,

permitindo que os rolos movimentadores da esteira variassem de 1 a 178 RPM, que correspondem a velocidade máxima de $1,25 \text{ ms}^{-1}$, que foi mantida constante durante a realização dos experimentos.

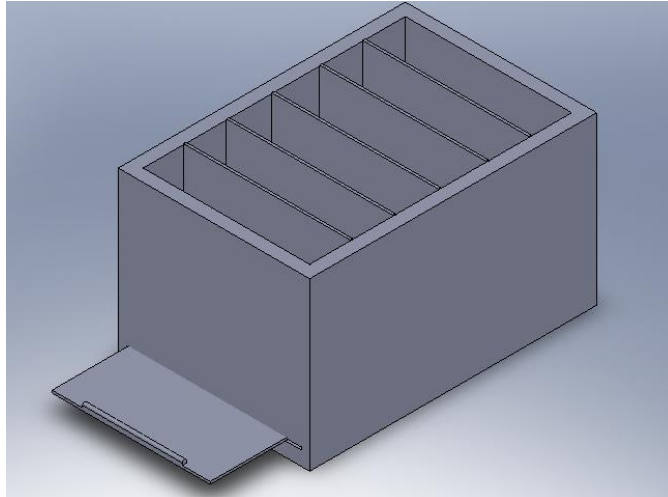


Figura 3.5.1 – Caixa coletora de amostras de fertilizante. Fonte: Autor.



Figura 3.5.2 – Esteira utilizada para simulação do deslocamento da semeadora-adubadora. Fonte: Autor.

Os experimentos foram dispostos no delineamento inteiramente ao acaso, em um arranjo fatorial 5×3 , com quatro repetições, onde o primeiro fator foram os mecanismos dosadores, em cinco níveis, sendo cada nível um modelo de

mecanismo dosador, descritos no item 3.3. O segundo fator, foram vazões dos mecanismos dosadores, sendo os níveis 1, 2 e 3, as vazões de 6, 18 e 31 gs^{-1} , que correspondem a 96, 288 e 496 kg ha^{-1} , quando considerado um espaçamento entre linhas de 500 mm e velocidade de deslocamento de 1,25 ms^{-1} . Foram consideradas unidades amostrais, a quantidade de fertilizante depositada em cada célula da caixa coletora, que foi passada quatro vezes abaixo dos mecanismos dosadores, totalizando 24 repetições para cada tratamento.

Foram realizados, três experimentos, um com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20, outro com a mistura granulada 16-16-16 e ainda, com a mistura farelada 00-15-30.

A variável resposta observada, foi o Coeficiente de Variação (CV), parâmetro indicado pela ISO 5690/2 (1984). Segundo Banzatto e Kronca (2008), o CV é um índice muito utilizado para avaliação da precisão de um grupo de dados e comparação da qualidade de determinado experimento. É importante ressaltar, que o CV utilizado para comparação dos dosadores, é obtido através das amostras obtidas em cada tratamento, sendo posteriormente calculada uma média para avaliação do desempenho geral do mecanismo dosador. A estimação deste parâmetro, foi realizada com auxílio do software Assistat, versão 7.6 Beta.

O CV expressa em valores percentuais, o quanto o desvio padrão representa em relação à média dos valores observados, ou seja, significa a variação média, para mais ou para menos, da vazão pré-estabelecida dos mecanismos dosadores.

3.6 Uniformidade de vazão em função de inclinações longitudinais

A avaliação da uniformidade de vazão, em função de inclinações longitudinais é um dos ensaios obrigatórios previstos na ISO 5690/2 (1984), que recomenda o acionamento da semeadora-adubadora, em nível, inclinada 11° no sentido ascendente e 11° no sentido descendente.

A luz dos trabalhos realizados, por Ferreira et al. (2010) e Bonotto (2011), a metodologia proposta pela norma ISO 5690/2 (1984), foi adaptada para que fosse possível a realização dos experimentos, apenas com os mecanismos dosadores, para isso, foi utilizada a BANFERTI II (item 3.2).

Neste trabalho, o sentido ascendente é considerado positivo, pois a inclinação de 11° , de acordo com a disposição dos mecanismos dosadores na bancada, reflete o movimento da semeadora-adubadora em aclave. A posição da bancada, nesta condição, pode ser visualizada na figura 3.6.1 a). O sentido descendente foi considerado negativo, pois simula o deslocamento em declive, pela semeadora-adubadora, por isso, esta posição é referida como -11° (figura 3.6.1 b)



Figura 3.6.1 – a) Bancada na posição 11° no sentido ascendente; b) Bancada na posição 11° no sentido descendente. Fonte: Autor.

O procedimento adotado, para realização dos experimentos segue a metodologia proposta por Altmann et al. (2010), onde após a regulagem da vazão desejada e fixação dos dosadores na posição desejada, o fertilizante distribuído por estes é coletado, caracterizando uma unidade experimental. O tempo de coleta foi de 30 segundos, após a estabilização da vazão do dosador, conforme recomenda Cardinal et al. (2011). O nível do reservatório de fertilizantes foi mantido constante, na metade de sua capacidade total.

Os experimentos foram realizados no delineamento inteiramente ao acaso, em um arranjo fatorial 5×3 , com quatro repetições. O fator um, são os mecanismos dosadores, sendo que cada dosador apresentado no item 3.3, corresponde a um nível. O segundo fator, são as posições longitudinais, sendo que o primeiro nível é a posição de -11° , o segundo nível a posição nivelada, e o terceiro nível a posição 11° .

Estes experimentos foram repetidos com três vazões e três fertilizantes, totalizando nove experimentos. As vazões utilizadas foram 10, 30 e 50 gs^{-1} , que correspondem a aproximadamente 100, 300 e 500 kgha^{-1} , se considerado um espaçamento entre linhas de 500 mm e uma velocidade de deslocamento de 2 ms^{-1} . Os fertilizantes utilizados foram a mistura de grânulos 02-20-20, a mistura granulada 16-16-16 e a mistura farelada 00-15-30, apresentados no item 3.4.

As variáveis respostas, observadas, foram às médias da vazão dos mecanismos dosadores, em cada posição, as quais foram submetidas à análise da variância e ao teste de médias, para determinação e comparação do desempenho dos mecanismos dosadores em cada posição. Também foi estimado o coeficiente de variação, dos dados obtidos por cada dosador, em cada posição, para comparação do desempenho dos mesmos com os diferentes fertilizantes e vazões.

3.7 Uniformidade de vazão em função das inclinações transversais

Da mesma forma que o item anterior, os ensaios de uniformidade de vazão em função de inclinações transversais são recomendados pela norma ISO 5690/2 (1984), que indica a realização da verificação da regularidade de distribuição nas posições de 11° para esquerda, nivelados e inclinados a 11° para direita.

Para realização dos experimentos, foi utilizada a BANFERTI II, descrita no item 3.2. A posição da bancada inclinada 11° para esquerda, pode ser visualizada na figura 3.7.1 a), e posição 11° para direita na figura 3.7.1 b). O procedimento adotado para realização dos experimentos segue a metodologia proposta por Altmann et al. (2010), onde após a regulagem da vazão desejada e fixação dos dosadores na posição desejada, o fertilizante distribuído por estes é coletado, caracterizando uma unidade experimental. O tempo de coleta foi de 30 segundos, após a estabilização da vazão do dosador, conforme recomenda Cardinal et al. (2011). O nível do reservatório de fertilizantes foi mantido constante, na metade de sua capacidade total.

Os experimentos foram realizados no delineamento inteiramente ao acaso, em um arranjo fatorial 5x3, com quatro repetições. O fator um, são os mecanismos dosadores, sendo que cada dosador apresentado no item 3.3, corresponde a um nível. O segundo fator, são as posições transversais, sendo que o primeiro nível é a

posição de 11° para esquerda, o segundo nível é a posição nivelada, e o terceiro nível a posição 11° para direita.



Figura 3.7.1 – a) Bancada na posição 11° para esquerda; b) bancada na posição 11° para direita. Fonte: Autor.

Estes experimentos foram repetidos com três vazões e três fertilizantes, totalizando nove experimentos. As vazões utilizadas foram 10, 30 e 50 gs^{-1} , que correspondem a aproximadamente 100, 300 e 500 kgha^{-1} , se considerado um espaçamento entre linhas de 500 mm e uma velocidade de deslocamento de 2 ms^{-1} . Os fertilizantes utilizados foram a mistura de grânulos 02-20-20, a mistura granulada 16-16-16 e a mistura farelada 00-15-30, apresentados no item 3.4.

As variáveis respostas, observadas, foram às médias da vazão dos mecanismos dosadores, em cada posição, as quais foram submetidas à análise da variância e teste de médias, para determinação e comparação do desempenho dos mecanismos dosadores em cada posição. Também foi estimado o coeficiente de variação, dos dados obtidos por cada dosador, em cada posição, para comparação do desempenho dos mesmos com os diferentes fertilizantes e vazões.

3.8 Uniformidade de vazão em função do nível de reservatório

Este experimento, foi adaptado das condições de ensaios previstos pela norma ISO 5690/2 (1984), que prevê a realização de testes de uniformidade da vazão de fertilizantes, em função dos níveis $1/1$, $1/2$ e $1/8$ da capacidade total do reservatório.

Para realização deste trabalho, foram adotados três níveis: cheio (figura 3.8.1 a.), $1/2$ (figura 3.8.1 b.) e $1/4$ (Figura 3.8.1 c.) da capacidade total dos reservatórios, que foram padronizados a todos os dosadores, com 350 mm de comprimento e 250 mm de largura e profundidade, correspondendo a um volume de aproximadamente 22 litros.

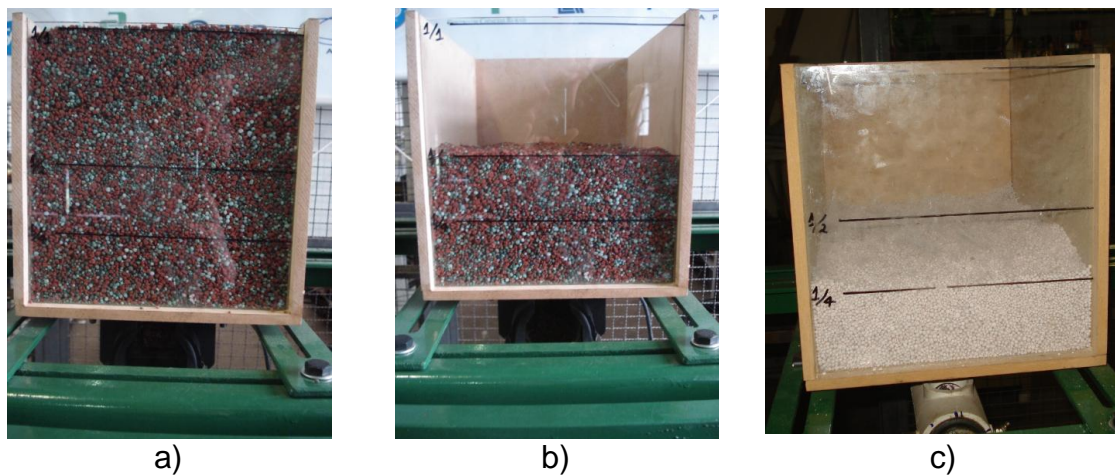


Figura 3.8.1 – a) reservatório cheio; b) reservatório com metade de sua capacidade; c) reservatório com um quarto da capacidade. Fonte: Autor.

Como o objetivo dos experimentos era comparar o desempenho, apenas dos mecanismos dosadores de fertilizantes, a metodologia proposta pela norma ISO 5690/2 (1984) foi adaptada para realização em laboratório, com a utilização da BANFERTI II (item 3.2).

O procedimento adotado, para realização dos experimentos, segue a metodologia proposta por Altmann et al. (2010), após a regulagem da vazão desejada e fixação dos dosadores na posição desejada, o fertilizante distribuído por estes é coletado, caracterizando uma unidade experimental. O tempo de coleta, foi

de 30 segundos, após a estabilização da vazão do dosador, conforme recomenda Cardinal et al. (2011).

Os experimentos foram realizados com o delineamento inteiramente ao acaso, em um arranjo fatorial 5x3, com quatro repetições, onde o fator 1 eram os mecanismos dosadores, com cinco níveis, sendo cada nível um dos dosadores descritos no item 3.3. O segundo fator foram os níveis de reservatório, descritos anteriormente.

Estes experimentos, foram repetidos com três vazões e três fertilizantes, totalizando nove experimentos. As vazões utilizadas foram 10, 30 e 50 gs^{-1} , que correspondem a aproximadamente 100, 300 e 500 kgha^{-1} , se considerado um espaçamento entre linhas de 500 mm e uma velocidade de deslocamento de 2 ms^{-1} . Os fertilizantes utilizados foram a mistura de grânulos 02-20-20, a mistura granulada 16-16-16 e a mistura farelada 00-15-30, apresentados no item 3.4.

As variáveis respostas, observadas, foram às médias da vazão dos mecanismos dosadores, em cada posição, as quais foram submetidas à análise da variância e teste de médias, para determinação e comparação do desempenho dos mecanismos dosadores em cada posição. Também, foi estimado o coeficiente de variação, dos dados obtidos por cada dosador, em cada posição, para comparação do desempenho dos mesmos com os diferentes fertilizantes e vazões.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição longitudinal de fertilizantes

Os resultados, destes experimentos, demonstram que há variação na quantidade de fertilizante distribuída, ao longo da linha de semeadura, com todos os dosadores, em todas as vazões.

Na Tabela 4.1.1, são apresentadas as vazões médias e os coeficientes de variação de cada dosador, em cada vazão regulada, com os três fertilizantes.

Tabela 4.1.1 – Coeficientes de variação da distribuição longitudinal de fertilizantes dos mecanismos dosadores avaliados.

Dosador	Vazão Regulada*	Vazão Média* F1	Vazão Média* F2	Vazão Média* F3	CV % F1	CV % F2	CV % F3	CV% Médio
Dosador 1	96	127,28	132,00	99,50	41,28	32,90	52,72	42,30
	288	281,23	298,28	276,05	31,64	21,78	36,50	29,97
	496	530,46	531,00	516,86	22,56	19,02	33,91	25,16
	CV% Médio				31,83	24,57	41,04	
Dosador 2	96	83,88	127,25	142,85	38,57	36,94	56,40	43,97
	288	355,08	282,38	318,70	25,84	31,20	45,83	34,29
	496	562,00	545,00	485,45	30,52	13,58	49,12	31,07
	CV% Médio				31,64	27,24	50,45	
Dosador 3	96	135,30	167,28	149,63	48,66	28,12	28,97	35,25
	288	302,95	341,06	336,10	36,98	43,38	26,03	35,46
	496	590,35	521,81	523,80	45,45	44,97	28,59	39,67
	CV% Médio				43,70	38,82	27,86	
Dosador 4	96	102,38	124,00	142,65	44,26	31,44	48,04	41,25
	288	320,50	313,60	306,86	35,46	16,93	36,86	29,75
	496	491,81	531,56	511,45	24,55	14,34	45,46	28,12
	CV% Médio				34,76	20,90	43,45	
Dosador 5	96	139,60	145,38	128,96	49,84	50,79	63,88	54,84
	288	322,78	263,28	400,80	35,64	36,36	29,33	33,78
	496	570,15	570,50	576,55	38,25	41,36	28,64	36,08
	CV% Médio				41,24	42,84	40,62	

* Vazão em Kg ha^{-1}

F1 – Mistura de grânulos 02-20-20

F2 – Mistura granulada 16-16-16

F3 – Mistura farelada 00-15-30

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Em relação ao tipo de fertilizante utilizado, pode-se perceber que os dosadores tem desempenho singular, a cada tipo de material. O dosador 2, que é do tipo sem-fim, com descarga de fertilizante por gravidade, por exemplo, teve os melhores resultados com o produto formulado 02-20-20 (F1), cuja mistura é granular, tendo como CV médio, entre as três vazões, 31,64%, seguido dos dosadores, 1, 4, 5 e 3, cujos CV foram 31,82, 34,75, 41,24 e 42,23 respectivamente.

Já na distribuição do fertilizante 16-16-16 (F2), os dosadores 4, 1 e 2 tiveram seus melhores resultados, sendo que os coeficientes de variação foram 20,90, 24,56 e 29,05%, respectivamente, e com este material, os piores desempenhos foram dos dosadores 3 e 5, cujos CV foram 38,82 e 42,83%.

Com o terceiro material, a mistura farelada 00-15-30 (F3), o dosador 3, que é do tipo sem-fim com descarga lateral de fertilizantes e, o equipamento 5, do tipo disco estrela, obtiveram os melhores resultados, apresentando CV de 27,86 e 40,61%, enquanto os dosadores 1, 4 e 2, tiveram seu pior desempenho, com CV de 41,04, 43,45 e 50,45% respectivamente.

Estes resultados reforçam as afirmações de Silveira (1989), de que o desempenho das máquinas adubadoras é variável em função do tipo de fertilizante empregado.

Camacho-Tamayo et al. (2009), avaliaram quatro dosadores de fertilizantes na distribuição de diferentes produtos, e também concluíram que os dosadores sem-fim com descarga lateral e disco estrela, são melhores para aplicação de produtos com menor granulometria, e que os dosadores sem-fim, possuem um melhor desempenho com produtos de maiores grânulos.

Nas aplicações a lanço, o desempenho dos distribuidores centrífugos também é dependente do tipo de fertilizante. Conforme Hachuy (2008), a capacidade de campo, que é determinada pela aceitação de um CV máximo, é influenciada pelo tipo de material aplicado.

São várias as características dos fertilizantes que influem sobre o desempenho dos distribuidores, tanto superficiais quanto em linhas. Molin et al. (2009), estudaram a segregação física e química de dois produtos aplicados pela mesma máquina, e constataram variações maiores do que 100% da fórmula aplicada.

Segundo Andersson et al. (2001), grande parte das falhas das máquinas adubadoras são provocadas pela desuniformidade dos materiais aplicados. De fato,

segundo Luz et al. (2010), para um fertilizante ser considerado granulado, por exemplo, é exigido que o mesmo tenha 90% de sua massa retida entre as peneiras com malhas de 0,5 e 4 mm, o que permite uma grande variação no tamanho das partículas.

Segundo a ISO 5690/2 (1984), que versa sobre os ensaios de distribuidores de fertilizantes em linhas, as avaliações devem ser realizadas com no mínimo dois produtos, um granulado e outro peletizado, e ainda, é opcional a utilização de um material cujas características físicas sejam distintas e relevantes a sua aplicação.

Isso além de dificultar o projeto das máquinas agrícolas, pela grande variedade de produtos que estas devem ser capazes de aplicar, também dificulta a pesquisa, pois não havendo padronização de um material para testes, não se pode extrapolar os resultados de um trabalho realizado com um determinado fertilizante, para um conjunto de produtos.

Quanto a precisão em função da vazão, foi observado que os dosadores 1, 2 e 4, tiveram as menores variações nas maiores razões de distribuição, concordando com os resultados obtidos por Martins (1999) e Capelli et al. (2000).

Já o dosador 3, obteve uma variação semelhante nas duas menores vazões, tendo um decréscimo no desempenho quando aplicava uma maior quantidade de produto. De forma similar, o dosador 5 teve o menor coeficiente de variação na vazão intermediária, de 288 kg ha^{-1} , sinalizando que para alguns dosadores, como no caso do tipo disco estrela e sem-fim com descarga lateral de fertilizantes, há um limite no aumento da uniformidade de vazão em função da velocidade de acionamento, demonstrando que estudos mais específicos devem ser realizados correlacionando estas variáveis.

Na figura 4.1.1, podem ser visualizados os coeficientes de variação médios de cada dosador, considerando todas as vazões e fertilizantes.

É possível perceber, que todos os dosadores avaliados, tiveram um coeficiente de variação superior a 30%, semelhante aos resultados encontrados por Uliana et al. (2005), que avaliaram dois modelos de mecanismos sem-fim, com descarga de fertilizante por transbordo e gravidade, sendo que os CV médios foram de 25,45 e 58,65% respectivamente.

Para a distribuição longitudinal de fertilizantes, não há um limite considerado aceitável para o coeficiente de variação, no entanto, Molin et al. (2009)

estabeleceram a largura ótima de trabalho, de um distribuidor centrífugo, a maior largura com CV máximo de 15%.

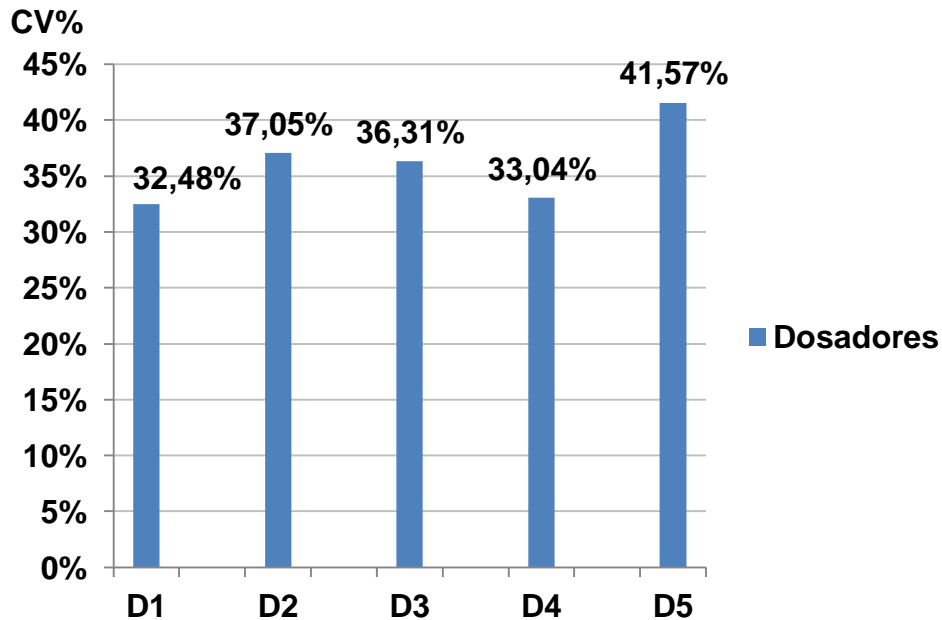


Figura 4.1.1 – Coeficiente de variação médio dos dosadores, na distribuição longitudinal de fertilizantes, com todos fertilizantes e vazões.

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Se comparado este índice qualitativo, para perfil de distribuição transversal de fertilizantes, com a uniformidade da dosagem na linha dos dosadores avaliados neste trabalho, pode-se dizer que os mesmos tiveram mais que o dobro da variação que poderia ser considerada aceitável.

Mandal e Thakur (2010), avaliando um distribuidor de fertilizantes para grandes profundidades, encontraram coeficientes de variação inferiores a 10 %. Werner et al. (2007), utilizando um distribuidor centrífugo para aplicações a taxas variáveis, variando a velocidade de deslocamento, encontraram CV entre 8,78 e 12,48% no perfil de distribuição longitudinal do equipamento, ou seja, até três vezes menos do que os índices obtidos pelos dosadores em linhas.

Foi observado que o dosador 1, do tipo sem-fim e com descarga de fertilizante por transbordo, obteve o melhor resultado, com CV médio de 32,48%, demonstrando que a barreira transversal ao sentido de transporte do fertilizante minimiza o efeito de intermitência de vazão. Ferreira et al.(2010), já haviam

constatado, a superioridade deste modelo, operando em diferentes inclinações longitudinais, quando comparados com dosadores cuja descarga de adubo é por gravidade.

A intermitência de vazão, é um fenômeno que ocorre na distribuição de fertilizantes, e segundo Casão Junior (2006), nos dosadores sem-fim é provocado pelo fato dos mesmos deslocarem a massa de material em pulsos, devido à distância entre as cristas das roscas ou helicoides transportadores.

No entanto, o dosador 4, do tipo rotor acanalado obteve um desempenho superior aos demais dosadores do tipo sem-fim e rotor estrelado, e ligeiramente inferior ao dosador sem-fim com descarga por transbordo, tendo como CV médio 33,04%, como era esperado, inicialmente, pois a distância entre as ranhuras deste mecanismo dosador é inferior ao passo normalmente utilizado nos dosadores sem-fim.

Este tipo de mecanismo dosador, normalmente, utilizado para dosagem de sementes miúdas em semeadoras de fluxo contínuo, já foi apontado por diversos autores como um dos melhores modelos de dosadores de fertilizantes.

Portella et al. (1998), estudando seis semeadoras-adubadoras de trigo e soja, concluíram que os melhores dosadores de fertilizantes eram do tipo sem-fim e rotor acanalado.

Menegatti (2004), que desenvolveu um sistema de dosagem de fertilizantes, para agricultura de precisão, através de uma metodologia de projeto que visa o atendimento das necessidades dos agricultores, optou pelo princípio de solução dos mecanismos dosadores de rotor acanalado, que segundo o autor, além de preciso, tem resposta linear da vazão em função da velocidade de acionamento, requisito importante para o propósito do equipamento.

Da mesma forma, Brandt (2010) desenvolveu o projeto conceitual de um dosador de fertilizantes granulados, e também, optou pelo sistema de dosagem do tipo rotor acanalado, sobre o qual o autor ressalta a precisão e a facilidade de manutenção e limpeza, além da ausência de patentes vigentes sobre o sistema, o que permite sua utilização e alteração com intuítos comerciais.

O terceiro melhor desempenho, foi do dosador 3, do tipo sem-fim com descarga de fertilizante lateral, com CV médio de 36,31%, ligeiramente inferior ao do dosador 2, cujo CV foi de 37,05%.

Estes dosadores, são representantes de uma parcela significativa dos modelos encontrados no mercado de semeadoras-adubadoras, porém, seu resultado foi inferior ao do dosador 4, que segundo Leindecker et al. (2011), são encontrados em apenas 4,11% das máquinas para semeadura.

Em relação ao desempenho do dosador 5, disco estrelado, esperava-se que o mesmo tivesse um desempenho semelhante ao rotor acanalado, pois, a distância entre os dentes transportadores, também é inferior ao passo dos helicóides dos dosadores sem-fim, toda via, este modelo teve o CV médio de 41,57%, o mais alto de todos.

Portella (1997), descreve este dosador como um modelo simples e robusto, que são características desejáveis a estes equipamentos. Oliveira et al. (2000), avaliaram uma semeadora-adubadora que utilizava dosador de fertilizantes do tipo disco estrela, e encontraram um CV na distribuição transversal (entre as linhas) inferior a 3%, um bom resultado para este parâmetro.

Foi possível observar, que o material de construção do mecanismo de dosagem tem influência sobre os resultados, pois, durante a realização dos experimentos, pode-se perceber um excesso de folgas no sistema. O modelo disco estrela é o único construído através de fundição, processo pelo qual não se conseguem os mesmos ajustes permitidos pelo processo de injeção, de derivados de polietileno, material utilizado nos outros dosadores.

Segundo Casão Junior et al. (2009b), estes mecanismos foram amplamente utilizados até a década de 90. Sua concepção contemporânea é similar a de duas décadas atrás, podendo o equipamento ser aprimorado utilizando recursos atuais, melhorando o desempenho do mecanismo dosador.

Concluindo, pode-se denominar o desempenho dos dosadores como insatisfatório, pois, em relação à distribuição longitudinal de fertilizantes, seus resultados foram inferiores aos de distribuidores centrífugos encontrados na literatura, que estão sujeitos a mais variáveis, como ação do vento e da força centrífuga sobre os grânulos de diferentes massas. E ainda, segundo Barnes e Fortune (2004), CV superior a 15 %, já representam prejuízos econômicos, em virtude de seu efeito na produção do empreendimento agrícola.

4.2 Uniformidade de vazão em função de inclinações longitudinais

Os resultados, demonstram que houve interação significativa, entre as inclinações longitudinais e a vazão dos mecanismos dosadores avaliados, ou seja, a dosagem de fertilizantes é influenciada pelo nivelamento da semeadora-adubadora.

Na Tabela 4.2.1, pode ser visualizada, a análise estatística dos resultados, obtidos com o fertilizante 02-20-20, classificado como mistura de grânulos.

Tabela 4.2.1 – Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função de inclinações longitudinais, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20.

Vazão* 10 gs ⁻¹						
Posição	D1	D2	D3	D4	D5	Média
-11°	273,25cC**	262,25 dC	287,25 bC	286,75 bB	356,75 aA	293,25 C
Nível	303,25 abB	296,50 bB	308,25 aB	306,25 abA	296,50 bB	302,15 B
11°	328,50 cA	371,25 aA	349,00 bA	304,25 dA	301,50 dB	330,90 A
Média	301,66 c	310,00 b	314,83 ab	299,08 c	318,25 a	
Vazão 30* gs ⁻¹						
-11°	825,75 cC	819,75 cC	868,00 bC	868,50 bC	1019,50 aA	880.30 C
Nível	908,00 aB	892,75 bcB	913,75 cB	888,75 cB	907,75 abB	902.20 B
11°	971,00 cA	1021,75 aA	990,00 bA	931,00dA	846,75 eC	952.10 A
Média	901,58 c	911,41 b	923,91 a	896,083 c	924,66 a	
Vazão 50* gs ⁻¹						
-11°	1406,75 cC	1355,50 dC	1446,25 bC	1465,00 bC	1709,25 aA	1476,55 A
Nível	1535,50 aB	1501,00 bB	1508,25abB	1495,50 bB	1517,25abB	1511,50 B
11°	1621,00 aA	1645,00 aA	1629,75 aA	1569,00 bA	1450,75 cC	1583,10 C
Média	1521,08 bc	1500,50 d	1528,08 b	1509.83 cd	1559,08 a	

*Coletada por 30 segundos.

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey com 5 % de probabilidade de erro.

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Na vazão de 10 gs⁻¹, quando inclinados a -11° (posição que simula movimento descendente da semeadora-adubadora), o dosador 5 teve sua quantidade de

fertilizante distribuída aumentada, enquanto os demais tiveram suas razões de distribuição reduzidas, sendo que as menores variações foram dos dosadores 4 e 3. Já quando inclinados a 11° (movimento ascendente da semeadora-adubadora), os dosadores 4 e 5 não tiveram sua vazão alterada, porém os outros obtiveram um aumento significativo, sendo que as maiores variações foram do dosador 2, seguido pelos dosadores 1 e 3 que não diferiram estatisticamente entre si.

Na vazão intermediária, nas duas inclinações, houve alteração da vazão dos mecanismos dosadores. Os equipamentos 1, 2, 3 e 4, tiveram redução na inclinação de -11° e aumento da razão de distribuição na inclinação de 11° , ao contrário do dosador 5, que teve sua maior vazão na inclinação negativa, condição em que os dosadores que mantiveram sua vazão mais próxima da obtida com os equipamentos em nível, foram os modelos 3 e 4, enquanto na inclinação positiva a menor alteração foi do dosador 4.

Na distribuição de 50 gs^{-1} , repetiu-se o panorama da vazão anterior, ou seja, os dosadores 1, 2, 3 e 4 tiveram aumento de vazão na inclinação positiva e redução na posição de -11° . Também, como no caso anterior, na inclinação negativa os melhores resultados foram dos dosadores 3 e 4, e na inclinação positiva, o dosador 5 obteve o melhor desempenho, seguido pelo dosador 4.

Quando observadas às médias das inclinações, é possível confirmar a tendência de aumento da vazão dos equipamentos com os mesmos operando na inclinação positiva, e redução quando posicionados a -11° , sendo que as maiores alterações são provocadas pela inclinação de 11° , com exceção do dosador 5, que não foi influenciado significativamente pela posição de 11° .

Segundo Statham (1969), que avaliou quatro mecanismos dosadores de fertilizantes, em função de diferentes inclinações, uma das alternativas para minimizar os efeitos desta variação, no rendimento das culturas, é regular a semeadora-adubadora em um terreno correspondente a suas condições de nivelamento, e ainda, verificar a calibração dos mecanismos dosadores no mínimo, uma vez ao dia.

Quanto às médias dos dosadores, foi observado que as variações são homogêneas, pois, há aumento e redução da mesma com valor similar, de forma que quando observada a média, esta parece não ter sofrido alterações, em relação à vazão obtida em nível.

Grande parte das áreas, onde são cultivadas lavouras, são formadas por coxilhas, tipo de relevo que possui um formato convexo, cujas extensões ascendente e descendente são similares, permitindo que exista uma compensação da taxa de aplicação, como observado, menor quando o movimento é em declive e maior quando é em auge, mascarando a desuniformidade de distribuição de fertilizantes das semeadoras-adubadoras, fazendo com que os produtores não percebam a magnitude do problema.

Se observadas apenas às médias dos dosadores, seria cabível dizer que o dosador 1 teve os mesmos resultados que o dosador 4, no entanto, este último de fato teve as menores variações na três vazões, enquanto o dosador 1, teve sua vazão alterada de forma homogênea, nas duas inclinações.

No entanto, este parâmetro permite observar qual inclinação exerce maior influência sobre a vazão de cada mecanismo dosador. Na primeira vazão, para o dosador 1, as duas inclinações tem o mesmo efeito, já para os dosadores 2 e 3, a inclinação positiva tende a elevar com maior significância a média de fertilizante aplicado, enquanto para os dosadores 4 e 5 a inclinação negativa é mais influente, reduzindo e aumentando respectivamente suas vazões.

Na vazão intermediária, o efeito das inclinações é homogêneo para os dosadores 1 e 4, e o comportamento dos demais é semelhante a vazão anterior. Na razão de 50 gs^{-1} , diferentemente das outras, os equipamentos 2 e 4 foram uniformes em suas alterações, enquanto o dosador 1 teve sua quantidade de fertilizante distribuída aumentada de forma mais significativa pela inclinação de 11° .

Na Tabela 4.2.2, podem ser visualizados os resultados encontrados com o fertilizante 16-16-16, do tipo mistura granulada.

Quando utilizado este fertilizante, na menor vazão, os resultados foram semelhantes aos encontrados utilizando a mistura de grânulos 02-20-20. A inclinação negativa reduziu a taxa de aplicação dos dosadores 1, 2, 3 e 4, e aumentou a do dosador 5, sendo que o inverso foi observado na inclinação positiva. Na posição -11° a menor variação foi do equipamento 4, na posição positiva, a menor alteração na vazão foi do dosador 5, como no experimento anterior, demonstrando que o mesmo não é afetado significativamente pela inclinação de 11° .

Nas vazões de 30 e 50 gs^{-1} , da mesma forma que na anterior, o dosador cuja vazão foi mais próxima da obtida com os equipamentos em nível, na inclinação -11° , foi o dosador 4, e na posição 11° foi o dosador 5.

No entanto, com a mistura farelada 00-15-30 (tabela 4.2.3), pode ser observado um comportamento diferenciado dos equipamentos. Nas três vazões avaliadas, as menores variações na inclinação negativa foram do dosador 3, e na inclinação positiva do dosador 5, enquanto os demais tiveram seus piores resultados.

Tabela 4.2.2 – Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função de inclinações longitudinais, nas três vazões com o fertilizante mistura granulada 16-16-16.

Vazão* 10 gs⁻¹						
Posição	D1	D2	D3	D4	D5	Média
-11°	264,25cC**	250,25 dC	267,75 cC	288,75 bB	367,50 aA	287,70 C
Nível	300,25 aB	297,50 aB	299,75 aB	296,75 aB	300,75 aB	299,00 B
11°	343,25 cA	429,50 aA	330,50 cA	356,50 cA	299,00 dB	351,75 A
Média	302,58 c	325,75 a	299,33 c	314,00 b	322,41 a	
Vazão* 30 gs⁻¹						
-11°	797,00 cC	788,75 cC	796,50 cC	864,50 bC	1076,50 aA	864,65 C
Nível	899,00 aB	904,25 aB	902,00 aB	900,25 aB	900,00 aB	901,10 B
11°	1003,00 bA	1093,50 aA	984,75 cA	1012,25 cA	889,75 bA	996,65 A
Média	899,66 c	928,83 b	894,41 c	925,66 b	955,41 a	
Vazão* 50 gs⁻¹						
-11°	1344,00 cC	1342,50 cC	1327,25 cC	1446,25 bC	1847,00 aA	1461,40 C
Nível	1498,75 aB	1503,50 aB	1496,00 aB	1502,00 aB	1510,25 aC	1502,10 B
11°	1675,00 bA	1743,00 aA	1622,00 cA	1686,00 bA	1534,50 dB	1652,90 A
Média	1507,25 d	1529,66 c	1481,75 e	1544,75 b	1630,58 a	

**Coletada por 30 segundos.

*Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey com 5 % de probabilidade de erro.

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Estes dados, ratificam os resultados apresentados no item 4.1, onde estes mesmos mecanismos dosadores obtiveram um desempenho superior com este fertilizante, quando comparados consigo mesmo utilizando outros materiais e com os demais modelos avaliados, operando com material de menor granulometria.

De forma geral, com exceção do dosador 5, do tipo disco estrela, os demais equipamentos avaliados tiveram sua vazão reduzida pela inclinação de -11° , da mesma forma que a posição de 11° aumentou a quantidade de fertilizantes distribuída pelos mesmos, corroborando os resultados de Ferreira et al. (2010), que avaliaram mecanismos distribuidores sem-fim, com descarga de fertilizantes por transbordo e por gravidade chegando as mesmas conclusões.

Tabela 4.2.3 – Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função das inclinações longitudinais, nas três vazões com o fertilizante mistura farelada 00-15-30.

Vazão* 10 gs⁻¹						
Posição	D1	D2	D3	D4	D5	Média
-11°	261,50 cC**	156,25 eC	280,75 bC	215,00 dC	321,75 aA	247,05 C
Nível	306,50 aB	302,00 aB	301,75 bA	302,00 aB	301,00 aB	302,65 B
11°	348,75 bA	352,25 bA	327,00 cA	563,75 aA	287,25 dC	375,80 A
Média	305,58 b	270,16 c	303,16 b	360,25 a	303,33 b	
Vazão* 30 gs⁻¹						
-11°	786,50 dC	709,25 eC	844,00 bC	818,25 cC	981,25 aA	827,85 C
Nível	902,50 aB	903,25 aB	898,75 aB	903,50 aB	897,00 aB	901,00 B
11°	1014,50 cA	1530,25 aA	970,75 dA	1205,00 bA	877,00 eC	1119,50 A
Média	901,16 d	1047,58 a	904,50 d	975,58 b	918,41 c	
Vazão* 50 gs⁻¹						
-11°	1324,00 cC	1293,00 dC	1408,25 bC	1412,00 bC	1670,75 aA	1421,60 C
Nível	1506,25 aB	1504,50 aB	1501,25 aB	1492,50 aB	1508,25 aB	1502,55 B
11°	1670,25 cA	2103,75 aA	1642,00 dA	1883,50 bA	1469,50 eC	1753,80 A
Média	1500,16 e	1633,75 a	1517,16 d	1596,00 b	1549,50 c	

*Coletada por 30 segundos.

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey a 5 %

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Este fato, é devido ao movimento do elemento transportador de fertilizantes, que no caso dos dosadores sem-fim, é de rotação axial ao tubo de descarga, ou seja, no sentido longitudinal de deslocamento da semeadora-adubadora, e considerando que o bocal dos mesmos é posicionado de forma inversa ao da

máquina, quando está subindo, os dosadores tem seu movimento favorecido pela inclinação, ocorrendo o inverso quando o deslocamento é de descida.

Isso é evidenciado pelos resultados dos três mecanismos, com este sistema de dosagem, pois, os dosadores 1 e 3, que possuem uma barreira transversal e lateral para regulação do fluxo de fertilizantes, em todas as situações tiveram variações menores que o dosador 2, cuja descarga é realizada apenas por gravidade.

Este fenômeno, também, ocorre com o dosador 4, do tipo rotor acanalado, no entanto, de forma menos intensa, sendo que nas menores rotações a inclinação positiva não altera a vazão deste modelo.

Com o dosador 5, que segundo Portella (1997), a dosagem de fertilizante é realizada pelo movimento de translação de um disco com aletas segmentadas em forma de estrela, que transporta o material para um bocal posicionado no mesmo sentido do deslocamento da máquina, fazendo com que sua vazão seja aumentada quando está descendo, sem no entanto, ser influenciada pelo direcionamento em aclone.

Também foi possível comprovar, que o sistema de regulação de fluxo do dosador 3 é mais eficiente que o do dosador 1, e quando comparados seus próprios resultados, percebe-se que a inclinação negativa é neutralizada de forma mais significativa em relação a positiva.

Na figura 4.2.1, são apresentados os coeficientes de variação dos mecanismos dosadores de fertilizante, que demonstram a uniformidade da vazão dos mesmos, nas diferentes condições em que foram realizados os experimentos.

Em relação à vazão, foi comprovado que os mecanismos dosadores, são menos influenciados pelas inclinações, quando operam distribuindo maiores quantidades de fertilizantes, independentemente do material utilizado.

Martins (1999), estudando adaptações a um mecanismo dosador sem-fim constatou uma redução na amplitude de fertilizante aplicado quando os equipamentos eram acionados em maiores rotações, evidências também comprovadas por Ferreira et al. (2007), que avaliando dois modelos de equipamentos sem-fins, com dois passos de roscas, concluíram que quanto maior a vazão e menor o passo, menores são as variações. Guler (2010), que avaliou um sistema de dosagem de fertilizantes pneumático, também observou que seu desempenho é melhor nas maiores vazões.

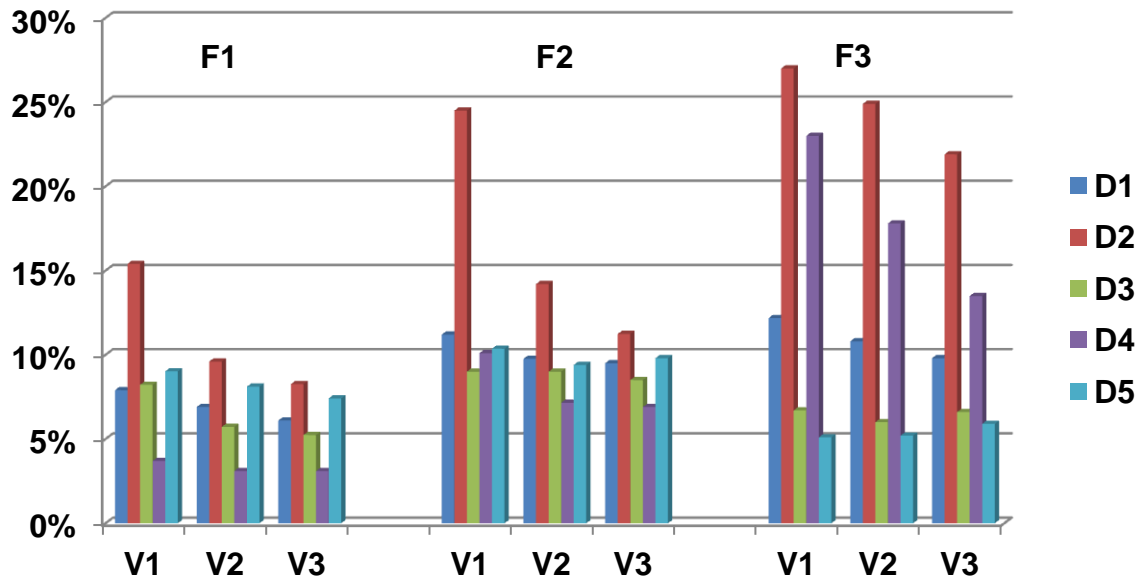


Figura 4.2.1 – Coeficiente de variação dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações longitudinais.

F1 – Mistura de grânulos 02-20-20

V1 – 10 gs^{-1}

F2 – Mistura granulada 16-16-16

V2 – 20 gs^{-1}

F3 – Mistura farelada 00-15-30

V3 – 30 gs^{-1}

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Assim sendo, é observado, que aos efeitos das inclinações são dependentes do tempo de entrega de fertilizante dos elementos transportadores. Em outras palavras, nenhum dos equipamentos realiza a dosagem de forma contínua, no entanto, quando esta é realizada em maiores rotações ou com menores passos de rosca, reduzindo o intervalo entre as descargas de fertilizante, há uma maior uniformidade de vazão.

Quanto ao tipo de fertilizante utilizado, a exemplo do comprovado no item 4.1, existem modelos de dosadores mais adaptados a distribuição de determinados tipos de materiais.

Da mesma forma que na distribuição longitudinal, os dosadores 3 e 5, do tipo sem-fim com descarga lateral de fertilizantes e disco estrelado, obtiveram as menores variações, utilizando a mistura farelada 00-15-30, mostrando sua

superioridade com materiais de menor granulometria, corroborando os resultados encontrados por Camacho-Tamayo et al. (2009).

Já os dosadores 1, 2, e 4, que na distribuição longitudinal tiveram um melhor desempenho com a mistura granulada 16-16-16, em função das inclinações longitudinais mantiveram sua vazão mais próxima da obtida em nível quando operando com o fertilizante 02-20-20.

Segundo Milan e Gadanha Junior (1996), o ângulo de repouso, é o parâmetro que permite comparar a escoabilidade dos fertilizantes, sendo que quanto maior, menor é a facilidade de escoamento deste material, e quando é superior a 40° pode influenciar negativamente sua distribuição pelas adubadoras.

O ângulo de repouso, da mistura de grânulos, é superior ao da mistura granulada, o que possibilitou uma maior resistência ao deslocamento de fertilizante, nas posições de -11° e 11° . Na vazão de 30 gs^{-1} , por exemplo, a média das inclinações -11° e 11° , com o formulado 02-20-20, foram de 880,3g e 952,10g respectivamente, enquanto que com o adubo 16-16-16 as variações foram, sensivelmente maiores, sendo 864,65g, na inclinação negativa, e 996,65g na positiva.

Com estes dois fertilizantes, as menores variações foram do dosador 4, seguido pelos dosadores 3, 1, 5 e 2, respectivamente.

Na figura 4.2.2, podem ser visualizados os coeficientes de variação médios de cada dosador, considerando todas as vazões e fertilizantes.

Na média de todos os experimentos, o menor coeficiente de variação verificado foi 7%, do dosador 3, do tipo sem-fim com descarga lateral de fertilizantes. É importante ressaltar que este mecanismo manteve seu CV% inferior a 10% com todos os materiais, em todas as vazões.

Este tipo de equipamento, possui uma abertura lateral em sua carcaça, pela qual, após transbordar sobre uma barreira, o fertilizante é conduzido ao tubo de descarga. Este sistema de regulação de fluxo mostrou-se mais eficiente que o dosador 1, que obteve o terceiro menor CV, 9%, cuja barragem é transversal ao bocal de saída do produto.

Em função das inclinações longitudinais, aconteceu o inverso do observado na distribuição longitudinal de fertilizantes, onde a barreira transversal proporcionou ao dosador 1, uma menor variação quando comparado ao equipamento 3, com descarga lateral, mostrando que a equalização da dosagem, quando nivelado

(distribuição longitudinal), é realizada de forma mais significativa, do que quando operando em diferentes inclinações.

O segundo melhor desempenho, foi do dosador 5, do tipo disco estrela, que não foi afetado de forma significativa pela inclinação de 11°, e mesmo só obtendo resultados melhores que os demais com a mistura farelada 00-15-30, na média de todos os experimentos teve um CV% de 8%.

O dosador 4, do tipo rotor acanalado, que obteve os menores coeficientes de variação com os fertilizantes granulados, sempre inferiores a 10%, pelo péssimo desempenho com a mistura farelada 00-15-13, onde chegou a um CV de 23% na menor vazão, ficou com o quarto melhor resultado, com CV de 12%.

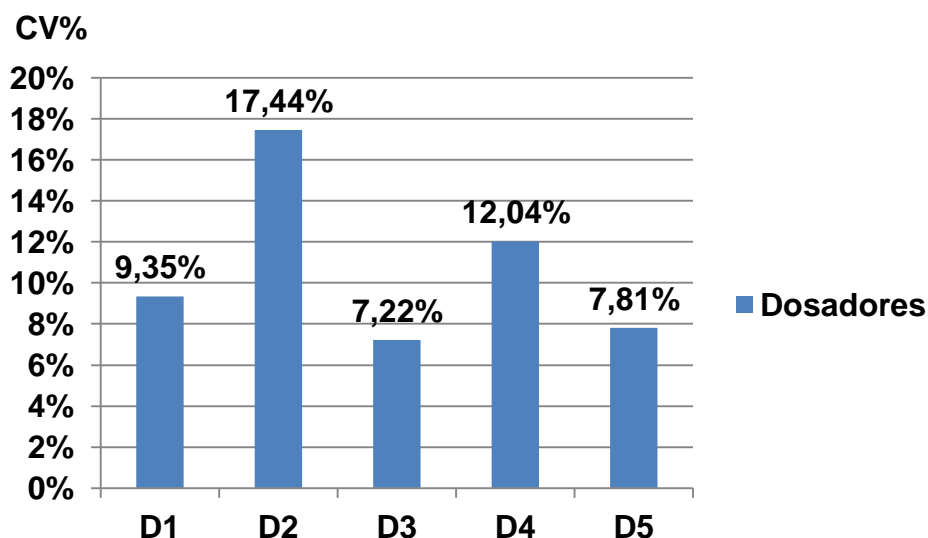


Figura 4.2.2 – Coeficiente de variação médio dos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações longitudinais, com os três fertilizantes e vazões.

- D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal
- D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade
- D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral
- D4 – Dosador rotor acanalado
- D5 – Dosador disco estrela

Os piores resultados, foram do dosador 2, que é do tipo sem-fim com descarga de fertilizantes por gravidade, seu CV médio foi de 17%, ratificando a eficiência dos reguladores de fluxo dos dosadores 1 e 3, pois, em sua concepção, os projetos dos mecanismos são semelhantes e utilizam o mesmo passo de rosca, o que portanto, permite afirmar que as barreiras que fazem que o material seja

deslocado somente, após, transbordá-las, reduzem em até 10%, a variação da dose aplicada, em função de inclinações longitudinais.

Segundo Barnes e Fortune (2004), coeficientes de variação de até 15% não representam prejuízos econômicos significantes, no entanto, quando maiores que 15%, começam a reduzir a lucratividade do empreendimento, sendo que quando este parâmetro é superior a 20%, podem ser ocasionadas perdas econômicas pela redução da produtividade.

Em síntese, destaca-se o bom desempenho dos dosadores de uma forma geral, pois na média, três dos cinco dosadores mantiveram seu coeficiente de variação inferior a 10%, e ainda, o dosador 4 teve seu CV médio alto devido ao mal desempenho com o fertilizante farelado, no entanto, com os demais materiais utilizados, teve os melhores desempenhos.

Da mesma forma que na distribuição longitudinal, foi verificado um bom desempenho dos dosadores sem sistema para regulação de fluxo, os rotores acanalado e disco estrela, no entanto, estes mecanismos estão cada vez menos presentes nas máquinas agrícolas.

Segundo Leindecker et al. (2011), enquanto quase 90% dos modelos de semeadoras-adubadoras utilizam os dosadores sem-fim, apenas 4,11 e 1,03% utilizam os modelos de cilindro acanalado e disco estrelado, respectivamente, no entanto, como evidenciado neste trabalho, estes espécimes apresentam bons resultados, na distribuição longitudinal e em função de inclinações longitudinais, sendo que poderiam ser utilizados em projetos atuais de máquinas para semeadura, com possibilidade de redução de custos e melhoria da precisão, resultando em um produto de maior qualidade ao produtor rural.

4.3 Uniformidade de vazão em função de inclinações transversais

Os resultados demonstram que houve diferença significativa entre a vazão observada quando os equipamentos estavam no nível, e quando os mesmos foram submetidos a inclinações transversais.

Quando os equipamentos trabalharam, com a mistura de grânulos 02-20-20 (tabela 4.3.1), na vazão de 10 gs^{-1} , os dosadores 1, 2 e 4 não tiveram alterações

significativas, enquanto os modelos 3 e 5 foram influenciados, quando inclinados para a esquerda e direita, tendo um aumento em sua vazão, em ambas posições.

Na vazão intermediária, da mesma forma que na anterior, o dosador 3 teve sua vazão alterada pelas inclinações transversais, e o dosador 5, teve sua vazão aumentada, quando inclinado a direita. Os dosadores 1 e 2, tiveram suas vazões aumentada e reduzida, respectivamente, pela posição de 11° a direita.

Na maior vazão, apenas os dosadores 3 e 5, tiveram a quantidade de fertilizante dosada aumentada, quando inclinados para direita e esquerda.

Ambos os equipamentos, possuem a ligação com o tubo de descarga, em uma das extremidades de sua carcaça, sendo o dosador 3 para a esquerda e o dosador 5 para direita, justamente, os lados em que suas vazões são aumentadas com maior significância, pois, há uma maior influência da massa de fertilizante atuando sobre o elemento transportador, facilitando um aumento da dosagem.

Statham (1969), também observou uma maior influência das inclinações nos modelos de mecanismos dosadores cuja saída de fertilizantes não era centralizada, ou em 2 bocais.

Na aplicação da mistura granulada 16-16-16, cujos dados são apresentados na tabela 4.3.2, também houveram alterações nas razões de distribuição dos mecanismos dosadores em função das inclinações transversais.

Na menor vazão, por exemplo, na média dos cinco dosadores não houve diferença significativa entre as inclinações, no entanto, observou-se uma pequena variação, na quantidade de fertilizante distribuída dos dosadores, sendo que o dosador 4 teve redução em ambas posições, o equipamento 1 teve aumento na inclinação para esquerda e os dosadores 3 e 5, foram influenciados pela inclinação para direita, elevando e diminuindo respectivamente suas vazões.

Quando estavam aplicando 30 gs^{-1} deste material, todos os equipamentos tiveram variações de vazão quando comparadas suas médias em nível com as inclinadas. O dosador 1, como no caso anterior, teve sua vazão aumentada na inclinação para a esquerda, mesmo efeito causado pela inclinação direita sobre os dosadores 2 e 5, o equipamento 3 reduziu a quantidade de fertilizante aplicado quando inclinado para direita, e o modelo 4 teve sua razão de distribuição reduzida pelas duas posições.

Tabela 4.3.1 - Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função das inclinações transversais, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20.

Vazão* 10 gs⁻¹						
Posição	D1	D2	D3	D4	D5	Média
Esquerda	304,75 bA**	298,25 bcA	318,75 aA	293,75 cB	320,75 aB	307,25A
Nível	303,25 abA	296,50 bA	308,25 aB	306,25 abA	296,5 bC	302,15B
Direita	297,00 cA	293,75 cA	310,25bAB	304,50 bcA	341,25 aA	309,35A
Média	301,66 c	296,16 c	312,41 b	301,50 c	319,50 a	
Vazão* 30 gs⁻¹						
Esquerda	896,75bcAB	897,50bcAB	948,25 aA	883,25 cA	904,00 bB	905,90B
Nível	908,00 abA	892,75 bcB	913,75 aB	888,75 cA	907,75 abB	902,20B
Direita	890,00 dB	910,50 cA	944,75 bA	897,75 cdA	970,50 aA	922,70A
Média	898,25 b	900,25 b	935,58 a	889,91 b	927,41 a	
Vazão* 50 gs⁻¹						
Esquerda	1517,75cA	1490,50 dA	1572,75 bA	1495,75cdA	1598,50 aA	1535,0A
Nível	1515,50 aA	1501,00 bA	1508,25 bC	1495,50 bA	1517,25abB	1511,5B
Direita	1510,75 cA	1495,00 cA	1543,00 bB	1503,00 cA	1609,00 aA	1532,1A
Média	1513,70c	1495,50 d	1541,33 b	1498,08 d	1574,91 a	

* Coletada por 30 segundos.

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey com 5 % de probabilidade de erro

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Na terceira vazão, os resultados dos dosadores 1, 2 e 4 foram semelhantes ao experimento anterior, no entanto, o dosador 5 teve sua dosagem aumentada em ambas posições e, o dosador 3 aumentou a quantidade de fertilizante dosada quando inclinado para esquerda e reduziu quando posicionado à direita.

Na tabela 4.3.3, são apresentados os resultados dos experimentos realizados com a mistura farelada 00-15-30.

Na menor vazão, os dosadores 1 e 4, não apresentaram variações significativas, os dosadores 2 e 3, tiveram sua vazão aumentada pela inclinação para a esquerda e, o dosador 5 aumentou a razão de distribuição nas duas posições, em relação a dosagem quando nivelado.

Tabela 4.3.2 - Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função das inclinações transversais, nas três vazões, com o fertilizante mistura de grânulos 16-16-16.

Vazão* 10 gs⁻¹						
Posição	D1	D2	D3	D4	D5	Média
Esquerda	309,25 aA*	294,25 bcA	304,25 aA	287,25 cB	296,25 bB	298,25 A
Nível	300,25 aB	297,50 aA	299,75 aA	296,75 aA	300,75 aB	299,00 A
Direita	302,00 bB	296,50 bcA	288,00 dB	289,00 cdB	323,00 aA	299,70 A
Média	303,83 a	296,08 b	297,33 b	291,00 c	306,66 a	
Vazão* 30 gs⁻¹						
Esquerda	914,00 aA	887,75 cB	906,75 abA	869,50 dB	898,75 bcB	895,35 B
Nível	899,00 aB	904,20 aB	902,00 aA	900,25 aA	900,00 aB	901,10 A
Direita	895,00 cB	914,50 bA	860,25 dB	860,50 dB	958,00 aA	897,65 AB
Média	902,66 b	902,16 b	889,66 c	876,75 d	918,91 a	
Vazão* 50 gs⁻¹						
Esquerda	1525,50bcA	1503,00 cB	1531,75 bA	1469,75 dB	1561,75 aB	1518,35 A
Nível	1498,75 aB	1503,50 aB	1496,00 aB	1502,00 aA	1510,25 aC	1502,10 B
Direita	1504,00 bB	1525,75 bA	1418,25 dC	1442,75 cC	1587,75 aA	1495,70 B
Média	1509,41 b	1510,75 b	1482,00 c	1471,50 c	1553,25 a	

*Coletada por 30 segundos

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey com 5 % de probabilidade de erro

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Quando distribuindo 30 gs⁻¹, todos os dosadores tiveram variações de vazão em função das inclinações transversais. Os dosadores 1 e 2, obtiveram redução nas duas posições inclinadas, o equipamento 3, aumentou a quantidade de fertilizante distribuída quando posicionado a esquerda, e reduzida quando operando a 11° para a direita. O modelo 4, teve um aumento significativo quando inclinado para esquerda, porém, obteve as menores variações em ambas posições. Já o dosador 5, que teve sua vazão aumentada nas duas inclinações, teve as maiores variações, nos dois casos.

Na vazão de 50 gs⁻¹, os dosadores 1 e 2 não foram influenciados significativamente pelas inclinações. O dosador 3, como nas demais vazões, aumentou e reduziu a quantidade de fertilizante distribuído, quando inclinado para a

esquerda e direita, respectivamente. Os dosadores 4 e 5 tiveram aumento de vazão nas duas inclinações, no entanto, as maiores variações foram do equipamento 5.

Tabela 4.3.3 - Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função de inclinações transversais, nas três vazões com o fertilizante mistura farelada 00-15-30.

Vazão* 10 gs⁻¹						
Posição	D1	D2	D3	D4	D5	Média
Esquerda	295,00 cA	314,25 bA	308,75 bcA	307,75 bcA	346,75 aA	314,50 A
Nível	306,50 aA	302,00 aB	301,75aAB	302,00 aA	301,00 aB	302,65 B
Direita	298,75 bA	307,25bAB	295,25 bB	306,50 bA	352,75 aA	312,10 A
Média	300,08 b	307,83 b	301,97 b	305,41 b	333,50 a	
Vazão* 30 gs⁻¹						
Esquerda	887,50 dB	887,50 dB	924,75 bA	927,75 bA	960,00 aB	922,05 A
Nível	902,50 aA	902,50 aA	898,75 aB	903,50 aB	897,00 aC	901,00 C
Direita	886,75 cdB	886,75 cdB	881,00 dC	899,25 bcB	1010,00 aA	916,05 B
Média	892,25 d	905,58 bc	901,50 c	910,16 b	955,66 a	
Vazão* 50 gs⁻¹						
Esquerda	1490,75 dA	1495,75 dA	1533,75 cA	1569,00 bA	1624,50 aB	1542,75 A
Nível	1506,25 aA	1504,50 aA	1501,20 aB	1492,50aC	1508,25aC	1502,50 B
Direita	1490,00 dA	1511,00 cA	1469,00 eC	1547,25 bB	1680,25 aA	1539,50 A
Média	1495,66 c	1503,75 c	1501,33 c	1536,25 b	1604,33 a	

*Coletada por 30 segundos.

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey a 5 %.

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

De uma forma geral, o desempenho de todos os dosadores foram influenciados pelas inclinações transversais. O dosador 1, do tipo sem-fim com descarga por transbordo, quando distribuindo a mistura de grânulos 02-20-20 e a mistura farelada 00-15-30, somente teve sua vazão alterada de forma significativa, na vazão de 30 gs⁻¹, sendo que esta foi reduzida, pelas duas inclinações. Já com a mistura granulada 16-16-16, nas três vazões o mecanismo dosador teve sua vazão elevada, quando submetido a posição de 11° a esquerda.

O dosador 2, do tipo sem-fim com descarga de fertilizante por gravidade, na distribuição da mistura de grânulos 02-20-20 e mistura granulada 16-16-16, teve sua

vazão aumentada, quando inclinado para a direita, na vazão de 30 gs^{-1} com o dois produtos, e também, na maior razão de distribuição, quando operando com o segundo material.

O dosador 3, cujo elemento transportador é sem-fim, e a descarga de fertilizante é lateral, teve sua vazão alterada, em todas as vazões, com os três fertilizantes. Com a mistura de grânulos 02-20-20, houve um aumento de sua vazão, em ambas inclinações. Já, com a mistura granulada 16-16-16 e a mistura farelada 00-15-30, foi observada a tendência de aumento da razão de distribuição quando inclinado para esquerda, e redução quando operando a 11° para a direita.

Os dosadores 1 e 3, possuem um sistema de regulação de fluxo, onde o fertilizante é eliminado por transbordo. No dosador 1, esta barragem é transversal, e no caso do dosador 3 é lateral ao sentido de transporte do fertilizante. Em relação as inclinações transversais, foi observado o inverso do verificado nas inclinações longitudinais, o sistema de equalização de dosagem do dosador 1, foi superior a do equipamento 3. O fato da descarga de fertilizante ser lateral, fez com que na maioria das vezes, a dosagem fosse inferior a obtida em nível, quando o equipamento foi submetido a inclinações para direita, e quando posicionado inclinado para esquerda, a dosagem teve uma elevação significativa, em relação a posição nivelada.

O dosador 4, do tipo cilindro acanalado, com a mistura granulada 16-16-16, teve sua vazão reduzida quando inclinado para direita e para esquerda, nas três vazões, já com a mistura de grânulos 02-20-20 sua distribuição somente foi alterada na menor vazão, sendo diminuída, quando o equipamento foi inclinado para esquerda. Com a mistura farelada 00-15-30, a quantidade de fertilizante aplicada por este mecanismo dosador, foi superior quando inclinado para esquerda e para direita, em relação a média obtida em nível, em todas as vazões.

O dosador 5, disco estrelado, foi o equipamento cujos efeitos das inclinações transversais foram mais significativos, pois em todos os experimentos, apresentou as maiores variações na vazão. A influência de ambas as inclinações é de aumentar a vazão do dosador, sendo que esta elevação é maior quando a posição é de 11° a direita. Isso é devido ao bocal de descarga de fertilizantes deste equipamento ser localizado no lado direito do reservatório, fazendo com que a massa de fertilizantes, quando inclinada para direita, aumente a capacidade de vazão deste dosador, de forma mais significativa.

Na figura 4.3.1, são apresentados os coeficientes de variação médios dos mecanismos dosadores, em todas as vazões, com os três fertilizantes.

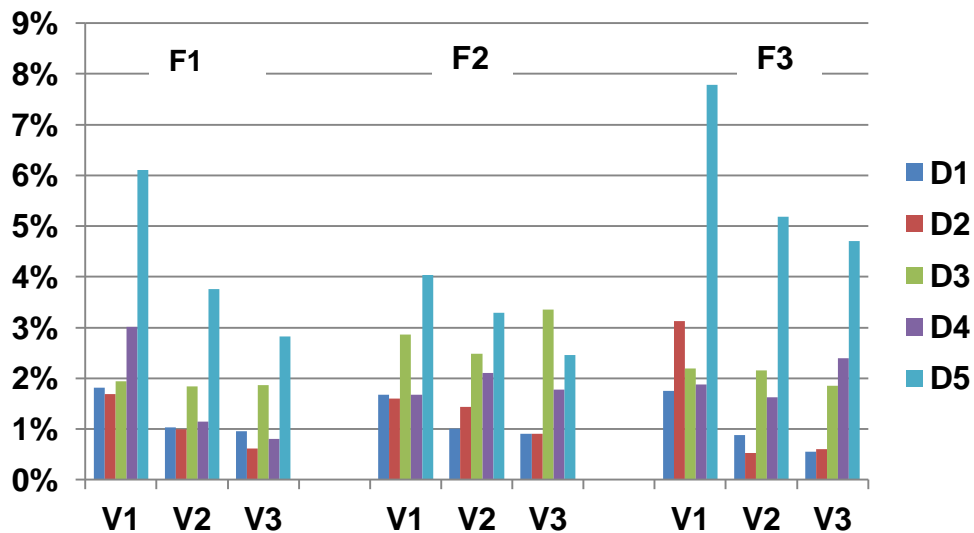


Figura 4.3.1 – Coeficiente de variação dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações transversais.

F1 – Mistura de grânulos 02-20-20 V1 – 10 gs⁻¹
 F2 – Mistura granulada 16-16-16 V2 – 20 gs⁻¹
 F3 – Mistura farelada 00-15-30 V3 – 30 gs⁻¹
 D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal
 D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade
 D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral
 D4 – Dosador rotor acanalado
 D5 – Dosador disco estrela

Pode ser observado, que os dosadores 1, 2 e 5, tiveram os menores CV% nas maiores vazões, independentemente, do fertilizante utilizado. Dias (2009), avaliando a distribuição transversal de fertilizantes de dois protótipos de semeadoras-adubadoras, com dosador de fertilizantes sem-fim, com descarga por transbordo, também, constatou que há uma redução da variação, quando se trabalha em maiores velocidades.

O desempenho dos dosadores 3 e 4, em função da vazão utilizada, foi variável, quanto ao tipo de fertilizante. O dosador 3, na aplicação da mistura de grânulos 02-20-20, e mistura farelada 00-15-30, manteve seu CV próximo a 2%, enquanto na distribuição da mistura granulada 16-16-16, houve um ligeiro aumento

do CV para 3%, sendo que a menor variação observada foi na vazão intermediária, a exemplo do verificado no item 4.1, na distribuição longitudinal de fertilizante.

Já o dosador 4, teve o CV inversamente proporcional a vazão, na distribuição da mistura de grânulos 02-20-20, porém, com a mistura granulada 16-16-16 seu menor CV foi de 1,7%, na menor vazão, e na aplicação da mistura farelada 00-15-30, a menor variação foi observada, na vazão intermediária.

Em relação ao desempenho dos dosadores, com os diferentes fertilizantes, pode ser observado que os dosadores 1, 2 e 4, tiveram uma variação muito pequena, sendo a diferença entre os CV obtidos, com os diferentes materiais foi inferior 0,3%.

O dosador 5, teve seu pior resultado, com o fertilizante de menor granulometria, e as menores variações com a mistura granulada 16-16-16, material com o qual o dosador 3 teve suas maiores alterações na vazão, enquanto sua dosagem foi mais uniforme, na distribuição da mistura de grânulos 02-20-20.

Estas constatações, contrariam as afirmações de Camacho-Tamayo et al. (2009), que avaliando quatro mecanismos dosadores de fertilizantes concluíram que os dosadores sem-fim com descarga lateral e disco estrela, possuem um desempenho superior, quando operam com materiais de menor granulometria. Da mesma forma, estes resultados contradizem o observado na distribuição longitudinal de fertilizantes e na uniformidade de vazão em função de inclinações longitudinais, onde os mecanismos dosadores 3 e 5 tiveram os melhores resultados com a mistura farelada 00-15-30.

Isto é devido, a maior influência das inclinações transversais, na uniformidade de vazão destes mecanismos dosadores, pois, como pode-se comprovar, na maioria dos casos, suas variações foram superiores as dos demais dosadores. Isso porque, os dosadores 3 e 5, possuem a descarga de fertilizante em um sentido perpendicular ao deslocamento da semeadora-adubadora, sendo do dosador 3, para esquerda e do dosador 5, para direita, justamente, as posições em que estes modelos tiveram as maiores variações na vazão.

O ângulo de repouso, segundo Luz et al. (2010) representa a capacidade de escoabilidade de um fertilizante e, quanto maior for, maior será a resistência ao deslocamento do produto. Dentre os materiais utilizados, a mistura farelada 00-15-30, é a que apresenta o menor ângulo de repouso, 21°, e considerando o fato das inclinações transversais terem um maior efeito sobre os dosadores 3 e 5, com este

material houve uma maior desuniformidade quando comparados os resultados com os obtidos com os outros fertilizantes.

Na figura 4.3.2, são apresentados os CV médios dos dosadores, considerando todas as vazões e fertilizantes.

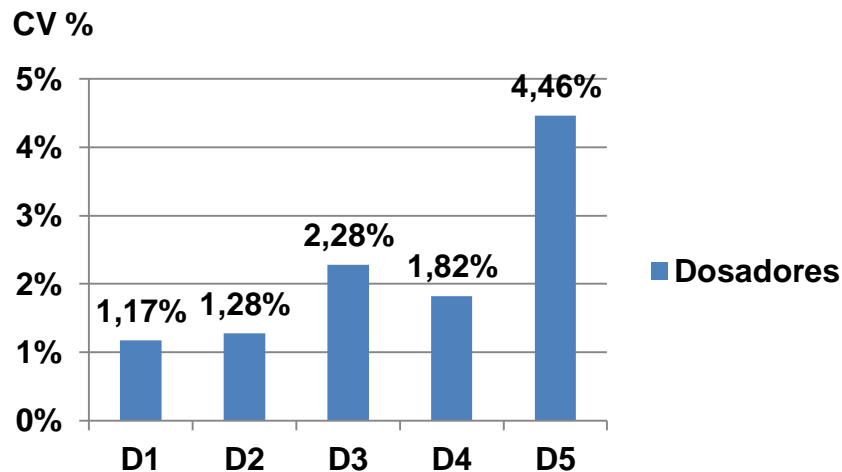


Figura 4.3.2 – Coeficiente de variação médio dos dosadores de fertilizantes, em função das inclinações transversais, com os três fertilizantes e vazões.

- D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal
- D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade
- D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral
- D4 – Dosador rotor acanalado
- D5 – Dosador disco estrela

Da mesma forma, que em relação à distribuição longitudinal e uniformidade de vazão de fertilizantes, em função de inclinações longitudinais, não existem índices que possam ser considerados aceitáveis, para o coeficiente de variação em função das inclinações transversais. No entanto, se tomado como referência o CV máximo de 15%, utilizado por Molin et al. (2009) e Hachuy (2008), para determinação da largura útil de trabalho dos distribuidores centrífugos, pode-se dizer que o desempenho dos dosadores de fertilizantes em linhas, é considerado satisfatório, pois, na média geral, todos tiveram um CV inferior a 5%.

As inclinações transversais, simulam a declividade dos terrenos onde são cultivadas as lavouras, e imitam o movimento da semeadora-adubadora, trabalhando em nível, ou seja, nos terrenos com declividade, seja para esquerda, ou direita, do centro da máquina, o conjunto trabalha de forma inclinada.

Este procedimento, é recomendado para minimizar os efeitos de degradação do solo. Segundo Kaminski (2004), não há solos agricultados que não sofreram ou sofrem com a erosão, processo depreciativo que pode ser minimizado com práticas conservacionistas. Uma destas práticas, é a semeadura em nível, o que torna a constatação do bom desempenho dos dosadores em linhas, quando submetidos a inclinações transversais ainda mais relevantes.

Quando comparados, os resultados dos dosadores, é possível verificar que os coeficientes de variação dos equipamentos 1, 2 e 4 foram os menores, sendo os dos dosadores sem-fim, ligeiramente, superiores a 1% e, do dosador de rotor acanalado 1,82%. Portella et al. (1998), avaliou seis semeadoras-adubadoras, e concluiu que um dos melhores sistemas de dosagem de fertilizantes era com elemento transportador sem-fim. Já Menegatti (2004), desenvolveu um mecanismo dosador para agricultura de precisão, e optou pelo sistema de rotor acanalado, por sua precisão, e resposta linear da vazão, em função da velocidade de acionamento.

Os equipamentos, que tiveram as maiores variações médias, foram os dosadores 3 e 5, com CV médio de 2,28 e 4,46%, respectivamente. Apesar de obterem um desempenho inferior aos demais, pode-se ainda assim, dizer que estes modelos são precisos em relação às inclinações transversais.

4.4 Uniformidade de vazão em função do nível do reservatório de fertilizantes

Os resultados demonstram que em alguns casos, houve interação significativa entre a vazão dos mecanismos dosadores e o nível do reservatório de fertilizantes.

Na tabela 4.4.1, são apresentados os resultados obtidos com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20.

Na distribuição da mistura de grânulos 02-20-20, na vazão de 10 gs^{-1} , os dosadores do tipo sem-fim, modelos 1, 2 e 3, não tiveram sua vazão influenciada pelo nível de reservatório. O dosador 4, do tipo rotor acanalado teve sua vazão reduzida, quando operando com os níveis cheio e $\frac{1}{4}$ da capacidade total do reservatório, o oposto do observado com o dosador 5, do tipo disco estrela, que teve a quantidade de fertilizantes distribuída aumentada nestas condições.

Na vazão de 30 gs⁻¹, não houve interação entre os níveis do reservatório, e as vazões dos mecanismos dosadores avaliados, ou seja, a razão de distribuição não foi influenciada pela quantidade de fertilizante no reservatório. Na média dos cinco dosadores, não houve diferença significativa, entre as vazões obtidas, com os diferentes níveis do reservatório, na distribuição de 10 e 30 gs⁻¹.

Tabela 4.4.1 - Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função dos níveis de reservatório, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 02-20-20.

Vazão* 10 gs ⁻¹						
Nível	D1	D2	D3	D4	D5	Média
1/1	310,00 abA**	302,00 bcA	302,00 bcA	292,00 cB	321,00 aA	305,40 A
1/2	302,00 aA	301,50 aA	304,75 aA	306,25 aA	296,50 aB	302,20 A
1/4	307,50 abA	303,75 bcA	308,50 abA	293,50 cB	317,50 aA	306,15 A
Média	306,50 ab	302,41 bc	305,08 ab	297,25 c	311,66 a	
Vazão* 30 gs ⁻¹						
1/1	922,00 ^{ns}	909,75	912,50	828,00	926,00	899,65 A
1/2	928,00	904,75	913,00	888,75	907,75	908,45 A
1/4	915,25	905,00	926,75	902,75	892,75	908,50 A
Média	921,75 a	906,50 ab	917,41 a	873,16 b	908,83 a	
Vazão* 50 gs ⁻¹						
1/1	1508,50bcA	1497,00bcA	1519,75 bA	1480,00 cB	1575,50 aA	1516,15 A
1/2	1494,75abAB	1473,00 bA	1510,00 aA	1495,50bAB	1517,25 aB	1498,10 B
1/4	1471,00 cB	1492,25bcA	1531,00 aA	1519,25abA	1486,00 cC	1499,90 B
Média	1491,41 b	1487,41 b	1520,25 a	1498,25 b	1526,25 a	

*Coletada por 30 segundos.

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey a 5 %.

^{ns} Não houve diferença significativa.

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Quando a vazão era de 50 gs⁻¹, os dosadores 2 e 3, não sofreram alterações na quantidade de produto aplicado em função do nível de reservatório, entretanto, o dosador 1 teve sua vazão reduzida quando o nível estava em ¼ da capacidade total, já o dosador 4 teve sua vazão aumentada nesta situação, toda via, sua razão de distribuição foi reduzida, quando o reservatório estava em sua capacidade máxima.

O dosador 5, tanto com $\frac{1}{4}$ como com todo volume de fertilizante, teve sua vazão aumentada em relação a obtida quando o nível era $\frac{1}{2}$. Na média dos níveis, foi observada uma elevação da vazão quando o reservatório estava em sua maior capacidade.

Na distribuição da mistura granulada 16-16-16, cujos resultados são apresentados na tabela 4.4.2, os dosadores 1 e 2, não tiveram a uniformidade de distribuição afetada, em nenhuma das vazões, pelos níveis do reservatório de fertilizantes.

O dosador 3, teve sua dosagem comprometida apenas na vazão intermediária, quando o reservatório estava cheio e com $\frac{1}{4}$ de sua capacidade, reduzindo a quantidade de fertilizante aplicado, quando comparada com a dose distribuída com $\frac{1}{2}$ do volume máximo de fertilizante.

O dosador 4, aumentou a quantidade de fertilizante distribuída em comparação a aplicada, com $\frac{1}{2}$ do volume do reservatório, na menor e maior vazão, quando os níveis eram cheio e $\frac{1}{4}$ da capacidade. Na vazão intermediária, quando o reservatório estava cheio, também foi observado um aumento na razão de distribuição de fertilizantes.

O dosador 5, distribuindo 10 gs^{-1} , aplicou uma quantidade superior de fertilizantes, quando o reservatório estava cheio. Este efeito foi observado nas demais vazões, no entanto, na vazão de 30 gs^{-1} , quando o nível de fertilizante era de $\frac{1}{4}$, houve uma redução na dosagem, enquanto na maior vazão, foi verificada uma elevação da dose nesta condição.

Na distribuição da mistura farelada 00-15-30 (tabela 4.4.3), na menor vazão os dosadores 1, 2, e 3, não tiveram alterações significativas, entre a dose aplicada nos diferentes níveis, em relação a dosagem com $\frac{1}{2}$ da capacidade total do reservatório. O dosador 4, teve aumento da vazão em ambos os níveis, e o dosador 5, quando o nível estava cheio.

Na vazão de 30 gs^{-1} , da mesma forma que na anterior, os dosadores 1, 2 e 3, não foram influenciados de forma significativa pelos níveis de reservatório. O dosador 4, teve sua vazão aumentada quando havia uma menor quantidade de fertilizante, e o dosador 5, teve aumento na vazão, quando o reservatório estava cheio e com $\frac{1}{4}$ de sua capacidade.

Tabela 4.4.2 - Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função dos níveis de reservatório, nas três vazões com o fertilizante mistura de grânulos 16-16-16.

Vazão* 10 gs ⁻¹						
Nível	D1	D2	D3	D4	D5	Média
1/1	301,00 cdA	296,25 dA	305,50 bcA	309,75 bA	324,50 aA	307,40 A
1/2	300,25 aA	297,50 aA	299,75 aA	296,75 aB	304,00 aB	299,65 B
1/4	305,75 aA	296,00 bA	301,00 abA	305,50aA	303,50 abB	302,35 B
Média	302,33 b	296,58 c	296,58 c	302,08 b	304,00 b	
Vazão* 30 gs ⁻¹						
1/1	904,25 bcA	906,00 bcA	898,75 cAB	917,75bA	978,00 aA	920,95 A
1/2	899,00 bA	904,25 bA	902,00 bA	900,25 bB	954,25 aB	911,95 B
1/4	908,5 aA	902,50 abA	888,75 bB	901,25 abB	888,00 bC	897,85 C
Média	904,00 bc	904,25 bc	896,50 c	906,41 b	940,08 a	
Vazão* 50 gs ⁻¹						
1/1	1503,00bcA	1500,75 cA	1478,75 cA	1527,50 bA	1647,25 aA	1531,45 A
1/2	1498,75 bA	1503,50 bA	1496,00 bA	1502,00 bB	1615,75 aB	1523,20 AB
1/4	1515,00 bA	1512,25 bA	1480,50 cA	1515,75bAB	1558,50 aC	1516,40 B
Média	1505,58 b	1505,50 b	1485,08 c	1515,08 b	1607,16 a	

*Coletada por 30 segundos.

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey com 5 % de probabilidade de erro.

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Em relação aos dosadores 1, 2 e 3, na vazão de 50 gs⁻¹, repetiu-se o ocorrido nas demais vazões, não houve variação significativa na razão de distribuição, entretanto, os dosadores 4 e 5, tiveram aumento na quantidade de fertilizante distribuída quando os reservatório estava cheio e com ¼ de sua capacidade.

Na média das vazões dos cinco dosadores nos diferentes níveis, pode-se observar a tendência de haver uma superdosagem, quando o nível do reservatório esta cheio e com ¼ de sua capacidade, sendo que estes efeitos são mais frequentes nas maiores vazões, com os fertilizantes de menor ângulo de repouso, a mistura granulada 16-16-16, e mistura farelada 00-15-30.

Estes resultados, corroboram as afirmações de Altmann et al. (2011), que avaliaram a uniformidade de vazão de cinco dosadores de fertilizantes sem-fim, em

função do nível de reservatório de fertilizantes, constatando que nas maiores vazões há maior incidência de interação entre os fatores, sendo que na maioria dos casos há aumento da vazão de fertilizante quando o reservatório está cheio e com ¼ de sua capacidade.

Tabela 4.4.3 - Análise estatística da vazão dos mecanismos dosadores em função dos níveis de reservatório, nas três vazões com o fertilizante mistura farelada 00-15-30.

Vazão* 10 gs ⁻¹						
Nível	D1	D2	D3	D4	D5	Média
1/1	303,00abAB	295,25 bB	295,075 bA	310,50 aA	309,25 aA	302,75 A
1/2	306,50 aA	302,00 aAB	301,075 aA	302,00 aB	301,00 aB	302,65 A
1/4	298,50 bB	303,00 bA	298,00 bA	313,75 aA	297,00 bB	302,05 A
Média	302,66 b	300,08 b	298,50 b	308,75 a	302,41 b	
Vazão* 30 gs ⁻¹						
1/1	904,75 abA	896,50 bA	904,50 abA	910,25 aB	913,25 aA	905,85 A
1/2	902,50 aA	903,25 aA	898,75 aA	903,50 aB	897,00 aB	901,00 B
1/4	892,50 cA	892,75 cAB	900,50 cA	925,00 aA	913,50 bA	904,85 AB
Média	899,91 b	897,50 b	901,25 b	912,91 a	907,91 a	
Vazão* 50 gs ⁻¹						
1/1	1508,50abA	1494,50 bA	1513,75abA	1515,00abB	1518,00aAB	1509,95 AB
1/2	1506,25 aA	1504,50 aA	1501,25 aA	1492,50 aC	1508,25 aB	1502,55 B
1/4	1492,25 cA	1506,00 cA	1498,75 cA	1562,75 aA	1529,00 bA	1517,75 A
Média	1502,33 b	1501,66 b	1504,58 b	1523,41 a	1518,41 a	

*Coletada por 30 segundos.

**Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de tukey com 5 % de probabilidade de erro.

D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal

D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade

D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral

D4 – Dosador rotor acanalado

D5 – Dosador disco estrela

Owen e Cleary (2009), estudando o comportamento de transportadores sem-fim, concluíram, que estes equipamentos não tem sua vazão alterada em função do nível de produto no reservatório, até que esteja com menos de 30% de sua capacidade, quando começa a apresentar alterações na vazão, em relação a obtida com os demais níveis.

Garcia et al. (2005), avaliaram a taxa de aplicação de uma semeadora-adubadora, em função da coluna de fertilizante em um reservatório com formato cônico, com terminação em uma secção cilíndrica, com dosador de fundo giratório, concluíram que diferentes alturas na parte cônica do reservatório não interferem vazão, já na parte cilíndrica observaram a tendência de quanto menor a coluna de fertilizante, menor a dose aplicada. Da mesma forma, Villibor (2008), avaliando uma adubadora puncionadora para plantio direto, não encontrou diferenças significativas entre os diferentes níveis de reservatório.

Portella (2001), recomenda que a aferição final da semeadora-adubadora, seja realizada na lavoura, pois, as condições do terreno podem influenciar na regulação da máquina. Subentende-se que o equipamento já estará abastecido com fertilizantes, ou seja, este estará em seu nível máximo, e com base nos resultados encontrados neste trabalho, é possível afirmar que haverá diferença entre a quantidade regulada e a realmente aplicada, em função do nível de reservatório, em maiores ou menores valores, conforme o mecanismo dosador e o tipo de fertilizante.

Na figura 4.4.1, são apresentados os coeficientes de variação médios dos dosadores em cada vazão, com todos os fertilizantes.

Não há um limite, considerável aceitável, para o coeficiente de variação da vazão dos mecanismos dosadores em linhas, no entanto, considerando o valor de 15%, como valor máximo de CV, para distribuição transversal de fertilizantes, utilizado por Molin et al. (2009), para determinação da largura de trabalho de um distribuidor centrífugo, pode-se dizer, que o desempenho dos equipamentos avaliados, em função do nível de reservatório, foi satisfatório, pois em todos os casos os valores foram menores que 10%.

É possível observar, que os dosadores 1, 2 e 5, tiveram um desempenho superior, nas maiores vazões. Esta tendência, foi observada nos experimentos anteriores, em função de inclinações longitudinais e transversais. Já os dosador 3 e 4, não apresentam a mesma relação entre CV e vazão, sendo que esta, é dependente do tipo de fertilizante.

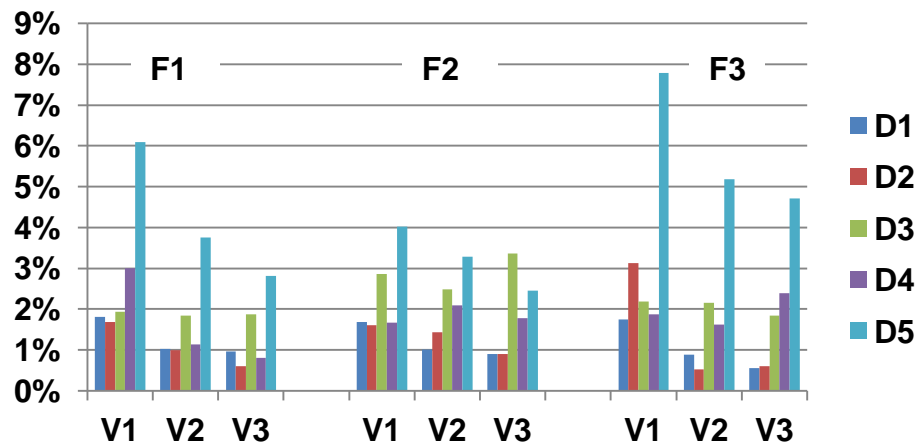


Figura 4.4.1 – Coeficientes de variação dos mecanismos dosadores de fertilizantes, em função dos níveis de reservatório.

F1 – Mistura de grânulos 02-20-20 V1 – 10 gs^{-1}
 F2 – Mistura granulada 16-16-16 V2 – 20 gs^{-1}
 F3 – Mistura farelada 00-15-30 V3 – 30 gs^{-1}
 D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal
 D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade
 D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral
 D4 – Dosador rotor acanalado
 D5 – Dosador disco estrela

Com a mistura de grânulos, 02-20-20, o dosador 3, manteve o CV próximo a 2%, sem grandes variações, e o dosador 4 reduziu o CV, conforme foi aumentada a vazão. Com a mistura granulada 16-16-16, o dosador 3, apresentou o menor CV na vazão intermediária, condição em que o dosador 4, teve a maior desuniformidade, e com a mistura farelada 00-15-30, o dosador 3 obteve maior uniformidade na maior vazão, enquanto o dosador 4, teve sua menor variação na vazão intermediária.

Ferreira et al. (2010) e Bonotto (2010), estudando os efeitos de inclinações longitudinais, na vazão de mecanismos dosadores sem-fim, também, constataram que há uma maior uniformidade na razão de distribuição, nas maiores rotações de acionamento.

Em relação ao tipo de fertilizante, pode ser observado que os dosadores 1 e 2, tiveram um desempenho semelhante com todos os produtos. Os dosadores 4 e 5, tiveram um CV maior quando operando com a mistura farelada 00-15-30, e o dosador 3 obteve as maiores variações com a mistura granulada 16-16-16.

Na figura 4.4.2, são apresentados os coeficientes de variação médios, dos dosadores avaliados, considerando todas as vazões e fertilizantes.

Pode ser verificado, que para todos os mecanismos dosadores, os índices de variações foram inferiores a 3%, demonstrando que a variação, em função do nível de reservatório, em alguns casos é significativa, no entanto, exerce uma influência menor sobre a regularidade de distribuição de fertilizantes, do que as inclinações longitudinais e transversais.

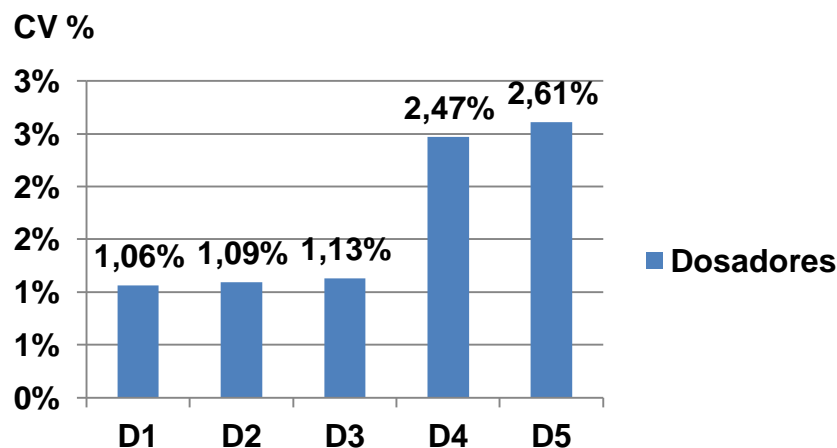


Figura 4.4.2 – Coeficiente de variação médio dos dosadores de fertilizantes, em função dos níveis de reservatório, com todos fertilizantes e vazões.

- D1 – Dosador sem-fim com descarga por transbordo transversal
- D2 – Dosador sem-fim com descarga por gravidade
- D3 – Dosador sem-fim com descarga e transbordo lateral
- D4 – Dosador rotor acanalado
- D5 – Dosador disco estrela

É importante ressaltar, que os mecanismos dosadores que utilizam transportadores de fertilizantes do tipo sem-fim, modelos 1, 2 e 3, tiveram maior uniformidade de vazão, com variações próximas a 1%, enquanto dos dosadores de rotor acanalado e disco estrela, variaram em torno de 2,5%, mostrando que os elementos transportadores destes dosadores, são mais influenciados pela altura da coluna de fertilizantes.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que este trabalho foi realizado, pode-se concluir:

Em relação à distribuição longitudinal de fertilizantes, foi verificado que existe uma grande desuniformidade da vazão. A média do coeficiente de variação dos dosadores avaliados, foi superior a 30%. O dosador sem-fim com sistema de regulação de fluxo do tipo transbordo transversal e o dosador de rotor acanalado, obtiveram as menores variações, seguidos pelos dosadores sem-fim de transbordo e descarga lateral, sem-fim com descarga de fertilizante por gravidade e disco estrela.

Quanto ao efeito das inclinações longitudinais sobre a vazão dos mecanismos dosadores, pode-se constatar que todos os modelos avaliados têm sua razão de distribuição alterada quando inclinados a -11° e 11° . Os equipamentos que obtiveram as menores variações foram o dosador sem-fim com transbordo e descarga lateral, disco estrela e sem-fim com transbordo transversal, que tiveram um coeficiente de variação médio, considerando todos os fertilizantes e vazões, menor que 10%, seguidos pelo rotor acanalado, que obteve um CV próximo a 12%, e o mecanismo do tipo sem-fim com descarga de fertilizantes por gravidade, cuja variação média foi em torno de 17%.

Em função das inclinações transversais, foi observado que o efeito sobre a vazão dos equipamentos avaliados é significativo, no entanto, o coeficiente de variação médio, de todos os dosadores, com todos os fertilizantes e vazões, foi inferior a 5%. Os dosadores sem-fim com descarga por transbordo transversal, sem-fim com descarga por gravidade e rotor acanalado foram menos influenciados por este fator, seguidos pelos dosadores sem-fim com transbordo e descarga lateral e o mecanismo do tipo disco estrela.

Quanto ao efeito do nível de fertilizante no reservatório, sobre a vazão dos mecanismos dosadores, foi possível constatar que em alguns casos, há influência significativa sobre a uniformidade de distribuição dos equipamentos avaliados, porém, quando observados os coeficientes de variação médios dos dosadores, percebe-se que os mesmos são inferiores a 3%. Sendo que os dosadores que obtiveram as menores variações, ligeiramente superiores a 1%, foram os mecanismos sem-fim, com transbordo transversal, transbordo e descarga lateral e

descarga de fertilizantes por gravidade, seguidos pelos dosadores do tipo rotor acanalado e disco estrela.

Em relação ao desempenho dos dosadores com os diferentes fertilizantes utilizados, em geral os dosadores sem-fim com transbordo e descarga lateral e disco estrelado, tiveram menores variações quando utilizada a mistura farelada 00-15-30, os demais dosadores distribuíram de uma forma mais uniforme os produtos granulados.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base na literatura consultada, metodologia empregada e resultados encontrados, é possível fazer recomendações a trabalhos futuros, relacionados ao tema, com intuito de dar continuidade a linha de pesquisa e investigar problemas ainda não explicitados, por este trabalho e demais pesquisas da área.

Em relação à distribuição longitudinal de fertilizantes, foi possível observar que, para explicar de forma mais clara e conclusiva, a relação entre o coeficiente de variação e a vazão do mecanismos dosadores, seria necessário a utilização de um maior número de vazões ou velocidades, e com estas, analisar a correlação entre os fatores.

Ainda quanto a distribuição longitudinal de fertilizantes, foi observado que, o tamanho unidade experimental utilizada, 50 mm, pode ser aumentada, pois, há uma grande variação, que poderá ser percebida, mesmo com uma maior quantidade de fertilizante coletada, sendo que, as amostras muito pequenas, dificultam a pesagem do material.

Quanto ao nível de reservatório, foi observada uma tendência, de maior distribuição, com os maiores e menores níveis. Para que esta observação seja melhor explicada, faz-se necessária a realização de experimentos com uma maior quantidade de níveis deste fator, e o estabelecimento da correlação entre a vazão dos mecanismos dosadores em função do tempo, em que este está distribuindo fertilizantes.

Foi observado um bom desempenho dos mecanismos dosadores de rotor acanalado e disco estrela, na distribuição longitudinal e em função das inclinações longitudinais, respectivamente, assim sendo, o aprimoramento, ou, o desenvolvimento de novos projetos de dosadores, com estes princípios de solução, podem resultar em equipamentos tão, ou mais, precisos, que os que empregam o sistema de transporte e dosagem sem-fim.

7. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9743 – Semeadora de fluxo contínuo em linha: ensaio de laboratório**. Rio de Janeiro, 1987.

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

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma: 04:015.06-010: Semeadoras e distribuidoras de fertilizantes ou corretivos – Terminologia: Definições**. Rio de Janeiro, 1996.

ALCARDE, J. C.; et al. **Avaliação da higroscopicidade de fertilizantes e corretivos**. Piracicaba: Scientia Agrícola, n. 37, p. 137-144, 1992.

ALCHANATIS, V.; KASHTI, Y.; BRIKMAN, R. **A machine vision system for evaluation of planter seed spatial distribution**. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript IT 01 005. vol. IV, abril, 2002.

ALONÇO, A. dos S.; et al. **Projeto de uma bancada para ensaios de dosadores pneumáticos de sementes: fase informacional e conceitual**. In: IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010, XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010, Vitória, ES, 2010.

ALONÇO, A. dos S.; Ensaio, pesquisa e experimentação de máquinas agrícolas. In: **Máquinas Agrícolas**. Caderno didático. UFSM, 1999.

ALTMANN, A. S.; et al. **Metodologia para avaliação de dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. In: XIV Simpósio de ensino, pesquisa e extensão. SEPE, Unifra, Santa Maria, RS, 10 a 12 de novembro de 2010.

ALTMANN, A. S.; et al. **Análise da influência do nível de reservatório na vazão de uma mecanismo dosador**. In: I Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas. Não-Me-Toque, RS, 12 a 14 de setembro de 2011.

ANDERSSON, C. **Avaliação técnica de semeadoras-adubadoras para plantio direto**. Plantio Direto, n. 66, p. 28-32, 2001.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 2005.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal: Funep, 2008.

BARNES, B.; FORTUNE, T. **Blending e Spreading Fertilizer- Physical Properties**. 2004. Disponível em: < http://www.fertilizer-assoc.ie/publications/Blending_Spreading_Physical_Characteristics_B_Barnes.pdf>. Acessado em 15 de fevereiro de 2012.

BELLÉ, M. P.; et al. **Determinação do tempo de coleta para amostragem em dosadores de fertilizantes**. In: Primeiro Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas - APSul América. Não-Me-Toque, RS, 2011.

BONOTTO, G. J.; et al. **Desenvolvimento de uma bancada para ensaio de mecanismos dosadores de sementes**. In: XX Salão de Iniciação Científica – UFRGS., Porto Alegre, 2008.

BONOTTO, G. J., **Desempenho de dosadores helicoidais em função de inclinações longitudinais com diferentes fertilizantes**. Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

BONOTTO, G. J.; et al. **BANFERTI: bancada para testes com dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Cuiabá - MT, Brasil, 24 a 28 de julho 2011.

BRANDT, M. A. **Projeto conceitual de um dosador de fertilizante granulado**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi, 2010.

CAMACHO-TAMAYO, J. H.; et al. **Operational characteristics of four metering systems for agricultural fertilizers and amendments**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, vol. 29, n. 4, p. 605-613, out./dez., 2009.

CANOVA, R. **Desempenho de semeadora-adubadora com cinco modelos de hastes sulcadoras na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Dissertação (mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal 2010.

CAPPELLI, N.L.; UMEZU, C.K.; MARTINS, M.M. **Avaliação do desempenho de um dosador helicoidal para aplicação de fertilizantes sólidos**. Engenharia Agrícola, vol. 20, n. 2, p. 130-138, 2000.

CARDINAL, K. M.; et al. **Determinação do tamanho de amostra para ensaio de regularidade de vazão de dosadores de fertilizante**. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Cuiabá, MT, 2011.

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

CASÃO JÚNIOR, R. **Plantadeiras - Equipamento bom é aquele bem preparado**. Revista A Granja, 694 ed., 10/2006.

CASÃO JUNIOR. R.; ARAÚJO. A. G. de; LLANILO. R. F. **Evolução tecnológica das semeadoras de plantio direto no Brasil**. Revista Plantio Direto, 112 ed., Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, julho/agosto de 2009a.

CASÃO JUNIOR. R.; ARAÚJO. A. G. de; LLANILO. R. F. **Evolução tecnológica das semeadoras de plantio direto no Brasil - Evolução dos sistemas de distribuição de sementes e fertilizante**. Revista Plantio Direto, 114 ed., Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, novembro/dezembro de 2009b.

CHAVES, G. E.; et. al. **Investigação do ângulo de atrito interno e do ângulo de repouso de produtos granulares**. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Canoas-RS, 25 a 29 de julho de 2005.

COELHO, J. L. D. Ensaio e Certificação das máquinas para a semeadura. In: MIALHE, L. G.; **Máquinas Agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. p. 551 – 570.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento. **Séries Históricas 2010**. Disponível em:< <http://www.conab.gov.br/conteudos.php>>. Acessado em 15 de fevereiro de 2012.

DIAS, V. de O.. **Desempenho de dois protótipos de semeadoras-adubadoras para plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

DIAS, V. de O.; et. al.. **Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura.** Ciência Rural (UFSM), v. 39, p. 1721-1728, 2009.

FERREIRA, M. F. P., et al. **Desempenho de distribuidores de adubo tipo rosca sem fim por transbordo e por gravidade em função do nivelamento longitudinal do dosador.** TECNO-LÓGICA, Santa Cruz do Sul, vol. 11, n. 1 e 2, p. 37-40, jan./dez. 2007.

FERREIRA, M. F. P., et al. **Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal.** Engenharia na Agricultura, vol. 18, p. 297-304, 2010.

FLORES, E. F., **Análise de máquinas agrícolas distribuidoras de fertilizantes segundo requisitos projetuais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

GARCIA, A. P.; ALBIERO, D. ; CAPPELLI, N. L.. **Avaliação da homogeneidade de distribuição de fertilizante por um sistema de prato giratório e reservatório cônico.** In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Canoas-RS, 25 a 29 de julho de 2005.

GARCIA, A. P. et.al. **Caracterização de um mecanismo dosador helicoidal de fertilizantes sólidos.** In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, João Pessoa – PB, 31 de julho a 04 de agosto de 2006.

GULER, I. E. **The effects of different distributor head types, air velocities and fertilizing rates on flow evenness for some fertilizers.** African Journal of Agricultural Research. vol. 5, p. 2359-2369, setembro, 2010.

HACHUY, L.. **Desempenho de uma distribuidora a lança com dois tipos de produtos aplicados com diferentes posições de aletas nos discos.** 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP – Campus de Botucatu. Botucatu - SP, 2008.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Sinopse do censo demográfico 2010.** Acessado em 15 de julho. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacaocenso2010/sinopse_tab_brasil>. Acessado em 15 de fevereiro de 2012.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística. **Sinopse do censo demográfico 2000.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacaocenso2000/sinopse_tab_brasil>. Acessado em 15 de fevereiro de 2012.

IMASA. **Produtos: MPS.** Disponível em: <<http://www.imasa.com.br/produto/index/18>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2012.

ISO: 7256/1: **Sowing equipment – methods of test: part 1. Single seed drills (precision drills).** Geneva, 1982.

ISO 5690/1. **Equipment for distributing fertilizers - Part 1: Full width fertilizer distributors.** Geneva, 1982.

ISO 5690/2. **Equipment for distributing fertilizers – Test methods - Part 2: Fertilizer distributors in lines.** Switzerland, 1984.

JASPER, R.; et. al. **Comparação de bancadas simuladoras do processo de semeadura em milho.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, vol. 29, n. 4, p. 623 – 629, out./dez, 2009.

JUMIL. **Produtos: JM J2 S.** Disponível em: <<http://www.jumil.com.br/produtos/plantio-de-sementes-miudas>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2012.

KAMINSKI, J. **Impactos da atividade humana sobre o solo: atividades rurais.** In: Solos e Ambiente/ I Fórum Solos e Ambiente. Santa Maria: Pallotti, p. 99-117, 2004.

KEMPSKI, L. A. **Construção de uma bancada de ensaio para avaliação de mecanismos dosadores de sementes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade do Oeste do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel-PR, 2006.

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

LASSEN, P. et. al. **Determinação da vazão de um dosador de fertilizantes em função da velocidade de acionamento.** In: XIV Simpósio de ensino, pesquisa e extensão. SEPE, Unifra, Santa Maria, RS, 10 a 12 de novembro de 2010.

LEINDECKNER, J. A.; et. al. **Nível tecnológico dos mecanismos dosadores de fertilizante empregados nas semeadoras adubadoras em linha de precisão.** In: XVII Seminário de Iniciação Científica, II Salão de Ensino e Extensão, Vivenciando a Integração. UNISC - Santa Cruz do Sul-RS, 2011.

LUZ, P. H. C.; et al. **Otimização da aplicação de corretivos agrícolas e fertilizantes.** Informações Agronômicas. nº 129, mar, 2010. Disponível em: <<http://www.ipni.net/ppiweb//Page1-13-129.pdf>>. Acessado em 15 de fevereiro de 2012.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para Preparo do Solo, Semeadura, Adubação e Tratamentos Culturais.** Editora UFPel: Pelotas, 2005.

MANDAL, S. ; THAKUR, T. C. **Design and Development of Subsoiler-cum-Differential Rate Fertilizer Applicator.** Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript, n. 1394, vol. XII, março, 2010.

MANTOVANI, E. C. **Desempenho de dois sistemas distribuidores de sementes utilizados em semeadoras de milho.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, vol. 34, n. 1, p. 93-98, janeiro, 1999.

MARTINS, E. **Fertisystem oferece uniformidade e precisão na adubação.** Revista Plantio Direto, ed. 96, Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, setembro/outubro de 2006.

MARTINS, M. M. **Desenvolvimento de um dosador helicoidal visando sua utilização em equipamentos de aplicação localizada de fertilizantes sólidos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 1999.

MENEGATTI, F. A. **Desenvolvimento de um Sistema de Dosagem de Fertilizantes para Agricultura de Precisão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

MENEGATTI, A. L. A.; BARROS, A. L. M. **Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul.** Revista de Economia Sociologia Rural, vol. 45, n. 1, p. 163-183, 2007.

MILAN, M.; GADANHA JÚNIOR, C. D. **Ensaio e certificação de máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos**. In: Mialhe, L. G. (org.). Máquinas agrícolas: Ensaio e certificação. Piracicaba: Shekinah, p. 515-550, 1996.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução normativa SDA nº 28, de 27 de julho de 2007. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, 2007.

MOLIN, J. P.; et. al. **Segregação de fertilizantes aplicados a lanço**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, vol. 29, n. 4, p. 614-622, out./dez, 2009.

MOLIN, J. P.; RUIZ, E. R. S. **Validação de métodos simplificados de determinação da largura efetiva para distribuidores de fertilizantes e corretivos a lanço**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas. Anais. Pelotas: SBEA, 1999. CD-ROM.

MONTEMEZZO JUNIOR, L. **Comparação entre dois sistemas para aquisição de dados em dosadores de sementes: Manual e eletrônica**. Trabalho de Conclusão do Curso de Agronomia. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

MOREIRA, L. J. et.al. **Banferti II: bancada para testes com dosadores de fertilizantes de semeadoras-adubadoras em linhas**. In: 1º Congresso Sul-Americano de Agricultura de Precisão e Máquinas Precisas. Não-Me-Toque, RS, 12, 13 e 14 de Setembro de 2011.

NARDÓN, G. et.al. **Utilización de sensor optoelectronico al planteo en siembra de precisión**. In: XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-CONBEA, Foz do Iguaçu, PR, 31 de julho a 03 de agosto de 2001.

OLIVEIRA, M.L. de; et al. **Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 35, n. 7, p. 1455-1463, 2000.

OWEN, P. J.; CLEARY, P. W. **Prediction of screw conveyor performance using the Discrete Element Method (DEM)**. Powder Technology, p. 274–288, 2009.

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

PORTELLA, J. A.; et al. **Regularidade de distribuição de sementes e de fertilizantes de semeadoras para plantio direto de trigo e soja.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, vol. 17, n. 4, p. 57-64, junho, 1998.

PORTELLA, J. A.. **Semeadoras para plantio direto.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

REIS, A. V. e ALONÇO, A. dos S. **Comparativo sobre a precisão funcional de vários mecanismos dosadores estudados no Brasil entre os anos de 1989 e 2000.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Paraná: SBEA, 2001. CD – ROM.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. **Requisitos de qualidade física e química de fertilizantes minerais.** In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, p. 59-78, 2000.

SANTOS, S. R. dos. et al. **Espaço livre entre orifícios de discos dosadores e sementes de milho na eficiência de semeadura.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.23, n.2, p.300-308, maio/ago. 2003.

SILVA, M. R. da. **Classificação de semeadoras-adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

SILVEIRA, G. M. **As Máquinas para Plantar: aplicadores, distribuidoras, semeadoras, plantadoras e cultivadoras.** 1 ed., Rio de Janeiro: Globo, 1989.

SILVEIRA, H. A. T. da; et al. **Projeto e desenvolvimento de uma bancada para ensaios de dosadores de sementes pneumático: fase preliminar e detalhada.** In: IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010, XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Vitória, ES, 2010.

SILVEIRA, H. A. T. da; et al. **Validation of a sensor for seed kernels for testing of seed meters** In: CIGR International Conference of Agricultural Engineering, XXXVII Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, CONBEA 2008, Brasil, 31 de agosto a 4 de setembro, 2008.

STATHAM, R. N. **Testing band fertilizer distributors.** Proceedings of The South African Sugar Technologists Association, June, 1969.

ULIANA, M. B.; et. al. **Avaliação da uniformidade de distribuição longitudinal de adubo em semeadora – adubadora utilizando rosca sem fim comum e modificada.** In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Canoas-RS, 25 a 29 de julho de 2005.

UMEZU, C. K., CAPELLI, N. L. **Desenvolvimento e avaliação de um controlador eletrônico para equipamentos de aplicação de insumos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.1, p.225–230, 2006.

VENCE TUDO. In: **Produtos: SA 11500 A.** Disponível em: <<http://www.vencetudo.ind.br/web/index.php?menu=products&sub=novos&cat=53&id=13&language=pt>> Acesso em 15 de fevereiro de 2012.

VILLIBOR, G. P. **Avaliação do desempenho do protótipo de uma adubadora punçionadora para plantio direto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa - Viçosa- MG, 2008.

WERNER, J.; et al. **Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, vol. 11, n. 6, p. 658–663, 2007.