

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar**

**Dissertação**



**Efeito de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de  
sementes em dosadores pneumáticos**

**Henrique Gonçalves Andrade**

**Pelotas, 2022**

**Henrique Gonçalves Andrade**

**Efeito de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de  
sementes em dosadores pneumáticos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Walker

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

A111e Andrade, Henrique Gonçalves

Efeito de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de sementes em dosadores pneumáticos / Henrique Gonçalves Andrade ; Angelo Vieira dos Reis, orientador ; Eduardo Walker, coorientador. — Pelotas, 2022.  
83 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Precisão de semeadura. 2. Agricultura de precisão. 3. Agricultura familiar. I. Reis, Angelo Vieira dos, orient. II. Walker, Eduardo, coorient. III. Título.

CDD : 631.3

Henrique Gonçalves Andrade

Efeito de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de sementes em  
dosadores pneumáticos

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em  
Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar,  
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 18 de agosto de 2022

Banca examinadora:

.....  
Prof. Dr. Ângelo Vieira dos Reis (Orientador)  
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina

.....  
Prof. Dr. Adamo de Sousa Araujo  
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

.....  
Prof. Dr. Giuseppe Stefanello  
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho foi um desafio em meio a uma pandemia mundial, portanto começo agradecendo a Deus por estar vivo e com saúde para concluí-lo. Ainda nesse contexto muita gente se adequou às novas questões logísticas impostas pelo cenário para me ajudar em questões relativas a esse estudo, então sou muito grato pela saúde e pela amizade de quem me ajudou, mesmo nesse momento delicado, em nome da ciência, em nome de ajudar um amigo. Marlon Sigales, Matheus Caselatto, Prof. Ângelo Reis e Prof. Eduardo Walker vocês são heróis.

Meu agradecimento aos professores Ângelo Reis e Eduardo Walker pelas contribuições, aconselhamentos, puxões de orelha e as várias reuniões no Meeting, que era o que podíamos fazer para discutir o trabalho. Os senhores são ótimos orientadores e me sinto honrado de ter cruzado com vocês nessa trajetória.

Marlon Sigales e Matheus Caselatto foram meus parceiros na linha de frente desse trabalho, seja passando madrugadas programando ou vários dias ouvindo o barulho ensurdecedor de um aspirador de pó por 5, 6, 7, as vezes até 10 horas ininterruptas. Minha gratidão aos amigos.

Agradeço também pela saúde da minha família que em meio a tudo isso, entre sustos e alívios, sempre esteve do meu lado, apoiando e muitas vezes até me ajudando ligando para fornecedores de semente, dando opinião sobre a escrita do texto ou até me levando ao laboratório diminuindo os riscos de contágio. Lari, Mãe, Tan, Pai, tia Sônia, Vitinho e Tatá, sem vocês seria muito mais difícil eu me tornar "O Mestre".

Durante esse período de dúvidas também precisei mandar inúmeros emails ao SPAF que sempre me atendeu de forma gentil e ágil. O NIMEq e seus anexos me deram a estrutura necessária para realização da pesquisa. A UFPel me deu muito orgulho enchendo as mídias de notícias sobre pesquisas realizadas dentro da instituição. Mesmo com as dificuldades impostas pelo período, a CAPES financiou minha pesquisa até o fim, possibilitando realizá-la da melhor maneira possível. A todos os órgãos e instituições acima citados deixo o meu sincero agradecimento.

Por fim mas não menos importante quero agradecer meus gurus da estatística Nixon Westendorff, Laís Andrade e Marlon Valentini pela paciência e disponibilidade de me ensinar ferramentas novas, me ajudar a interpretar os dados e até me acalmarem em certos momentos.

## Resumo

ANDRADE, Henrique Gonçalves. **Efeito de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de sementes em dosadores pneumáticos.** Orientador: Ângelo Vieira dos Reis. 2022. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Estimativas da ONU afirmam que a população mundial deverá bater 11 bilhões de pessoas em meados do ano de 2100. Sendo a Agricultura o setor encarregado de garantir a segurança alimentar do planeta, a responsabilidade de se atualizar tecnologicamente para aumentar a produtividade de alimentos recai sobre a mesma. Nesse contexto, fatores como a precisão de semeadura se tornam ainda mais importantes para garantir uma boa produtividade, logo esse trabalho teve por objetivo analisar a influência de diferentes dosadores pneumáticos no processo de semeadura através de ensaios em laboratório, sendo eles: John Deere MaxEmerge5, Precision Planting vSet e Maternacc. Os testes foram realizados em laboratório utilizando uma bancada desenvolvida especialmente para testes de dosadores e um sensor de coleta de dados também projetado especificamente para a atividade. Os dosadores foram testados em termos de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de sementes, e os resultados foram analisados através da estatística descritiva (média simples), regressão não linear e estatística experimental (ANOVA e Tukey). A partir dessa análise foi possível notar que no dosador John Deere MaxEmerge5 a ação conjunta da velocidade de semeadura, inclinação longitudinal e a presença de tubo condutor influenciam a distribuição longitudinal de sementes. Já no dosador Precision Planting vSet a combinação entre os fatores condução e velocidade e também a combinação entre os fatores condução e inclinação longitudinal influenciaram o percentual de espaçamentos aceitáveis. Por fim no dosador Maternacc houve diminuição dos percentuais de espaçamentos aceitáveis em função da presença de tubo condutore também pelo aumento da velocidade.

Palavras-chave: Precisão de semeadura. Agricultura de precisão. Agricultura familiar.

## Abstract

ANDRADE, Henrique Gonçalves. **Effect of speed, longitudinal inclination and seed driving system in pneumatic meters**. Advisor: Ângelo Vieira dos Reis. 2022. 82f. Dissertation (Masters in Agronomy) — Agronomy School Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

Un estimates claim that the world population will reach 11 billion people by the middle of the year 2100. As Agriculture is the sector in charge of guaranteeing the planet's food security, the responsibility to update itself technologically to increase food productivity falls under the same. In this context, factors such as sowing precision become even more important to ensure good productivity, so this work aimed to analyze the influence of different pneumatic meters in the sowing process through laboratory tests, namely: John Deere MaxEmerge5, Precision Planting vSet and Maternacc. The tests were carried out in the laboratory using a bench developed especially for metering tests and a data collection sensor also specifically designed for the activity. The meters were tested in terms of velocity, longitudinal inclination and seed driving system, and the results were analyzed using descriptive statistics (simple average), non-linear regression and experimental statistics (ANOVA and Tukey). From this analysis, it was possible to notice that in the John Deere MaxEmerge5 meter the joint action of the sowing speed, longitudinal inclination and the presence of a conductive tube influence the longitudinal distribution of seeds. In the Precision Planting vSet meter, the combination of conduction and speed factors and also the combination of conduction and longitudinal inclination factors influenced the percentage of acceptable spacings. Finally, in the Maternacc meter, there was a decrease in the percentages of acceptable spacings due to the presence of a conductive tube and also due to the increase in the experimental speed.

Keywords: Sowing accuracy. Precision agriculture. Family farming.

## Lista de Figuras

|            |                                                                                                                                                                                                             |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.  | Exportações Brasileiras do Agronegócio por Mercados - 2020.....                                                                                                                                             | 22 |
| Figura 2.  | Frequência de adoção de tecnologias para o monitoramento das operações e de automação das máquinas. ....                                                                                                    | 24 |
| Figura 3.  | Dosador pneumático de disco vertical J. Assy Selenium, onde: (A) Visor do comportamento da semente em seu interior.....                                                                                     | 27 |
| Figura 4.  | Dosador de disco horizontal J. Assy Titanium, onde: (A) Visor do comportamento da semente em seu interior e (B) Escova de orientação das sementes. ....                                                     | 28 |
| Figura 5.  | Dosador de disco horizontal com acionamento elétrico J. Assy Titanium Elétric, onde: (A) Visor do comportamento da semente em seu interior e (B) Encaixe do motor de acionamento.....                       | 28 |
| Figura 6.  | Dosador pneumático de disco vertical John Deere Vacuumeter.....                                                                                                                                             | 29 |
| Figura 7.  | Semeadora pneumático de cilindro vertical e acionamento elétrico John Deere Exactemerge, onde: (A) Correia transportadora, (B) Dosador pneumático e (C) motores de acionamento.....                         | 29 |
| Figura 8.  | Dosador pneumático de disco vertical Semeato VacuumSystem.....                                                                                                                                              | 30 |
| Figura 9.  | Dosador de disco horizontal Toplanting Top X3.....                                                                                                                                                          | 31 |
| Figura 10. | Dosador pneumático Precision Planting vSet.....                                                                                                                                                             | 32 |
| Figura 11. | Bancada de ensaios equipada com dosador pneumático, onde: 1) Estrutura da bancada; 2) Rodas de mobilidade; 3) Motor elétrico; 4) Eixo árvore cardã do sistema de transmissão; 5) Inversor de frequência; 6) |    |

|            |                                                                                                                                                                                                                         |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|            | Sistema de transmissão; 7) Dosador de sementes pneumático; 8) Aspirador de pó (fonte de vácuo).....                                                                                                                     | 38 |
| Figura 12. | Dosador Pneumático John Deere MaxEmerge5.....                                                                                                                                                                           | 39 |
| Figura 13. | Dosador Pneumático Precision Planting vSet.....                                                                                                                                                                         | 39 |
| Figura 14. | Dosador Pneumático Maternacc.....                                                                                                                                                                                       | 40 |
| Figura 15. | Inclinações longitudinais dos dosadores pneumáticos durante os testes.....                                                                                                                                              | 41 |
| Figura 16. | Delineamento experimental trifatorial. ....                                                                                                                                                                             | 44 |
| Figura 17. | Ensaio do Dosador John Deere MaxEmerge5.....                                                                                                                                                                            | 45 |
| Figura 18. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador John Deere MaxEmerge5 operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5 °, 0 °, 5 ° e 11 °.....                        | 46 |
| Figura 19. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5 °, 0 °, 5 ° e 11 °.....                        | 46 |
| Figura 20. | Detalhes construtivos do dosador John Deere MaxEmerge5, onde: (A) Reservatório de sementes; (B) Ângulo de escoamento da parte frontal do reservatório e (C) Ângulo de escoamento da parte traseira do reservatório..... | 47 |
| Figura 21. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador John Deere MaxEmerge5 operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5 °, 0 °, 5 ° e 11 °.....                   | 48 |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                          | 48 |
| Figura 23. | Resultado gráfico da regressão aplicada nos dados percentuais de espaçamentos aceitáveis correspondentes ao dosador John Deere MaxEmerge5 com e sem tubo condutor para a condição de inclinação longitudinal nula. As barras verticais correspondem ao intervalo de confiança com probabilidade de 95%..... | 49 |
| Figura 24. | Ensaio do Dosador Precision Planting vSet.....                                                                                                                                                                                                                                                              | 52 |
| Figura 25. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                             | 52 |
| Figura 26. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador Precision Planting vSet operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                             | 53 |
| Figura 27. | Detalhe construtivos do dosador Precision Planting vSet, onde: (A) Pré tubo de condução. ....                                                                                                                                                                                                               | 53 |
| Figura 28. | Coeficiente de variação da população de espaçamentos aceitáveis do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                                | 54 |
| Figura 29. | Coeficiente de variação da população de espaçamentos aceitáveis do dosador Precision Planting vSet operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                                | 54 |
| Figura 30. | Resultado gráfico da regressão aplicada nos dados percentuais de espaçamentos aceitáveis correspondentes ao dosador Precision Planting                                                                                                                                                                      |    |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|            | com e sem tubo condutor para a condição de inclinação longitudinal nula. As barras verticais correspondem ao intervalo de confiança com probabilidade de 95%.....                                                                                                                               | 55 |
| Figura 31. | Ensaio do Dosador Matermacc.....                                                                                                                                                                                                                                                                | 58 |
| Figura 32. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                               | 59 |
| Figura 33. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                               | 60 |
| Figura 34. | Detalhe construtivos do dosador Matermacc, onde: (A) Regulagem do exclusor de sementes.....                                                                                                                                                                                                     | 60 |
| Figura 35. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                          | 61 |
| Figura 36. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de $-11^{\circ}$ , $-5^{\circ}$ , $0^{\circ}$ , $5^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .....                                                          | 61 |
| Figura 37. | Resultado gráfico da regressão aplicada nos dados percentuais de espaçamentos aceitáveis correspondentes ao dosador Matermacc com e sem tubo condutor para a condição de inclinação longitudinal nula. As barras verticais correspondem ao intervalo de confiança com probabilidade de 95%..... | 62 |
| Figura 38. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando                                                                                                                                                               |    |

|            |                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|            | sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....                                                                                                                                        | 74 |
| Figura 39. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....      | 75 |
| Figura 40. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....   | 75 |
| Figura 41. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....   | 76 |
| Figura 42. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....    | 76 |
| Figura 43. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador Precision Planting vSet operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....    | 77 |
| Figura 44. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°..... | 77 |
| Figura 45. | Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador Precision Planting vSet operando                                                                                 |    |

com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....78

Figura 46. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....78

Figura 47. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....79

Figura 48. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....79

Figura 49. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.....80

## Lista de Tabelas

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. | Principais características dos dosadores ensaiados                                                                                                                                                                                                                                                                  | 38 |
| Tabela 2. | Critérios para avaliação de espaçamentos.                                                                                                                                                                                                                                                                           | 42 |
| Tabela 3. | Valores mínimos de espaçamentos aceitáveis e coeficiente de variação de acordo com o tipo de mecanismo dosador.                                                                                                                                                                                                     | 43 |
| Tabela 4. | Análise de variância para o dosador John Deere MaxEmerge 5 considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de $-11^{\circ}$ , $0^{\circ}$ e $11^{\circ}$ ; e as velocidades de $5 \text{ km.h}^{-1}$ , $12 \text{ km.h}^{-1}$ e $20 \text{ km.h}^{-1}$ .                                          | 50 |
| Tabela 5. | Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução x Ângulo x Velocidade considerando a ausência e a presença de tubo condutor; os ângulos de $-11^{\circ}$ , $0^{\circ}$ e $11^{\circ}$ ; e as velocidades de $5 \text{ km.h}^{-1}$ , $12 \text{ km.h}^{-1}$ e $20 \text{ km.h}^{-1}$ . | 50 |
| Tabela 6. | Análise de variância para o dosador Precision Planting vSet considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de $-11^{\circ}$ , $0^{\circ}$ e $11^{\circ}$ ; e as velocidades de $5 \text{ km.h}^{-1}$ , $12 \text{ km.h}^{-1}$ e $20 \text{ km.h}^{-1}$ .                                         | 56 |
| Tabela 7. | Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução x Ângulo considerando a ausência e a presença de tubo condutor e os ângulos de $-11^{\circ}$ , $0^{\circ}$ e $11^{\circ}$ .                                                                                                           | 56 |
| Tabela 8. | Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução x Velocidade considerando a ausência e a presença de tubo condutor e as velocidades de $5 \text{ km.h}^{-1}$ , $12 \text{ km.h}^{-1}$ e $20 \text{ km.h}^{-1}$ . Desdobramento das médias de espaçamentos                             | 57 |

aceitáveis (%) da interação Condução x Velocidade considerando a ausência e a presença de tubo condutor e as velocidades de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>.

|            |                                                                                                                                                                                                                             |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 9.  | Análise de variância para o dosador MaterMacc considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de -11°, 0° e 11°; e as velocidades de 5 km.h <sup>-1</sup> , 12 km.h <sup>-1</sup> e 20 km.h <sup>-1</sup> | 63 |
| Tabela 10. | Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) em função da variável isolada Condução (sem e com tubo condutor de sementes).                                                                                       | 63 |
| Tabela 11. | Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) em função das velocidades de 5 km.h <sup>-1</sup> , 12 km.h <sup>-1</sup> e 20 km.h <sup>-1</sup> .                                                                 | 64 |
| Tabela 12. | Porcentagem de deposições aceitáveis (%) de milho híbrido P1225VYHR pelo dosador John Deere em função da velocidade de semeadura para 0° de inclinação longitudinal.                                                        | 81 |
| Tabela 13. | Porcentagem de deposições aceitáveis (%) de milho híbrido P1225VYHR pelo dosador Precision Planting em função da velocidade de semeadura para 0° de inclinação longitudinal.                                                | 81 |
| Tabela 14. | Porcentagem de deposições aceitáveis (%) de milho híbrido P1225VYHR pelo dosador MaterMacc em função da velocidade de semeadura para 0° de inclinação longitudinal.                                                         | 82 |

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

|         |                                                                |
|---------|----------------------------------------------------------------|
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                       |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                    |
| ONU     | Organização das Nações Unidas                                  |
| ANOVA   | <i>Analysis of Variance</i> (Análise de Variância)             |
| FAO     | <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                |
| MAPA    | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento            |

## Sumário

|          |                                                    |    |
|----------|----------------------------------------------------|----|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                  | 18 |
| 1.1      | Justificativa                                      | 18 |
| 1.2      | Motivações                                         | 18 |
| 1.3      | Objetivo geral                                     | 19 |
| 1.4      | Objetivos Específicos                              | 19 |
| 1.5      | Organização Geral                                  | 19 |
| <b>2</b> | <b>Revisão Bibliográfica</b>                       | 21 |
| 2.1      | O desafio do Agronegócio                           | 21 |
| 2.2      | Aspectos econômicos                                | 21 |
| 2.3      | Agricultura de Precisão                            | 24 |
| 2.4      | Agricultura familiar                               | 25 |
| 2.5      | Importância da precisão de semeadura               | 25 |
| 2.6      | Dosadores de sementes                              | 26 |
| 2.6.1    | Dosadores do mercado brasileiro                    | 27 |
| 2.7      | Análise de desempenho dos dosadores no campo       | 32 |
| 2.8      | Análise de desempenho dos dosadores em laboratório | 34 |
| 2.9      | Condução de sementes                               | 36 |
| <b>3</b> | <b>Metodologia</b>                                 | 37 |
| 3.1      | Material                                           | 37 |
| 3.2      | Métodos                                            | 40 |
| <b>4</b> | <b>Resultados e Discussões</b>                     | 45 |
| 4.1      | John Deere MaxEmerge5                              | 45 |
| 4.2      | Precision Planting vSet                            | 51 |
| 4.3      | MaterMacc                                          | 58 |
| 4.4      | Revisão dos resultados                             | 64 |
| <b>5</b> | <b>Conclusões</b>                                  | 69 |
|          | <b>Referências Bibliográficas</b>                  | 70 |
|          | <b>Apêndices</b>                                   | 75 |

## **1 Introdução**

### **1.1 Justificativa**

O crescimento da população mundial tem como consequência o aumento da demanda por alimentos, tanto para consumo próprio quanto para uso na pecuária. Neste contexto, o aumento da produção de alimentos torna-se um desafio para a agricultura no que refere-se à otimização de práticas de manejo de culturas.

No Brasil, a Agricultura Familiar é responsável por 40% da produção total de alimentos, além de empregar 80% da população que vive em zonas rurais. Esse setor da agricultura é responsável, por exemplo, por 46% de todo o milho produzido no país. No que diz respeito às práticas agrícolas a serem otimizadas, destaca-se a semeadura, que objetiva utilizar a área disponível da melhor forma a fim de obter a maior produção possível. Nesse contexto faz-se necessária a distribuição uniforme de sementes conforme a recomendação agrônômica. A máquina agrícola que desempenha essa função é a semeadora de precisão, que possui um mecanismo específico responsável pela dosagem uniforme de sementes: o dosador.

Existem no mercado diversas opções de dosadores de sementes, porém os mais utilizados são os dosadores mecânicos de disco horizontal e os dosadores pneumáticos. Estudos na área de Máquinas Agrícolas mostram que os dosadores pneumáticos fornecem melhor uniformidade na distribuição longitudinal de sementes quando comparados aos mecânicos de disco horizontal.

Nesse contexto mostra-se que novas pesquisas com dosadores pneumáticos de sementes são de grande importância para o setor, buscando possíveis melhorias nos projetos dos mecanismos utilizados.

Portanto, este trabalho analisou o desempenho de três dosadores pneumáticos diferentes quanto à sua capacidade de distribuição uniforme de sementes buscando entender como fatores como condução de sementes, ângulo de trabalho e velocidade influenciam na variável.

### **1.2 Motivações**

A motivação para esse trabalho é o desafio e a oportunidade que a demanda pelo aumento de produtividade traz ao agricultor. A melhoria na qualidade do processo

de semeadura é uma parte importante para a solução deste problema. Além disso, está claro que a agricultura de precisão necessita abranger urgentemente o agricultor familiar, pois ele é uma parte fundamental na produção mundial de alimentos.

### **1.3 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho de diferentes dosadores pneumáticos em função de seu percentual médio de espaçamentos aceitáveis analisando os fatores velocidade, ângulo longitudinal e presença ou ausência de tubo condutor de sementes através de ensaios realizados em laboratório.

### **1.4 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos definidos para o presente trabalho são:

- i. Analisar o comportamento dos dosadores pneumáticos quanto à velocidade do conjunto trator-semeadora e seu efeito sobre o percentual médio de espaçamentos aceitáveis;
- ii. Testar os dosadores pneumáticos com e sem mecanismos de condução de sementes para avaliar a influência destes no percentual médio de espaçamentos aceitáveis;
- iii. Testar os dosadores pneumáticos em diferentes ângulos de inclinação longitudinais para analisar seu desempenho em terrenos irregulares.

### **1.5 Organização Geral**

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica sobre os tipos e principais dosadores presentes no mercado brasileiro, bem como apresenta estudos em que os mesmos foram testados no campo e em laboratório.

Já no terceiro capítulo é apresentada a metodologia a qual os testes seguiram, com informações separadas em Materiais (equipamentos utilizados) e Métodos (análises realizadas para atingir os objetivos acima citados).

No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir dos dados experimentais, tais como análise de limite operacional, coeficiente de variação, regressão não linear, análise de variância e teste Tukey para cada

mecanismo estudado.

Por fim, no quinto capítulo, são mostradas as conclusões obtidas a partir dos resultados dos testes separados em tópicos para cada dosador ensaiado.

## **2 Revisão Bibliográfica**

### **2.1 O desafio do Agronegócio**

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população do planeta deve atingir 9,7 bilhões de pessoas no ano de 2050, tendendo a bater 11 bilhões por volta do ano de 2100 (ONU, 2019).

Para Bassoi et al. (2019) sendo a Agricultura responsável pelo abastecimento alimentício da população mundial, cabe à mesma aumentar a produtividade, extraindo o máximo de valor de cada etapa produtiva e assim proporcionando segurança alimentar. Para isso os autores defendem que o processo de produção agrícola deverá integrar conhecimentos agrônômicos, grandes bases de dados agrícolas (*Big Data*), tecnologias inovadoras de sensores, satélites, veículos aéreos não tripulados, máquinas e robôs autônomos, *softwares* e computação em nuvem.

### **2.2 Aspectos econômicos**

Luna e Klein (2019) mostram a maneira como o Brasil se tornou o maior exportador líquido de alimentos do mundo e o terceiro maior produtor e exportador agrícola. Segundo os autores esse é um dos desenvolvimentos mais importantes da história moderna.

Os principais importadores de insumos agrícolas de origem brasileira segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020) são China, União Européia, Estados Unidos, Japão, Hong Kong, entre outros. O percentual de vendas para cada um desses é apresentado na Figura 1, onde é possível observar que os chineses são os principais compradores com 33,79% do total exportado, representando sozinho valor de US\$ 7,22 bilhões na receita total de US\$ 21,40 bilhões adquiridos no período de janeiro a março de 2020.

Entre os estados brasileiros presentes no agronegócio, destacam-se o Mato Grosso com 18,73% de contribuição, São Paulo com 16,22%, Paraná com 12,98%, Rio Grande do Sul com 8,44% e Minas Gerais com 7,98%. Os demais estados somados representam 35,64% das exportações brasileiras do Agronegócio (MAPA, 2020).

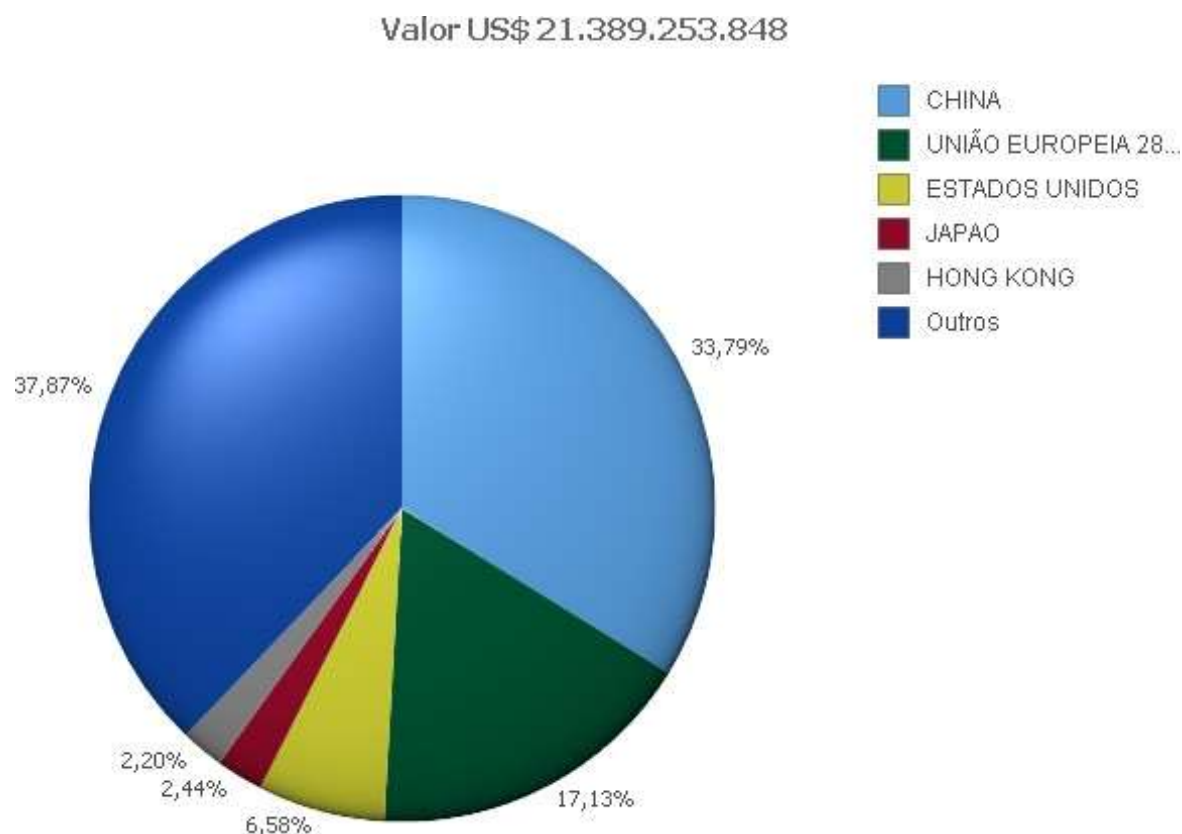


Figura 1. Exportações Brasileiras do Agronegócio por Mercados - 2020.  
Fonte: MAPA (2020)

Tendo por base o estudo de Feix e Leusin Júnior (2019), o Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional de máquinas e implementos agrícolas, se beneficiando da expansão do mercado brasileiro nas últimas décadas. As empresas gaúchas consolidaram suas vantagens competitivas no mercado nacional, fazendo com que atualmente gigantes multinacionais dividam espaço com empresas locais de variados portes.

O estudo feito pelo IBGE no ano de 2014 mostra que a indústria de máquinas e equipamentos tem contribuição de aproximadamente 12% no valor de transformação da indústria gaúcha, isto é, transformação de matéria prima em produto final. Dentro deste percentual, os produtos destinados à fabricação de bens para agropecuária como máquinas agrícolas representam mais que a metade, destacando tratores agrícolas, colhedoras e semeadoras (IBGE, 2014).

Ainda segundo Feix e Leusin Júnior (2019), o crescimento agrícola em outras regiões do país favoreceu a comercialização de máquinas e equipamentos produzidos no Rio Grande do Sul. Este fato fortalece a percepção de que o crescimento da indústria de máquinas e equipamentos gaúcha está atrelada ao crescimento da

agricultura brasileira. No ano de 1990, as empresas sediadas no estado correspondiam a 38,8% da produção de máquinas agrícolas e rodoviárias, em 2018 esse percentual aumentou para 47%.

## 2.3 Agricultura de Precisão

Campos Bernardi (2014) resume o conceito de Agricultura de Precisão como sendo um sistema de gestão que leva em conta a variabilidade espacial do campo com o objetivo de obter um resultado sustentável social, econômico e ambiental. Nesse sistema, a produção é altamente dependente de informações do campo por meio de dados georreferenciados, digitalizados com alto fluxo de informação. Esse fato evidencia a necessidade de conectar sistemas de produção agrícola ao mundo digital para estruturar um canal de comunicação e fluxo de dados entre eles (Basso et al., 2019).

Molin (2017) em seu trabalho mostra o estudo realizado pelo grupo Kleffmann que realizou entrevistas com 992 produtores das regiões Sul, Centro-Oeste e do Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Nele houve a indicação de que as tecnologias da Agricultura de Precisão foram adotadas por 45% dos entrevistados, sendo que a aplicação de sementes, agroquímicos e fertilizantes à taxa variável foi de 13%, 14% e 26%, respectivamente. Entre os componentes de monitoramento das operações e automação das máquinas adotados pelos entrevistados, uso de piloto automático destaca-se de fato como tecnologia mais adotada e chega a 60%, conforme a Figura 2.

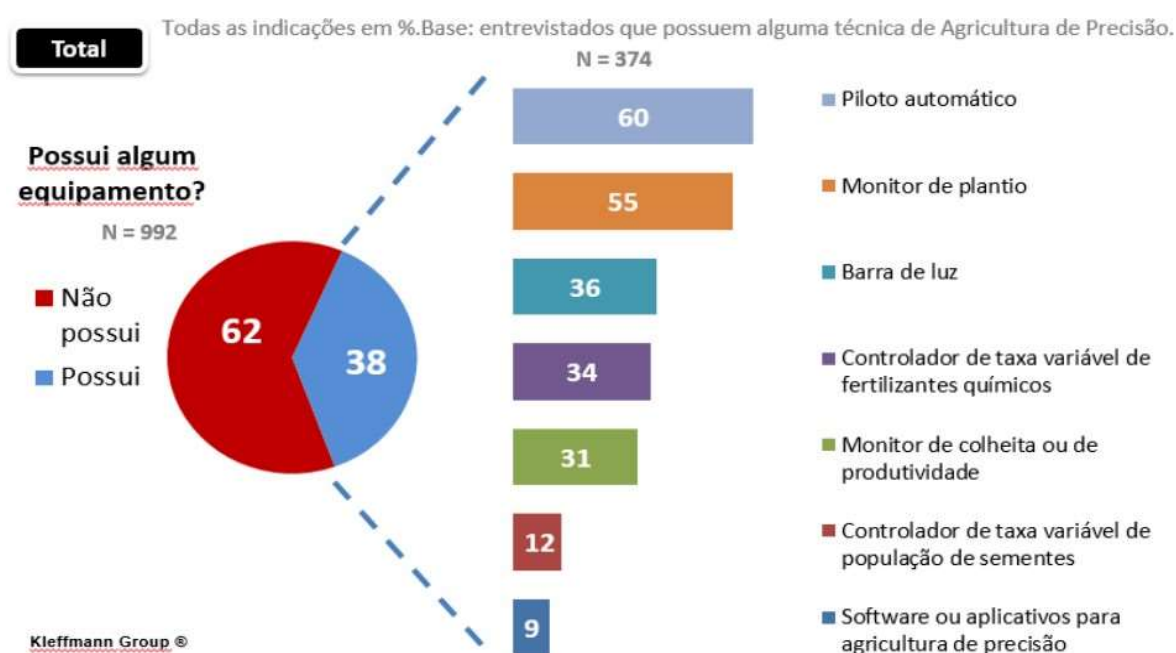


Figura 2. Frequência de adoção de tecnologias para o monitoramento das operações e de automação das máquinas.

Fonte: Molin (2017).

Na Figura 2 é possível observar também que somente 12% dos produtores entrevistados possuem um controlador a taxa variável de população de sementes.

## **2.4 Agricultura familiar**

Os conceitos de agricultura familiar passaram a ser amplamente discutidos na academia brasileira em meados da década de 90. Em muitos casos era associada à agricultura de subsistência, de baixa renda ou agricultura camponesa. No entanto, o que caracteriza esse setor de fato é a atividade agropecuária compartilhada entre os membros de uma família como principal fonte de renda da mesma (Lima, Silva e Iwata, 2019).

Em um contexto mundial a agricultura familiar corresponde a 90% das propriedades rurais, produzindo 80% dos alimentos que abastecem o planeta terra, segundo (FAO, 2014). No Brasil, a agricultura familiar corresponde a 3,90 milhões dos estabelecimentos rurais, ocupando uma área de 80,90 milhões de hectares. A agricultura familiar gaúcha corresponde a 293,28 mil estabelecimentos de um total de 364,19 mil (IBGE, 2017).

## **2.5 Importância da precisão de semeadura**

A qualidade do processo de semeadura influencia diretamente no contexto econômico dos cultivos agrícolas, nele qualquer descuido pode gerar perdas na produtividade (Navid et al., 2011). Em seu estudo, Bottega et al. (2014) trazem a qualidade do processo de semeadura como um fator entre outros capaz de melhorar a produtividade de uma lavoura.

Siqueira (2008) definiu máquinas semeadoras adubadoras de precisão como máquinas que realizam o processo de semeadura e adubação de culturas de sementes graúdas, depositando-as de maneira individualizada. A distância entre as sementes depositadas por essa máquina é teoricamente uniforme de acordo com o mecanismo dosador e o deslocamento da máquina. A diferença entre o número de sementes por fileira deve ser pequena.

De acordo com Silva (2015) para se obter bons resultados no processo de semeadura de milho, fatores como a distribuição uniforme de sementes tanto em profundidade quanto em relação à distância longitudinal devem ser buscados. Para

isso, a velocidade do conjunto trator-semeadora e os mecanismos do sistema de deposição são essenciais na busca por aumento significativo de produtividade.

Para semeadoras a disco horizontal alveolados recomenda-se velocidades menores ou iguais a  $5 \text{ km.h}^{-1}$ . Estudos demonstram perdas de produtividade de até 11% ao aumentar esta velocidade no intervalo compreendido entre 5 e  $10 \text{ km.h}^{-1}$  para estas máquinas. Já semeadoras equipadas com dosadores pneumáticos podem semear com velocidade de até  $10 \text{ km.h}^{-1}$ , desde que outros fatores como as condições de topografia do terreno, umidade e textura do solo permitam. De maneira geral, não é recomendada a operação de semeadura em velocidades maiores que  $7 \text{ km.h}^{-1}$  quando utilizadas essas máquinas. Um teste é aconselhado antes da semeadura, operando a semeadora em diferentes velocidades, buscando a otimização deste valor (EMBRAPA, 2017).

Conforme o estudo de Sigales et al. (2020) algumas das principais marcas do mercado brasileiro já disponibilizam em suas linhas de semeadoras, máquinas que operam com ferramentas de agricultura de precisão. Isto ajuda na eficiência do processo no que se refere ao aproveitamento da área de cultivo disponível ao agricultor.

## **2.6 Dosadores de sementes**

A semeadura de precisão busca por espaçamentos equidistantes entre sementes, podendo ser arranjadas de forma retangular, quadriculada ou triangular, porém os dois últimos formatos não são muito utilizados por precisarem de distância entre linhas muito reduzidas, abaixo das recomendações atuais (Heege, 1993). O componente mecânico responsável por realizar essa atividade é conhecido como dosador de precisão e estão presentes nas principais máquinas semeadoras comerciais. Esses mecanismos são geralmente classificados em dois grupos, são eles: puramente mecânicos e mecânicos pneumáticos (Ogliari, 1990).

Os mecanismos puramente mecânicos são encontrados geralmente na forma de disco alveolados no fundo de um recipiente de armazenagem de sementes, assim ao girarem, os alvéolos captam e transportam a semente até uma abertura de saída em que será direcionada ao solo (Ogliari, 1990).

Já os mecanismos mecânicos pneumáticos também são normalmente encontrados na forma de discos perfurados onde atuam estes efeitos. No momento

em que as sementes entram em contato com esses orifícios são atraídas para dentro deles em virtude do diferencial de pressão entre as partes internas e externas do disco. Como giro do disco a semente é transportada até um condutor de saída onde o efeito pneumático é cessado e a semente fica livre para ser depositada no solo (Ogliari, 1990).

### 2.6.1 Dosadores do mercado brasileiro

No mercado atual existem fabricantes que focam no desenvolvimento de dosadores de precisão como a J. Assy que apresenta, entre outros, os modelos Selenium, Titanium e Titanium Elétric. O dispositivo Selenium é um dosador pneumático que promete alto desempenho na distribuição e individualização da soja, além de possuir um visor do comportamento das sementes em seu interior, mostrado na Figura 3.



Figura 3. Dosador pneumático de disco vertical J. Assy Selenium, onde: (A) Visor do comportamento da semente em seu interior.

Fonte: J. ASSY (2020a)

Por outro lado o dosador Titanium possui o mecanismo de disco horizontal alveolado e promete ao agricultor um alto percentual de redução de duplas e falhas caracterizando alta eficiência, possui uma escova que trabalha orientando as sementes que não caíram por gravidade no interior dos alveólos. O contato da escova com as sementes é homogêneo e suave para não danificar as mesmas. Também possui um visor de sementes análogo ao Selenium. Este equipamento é mostrado na

Figura 4.

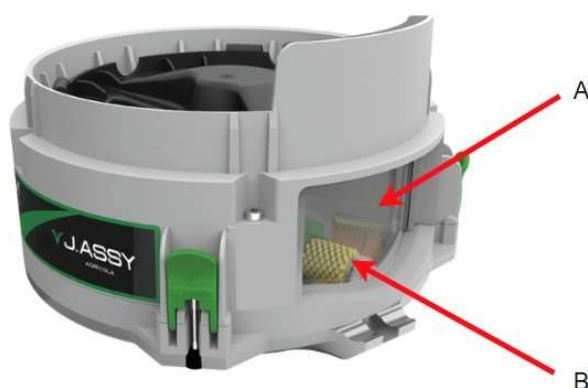


Figura 4. Dosador de disco horizontal J. Assy Titanium, onde: (A) Visor do comportamento da semente em seu interior e (B) Escova de orientação das sementes.  
Fonte: J. ASSY (2020b)

A fabricante também possui um modelo de dosador mecânico com motor elétrico, o Titanium Elétric mostrado na Figura 5, que oferece ao produtor a garantia da rotação uniforme do disco perfurado, além do visor para observação do comportamento das sementes em seu interior. Com apenas alguns toques o operador pode controlar parâmetros como velocidade de semeadura e densidade de sementes, através de um display *touchscreen* instalado dentro da cabine do trator. Esse modelo individualiza as linhas de semeadura.

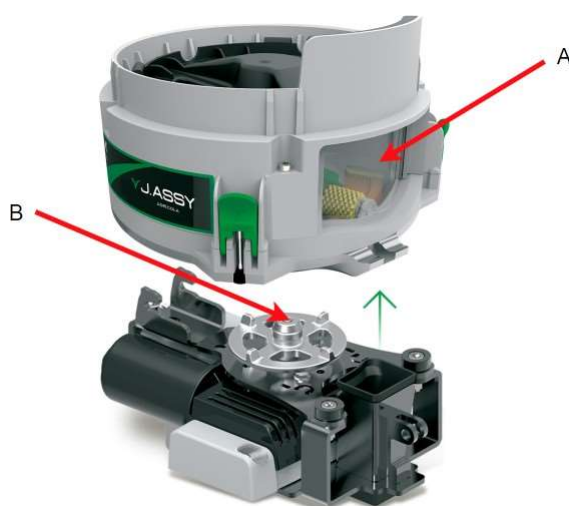


Figura 5. Dosador de disco horizontal com acionamento elétrico J. Assy Titanium Elétric, onde: (A) Visor do comportamento da semente em seu interior e (B) Encaixe do motor de acionamento.  
Fonte: J. ASSY (2020c)

A empresa John Deere utiliza em sua série de semeadoras 2100 o sistema de dosagem denominada VacuMeter, dosador pneumático que segundo a fabricante

possibilita uma excelente distribuição de sementes em velocidades de até  $12 \text{ km.h}^{-1}$  com *stand* perfeito, mostrado na Figura 6.



Figura 6. Dosador pneumático de disco vertical John Deere Vacumeter.  
Fonte: JOHN DEERE (2020a)

Atualizando a sua tecnologia, a John Deere também apresenta a semeadora Exactemerge exibida na Figura 7, que possui um sistema exclusivo de transporte de sementes através de correias e escova. O dosador a vácuo e a correia transportadora são acionados por dois motores elétricos diferentes e sincronizados.

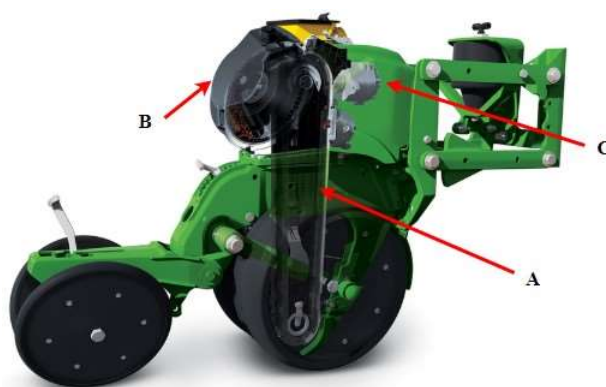


Figura 7. Semeadora pneumática de cilindro vertical e acionamento elétrico John Deere Exactemerge, onde: (A) Correia transportadora, (B) Dosador pneumático e (C) motores de acionamento.  
Fonte: JOHN DEERE (2020b)

Em Novembro de 2018 a semeadora ExactEmerge tracionada por um trator RX (ambos conectados ao Centro de Operações da companhia para mensurar a qualidade de semeadura e a quantidade de área) quebraram o recorde mundial de maior área plantada em 24 horas. O feito foi realizado na Fazenda SLC Palmares, em

Luís Eduardo Magalhães (BA) e totalizou 543 hectares plantados em 24 horas, acompanhado e registrado pela Fundação MT (instituição de pesquisa agrônômica de Mato Grosso), superando o recorde anterior de 502 hectares registrado na Hungria (Vaz, 2019).

Assim como a John Deere e a J. Assy, outras empresas apostam nos mecanismos de dosagem pneumática, como por exemplo a Semeato que apresenta o Vacuum System (Figura 8) que segundo a empresa é um sistema preciso e robusto de dosagem e distribuição desenvolvido para separar as sementes. Disponibiliza alta precisão operando sementes de formato e tamanhos irregulares, melhorando a plantabilidade e reduzindo o número de duplos e falhos das mesmas (SEMEATO, 2020).



Figura 8. Dosador pneumático de disco vertical Semeato VacuumSystem.  
Fonte: SEMEATO (2020)

A Topplanting traz ao mercado o seu dosador horizontal de disco alveolado TopX3 mostrado na Figura 9, que tem por características, segundo a fabricante, melhor individualização, menor índice de falhos e duplos e redução do ricochete no tubo de sementes. Em uma breve análise no site da empresa é possível encontrar casos em que esse dispositivo é adaptado em máquinas de outros fabricantes (TOPLANTING, 2020).



Figura 9. Dosador de disco horizontal Toplanting Top X3.  
Fonte: TOPLANTING (2020)

Grandes *holdings* como a AGCO, através de suas marcas Valtra e Massey Fergusson também trazem ao mercado interessantes alternativas. A Valtra apresenta na série Multiple L um dosador de disco alveolado com sistema “pipoqueira”, garantindo maior qualidade e uniformidade na semeadura (VALTRA, 2015).

Já a Massey Fergusson, em sua série 500, traz dosadores pneumáticos da empresa Precision Planting que na opinião da empresa proporcionam melhor desempenho da máquina e consequentemente melhor produtividade nas lavouras. A empresa também informa que por possuir o sistema de semeadura vSet (Figura 10) discutido no parágrafo seguinte, garante 99% de individualização. Seu disco de dosador de sementes não exige regulagem, descartando os erros de calibração (MASSEY FERGUSON, 2020).

A Precision Planting é uma empresa norte americana que produz dosadores de precisão. O equipamento denominado vSet (Figura 10) também é um dosador pneumático de precisão que usa um disco plano que não tem preferência por determinado tamanho de semente. Quando combinado a um exclutor, esse disco retira sementes extras, possibilitando uma precisão de 99% para culturas de milho e soja, sem precisar de ajustes na pressão ou no próprio disco. Outra característica deste equipamento é ser projetado para ter fácil adaptação em semeadoras diversas, até mesmo as que ainda não possuem sistema a vácuo (PRECISION PLANTING, 2020). Esse modelo pode ser encontrado tanto em versões com acionamento via motor elétrico, como na Figura 10, quanto em versões com acionamento via eixo cardan.



Figura 10. Dosador pneumático Precision Planting vSet.  
Fonte: PRECISION PLANTING (2020)

## 2.7 Análise de desempenho dos dosadores no campo

Bottega et al. (2017) avaliaram em 3 velocidades diferentes (4, 6 e 8 km.h<sup>-1</sup>) a uniformidade da distribuição longitudinal de duas semeadoras-adubadoras, uma equipada com dosador pneumático e outra em com disco perfurado horizontal. O experimento foi realizado no campo, em uma fazenda no interior do Paraná. Como resultados observaram que o dosador pneumático foi melhor em comparação estatística ao dosador horizontal de disco alveolado. Os autores atribuíram isso a forma como o dosador pneumático seleciona a semente, pois a danifica menos, e sementes danificadas possuem resultados inferiores. A velocidade onde este mostrou melhor resultado foi de 6 km.h<sup>-1</sup>. O aumento da velocidade também aumentou o número de espaçamentos falhos e duplos, independente do mecanismo dosador utilizado. Os autores concluem que a distribuição de plantas mais adequada foi obtida ao se utilizar o dosador de sementes pneumático nas velocidades 4 e 6 km.h<sup>-1</sup>.

Em outro artigo, Bottega et al. (2014) avaliaram a influência de três velocidades (3, 6 e 9 km.h<sup>-1</sup>) e duas profundidades diferentes de semeadura (0,03 e 0,05m) para uma lavoura de milho, totalizando 6 combinações possíveis entre velocidade e profundidade. O experimento foi realizado na Fazenda Alvorada, situada no município de Mamborê — PR utilizando uma semeadora-adubadora modelo 4000 composta por cinco linhas distantes 0,90m entre si. Para avaliar a distribuição longitudinal de sementes, os autores usaram o método de verificação de germinação de sementes, verificando o número de espaçamentos falhos, duplos e aceitáveis 16 dias após a

realização da semeadura. Os dados obtidos através desse teste foram tratados usando o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, análise de variância e as médias testadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observaram que nas velocidades de 3 e 6 km.h<sup>-1</sup> o espaçamento normal entre plantas apresentou melhor distribuição, já a velocidade de 9 km.h<sup>-1</sup> mostrou resultado inferior neste critério. O trabalho foi concluído com as informações de que profundidade de semeadura não influenciou nas variáveis estudadas independente da velocidade empregada no processo; a velocidade de deslocamento mais elevada reduz a média de espaçamentos aceitáveis e que não há relação entre velocidade e profundidade de semeadura para as variáveis que foram estudadas, nas condições em que foram realizados os experimentos.

Em seu estudo Jasper et al. (2011) apresentaram como objetivo realizar um experimento que analisasse o desempenho de dosadores mecânicos e pneumáticos sobre influência do incremento de velocidade na cultura de soja. O experimento foi realizado a campo na região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, avaliando a população inicial e distribuição longitudinal (espaçamentos falhos, múltiplos e aceitáveis). Como resultados mostram que mesmo com a redução significativa nos espaçamentos aceitáveis de plântulas ao se elevar a velocidade de semeadura, o sistema pneumático apresentou valores inferiores de espaçamentos múltiplos e maior porcentagem de espaçamentos aceitáveis em comparação ao sistema de disco alveolado horizontal. Portanto, a distribuição longitudinal de sementes foi melhor no sistema pneumático, em comparação ao sistema de disco alveolado horizontal, quanto ao incremento da velocidade. Por fim concluem que as diferenças na distribuição longitudinal foram significativas para o sistema pneumático, pois ao elevar a velocidade de semeadura aumentaram o número e espaçamentos múltiplos e reduziram espaçamentos aceitáveis.

O estudo de Machado, Reynaldo e Vale (2019) teve como objetivo avaliar a influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho, com mecanismos dosadores de sementes de disco horizontal, pneumático e pneumático com kit auxiliar eSet da marca Precision Planting. Este kit é uma atualização que a Precision Planting propôs para corrigir o problema de ajuste encontrado nas semeadoras John Deere. O experimento foi realizado a campo, na fazenda da FAPA em Guarapuava – PR. As semeadoras foram testadas com 4 repetições em 3 velocidades diferentes (5, 7 e 9 km.h<sup>-1</sup>) analisando os números de aceitáveis, múltiplos e falhos de cada uma. Posteriormente os dados foram comparados usando o teste Tukey. A semeadora com

dosador pneumático usando o kit eSet obteve os melhores resultados em relação às demais quando analisadas as variáveis espaçamentos falhos e aceitáveis. Com o aumento das velocidades de deslocamento, as semeadoras apresentaram maior coeficiente de variação em relação a qualidade de espaçamentos, o que diminuiu a precisão dos dados. Segundo os autores, a utilização do kit eSet no mecanismo dosador diminui o coeficiente de variação e a estabilização do mesmo em velocidades acima de  $7 \text{ km.h}^{-1}$ . O aumento da velocidade teve influência para a redução de número de plantas, no entanto não comprometeu a produtividade. Por fim, concluem que a semeadora equipada pelo dosador pneumático com o kit eSet apresentou valores de precisão dentro do aceitável e seu melhor desempenho foi na velocidade de  $5 \text{ km.h}^{-1}$ .

## **2.8 Análise de desempenho dos dosadores em laboratório**

Dias et al. (2014) em seu trabalho ressaltaram a dificuldade da realização de experimentos com dosadores em laboratório no que diz respeito ao grande número de espaçamentos que a norma determina e a aquisição de dados para esse tipo de ensaio, pois é necessário bastante tempo. Os autores ressaltam a importância do conhecimento do melhor número de amostras para qualquer tipo de pesquisa, pois quanto maior esse número, maior a probabilidade de encontrar diferença estatística significativa. Seus testes foram feitos usando uma esteira carpetada e sementes de milho. Os espaçamentos foram medidos com uma trena, a esteira permanecia funcionando por um minuto para que a quebra da inércia não influenciasse na aquisição dos dados. Após esse tempo a esteira era desligada de maneira gradual. A densidade de sementes foi mantida de 6 sementes por metro para os dosadores ensaiados, sendo 2 de disco alveolado (DDH1 e DDH2) e dois pneumáticos (DP1 e DP2) avaliados em três diferentes velocidades de deslocamento (4,3; 6,1 e  $8,3 \text{ km.h}^{-1}$ ). Para estudar as amostras foram utilizadas duas técnicas de determinação amostral sobre a amostra mestra de 280 espaçamentos. Como resultados observaram que o dosador de disco alveolado chamado pelos autores de DDH1 apresentou diferenças significativas entre as 3 velocidades sugerindo maior sensibilidade ao aumento de velocidade. O método de intensidade de amostragem sugeriu que os mesmos tamanhos amostrais podem ser utilizados para testar diferentes mecanismos dosadores independente da velocidade, escolhendo apenas o nível de erro desejado. Já o método Bootstrap atribuiu menores tamanhos de amostra para os tratamentos

com maior regularidade na distribuição das sementes de milho. Concluindo, os autores dizem que é possível reduzir o tamanho de amostra para avaliar a regularidade de distribuição de sementes de milho em esteira carpetada independente do mecanismo dosador testado e sua velocidade e também, que podem ser utilizados em média 23 espaçamentos para avaliações que não necessitem de exatidão maior que 90%.

Também ressaltando a importância de testar sistemas mecânicos e as dificuldades testá-los em laboratório, Walker, Reis e Stefanello (2018) criaram uma bancada que deve simular as condições mais próximas da realidade do processo de semeadura. A bancada foi desenvolvida no Laboratório de Processos de Fabricação Mecânica da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) empregando a metodologia apresentada pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde o projeto é dividido em 4 partes, sendo elas: Projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. O equipamento desenvolvido custa em média R\$ 2,17 mil reais e é semelhante aos referenciados em seu trabalho, no entanto apresenta maior possibilidade de variação de parâmetros para testes. Sua conclusão mostra que a bancada cumpriu os objetivos, garantindo ensaios diversos com variação de rotação e maior agilidade na realização.

O estudo de Carpes et al. (2016) evidencia a importância dos parâmetros de velocidade e de densidade de semeadura, pois interferem na distribuição longitudinal dos dosadores. Os testes foram realizados no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) usando um dosador pneumático de sementes Precision Planting. Variando a velocidade periférica do disco dosador de sementes, selecionaram quatro amostras de diferentes densidades de semeadura (250; 300; 350; 400 mil sem.ha<sup>-1</sup>). Para analisar a distribuição longitudinal usaram os parâmetros aceitáveis, múltiplos e falhos. Os resultados observados mostram uma não linearidade comportamental e a tendência de redução do nível de precisão atrelado ao crescimento da densidade de semeadura, com exceção na amostra referente a 350 mil sementes por hectare. Os autores associam este fato a uma melhor adequação de operacionalidade do mecanismo dosador a um determinado nível de velocidade periférica de disco em conjunto com a velocidade de deslocamento. Por fim concluem o estudo apresentando o dosador pneumático como uma boa alternativa para aplicações de alta densidade, pois manteve o nível de precisão dentro do aceitável mesmo com o aumento de velocidade.

## 2.9 Condução de sementes

Um dos mecanismos principais da semeadora é o componente de deposição. Este conjunto de elementos que conduz ou transporta e deposita as sementes nos sulcos de semeadura (ABNT, 1996). Esse mecanismo é dotado de um tubo condutor onde, em seu interior, as sementes caem sob ação gravitacional. Há também a possibilidade de que a deposição de sementes seja forçada através de um mecanismo transportador no interior do tubo, conduzindo o grão da saída do dosador até as proximidades do fundo do sulco, nesse caso, utilizando outros meios que não a força da gravidade (Machado et al., 2005).

Carpes et al. (2017) avaliaram em laboratório 6 tipos de tubos condutores de sementes combinados com 2 tipos de dosadores (Horizontal e Pneumático). Com os dados coletados aplicaram técnicas estatísticas como média, desvio padrão e teste de Tukey para avaliar o desempenho do conjunto. Com os testes observaram que com o aumento da velocidade e da densidade de sementes o número de espaçamentos aceitáveis diminuiu.

No que diz respeito a deposição forçada de sementes, esse tipo de mecanismo é encontrado nas semeadoras de fluxo contínuo do mercado internacional, porém há a tendência de que esse mecanismo seja empregado nas semeadoras de precisão, pois segundo Kepner, Bainer e Barger (1982) o emprego desses mecanismos poderá mitigar os erros de deposição das sementes no solo. Júnior (1996) desenvolveu em sua tese um sistema pneumático para dosagem e transporte de sementes. Testou alguns dispositivos desaceleradores para relacionar a velocidade da semeadora com a de semeadura. Concluiu que é possível realizar dosagem e transporte de sementes com mecanismo pneumático, porém ressalta a necessidade de aprofundar os estudos com o uso de desaceleradores. Também chamou atenção para os danos causados pelo mecanismo de deposição nas sementes.

### **3 Metodologia**

#### **3.1 Material**

O presente trabalho foi realizado nas dependências do Laboratório de Processos de Fabricação Mecânica localizado no Centro de Engenharias (CEng) da UFPel, porém alguns testes foram realizados no Núcleo de Inovações em Máquinas e Equipamentos Agrícolas – NIMEq do Departamento de Engenharia Rural UFPel. As características construtivas de cada dosador são especificadas detalhadamente para que se tenha mais informações para debater os resultados.

Segundo Coelho (1996) os ensaios de máquinas semeadoras podem ser realizados em campo ou em laboratório, sendo o último o mais orientado para avaliação de mecanismos que manipulam sementes. Com isso, pode-se isolar uma parte da máquina como por exemplo o mecanismo dosador e testá-lo, de acordo com normas pré estabelecidas, em uma bancada dotada de equipamentos que possam simular o real funcionamento do componente. Para atingir os objetivos citados, foram realizados testes com dosadores pneumáticos utilizando a bancada desenvolvida por Walker, Reis e Stefanello (2018), mostrada na Figura 11.



Figura 11. Bancada de ensaios equipada com dosador pneumático, onde: 1) Estrutura da bancada; 2) Rodas de mobilidade; 3) Motor elétrico; 4) Eixo árvore cardã do sistema de transmissão; 5) Inversor de frequência; 6) Sistema de transmissão; 7) Dosador de sementes pneumático; 8) Aspirador de pó (fonte de vácuo).

Fonte: Walker, Reis; Stefanello (2018)

O dosador Martermac foi escolhido por ter um projeto mais antigo e ser empregado por vários fabricantes de semeadoras. Já o dosador da marca John Deere foi selecionado por esta ser uma marca de inserção mundial com reputação reconhecida. Por sua vez, o dosador da Precision Planting foi escolhido por ter um projeto contemporâneo e ser empregado, atualmente, por vários fabricantes de semeadores. As características de diâmetro do disco, diâmetro dos orifícios, número de orifícios do disco e número de fileiras desses são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características dos dosadores ensaiados

|                              | Max Emerge5 | vSet  | MaterMacc |
|------------------------------|-------------|-------|-----------|
| Diâmetro* do disco (m)       | 0,22        | 0,14  | 0,20      |
| Diâmetro dos orifícios (mm)  | 3,75        | 4,50  | 4,50      |
| Número de orifícios do disco | 40,00       | 27,00 | 24,00     |
| Número de fileiras           | 1,00        | 1,00  | 1,00      |

\*diâmetro até o centro dos orifícios

O primeiro mecanismo ensaiado foi o dosador pneumático John Deere MaxEmerge5 apresentado na Figura 12.



Figura 12. Dosador Pneumático John Deere MaxEmerge5.

O segundo dosador montado na bancada e testado foi o Precision Planting vSet representado na Figura 13.



Figura 13. Dosador Pneumático Precision Planting vSet.

Na terceira rodada experimental foi submetido a testes o dosador pneumático Maternacc mostrado na Figura 14.



Figura 14. Dosador Pneumático Matermacc.

Para registro das informações foi utilizado um sistema automático de coleta de dados desenvolvido por Andrade et al. (2021) baseado no sensor proposto por Araújo et al. (2008) e reprojetoado por Andrade et al. (2019). O sensor é baseado em um sistema microprocessado que comunica de forma contínua as leituras feitas por um sensor óptico instrumentado para adequação de sinal e disposto em geometria testada, com o computador via monitor serial através do protocolo RS-232. Ao final de cada experimento, o sistema disponibiliza um arquivo de extensão .csv que contém as informações de espaçamento temporal entre as sementes.

Utilizou-se um grupo de 251 sementes de Milho Híbrido P1225VYHR peneira C1 em cada repetição, tendo assim um total de 250 amostras de intervalo de tempo em cada parcela experimental.

### 3.2 Métodos

As velocidades foram simuladas na bancada em função da densidade de semeadura adotada e das rotações do eixo de acionamento do dosador. Essas foram 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 km.h<sup>-1</sup>, conferidas através de um fototacômetro medido no eixo do dosador. Para atuar como fonte de pressão pneumática utilizou-se um aspirador de pó Hidrowap A25 de 1400W, que garante a sucção de sementes necessária no interior do dosador pneumático. Essa pressão foi controlada em 94mmHg (12,53kPa) utilizando um sensor eletrônico para que fosse a mesma utilizada por Walker (2018). A variável de resposta analisada é o intervalo de tempo entre a passagem de sementes na saída do dosador ou do tubocondutor. Esta se relaciona com a densidade de semadura através da Equação 1.

$$\text{densidade de semeadura} = \frac{1}{\Delta t_{sem} \cdot v_{trator}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: *densidade de semeadura* é o número de sementes por metro linear (sem.m<sup>-1</sup>)  $\Delta t_{sem}$  é o intervalo de tempo entre a passagem das sementes pela saída do dosador ou tubo condutor dado em milisegundos (ms) e  $v_{trator}$  representa a velocidade simulada do trator dada em metros por segundo (m.s<sup>-1</sup>).

Os testes foram realizados em cinco repetições nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°, para cada dosador testado, com e sem dispositivo de condução de sementes em cada uma das velocidades. A representação das inclinações são mostradas na Figura 15.

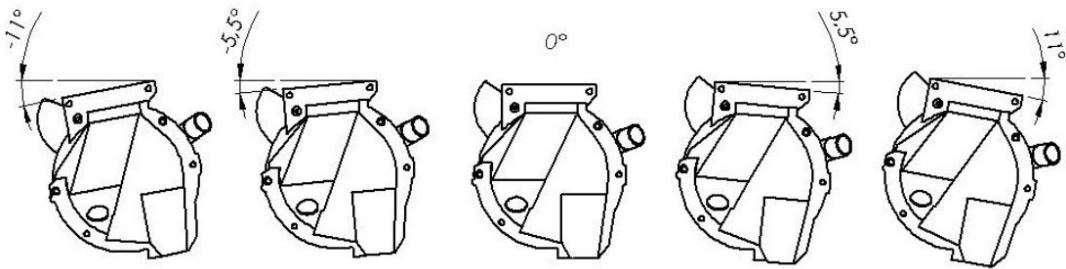


Figura 15. Inclinações longitudinais dos dosadores pneumáticos durante os testes.  
Fonte: WALKER (2018)

O projeto de norma ABNT (1994) apresenta a seguinte metodologia para ensaio de dosadores em laboratório: Elabora-se uma tabela de frequência mostrando o número de sementes de cada repetição, o número de vezes ( $n_i$ ) que determinada amostra ( $x_i$ ) ocorre e a frequência associada ( $f_i$ ) (Equação 2).

$$f_i = \frac{1}{\sum x_i} \cdot n_i \quad \text{Eq. (2)}$$

Calcula-se então a média de sementes por secção, conforme Equação 3.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i n_i}{\sum n_i} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em seguida elabora-se um histograma de frequência com os valores de  $x_i$  na abscissa e os valores correspondentes de  $f_i$  no eixo das ordenadas. Após isso calcula-se o desvio padrão (Equação 4).

$$DP = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Eq. (4)}$$

Por fim, calcula-se o coeficiente de variação conforme Equação 5.

$$CV = \frac{100 \cdot DP}{\bar{x}} \quad \text{Eq. (5)}$$

Os dados foram coletados respeitando o tempo de estabilização do experimento estipulado em 10 segundos e posteriormente foram analisados e verificadas as médias de espaçamentos aceitáveis de cada um, de acordo com os padrões definidos por Coelho (1996) que determina o espaçamento aceitável entre sementes, mostrado na Tabela 1, onde  $X_i$  é o valor obtido da amostra e  $X_{ref}$  é o valor de referência calculado em função da densidade de semeadura.

Tabela 2. Critérios para avaliação de espaçamentos.

| Tipo de espaçamento | Intervalo de tolerância para variação de $X_i$ |
|---------------------|------------------------------------------------|
| Múltiplos           | $X_i < 0,5X_{ref}$                             |
| Aceitáveis          | $0,5X_{ref} < X_i < 1,5X_{ref}$                |
| Falhos              | $X_i > 1,5X_{ref}$                             |

Fonte: Coelho (1996)

Para avaliar o limite de operação também utilizou-se outro padrão dado por Coelho (1996) que apresenta os mínimos valores aceitáveis e os máximos valores admissíveis do coeficiente de variação, mostrados na Tabela 3. Como foram testados dosadores pneumáticos, o limite ocorre quando o percentual médio de espaçamentos aceitáveis é inferior a 90% do total de amostras.

Para analisar o Coeficiente de Variação entre amostras aceitáveis, também usou-se o parâmetro de 30% dado pelo autor, dessa forma é possível avaliar a regularidade da distribuição longitudinal de espaçamentos aceitáveis entre sementes. Sendo o Coeficiente de Variação o desvio das amostras em torno da média, essa análise fornece a visão de quão regular está a distribuição das amostras que representam espaçamentos longitudinais aceitáveis.

Tabela 3. Valores mínimos de espaçamentos aceitáveis e coeficiente de variação de acordo com o tipo de mecanismo dosador.

| Tipo de dosador            | Mínimo de espaçamentos aceitáveis (%) | Máximo CV (%) |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------|
| Disco perfurado horizontal | 60                                    | 50            |
| Disco perfurado pneumático | 90                                    | 30            |

Fonte: Coelho (1996)

A fim de encontrar modelos matemáticos que descrevam o comportamento dos dosadores pneumáticos em função da velocidade, fixou-se o ângulo de 0° e analisou-se o comportamento da média de percentuais de espaçamentos aceitáveis sem e com a presença do tubo condutor usando a equação Sigmoidal de três parâmetros (Equação 6).

$$f = \frac{\alpha}{1 + e^{\frac{-x - x_0}{b}}}$$

Eq. (6)

Os dados obtidos nos experimentos de cada dosador foram analisados usando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) pois como tratam-se de experimentos em laboratório, tinha-se controle das variáveis ambientais. Para descobrir o grau de interação entre os tratamentos, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) trifatorial, onde o arranjo é ilustrado na Figura 16 que evidencia as 3 velocidades, 3 ângulos e 2 condições de condução de sementes possíveis. Buscou-se simplificar a análise utilizando apenas valores mínimos, médios e máximos das variáveis velocidade e ângulo, como pode ser observado na Figura 16, pois estes já possibilitam um bom entendimento do experimento. Para implementar a ANOVA foi usado o *software* SAS (*Statistical Analysis System*) comparando as médias com nível de probabilidade de 5%. As variáveis de controle que apresentaram influência ( $Pr < 5\%$ ) sobre a variável controlada foram submetidas ao teste de Tukey.

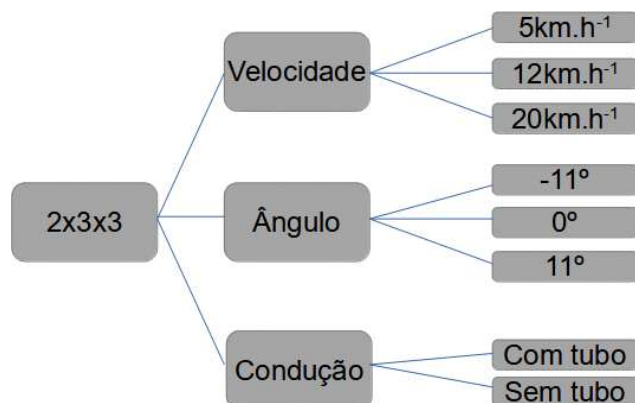


Figura 16. Delineamento experimental trifatorial.

Com esse estudo dos dados foi possível analisar a existência de algum tipo de interação significativa entre as variáveis velocidade, ângulo e condução de sementes durante os experimentos que afetaram a distribuição longitudinal de sementes.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 John Deere MaxEmerge5

O primeiro dosador testado em bancada foi o John Deere MaxEmerge5, como mostra a Figura 17.



Figura 17. Ensaio do Dosador John Deere MaxEmerge5.

A análise dos dados do experimento com o dosador representado na Figura 17 quanto ao limite operacional do dosador pneumático resultou nos gráficos mostrados abaixo onde as Figuras 18 e 19 mostram o percentual de espaçamentos aceitáveis sem e com tubo condutor de sementes respectivamente.

Observa-se na Figura 18 que o percentual médio de espaçamentos aceitáveis nos ângulos de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$  iniciam o experimento com valores abaixo de 90%, atingindo esse limiar em aproximadamente  $8 \text{ km.h}^{-1}$ , exceto na inclinação de  $-11^\circ$ . O dosador operou acima do seu limite operacional mínimo, que é de 90% de espaçamentos aceitáveis, para a inclinação de  $0^\circ$  na faixa de velocidades testadas sem tubo condutor. A Figura 19 mostra que o dosador apresenta um grande percentual de espaçamentos aceitáveis em  $0^\circ$ , atingindo seu limite operacional mínimo com a presença do tubo condutor na velocidade de  $18 \text{ km.h}^{-1}$ . Já nos ângulos de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$  o dosador não atingiu o limite mínimo, proposto por Coelho (1996), nas velocidades menores, apenas se aproximando do limiar de 90% de aceitáveis em

torno de  $12 \text{ km.h}^{-1}$ .

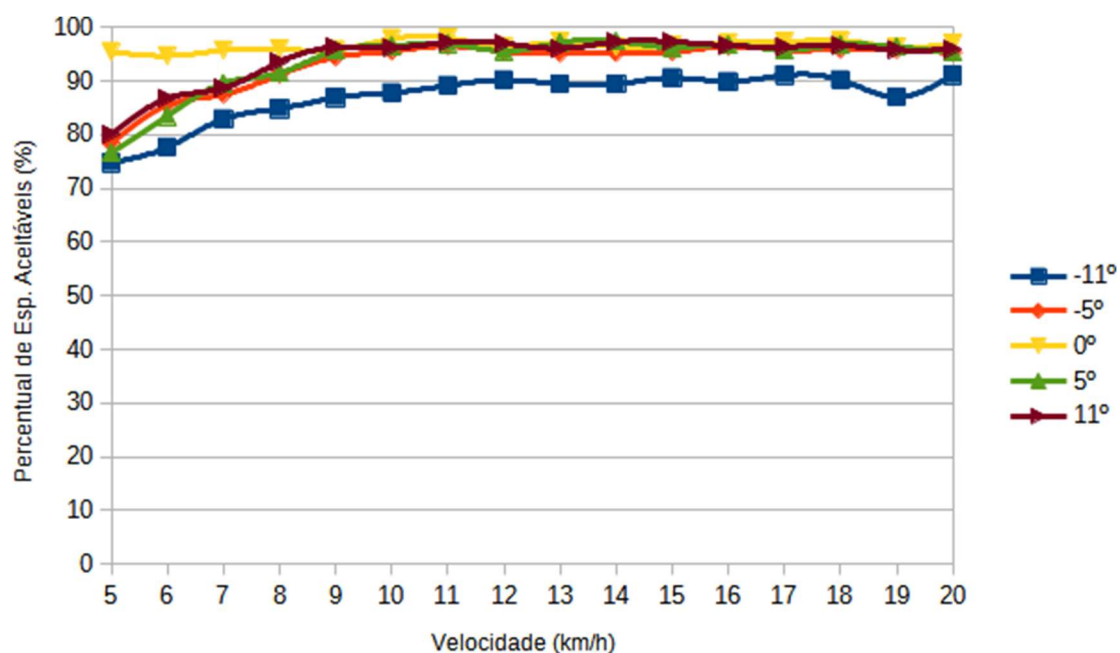


Figura 18. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador John Deere MaxEmerge5 operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

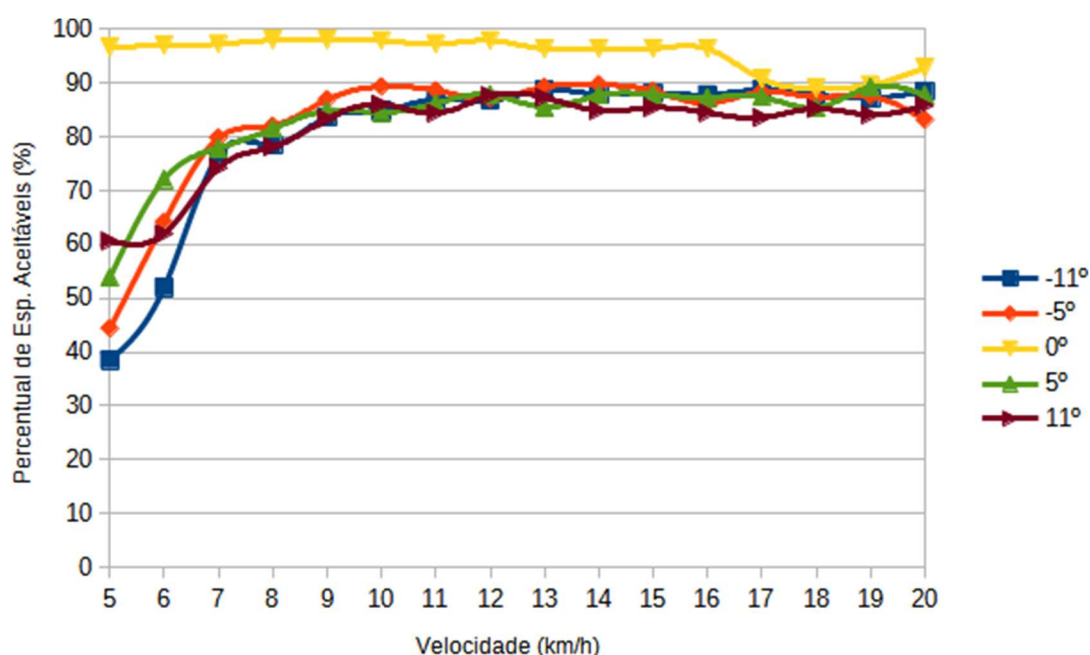


Figura 19. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

Uma hipótese para este baixo percentual de espaçamentos aceitáveis nas inclinações e em baixas velocidades é o ângulo aberto (detalhe C da Figura 20) do compartimento de sementes do dosador (detalhe A da Figura 20). Como o experimento foi realizado em laboratório, ou seja em condições controladas, a

vibração da bancada era menor em baixas velocidades o que pode dificultar o escoamento das sementes no interior do dosador. Dessa forma quando a velocidade era aumentada a vibração da bancada também crescia, criando assim uma condição favorável ao escoamento das sementes. Essa hipótese também está baseada no grande percentual de espaçamentos falhos, em velocidades menores, conforme as Figuras 38 e 39 em Apêndice.

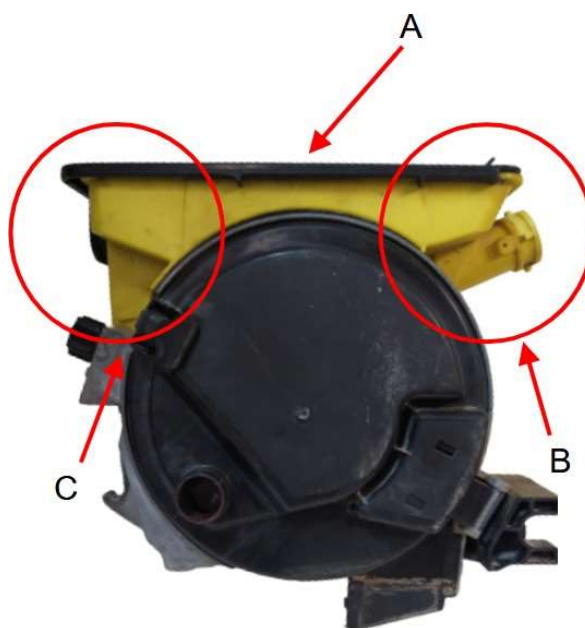


Figura 20. Detalhes construtivos do dosador John Deere MaxEmerge5, onde: (A) Reservatório de sementes; (B) Ângulo de escoamento da parte frontal do reservatório e (C) Ângulo de escoamento da parte traseira do reservatório.

As Figuras 21 e 22 apresentam os coeficientes de variação dos espaçamentos aceitáveis sem e com tubo condutor respectivamente para o dosador John Deere MaxEmerge5. A Figura 21 mostra que na ausência do tubo condutor esse dosador apresenta baixos coeficientes de variação independente do ângulo e da velocidade ensaiada. Já na Figura 22 é possível observar que o tubo condutor causou maior variação em torno da média, principalmente no ângulo de  $0^\circ$  na faixa de velocidade entre  $11$  e  $16 \text{ km.h}^{-1}$  e na velocidade isolada de  $20 \text{ km.h}^{-1}$ , mas ainda assim se manteve abaixo dos 30%. Acredita-se que este efeito é causado pelo repique das sementes no interior do tubo condutor o que afeta diretamente a regularidade da distribuição dos espaçamentos aceitáveis do dosador, também observado por Carpes et al. (2017).

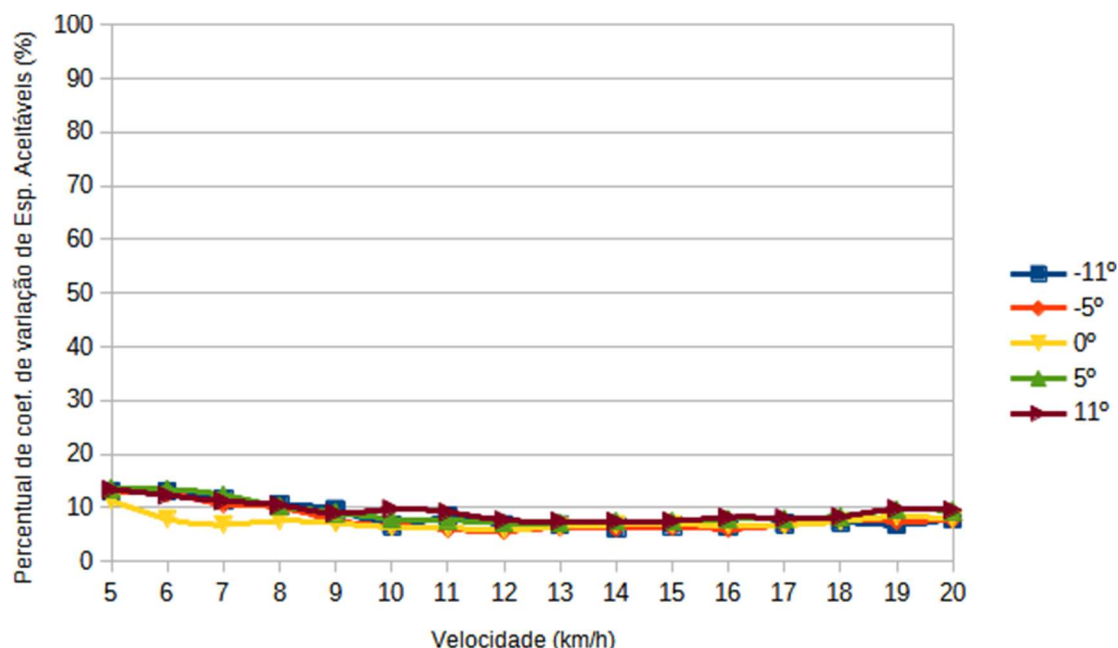


Figura 21. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador John Deere MaxEmerge5 operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

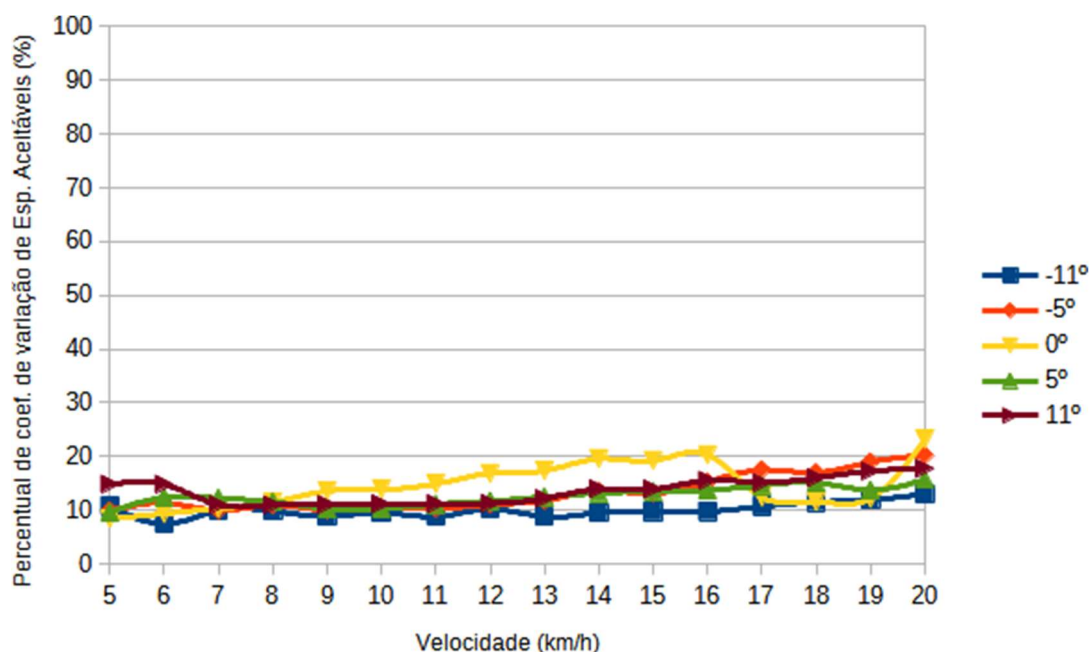


Figura 22. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

Com os dados correspondentes aos percentuais de espaçamentos aceitáveis em cada repetição do experimento com o dosador John Deere MaxEmerge5 sem e com a presença de tubo condutor em função das velocidades experimentadas (Tabela 12 em Apêndice B) para inclinação de  $0^\circ$ , foi realizada a regressão não linear. A Figura 23 apresenta a dispersão dos dados em torno do modelo. Os círculos na cor vermelha

representam as médias para o ensaio sem tubo condutor, bem como a curva em vermelho descreve o modelo para esses dados. Por outro lado os quadrados na cor azul referem-se aos dados do experimento com a presença do tubo condutor de sementes e a curva em azul corresponde ao modelo que melhor descreve a operação do dosador nessas condições. A probabilidade dos intervalos de confiança é de 95%.

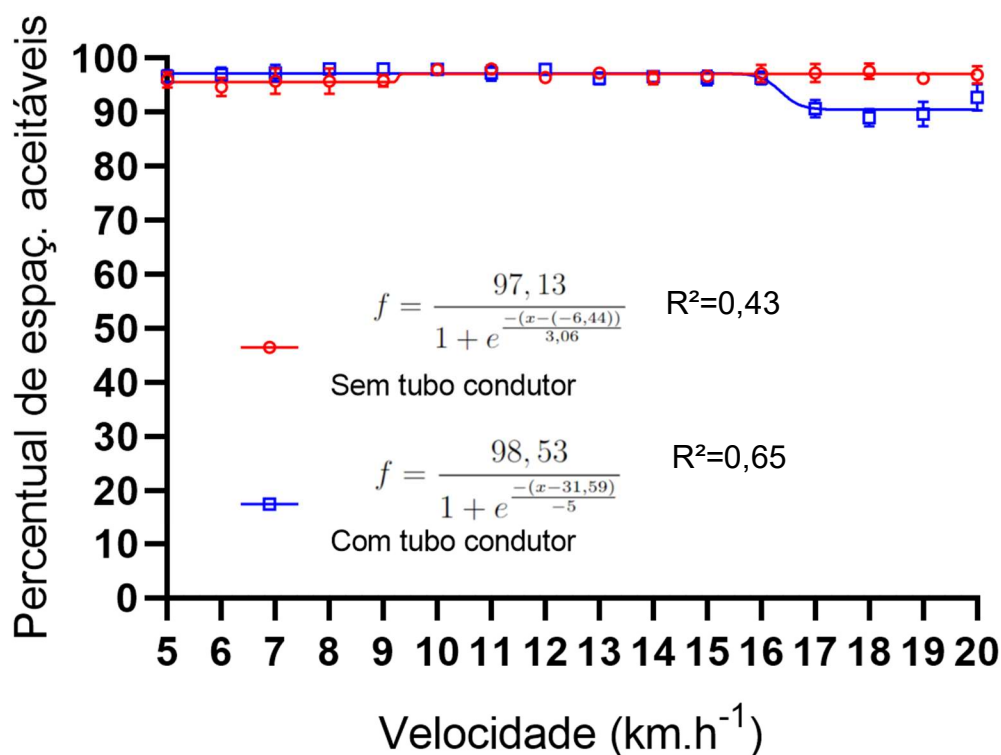


Figura 23. Resultado gráfico da regressão aplicada nos dados percentuais de espaçamentos aceitáveis correspondentes ao dosador John Deere MaxEmerge5 com e sem tubo condutor para a condição de inclinação longitudinal nula. As barras verticais correspondem ao intervalo de confiança com probabilidade de 95%.

O modelo acima apresentou, segundo a análise de variância, a probabilidade de refletir a realidade de 98,97% ( $P = 0,0103$ ) para a condição sem tubo condutor de sementes com ajuste de 43% ( $R^2 = 0,43$ ). Já para os dados referentes ao ensaio com tubo condutor de sementes, a análise de variância do modelo mostrou que o mesmo pode refletir a realidade com probabilidade igual à 99,96%. O ajuste dos dados foi de 65% ( $R^2 = 0,65$ ).

A tabela 4 mostra os resultados da ANOVA realizada sobre os dados provenientes do dosador John Deere MaxEmerge5 considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de -11°, 0° e 11°; e as velocidades de 5

km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>. Nesta é possível observar que todos os parâmetros possuem influência significativa na variável resposta com 1% de probabilidade de erro. Em casos como esse boas práticas estatísticas sugerem ignorar as interações de menor grau e analisar somente a interação de maior grau. Por essa razão o desdobramento das médias foi realizado apenas para a interação tripla entre Condução, Ângulo e Velocidade, sendo apresentada na Tabela 5.

Tabela 4. Análise de variância para o dosador John Deere MaxEmerge 5 considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de -11°, 0° e 11°; e as velocidades de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>.

| FV                             | GL | SQ      | QM      | F      | Pr > F  |
|--------------------------------|----|---------|---------|--------|---------|
| Condução                       | 1  | 1930,24 | 1930,24 | 237,61 | <0,0001 |
| Ângulo                         | 2  | 4904,80 | 2452,40 | 301,89 | <0,0001 |
| Velocidade                     | 2  | 6371,13 | 3185,56 | 392,14 | <0,0001 |
| Condução x Ângulo              | 2  | 831,20  | 415,60  | 51,16  | <0,0001 |
| Condução x Velocidade          | 2  | 946,58  | 473,29  | 58,26  | <0,0001 |
| Ângulo x Velocidade            | 4  | 3739,02 | 934,75  | 115,07 | <0,0001 |
| Condução x Ângulo x Velocidade | 4  | 1104,12 | 276,03  | 33,98  | <0,0001 |

Tabela 5. Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução x Ângulo x Velocidade considerando a ausência e a presença de tubo condutor; os ângulos de -11°, 0° e 11°; e as velocidades de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>.

| Velocidade<br>(km.h <sup>-1</sup> ) | Sistema de condução                                |            |            |                   |            |            |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|
|                                     | Sem tubo condutor                                  |            |            | Com tubo condutor |            |            |
|                                     | Ângulo                                             |            |            | Ângulo            |            |            |
|                                     | -11°                                               | 0°         | 11°        | -11°              | 0°         | 11°        |
| 5                                   | <sup>1</sup> B <sup>2</sup> c <sup>3</sup> α 74,80 | Aa α 96,00 | Bb α 80,08 | Bc β 38,48        | Aa α 96,64 | Bb β 60,64 |
| 12                                  | Ab α 90,24                                         | Aa β 96,48 | Aa α 97,04 | Ab β 86,80        | Aa α 97,92 | Ab β 87,68 |
| 20                                  | Ab α 91,12                                         | Aa α 96,96 | Aa α 95,92 | Ab β 88,48        | Ba β 92,80 | Ab β 85,84 |

<sup>1</sup>Letras maiúsculas comparam a porcentagem de espaçamentos aceitáveis (%) de milho híbrido P1225VYHRem função da velocidade, na coluna, pelo teste de Tukey (DMS % = 1,92) (α ≤ 0,05).

<sup>2</sup>Letras minúsculas comparam a porcentagem de espaçamentos aceitáveis em função do ângulo, na linha, pelo teste de Tukey (DMS % = 2,21) (α ≤ 0,05). <sup>3</sup>Letras gregas minúsculas comparam a porcentagem de espaçamentos aceitáveis em função do sistema de condução, em uma terceira dimensão, pelo teste de Tukey (DMS % = 2,31) (α ≤ 0,05).

Avaliando na Tabela 5 as colunas é possível observar que com o dosador nivelado(0°) praticamente não houve diferenças significativas entre os espaçamentos médios aceitáveis em função da velocidade independente da presença do tubo condutor. Já para as inclinações de -11° e 11° a variável resposta apresentou quedas nas menores velocidades discordando das observações de Bottega et al. (2017) que notou queda de espaçamentos aceitáveis conforme o aumento de velocidade. Isto pode ser explicado por tratar-se de um projeto norte americano onde as velocidades usuais de semeadura costumam ser mais elevadas que as brasileiras, justificando

assim um tubo condutor projetado para velocidades maiores. Em velocidades menores a semente não desliza suavemente pela curvatura inferior do tubo, durante a queda a semente colide nessa mesma parede curva em um ponto mais abaixo, gerando repique. Em outra perspectiva, dessa vez analisando os tratamentos na linha através das letras minúsculas é possível observar que a inclinação de  $0^\circ$  e velocidade de  $5 \text{ km.h}^{-1}$  tanto com o tubo condutor quanto sem apresentam as maiores médias de espaçamentos aceitáveis em relação às demais. Isso sugere que a variação da inclinação afeta negativamente a dosagem e a deposição de sementes. Essa afirmação está em discordância com Walker (2018) que não encontrou diferença significativa nas médias de espaçamentos aceitáveis causadas por alterações dos ângulos longitudinais, porém com outro modelo de dosador pneumático. Sem tubo condutor a variável resposta apresenta queda para a inclinação de  $-11^\circ$  pois as sementes tendem a ficar aglomeradas na parte traseira do reservatório (detalhe (C) da figura 20) do reservatório do dosador devido à força gravitacional dificultar seu escoamento até a entrada da câmara de dosagem localizada no canto inferior da parte dianteira do reservatório de sementes.

Na terceira dimensão, analisando as letras gregas, a presença de tubo condutor na inclinação de  $0^\circ$  causou diferença significativa nas médias para todas as velocidades exceto de  $5 \text{ km.h}^{-1}$ , aumentando o percentual médio de espaçamentos aceitáveis em  $12 \text{ km.h}^{-1}$  e reduzindo para  $20 \text{ km.h}^{-1}$ . Já para as inclinações de  $-11^\circ$  e  $11^\circ$  o uso do tubo condutor causou queda nas médias em todas as velocidades evidenciando que em condições inclinadas sua presença reduz a regularidade da distribuição longitudinal de sementes do dosador ensaiado. Essa observação corrobora com as encontradas no trabalho publicado por Carpes et al. (2017) que destaca que o atrito entre as sementes e as paredes internas do tubo condutor presentes nas condições inclinadas provocam redução de espaçamentos aceitáveis na atividade desemeadura.

## 4.2 Precision Planting vSet

Dando sequência aos ensaios, montou-se o dosador Precision Planting vSet na bancada, conforme a Figura 24.



Figura 24. Ensaio do Dosador Precision Planting vSet.

Para esse dosador, o resultado gráfico com foco em encontrar seu limite operacional são mostrados nas Figuras 25 e 26 que representam a média percentual de espaçamentos aceitáveis sem e com tubo condutor de sementes respectivamente. Na Figura 25 percebe-se a dispersão das médias percentuais em relação ao limiar de 90%, destacando-se a inclinação correspondente a  $-11^\circ$  que não atingiu 90% de intervalos aceitáveis de sementes em nenhuma das velocidades testadas. Já na Figura 26 é possível observar que as médias percentuais se encontram em torno de 90% para todas as velocidades e inclinações experimentadas.

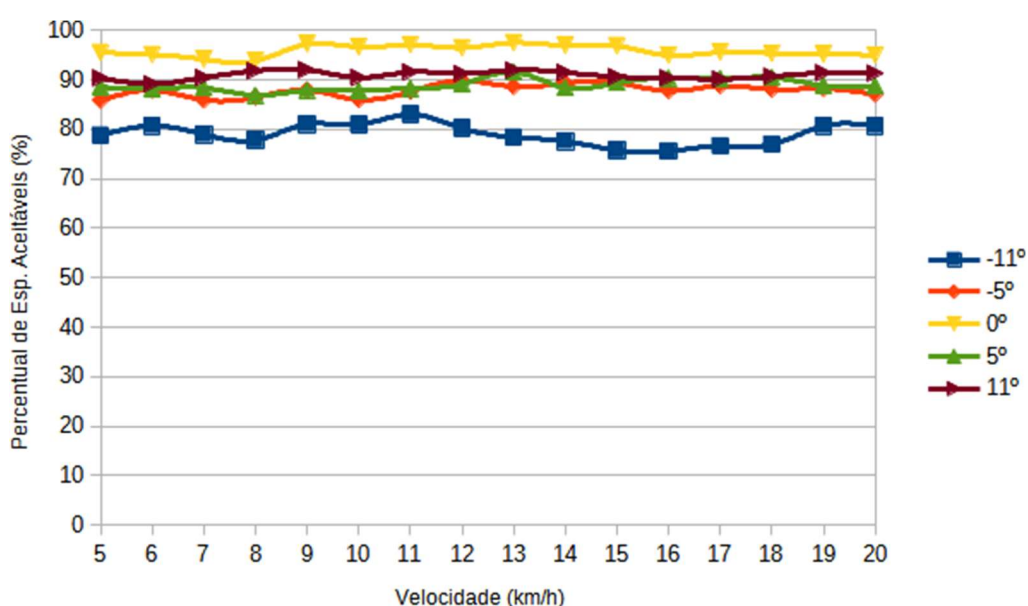


Figura 25. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

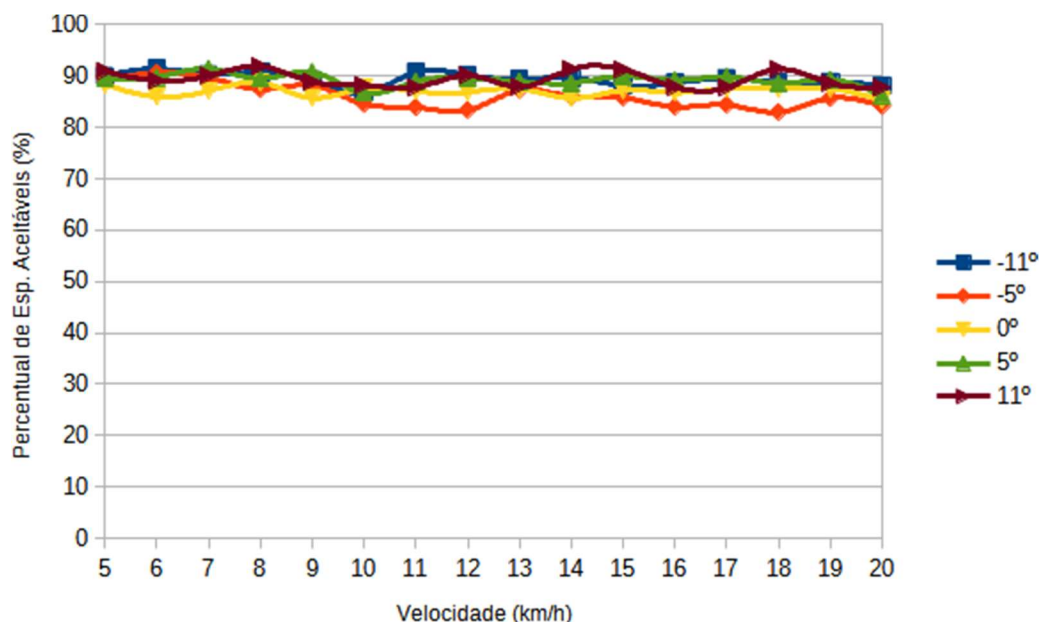


Figura 26. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador Precision Planting vSet operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

Uma hipótese para o baixo desempenho do dosador na inclinação de  $-11^\circ$  sem tubo condutor é a presença de um pré tubo de condução de sementes na carcaça do mesmo (detalhe A da Figura 27), o que pode causar repique das sementes nessas condições. A Figura 42 presente no Apêndice a este trabalho baseia essa hipótese pois apresenta elevado percentual médio de espaçamentos longitudinais falhos causados pelo repique da semente no pré tubo condutor.

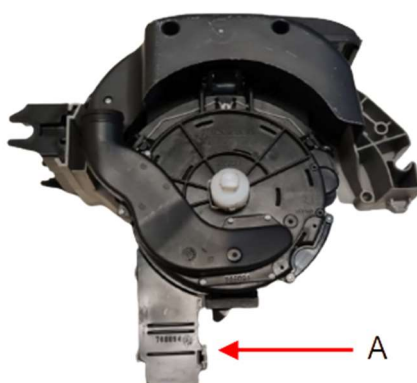


Figura 27. Detalhes construtivos do dosador Precision Planting vSet, onde: (A) Pré tubo de condução.

Os coeficientes de variação dos espaçamentos aceitáveis sem e com tubo condutor respectivamente para o dosador Precision Plating vSet são apresentados respectivamente nas Figuras 28 e 29. Sem a presença do tubo condutor de sementes mostrado na Figura 28, observa-se que na faixa de velocidades contida entre o intervalo de 8 e 13  $\text{km.h}^{-1}$  a irregularidade de distribuição de sementes aumentou para

as posições anguladas de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$  e diminuiu para  $0^\circ$ , ainda assim em todas as condições se manteve abaixo dos 30% estipulado por Coelho (1996). A Figura 29 mostra que houve aumento do Coeficiente de Variação na inclinação de  $11^\circ$  entre as velocidades de 11 e 15  $\text{km.h}^{-1}$  com o uso do tubo condutor de sementes, porém ainda assim mantendo-se bem abaixo do limiar de 30%.

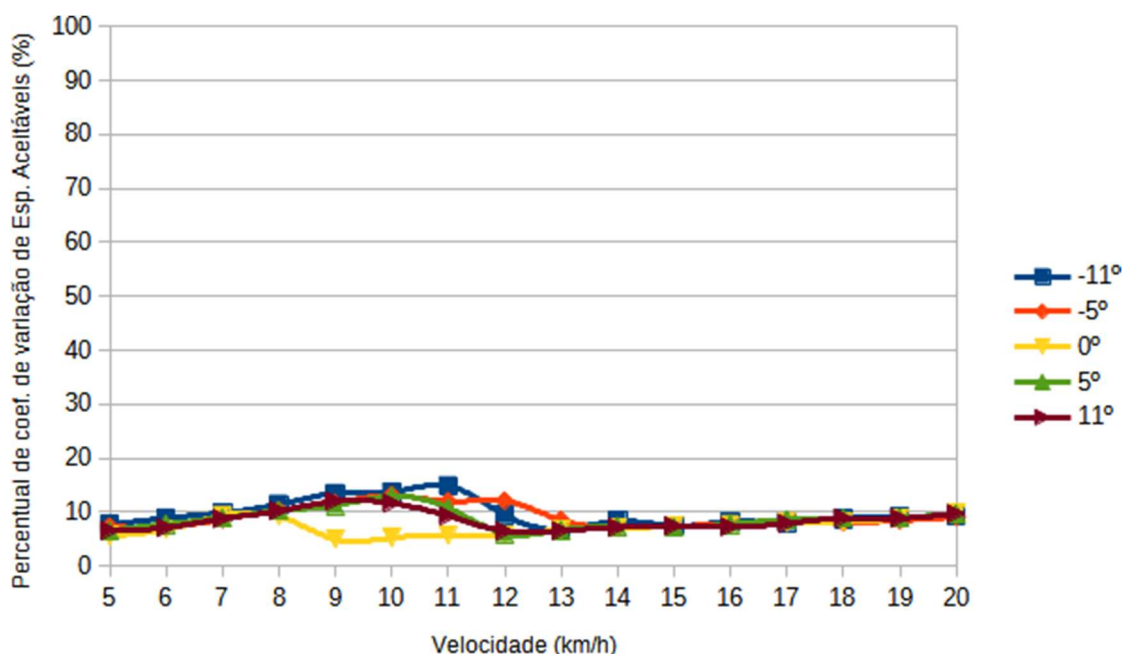


Figura 28. Coeficiente de variação da população de espaçamentos aceitáveis do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

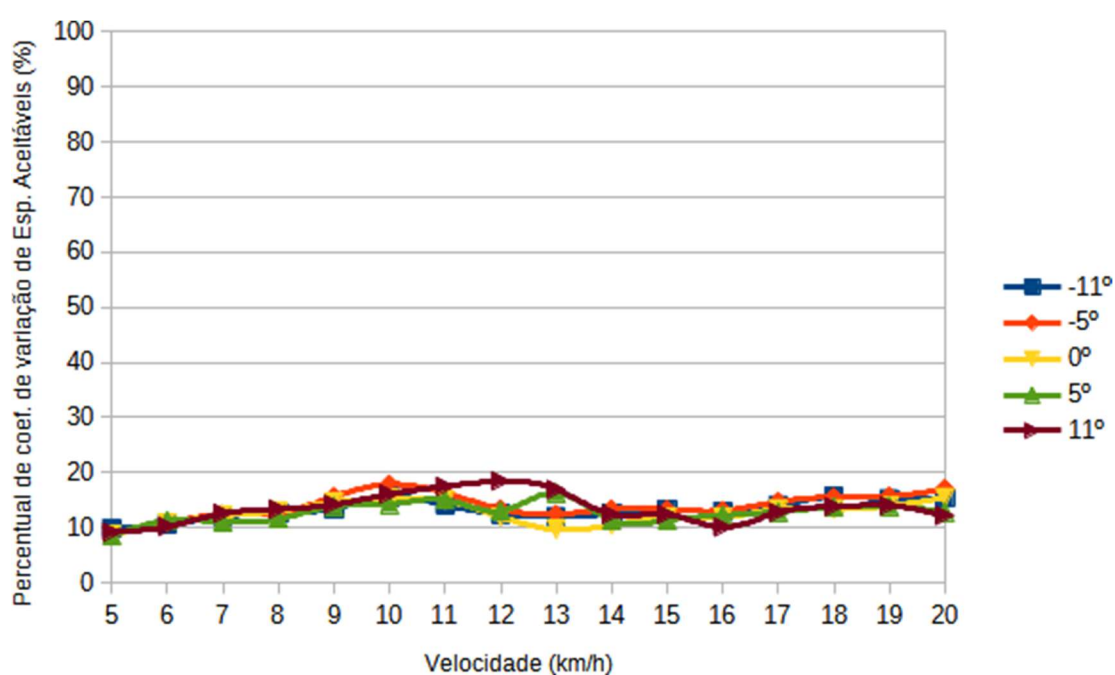


Figura 29. Coeficiente de variação da população de espaçamentos aceitáveis do dosador Precision

Planting vSet operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .

Assim como no dosador MaxEmerge5, os dados correspondentes aos ensaios como dosador Precision Planting vSet (Tabela 13 em Apêndice B) foram analisados através da regressão não linear dos dados usando o modelo Sigmoidal de três parâmetros. A Figura 30 mostra nos círculos preenchidos na cor vermelha os dados correspondentes ao ensaio do dosador sem tubo condutor de sementes. Já os quadrados preenchidos na cor azul descrevem o comportamento do mecanismo com a presença de tubo condutor. Para a condição de ausência do tubo condutor a análise de variância apresentou 49,61% de chances do modelo refletir a realidade e a adequação dos dados ao modelo foi de apenas 10,01% ( $R^2 = 0,1001$ ). Com a presença do tubo condutor de sementes a estatística mostrou 83,49% de chances do modelo descrever realmente o comportamento dos dados e a ajuste de 24,20% ( $R^2 = 0,2420$ ). Por esse motivo, considerou-se que nessa análise não houve ajuste ao modelo em nenhuma das condições ensaiadas.

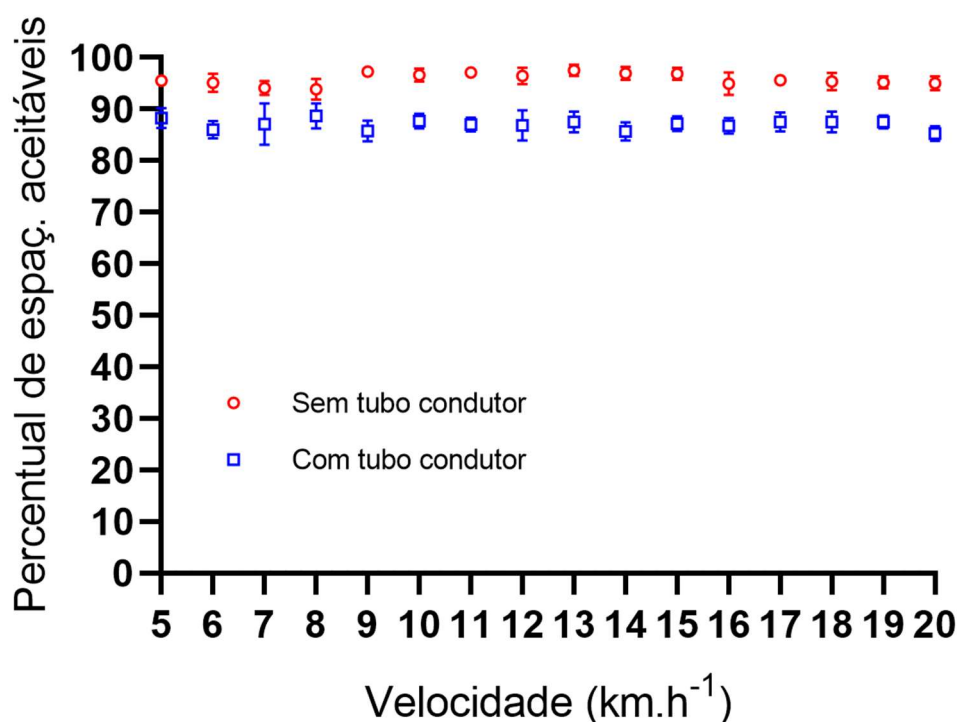


Figura 30. Resultado gráfico da regressão aplicada nos dados percentuais de espaçamentos aceitáveis correspondentes ao dosador Precision Planting com e sem tubo condutor para a condição de inclinação longitudinal nula. As barras verticais correspondem ao intervalo de confiança com probabilidade de 95%.

A Tabela 6 traz os resultados da ANOVA correspondente aos dados coletados no ensaio com o dosador Precision Planting vSet considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de  $-11^\circ$ ,  $0^\circ$  e  $11^\circ$ ; e as velocidades de  $5 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $12 \text{ km.h}^{-1}$  e  $20 \text{ km.h}^{-1}$ .

Tabela 6. Análise de variância para o dosador Precision Planting vSet considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de  $-11^\circ$ ,  $0^\circ$  e  $11^\circ$ ; e as velocidades de  $5 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $12 \text{ km.h}^{-1}$  e  $20 \text{ km.h}^{-1}$ .

| FV                             | GL | SQ      | QM     | F      | Pr > F  |
|--------------------------------|----|---------|--------|--------|---------|
| Condução                       | 1  | 1,20    | 1,20   | 0,28   | 0,5968  |
| Ângulo                         | 2  | 755,64  | 377,82 | 88,77  | <0,0001 |
| Velocidade                     | 2  | 22,87   | 11,43  | 2,69   | 0,0749  |
| Condução x Ângulo              | 2  | 1284,62 | 642,31 | 150,92 | <0,0001 |
| Condução x Velocidade          | 2  | 45,76   | 22,88  | 5,38   | 0,0067  |
| Ângulo x Velocidade            | 4  | 8,50    | 2,12   | 0,50   | 0,7359  |
| Condução x Ângulo x Velocidade | 4  | 4,86    | 1,21   | 0,29   | 0,8865  |

Na Tabela 6 nota-se que houve interação significativa no percentual médio de espaçamentos aceitáveis entre condução e ângulo, condução e velocidade e o efeito isolado da variável ângulo todos com 1% de probabilidade de erro. Em virtude das duas interações de segunda ordem, não foi realizado o desdobramento das médias para o efeito isolado da variável ângulo.

O desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução e Ângulo é apresentado na Tabela 7 considerando a ausência e a presença de tubo condutor e os ângulos de  $-11^\circ$ ,  $0^\circ$  e  $11^\circ$ .

Tabela 7. Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução x Ângulo considerando a ausência e a presença de tubo condutor e os ângulos de  $-11^\circ$ ,  $0^\circ$  e  $11^\circ$ .

| Ângulo ( $^\circ$ ) | Sem tubo condutor                   | Com tubo condutor | <sup>3</sup> DMS (%) | <sup>4</sup> CV (%) |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|
| -11                 | <sup>1</sup> c <sup>2</sup> B 79,92 | aA 89,47          | 1,85                 | 2,91                |
| 0                   | aA 95,68                            | bB 86,83          | 1,47                 | 2,15                |
| 11                  | bA 95,68                            | aA 89,69          | 1,48                 | 2,19                |
| DMS (%)             | 1,79                                | 2,01              | -                    | -                   |
| CV (%)              | 2,28                                | 2,56              | -                    | -                   |

<sup>1</sup>Letras minúsculas comparam a porcentagem de espaçamentos aceitáveis de sementes (%) de milho híbrido P1225VYHRem função do sistema de condução, na coluna, pelo teste de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup>Letras maiúsculas comparam a porcentagem de espaçamentos aceitáveis em função do ângulo, na linha, pelo teste de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). <sup>3</sup>Diferença mínima significativa. <sup>4</sup>Coefficiente de variação dos dados no modelo estatístico (CV).

Observando a Tabela 7, avaliando a presença ou a ausência de tubo condutor na linha em função dos ângulos longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $0^\circ$  e  $11^\circ$  nota-se que para o ângulo de  $-11^\circ$  a presença de tubo condutor aumenta a média de espaçamentos

aceitáveis significativamente contrariando Carpes (2014) que diz que o uso de tubos condutores pode alterar a trajetória das sementes devido ao repique dessas nas paredes internas do tubo diminuindo assim o percentual de espaçamentos aceitáveis. Do contrário, para o ângulo de 0°, o tubo condutor representa uma queda significativa na média de espaçamentos aceitáveis corroborando com Carpes (2014). Para a inclinação de 11° não houve diferença significativa entre fatores experimentais analisados nesse trabalho.

Avaliando-se a presença ou não de tubo condutor de sementes na coluna em função dos ângulos longitudinais de -11°, 0° e 11°, percebe-se que a média de espaçamentos aceitáveis no tratamento sem tubo condutor foram superiores nos ângulos de 0° e 11°, no entanto caíram significativamente para o ângulo longitudinal de -11° causado pelo pré tubo presente nesse modelo de dosador, corroborando assim com Walker (2018) que em seu trabalho observou atrito entre a semente e as paredes internas do tubo condutor na inclinação de -11°, causando diminuição do percentual de espaçamentos aceitáveis. Por outro lado na presença de tubo condutor o percentual médio de espaçamentos aceitáveis foi maior nos ângulos de 11° e -11° ao serem comparados com o ângulo de 0° discordando de Walker (2018) sugerindo que o tubo condutor corrigiu a influência do pré tubo do dosador na inclinação de -11°.

Em sequência o desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução e Velocidade é apresentado na Tabela 8, considerando a ausência e a presença do tubo condutor e as velocidades de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>.

Tabela 8. Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) da interação Condução x Velocidade considerando a ausência e a presença de tubo condutor e as velocidades de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>.

| Velocidade (km.h <sup>-1</sup> ) | Sem tubo condutor                   | Com tubo condutor | <sup>3</sup> DMS (%) | <sup>4</sup> CV (%) |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|
| 5                                | <sup>1</sup> a <sup>2</sup> A 88,24 | aA 89,76          | 4,11                 | 6,18                |
| 12                               | aA 89,33                            | abA 89,09         | 4,08                 | 6,11                |
| 20                               | aA 89,04                            | bA 87,07          | 3,69                 | 5,60                |
| DMS (%)                          | 6,31                                | 2,08              | -                    | -                   |
| CV (%)                           | 8,01                                | 2,65              | -                    | -                   |

<sup>1</sup>Letras minúsculas comparam a porcentagem de espaçamentos aceitáveis de sementes (%) de milho híbrido P1225VYHR em função do sistema de condução, na coluna, pelo teste de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ).

<sup>2</sup>Letras maiúsculas comparam a porcentagem de espaçamentos aceitáveis em função de cada velocidade, na linha, pelo teste de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). <sup>3</sup>Diferença mínima significativa. <sup>4</sup>Coefficiente de variação dos dados no modelo estatístico (CV).

Na Tabela 8 avaliando a presença ou não de condução de sementes, na linha, observa-se que para a velocidade de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup> a presença do

tubo condutor não representou diferença significativa no percentual médio de espaçamentos aceitáveis em relação à ausência do mesmo.

Quando observa-se o efeito da condução de sementes na coluna, é possível notar que na ausência do tubo condutor não houve diferença significativa entre as médias segundo o teste Tukey para as velocidades estudadas. Já na presença de tubo condutor o teste Tukey mostrou que houve diferença significativa entre as médias nas velocidades de  $5 \text{ km.h}^{-1}$  e  $20 \text{ km.h}^{-1}$ , no entanto a média para a velocidade de  $12 \text{ km.h}^{-1}$  é um intersecção desses dois grupos. Esse fator experimental também evidencia a relação inversamente proporcional entre a velocidade e os espaçamentos aceitáveis corroborando com Bottega et al. (2014) que mostrou que o aumento de velocidade causa diminuição de espaçamentos aceitáveis.

### 4.3 MaterMacc

O terceiro dosador ensaiado foi o da marca MaterMacc montado na bancada de acordo com a Figura 31. O mecanismo estava com algumas modificações em sua carcaça em virtude de testes realizados em outro estudo, por isso foram feitas adaptações no mesmo para que ficasse o mais próximo possível de suas condições de trabalho originais.



Figura 31. Ensaio do Dosador Matermacc.

A análise gráfica que demonstra seu resultado para as condições sem e com

tubo condutor de sementes é mostrada nas Figuras 32 e 33 respectivamente. Observandoas Figuras 32 e 33 nota-se que o dosador dificilmente atingiu 90% de espaçamentos aceitáveis em qualquer uma das condições de ensaio. Operando sem tubo condutor, o dosador manteve-se próximo ao limiar de 90% na faixa entre 5 e 10 km.h<sup>-1</sup>. Uma hipótese para esse baixo percentual de espaçamentos aceitáveis é a regulagem agressiva do exclusor de sementes da máquina (detalhe A da Figura 34) o que pode causar queda de pressão no interior da mesma através dos alveólos vazios. Outra hipótese levantada é o baixo número de furos do disco do dosador, o que requer velocidades tangenciais elevadas para atingir a densidade de semeadura em velocidades de deslocamento acima de 9 km.h<sup>-1</sup>. As Figuras 47 e 46 do Apêndice A mostram que o percentual médio de espaçamentos falhos é alto para esse dosador, o que reforça as hipóteses citadas acima pois com o exclusor de sementes múltiplas regulado agressivamente há uma maior tendência de espaçamentos longitudinais falhos entre sementes, e também a velocidade tangencial alta diminui o tempo de captura desementes aumentando assim a possibilidade de falhas.

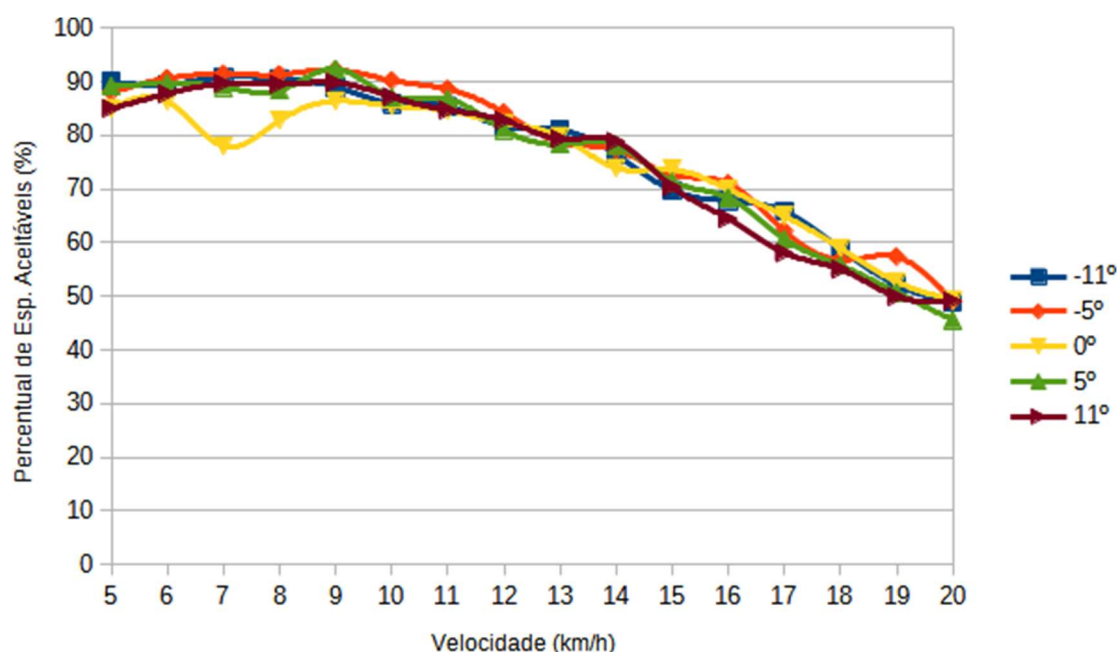


Figura 32. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de - 11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

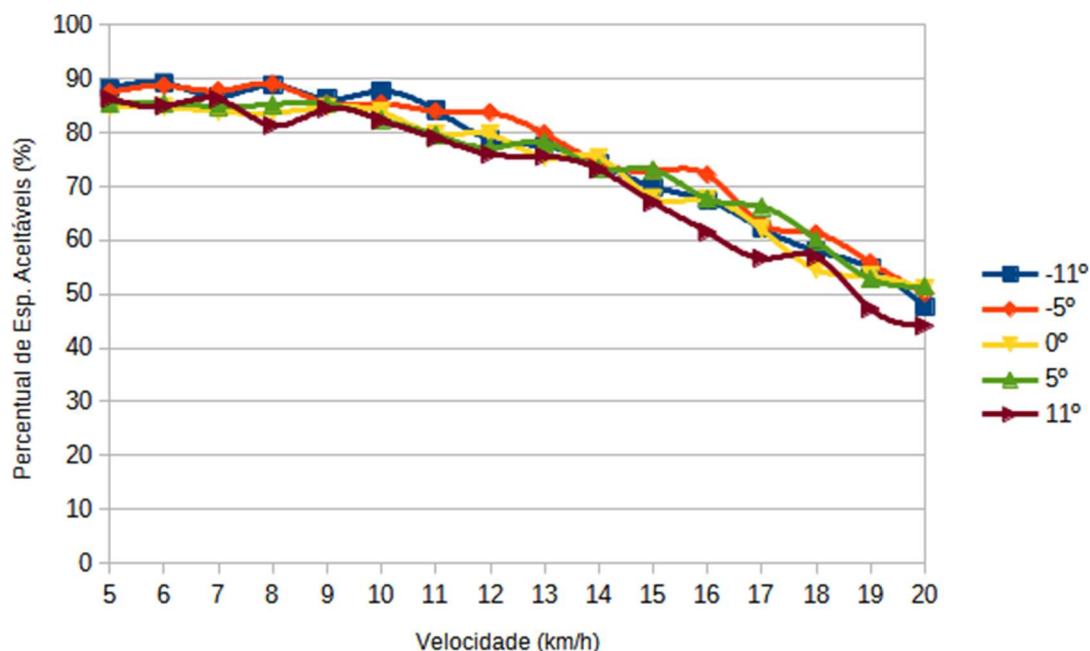


Figura 33. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao limite operacional do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de  $-11^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $11^\circ$ .



Figura 34. Detalhes construtivos do dosador Matermacc, onde: (A) Regulação do exclusor de sementes.

Em seguida, fez-se a análise do Coeficiente de Variação do dosador pneumático Matermacc sem e com tubo condutor, como mostram as Figuras 35 e 36. Na Figura 35, nota-se que a ausência do tubo condutor de sementes aumentou um pouco o coeficiente de variação entre as inclinações comparado ao ensaio com a presença do mesmo, no entanto em nenhuma condição aproximou-se do limiar de 30%. Analisando a Figura 36 observa-se que a presença do tubo condutor não afetou nenhuma das condições experimentais pois o ensaio apresentou baixo coeficiente de variação de espaçamentos aceitáveis em todas as velocidades simuladas.

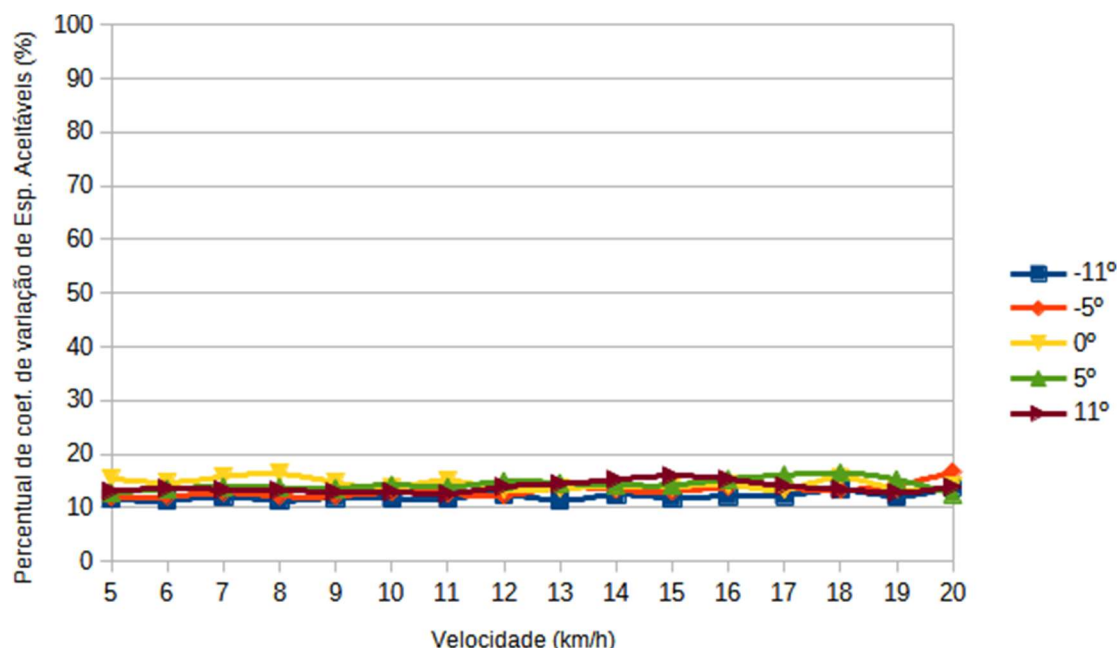


Figura 35. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

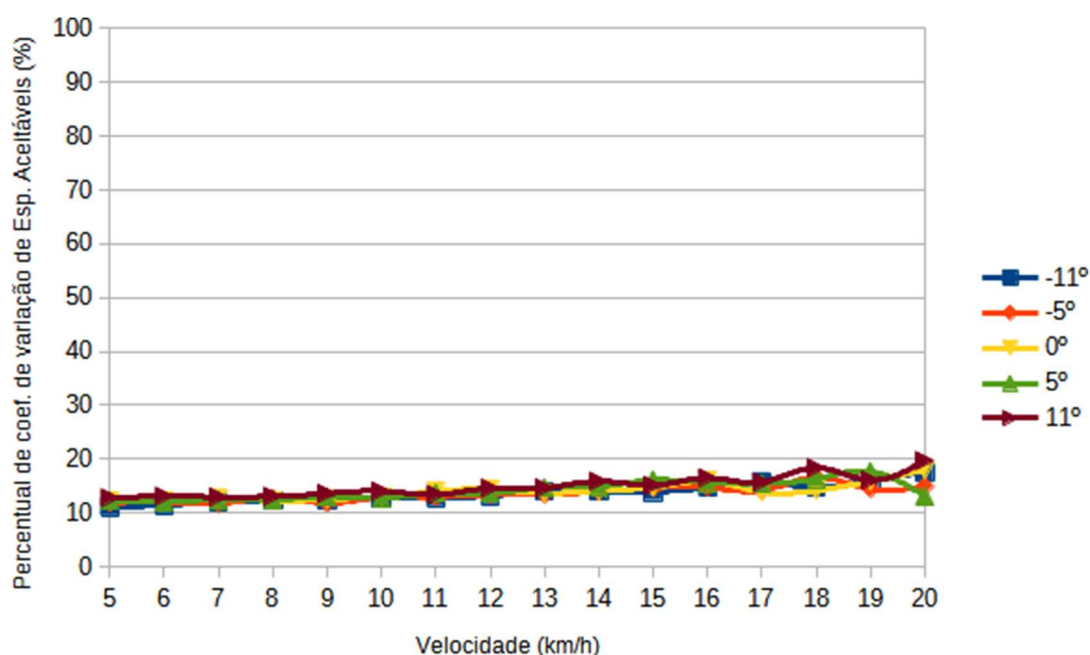


Figura 36. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao coeficiente de variação do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

Realizando a análise de regressão não linear para o dosador pneumático Matermacc para a inclinação longitudinal de 0°, cujo os percentuais médios de espaçamentos aceitáveis podem ser vistos na Tabela 14 no Apêndice B, têm-se o resultado gráfico apresentado na Figura 37 que mostra na curva vermelha contínua com círculos preenchidos na cor vermelha o modelo e os dados correspondentes ao ensaio sem tubo condutor de sementes. Já a curva contínua azul com quadrados

preenchidos também na cor azul refere-se ao modelo e aos pontos obtidos durante a experimentação com tubo condutor de sementes. A probabilidade para os intervalos de confiança é de 95%. Para a condição experimental de ausência do tubo condutor, segundo a análise de variância o modelo possui 99,99% de chance de representar o comportamento real da máquina nessas condições com ajuste de 96% ( $R^2 = 0,96$ ) dos dados à curva exponencial.

Por outro lado quando o dosador foi ensaiado com a presença do tubo condutor, a análise de variância mostrou que o modelo possui 99,99% de chance de refletir a realidade com ajuste de 98% ( $R^2 = 0,98$ ) dos dados à curva exponencial.

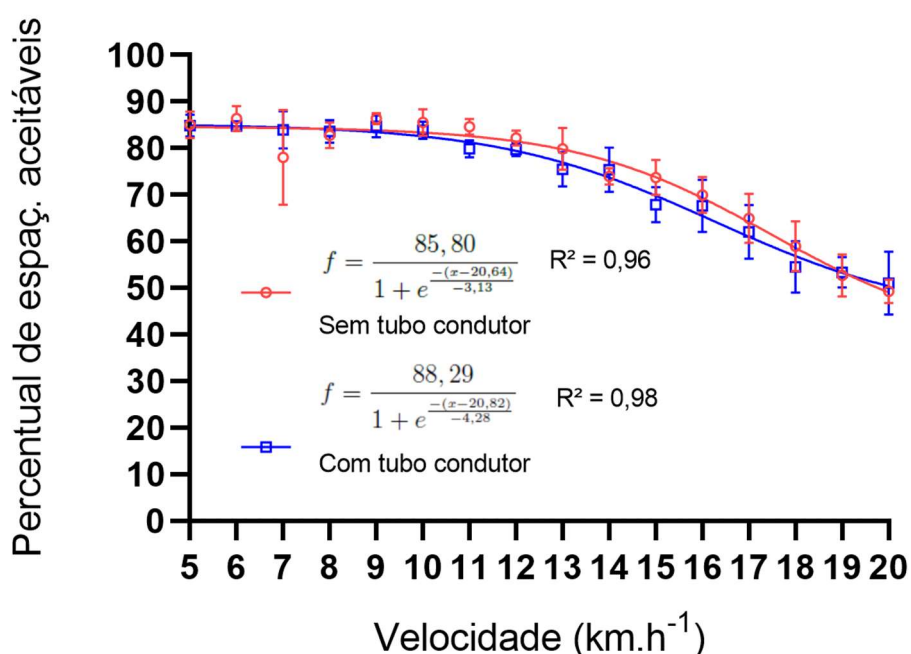


Figura 37. Resultado gráfico da regressão aplicada nos dados percentuais de espaçamentos aceitáveis correspondentes ao dosador Maternacc com e sem tubo condutor para a condição de inclinação longitudinal nula. As barras verticais correspondem ao intervalo de confiança com probabilidade de 95%.

A ANOVA dos dados coletados no ensaio realizado com o dosador Maternacc resultou na tabela 9. Nela foram considerados a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de -11°, 0° e 11°; e as velocidades de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>. É possível observar na tabela 9 que não houve interação dupla ou tripla estatisticamente significativa. Apenas as variáveis isoladas condução e velocidade possuem influência sobre a variável controlada com 5% e 1% de probabilidade de erro, respectivamente. O desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%)

em função da condução de sementes é mostrado na Tabela 10.

Tabela 9. Análise de variância para o dosador MaterMacc considerando a presença e a ausência de tubo condutor; os ângulos de  $-11^\circ$ ,  $0^\circ$  e  $11^\circ$ ; e as velocidades de  $5 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $12 \text{ km.h}^{-1}$  e  $20 \text{ km.h}^{-1}$

| FV                | GL | SQ       | QM       | F      | $Pr > F$ |
|-------------------|----|----------|----------|--------|----------|
| Condução          | 1  | 82,94    | 82,94    | 6,59   | 0,0123   |
| Ângulo            | 2  | 63,01    | 31,50    | 2,50   | 0,0888   |
| Velocidade        | 2  | 25170,43 | 12585,21 | 100,52 | <0,0001  |
| Cond x Âng        | 2  | 38,40    | 19,20    | 1,53   | 0,2243   |
| Cond x Vel        | 2  | 57,34    | 28,67    | 2,28   | 0,1097   |
| Âng x Vel         | 4  | 111,44   | 27,86    | 2,21   | 0,0758   |
| Cond x Âng x Cond | 4  | 59,64    | 14,91    | 1,19   | 0,3245   |

Tabela 10. Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) em função da variável isolada Condução (sem e com tubo condutor de sementes).

| Condução             | Aceitáveis (%)       | CV <sup>2</sup> (%) |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| Sem tubo condutor    | <sup>1</sup> A 72,67 | 5,29                |
| Com tubo condutor    | B 70,75              | 5,29                |
| DMS <sup>3</sup> (%) | 1,59                 | -                   |

<sup>1</sup>Letras maiúsculas comparam a deposição aceitáveis de sementes de milho híbrido P1225VYHR, em função do sistema de condução, na coluna, pelo teste de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). <sup>2</sup>Coefficiente de variação dos dados no modelo estatístico (CV). <sup>3</sup>Diferença mínima significativa.

Na Tabela 10 houve diferença significativa entre as médias para os experimentos sem e com a utilização de tubo condutor de sementes. É possível notar que a presença de tubo condutor reduziu a porcentagem de espaçamentos aceitáveis. O resultado está de acordo com Carpes (2014) que diz que o uso de tubos condutores pode alterar a trajetória das sementes devido ao repique dessas nas paredes internas do tubo.

A Tabela 11 apresenta o desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) em função da velocidade de semeadura. Observando a Tabela 11 é possível perceber que houve diferença significativa entre as médias nas diferentes velocidades ensaiadas, onde a velocidade de  $5 \text{ km.h}^{-1}$  apresentou a maior média de espaçamentos aceitáveis, seguido do tratamento de  $12 \text{ km.h}^{-1}$  e  $20 \text{ km.h}^{-1}$ , respectivamente. Esses resultados corroboram com os encontrados por Bottega et al. (2017) que concluiu que o aumento de velocidade diminui a precisão de semeadura. No entanto, os resultados apresentam discordância com os obtidos por Walker (2018) utilizando o mesmo dosador e apresentando regularidade de espaçamentos aceitáveis médios até a velocidade de  $14 \text{ km.h}^{-1}$ . Isso pode ter acontecido por conta da regulação menos agressiva do mecanismo excludor de sementes durante os testes

de Walker (2018).

Tabela 11. Desdobramento das médias de espaçamentos aceitáveis (%) em função das velocidades de 5 km.h<sup>-1</sup>, 12 km.h<sup>-1</sup> e 20 km.h<sup>-1</sup>.

| Velocidade (km.h <sup>-1</sup> ) | Aceitáveis (%)       | CV <sup>2</sup> (%) |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| 5                                | <sup>1</sup> A 86,59 | 5,29                |
| 12                               | B 80,19              | 5,29                |
| 20                               | C 48,35              | 5,29                |
| DMS <sup>3</sup> (%)             | 2,33                 | -                   |

<sup>1</sup>Letras maiúsculas comparam a deposição aceitáveis de sementes de milho híbrido P1225VYHR, em função da velocidade de semeadura, na coluna, pelo teste de Tukey ( $\alpha \leq 0,05$ ). <sup>2</sup>Coefficiente de variação dos dados no modelo estatístico (CV). <sup>3</sup>Diferença mínima significativa.

#### 4.4 Revisão dos resultados

Os resultados obtidos com os experimentos dos dosadores permitiram entender como cada um deles se comporta em determinadas condições de trabalho. Um resumo dos resultados, para cada dosador, é apresentado a seguir:

- O dosador John Deere MaxEmerge5 demonstrou que é capaz de proporcionar média de 90% de espaçamentos aceitáveis em toda a faixa de velocidade ensaiada operando nivelado ao solo sem ou com o uso de tubo condutor. No entanto, em velocidades menores que 10 km.h<sup>-1</sup>, para os demais ângulos ensaiados e sem tubo condutor as médias ficaram abaixo dos 90% esperados. Algo semelhante foi observado para as mesmas condições de inclinação e velocidade, porém com a presença do tubo condutor de sementes, sendo encontradas médias ainda mais baixas se comparadas ao experimento sem o mesmo. O dosador possui coeficiente de variação menor que 30% mostrando regularidade para todas as condições as quais foi exposto durante os testes. O resultado da regressão não linear mostrou que esse dosador possui ajuste fraco ao comportamento exponencial de espaçamentos aceitáveis em função do aumento da velocidade ensaiada. A ANOVA indicou que o comportamento do dosador quanto ao percentual médio de espaçamentos aceitáveis é influenciado pela ação paralela da velocidade, inclinação e condução. O desdobramento das médias feitas pelo teste Tukey mostrou que para 0° sem e com tubo condutor não houve diferenças significativas nas médias em função da velocidade, porém nas inclinações de -11°

e 11° houveram quedas nas menores velocidades. Analisando a variação dos ângulos foi observado que a mesma afeta negativamente a dosagem e a deposição de sementes para todas as parcelas experimentais exceto a condição de -11° de inclinação longitudinal e sem a presença de tubo condutor. Na análise da influência do tubo condutor concluiu-se que este causa diferença significativa para todas as velocidades com exceção de 5 km.h<sup>-1</sup>. No que diz respeito às inclinações o tubo causa queda significativa nas médias de espaçamentos aceitáveis para as condições inclinadas.

- O dosador Precision Planting vSet apresentou 90% de espaçamentos aceitáveis para o ensaio sem o tubo para todas as condições ensaiadas exceto para a inclinação longitudinal de -11°. A presença do tubo condutor de sementes aumentou o percentual de espaçamentos aceitáveis para a inclinação de -11° e reduziu para os demais ângulos. A análise do coeficiente de variação se manteve em todas as parcelas experimentais abaixo dos 30% evidenciando a regularidade do dosador na distribuição longitudinal de sementes. O dosador não se ajustou a curva de regressão uma vez que seu comportamento é próximo ao de uma constante dentro da faixa de velocidades ensaiadas. O resultado obtido com a ANOVA mostrou que o comportamento do dosador é afetado pelo efeito combinado entre condução e inclinação e também inclinação e velocidade. O desdobramento das médias para o efeito combinando entre condução e inclinação mostrou que na ausência do tubo condutor na inclinação de -11° o pré tubo condutor influencia diretamente na queda do percentual de espaçamentos aceitáveis, no entanto a presença do tubo condutor de sementes para essa inclinação longitudinal aumenta o percentual da variável resposta. O desdobramento do efeito combinado inclinação e velocidade mostrou que a presença do tubo condutor causa diferença significativa entre as velocidades, diminuindo o percentual de espaçamentos aceitáveis conforme o aumento da velocidade.
- O dosador Maternacc não apresentou em nenhuma condição os 90% de espaçamentos aceitáveis, porém mostrou baixo coeficiente de variação em todas as condições ensaiadas, mostrando assim

regularidade na distribuição longitudinal de sementes. O resultado da regressão não linear mostrou que esse dosador possui comportamento exponencial decrescente de espaçamentos aceitáveis em função do aumento da velocidade ensaiada. A ANOVA evidenciou que o desempenho do dosador em questão é afetado pela presença do tubo condutor, que representa uma queda significativa no percentual de espaçamentos aceitáveis, e pela velocidade, que quanto mais baixas possuem um percentual médio mais elevado da variável resposta. Os ângulos longitudinais não afetaram significativamente a distribuição longitudinal de sementes.

De uma forma geral, o fator aumento de velocidade contribuiu para a melhoria no padrão de regularidade de distribuição longitudinal de sementes do dosador John Deere MaxEmerge5 em condições de inclinação longitudinal. No caso do dosador Precision Planting vSet a velocidade não apresentou influência significativa na variável resposta quando analisada separadamente, no entanto ao ser observado o aumento de velocidade junto ao uso de tubo condutor notou-se que afetou negativamente o processo. Já no dosador Maternacc o aumento da velocidade causou queda no percentual médio de espaçamentos aceitáveis.

A inclinação longitudinal, em geral, representou queda na regularidade de distribuição uniforme de sementes do dosador John Deere MaxEmerge5. Já para o dosador Precision Planting vSet a variação do ângulo longitudinal representou queda do percentual médio da variável resposta sem o uso do tubo condutor e aumento quando combinado ao dispositivo de condução de sementes. O dosador Maternacc não é afetado significativamente pela variação da inclinação longitudinal.

Por fim, ainda de uma maneira genérica, a presença do tubo condutor afetou a porcentagem de espaçamentos aceitáveis, causando uma redução padrão na regularidade de distribuição longitudinal de sementes do dosador John Deere MaxEmerge5. Para o dosador Precision Planting vSet o efeito do mecanismo de condução de sementes sozinho não apresentou significância, porém quando combinado a variação de inclinação longitudinal o uso do tubo condutor aumentou o percentual médio de espaçamentos aceitáveis não sendo possível determinar com certeza as razões desse fenômeno observado. Por fim o uso do tubo condutor no dosador Maternacc representou queda significativa na média percentual de espaçamentos aceitáveis.

Mesmo que a estatística empregada no experimento não tenha considerado o fator da diferença entre os mecanismos dosadores, de maneira empírica, observou-se que, para a operação nivelada sem tubo condutor, os melhores resultados foram obtidos com os dosadores John Deere MaxEmerge5 e Precision Planting vSet. Já o dosador Matermacc não obteve resultados tão satisfatórios quanto os outros dosadores, apresentando queda significativa de espaçamentos aceitáveis nas maiores velocidades.

Ao comparar o comportamento dos dosadores com a presença do tubo condutor, nota-se que o dosador John Deere MaxEmerge apresentou, em inclinação neutra, os melhores resultados mesmo tendo uma pequena queda nas velocidades mais elevadas. Já o dosador Precision Planting vSet mostrou comportamento constante em todas as velocidades mantendo-se próximo aos 90% de espaçamentos aceitáveis, enquanto o dosador Matermacc se manteve abaixo desse patamar, de maneira inversa ao aumento de velocidade, apresentando o comportamento menos satisfatório entre os dosadores analisados.

Quando analisamos, ainda com a ressalva da extrapolação estatística, a influência das diferentes inclinações longitudinais, sem a presença do tubo condutor, observa-se que o dosador Precision Planting vSet apresentou as melhores médias, exceto para a inclinação longitudinal de  $-11^\circ$ , com comportamento quase constante. O dosador Matermacc, mesmo com baixos percentuais de espaçamentos aceitáveis, não foi tão afetado pela variação de inclinações longitudinais. Por outro lado o dosador John Deere MaxEmerge5 não apresentou bons resultados em baixas velocidades.

Na presença do tubo condutor o comportamento do Precision Planting vSet apresentou melhora na inclinação longitudinal de  $-11^\circ$  e manteve seu comportamento quase constante. O dosador Matermacc também manteve seu comportamento, já o dosador John Deere MaxEmerge5 apresentou valores ainda piores em baixas velocidades do que quando analisado sem o tubo.

Sabendo que em condições práticas o processo da semeadura é realizado com tubo condutor, de forma geral e empírica observa-se que para um terreno regular (sem inclinações longitudinais) o melhor dosador para ser utilizado é o John Deere MaxEmerge5, que mostrou resultados otimizados para essas condições. No entanto, se o terreno a ser semeado apresenta irregularidades (inclinações longitudinais), deve-se, antes de escolher um dos dosadores analisados nesse trabalho, analisar a velocidade de semeadura a ser utilizada. Para uma baixa velocidade de semeadura

em terrenos irregulares, resultados melhores serão obtidos com o dosador pneumático Precision Planting vSet. Caso velocidades acima de  $13 \text{ km.h}^{-1}$  sejam utilizadas os resultados serão otimizados usando o dosador pneumático John Deere MaxEmerge5.

## 5 Conclusões

Diante dos experimentos realizados foi possível entender alguns comportamentos funcionais dos dosadores John Deere MaxEmerge5, Precision Planting vSet e Maternacc em relação à velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de sementes. As conclusões de cada dosador estão listadas abaixo:

- O dosador John Deere MaxEmerge5 apresentou baixo percentual médio de espaçamentos aceitáveis para velocidades inferiores à  $10\text{km.h}^{-1}$  nas inclinações longitudinais, porém operando de forma nivelada não ocorreu este efeito. Já a presença de tubo condutor afetou negativamente o percentual médio de espaçamentos aceitáveis. A variação dos ângulos longitudinais também afetou negativamente a distribuição longitudinal de sementes.
- O dosador Precision Planting vSet não apresentou diferença significativa entre as velocidades ensaiadas operando sem tubo condutor, no entanto com tubo condutor houve queda do percentual médio de espaçamentos aceitáveis em função do aumento de velocidade. Variando os ângulos longitudinais, sem a presença de tubo condutor, foi observada a queda significativa entre a posição nivelada e  $-11^\circ$ . Já o tubo condutor representou aumento do percentual médio de espaçamentos aceitáveis das angulações em relação à posição nivelada.
- O dosador Maternacc apresentou queda do percentual médio de espaçamentos aceitáveis em função do aumento da velocidade. A presença do tubo condutor de sementes também afetou negativamente a distribuição longitudinal de sementes. As inclinações longitudinais não apresentaram influência significativa nos espaçamentos.

## Referências Bibliográficas

ANDRADE, Henrique Gonçalves; SIGALES, Marlon Soares; ARAÚJO, Ádamo de Sousa; WALKER, Eduardo; Reis, Ângelo Vieira dos. Desenvolvimento de um sensor para contar o número e o intervalo de tempo de sementes ejetadas por dosadores de semeadoras. **Anais [...]** In: XXVIII Congresso de Iniciação Científica e X Semana Integrada, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

ANDRADE, Henrique Gonçalves; SIGALES, Marlon Soares; CASELATTO, Matheus R. Albarrancin; HIDACA, Guilherme; WALKER, Eduardo; Reis, Ângelo Vieira dos. Ferramenta computacional para auxílio na coleta e tratamento de dados de distribuição espacial de sementes dosadas em bancada. **Anais [...]** In: XXIII ENPOS – Encontro de Pós-Graduação, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

ARAÚJO, Ádamo Souza; SILVEIRA, Hendrigo Alberto Torchelsen da; BISOGNIN, André; TEIXEIRA, Sandro Silva; REIS, Ângelo Vieira dos. Desenvolvimento de um sensor de sementes graúdas para ensaio de dosadores. **Anais [...]** In: XVII Congresso de Iniciação Científica e X Semana Integrada, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Semeadora de Precisão: ensaio de laboratório**. São Paulo: Standard, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de Norma 04:015:06-010/1996**. Semeadoras e distribuidoras de fertilizantes: terminologia e definições. São Paulo: [s.n.], 1996.

BASSOI, Luís Henrique; INAMASU, Ricardo Yassushi; CAMPOS BERNARDI, Alberto Carlos; VAZ, Carlos M. Pedro; SPERANZA, Eduardo Antonio; CRUVINEL, Paulo Estevão. Agricultura de precisão e agricultura digital. **Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, p. 17–36, 2019.

BOTTEGA, Eduardo Leonel; BRAIDO, Roberson; PIAZZETTA, Hugo Linsingen; OLIVEIRA NETO, Antonio Mendes de; GUERRA, Naiara. Efeitos da profundidade e velocidade de semeadura na implantação da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, n. 2, p. 74–78, 2014.

BOTTEGA, E. L.; VIAN, T.; GUERRA, N.; NETO, A. M. O. Diferentes dosadores de sementes e velocidades de deslocamento na semeadura do milho em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, 2017.

CAMPOS BERNARDI, Alberto Carlos de. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. 2 ed. DF: Embrapa, 2014.

CARPES, Dauto. **Distribuição longitudinal de sementes de milho e soja em função do tubo condutor, mecanismo dosador e densidade de semeadura**. 2014. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Curso de pós graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CARPES, Dauto; ALONÇO, Airton; FRANCETTO, Tiago; BELLÉ, Mateus; BECKER, Rafael. Nível de precisão de um dosador pneumático na distribuição de sementes de soja em função de diferentes velocidades angulares. **Anais [...]** In: XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Florianópolis, 2016.

CARPES, Dauto, ALONÇO, Airton; ROSSATO, Fernando; VEIT, André; SOUZA, Lucas de; FRANCETTO, Tiago. Effect of different conductor tubes on the longitudinal distribution of corn seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 657–662, 2017.

COELHO, José Luis Duarte. Ensaio e certificação de máquinas para a semeadura. In: MIALHE, Luiz Geraldo (org). **Máquinas agrícolas: ensaio e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1996, p.55–70.

DIAS, Vilnei; ALONÇO, Airton; CARPES, Dauto; VEIT, André; SOUZA, Lucas de. Tamanho amostral para ensaio de mecanismos dosadores de sementes de milho em esteira carpetada. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 1019–1029, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cultivo do Milho**. Sistemas de Produção EMBRAPA – Milho. Documento Online, 2017. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

FEIX, Rodrigo Daniel; LEUSIN JÚNIOR, Sérgio. **Painel do Agronegócio no Rio Grande do Sul**: Ano 2019. Porto Alegre: SEPLAG, Departamento de Economia e Estatística, 2019. 54p.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Colocar os agricultores familiares em primeiro para erradicar a fome**. Documento Online, Roma, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/news/story/pt/item/260821/icode/>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

HEEGE, Hermann J. Seeding methods performance for cereal, rape and beans. **Transactions of the ASAE**, v.36, n.3, p.353–361, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física**: Pesos dos produtos na indústria geral, seções e atividades: regional. Documento Online, 2014. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimprf/regional/tab\\_ela\\_3.xls](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimprf/regional/tab_ela_3.xls)>. Acesso em: 01 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário**: Resultados definitivos 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=73096>>. Acesso em: 01 dez. 2020.

J. ASSY. **Dosador pneumático de sementes Selenium**. Folder informativo. Online, 2020a. Disponível em: <<http://www.jassy.com.br/selenium/>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

J. ASSY. **Dosador mecânico de sementes Titanium**. Folder informativo. Online,

2020b. Disponível em: <<http://www.jassy.com.br/plantio/titanium/>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

J. ASSY. **Dosador mecânico com motor elétrico Titanium Elétric**. Folder informativo. Online. 2020c. Disponível em: <<http://www.jassy.com.br/plantio/titanium-eletric/>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

JASPER, Roberto; JASPER, Mônica; ASSUMPÇÃO, Paulo; ROCIL, Jorge; GARCIA, Luiz. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 102–110, 2011.

JOHN DEERE. **Plantadeiras 2113**. Folder informativo. Online, 2020a. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/soluç~oe-para-plantio/2113/>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

JOHN DEERE. **ExactEmerge**: Unidade de linha. Folder informativo. Online, 2020b. Disponível em: <<https://www.deere.com/en/planting-equipment/row-units/exactemerge-row-unit/>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

JÚNIOR, Ruy Casão. **Desenvolvimento de sistema pneumático de dosagem e transporte de sementes**. 1996. 191p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

KEPNER, Robert Allen; BAINER, Roy; BARGER, E. L. **Principles of farm machinery**. 3 ed. Westport: Avi Publishing Co., 1982. 527p.

LIMA, Antônia Francisca; SILVA, Edvânia de Assis; IWATA, Bruna de Freitas. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 50–68, 2019.

LUNA, Francisco Vidal; KLEIN, Herbert S. Changes in the Brazilian agriculture since 1950. **História Econômica e História de Empresas**, v. 22, n. 2, p. 277–307, 2019.

MACHADO, Antônio Lilles Tavares; REIS, Ângelo Vieira dos; MORAES, Manuel Luiz Brenner de; ALONÇO, Airton dos Santos. **Máquinas para preparo de solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. 2 ed. Pelotas: Editora Gráfica Universitária Pelotas, 2005. 253p.

MACHADO, Thiago Martins; REYNALDO, Ettore Francisco; VALE, Wellington Gonzaga do. Semeadoras adubadoras com diferentes mecanismos dosadores de sementes e a influência da velocidade na semeadura do milho. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 118, n. 1, p. 37–42, 2019.

MASSEY FERGUSON. **Nossos produtos**: 2020. Folder informativo. Online, 2020. Disponível em: <<https://www.masseyferguson.com.br/produtos/implementos/plantadoras-e-semeadoras>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA).

**AGROSTAT:** Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Folder informativo. Online, 2020. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/index.htm>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

MOLIN, José P. **Agricultura de Precisão:** Números do mercado brasileiro. Agricultura de Precisão – Boletim Técnico 03, ESALQ/USP, Piracicaba, p. 01–07, 2017.

NAVID, Hossein; EBRAHIMIAN, Sepideh; GHASSEMZADEH, Hamid R.; MOUSAVI NIA, Morteza J. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method. **Australian Journal of Agricultural Engineering**, v. 1, n. 2, p. 01–04, 2011.

OGLIARI, André. **Estudo e desenvolvimento de mecanismos dosadores de precisão de máquinas semeadoras.** 1990. 174p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU.** Brasil: ONU, 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 01 de junho de 2020.

PRECISION PLANTING. **Nosso Produto:** 2020. Folder informativo. Online, 2020. Disponível em: <<https://www.precisionplanting.com/products/product/vset>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SEMEATO. **Inovações Tecnológicas:** 2020. Folder informativo. Online, 2020. Disponível em: <[https://www.semeato.com.br/inovacoes\\_tecnologicas](https://www.semeato.com.br/inovacoes_tecnologicas)>. Acesso em: 19 abr. 2020.

SIGALES, Marlon Soares; SILVEIRA, Daniel Duarte da; CENTURION, Ramón Justiniano Benitez; REIS, Ângelo Vieira dos; FERREIRA, Mauro Fernando. Como a tecnologia mudou o perfil das máquinas agrícolas. **Revista Cultivar Máquinas**, n. 208, p. 18-20, 2020.

SILVA, Vicente Filho Alves. **Qualidade da semeadura direta de milho com dois mecanismos de pressão no disco sulcador sob duas velocidades.** 2015. 80p. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

SIQUEIRA, Rubens. Milho: Semeadoras e adubadoras para sistema plantio direto com qualidade. **Anais [...]** In: XXVII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Londrina, 2008.

TOPLANTING. **Plantadeiras e semeadoras:** 2020. Folder informativo. Online, 2020. Disponível em :<<https://www.toplanting.com.br/>>. Acesso em: 19 abr. 2020.

VALTRA. **Plantadora Adubadora Múltipla: 13/5 - 17/7 - 21/8 Multiple L.** Folder

informativo. Online, 2015. Disponível em: <[https://www.valtra.com.br/assets/especificacaoProduto/Multiple%20L%20Plantadora%20Adubadora%20\(port\)\(baixa\).pdf](https://www.valtra.com.br/assets/especificacaoProduto/Multiple%20L%20Plantadora%20Adubadora%20(port)(baixa).pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2020.

VAZ, Caroline. Tecnologia John Deere faz Brasil bater recorde mundial de hectares plantados em 24h. Notícias Online, 2019. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/noticias/tecnologia-john-deere-faz-brasil-bater-recorde-mundial-de-hectares-plantados-em-24h>>. Acesso em: 21 mai. 2020.

WALKER, Eduardo. **Desenvolvimento de sistema condutor de sementes para semeadora**. 2018. 127p. Tese (Doutorado em Agronomia), Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

WALKER, Eduardo; REIS, Ângelo Vieira dos; STEFANELLO, Giuseppe. Projeto, desenvolvimento e construção de uma bancada de ensaios para dosadores de semente. **Revista Thema**, v. 15, n. 2, p. 498–505, 2018.

## **Apêndices**

APÊNDICE A – Gráficos de espaçamentos longitudinais falhos e múltiplos de cada dosador

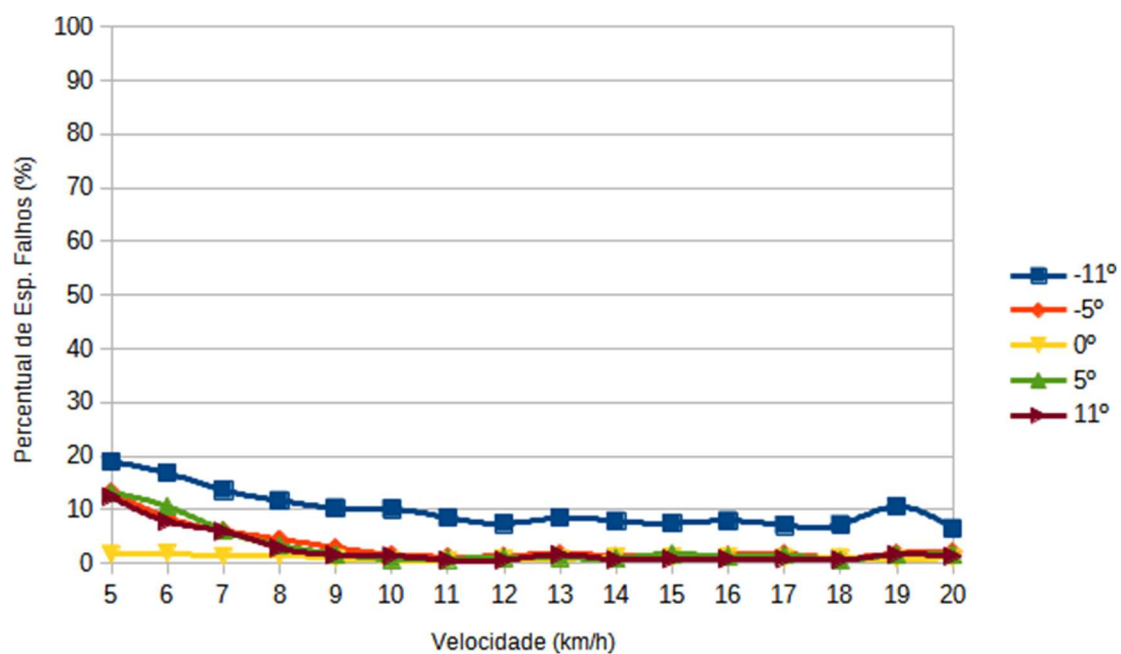


Figura 38. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

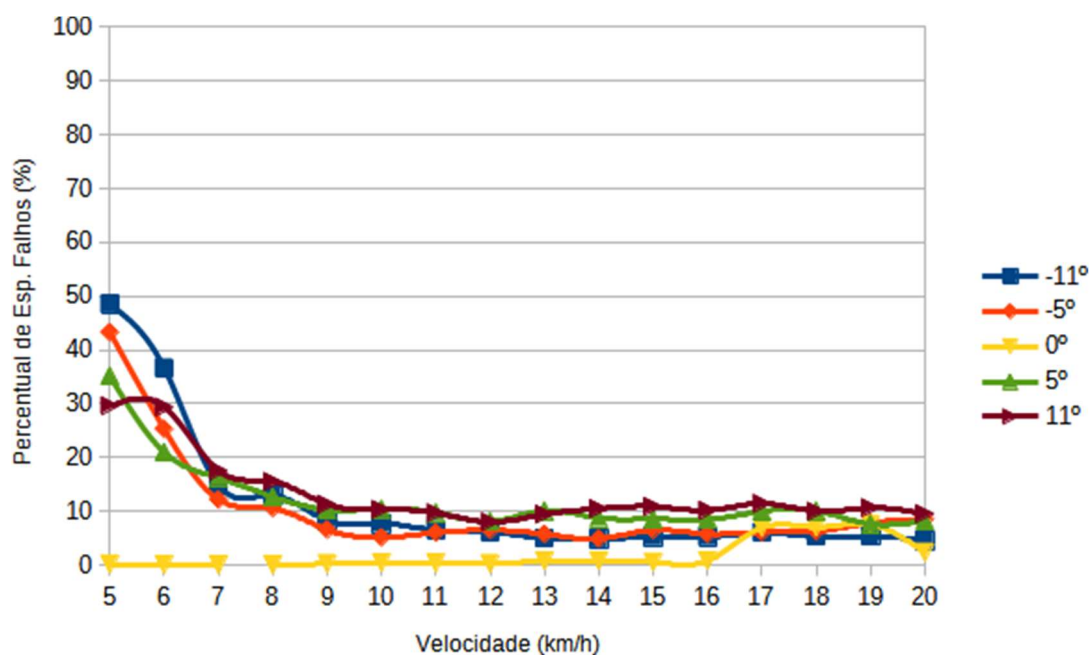


Figura 39. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

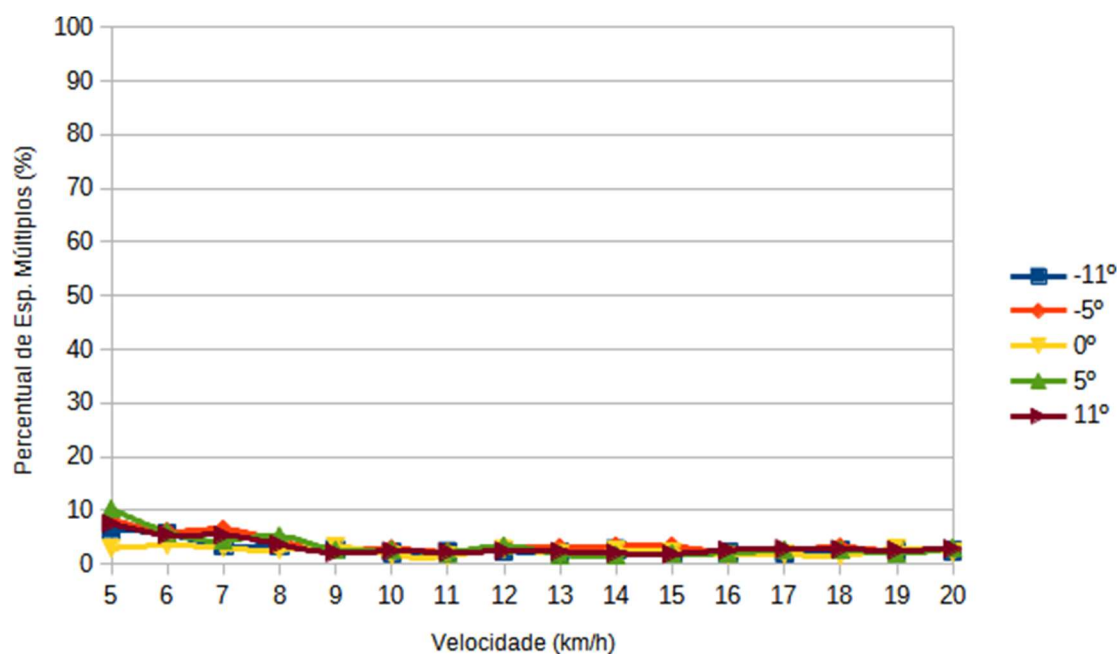


Figura 40. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

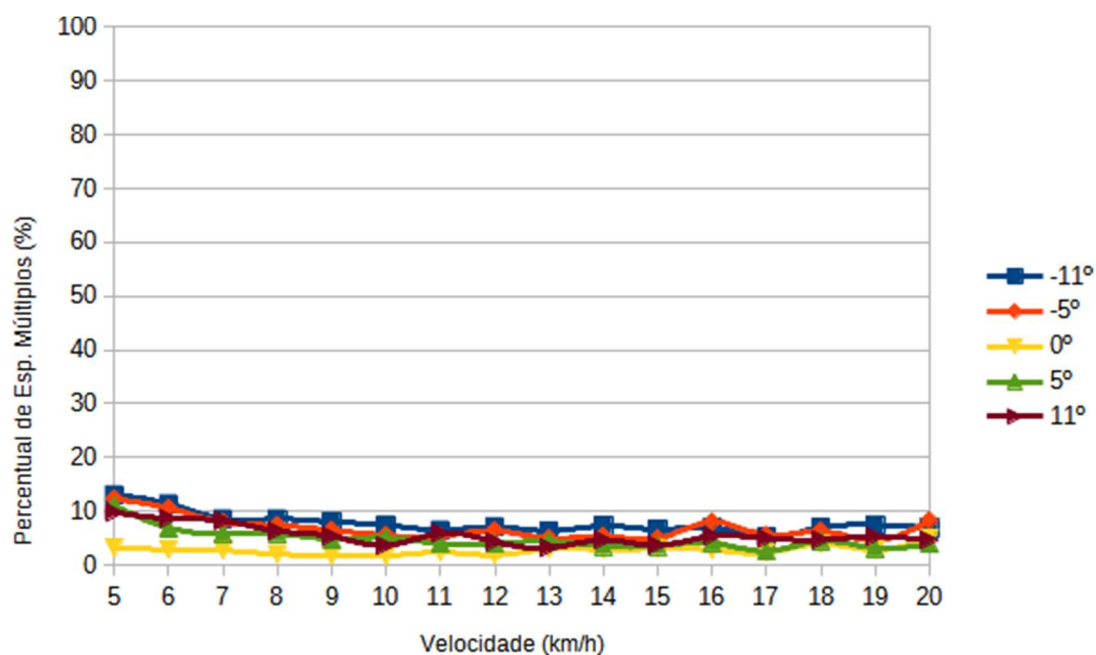


Figura 41. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador John Deere MaxEmerge5 operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

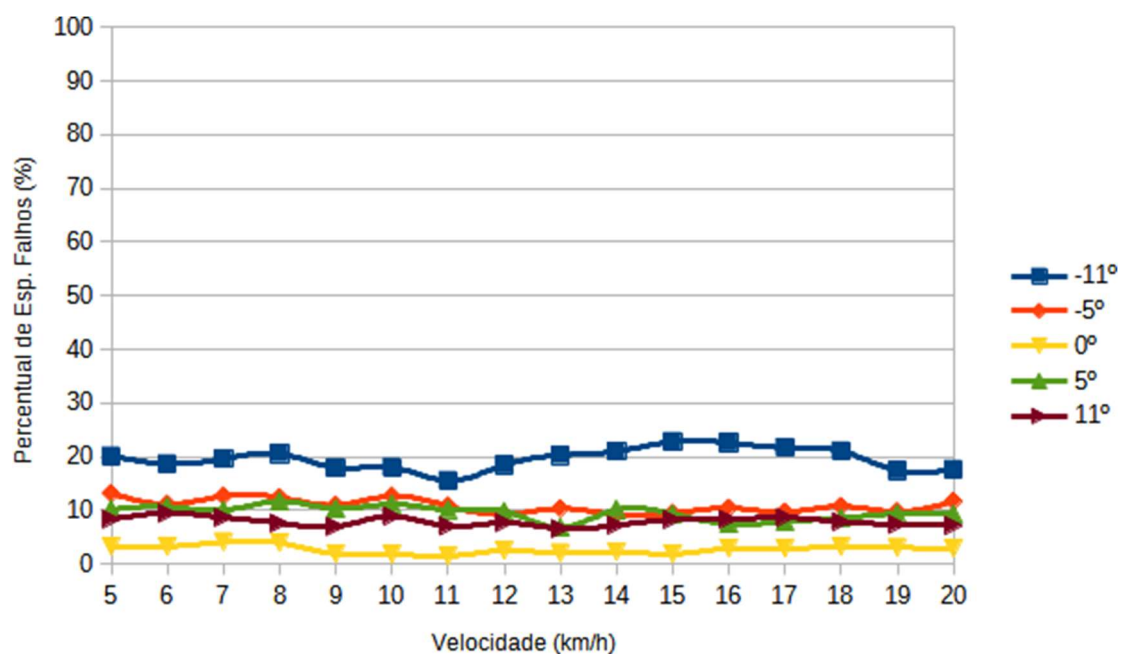


Figura 42. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

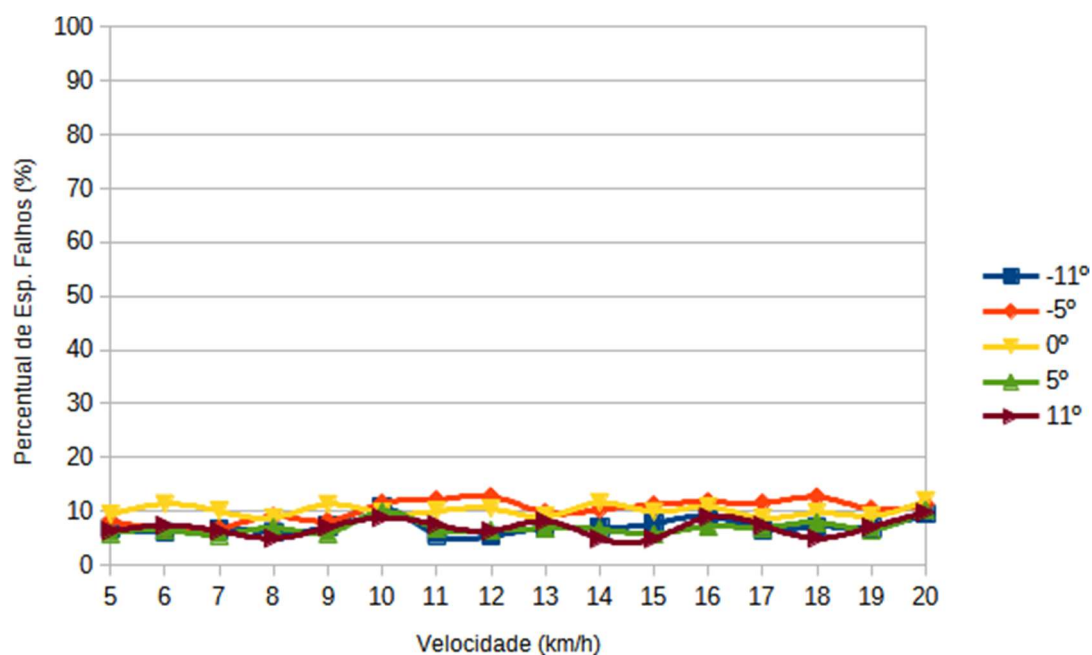


Figura 43. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador Precision Planting vSet operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

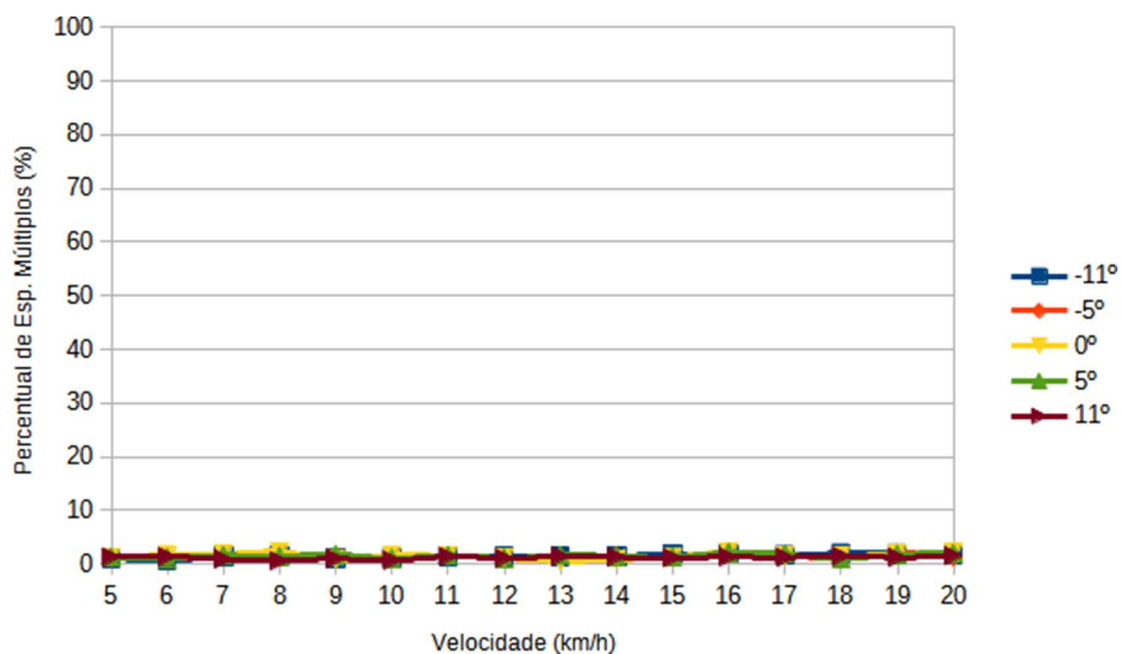


Figura 44. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador Precision Planting vSet operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

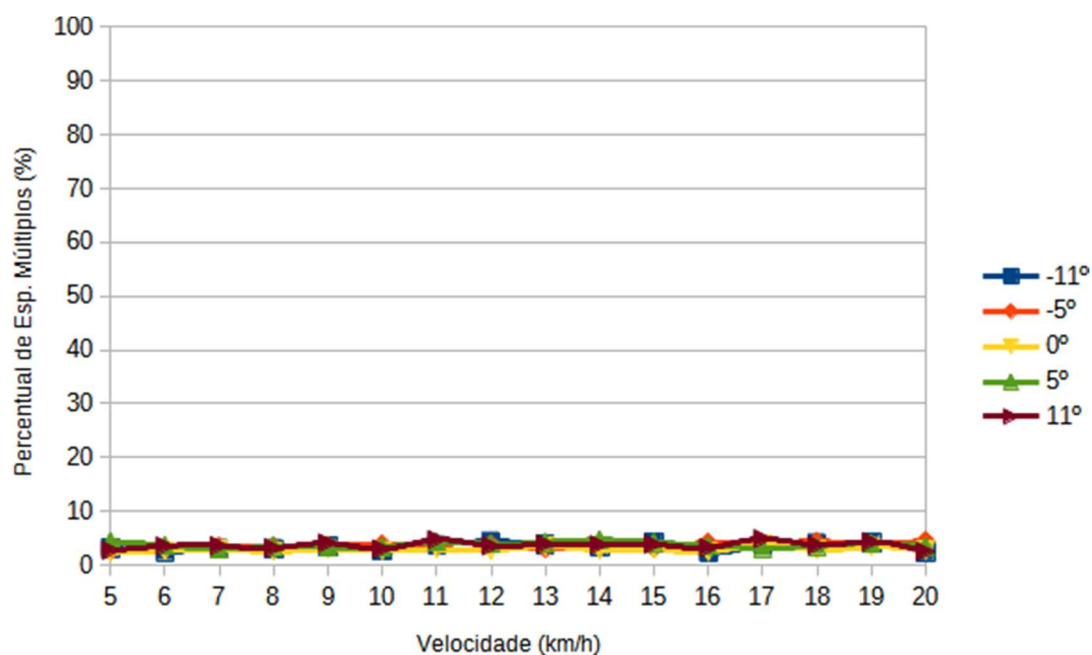


Figura 45. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador Precision Planting vSet operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

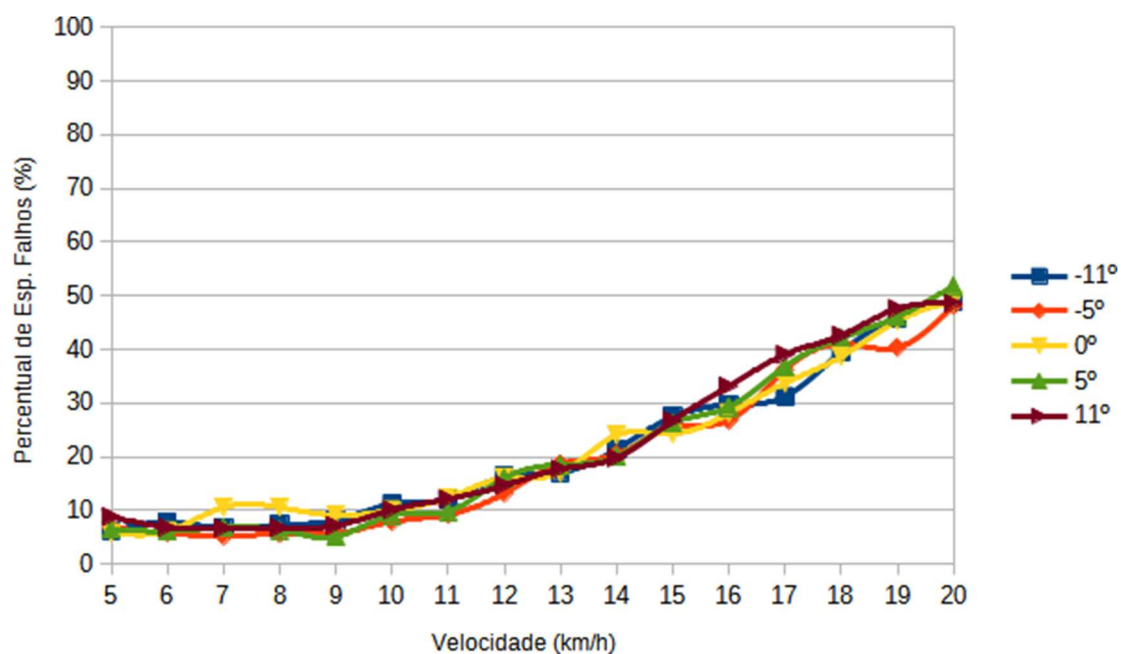


Figura 46. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

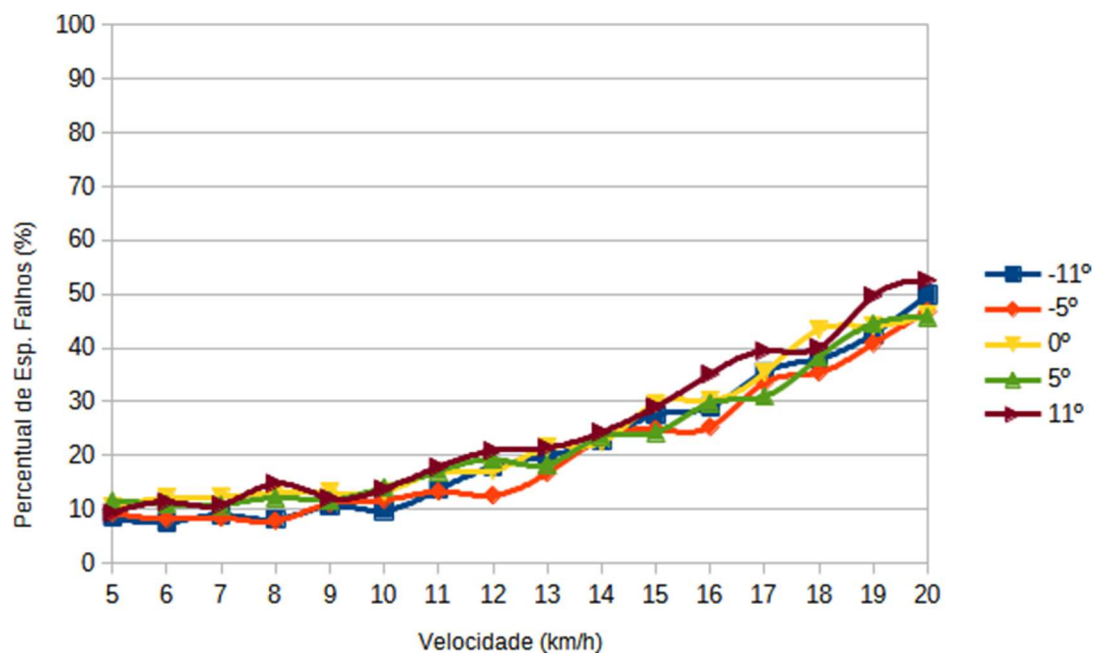


Figura 47. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos falhos do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

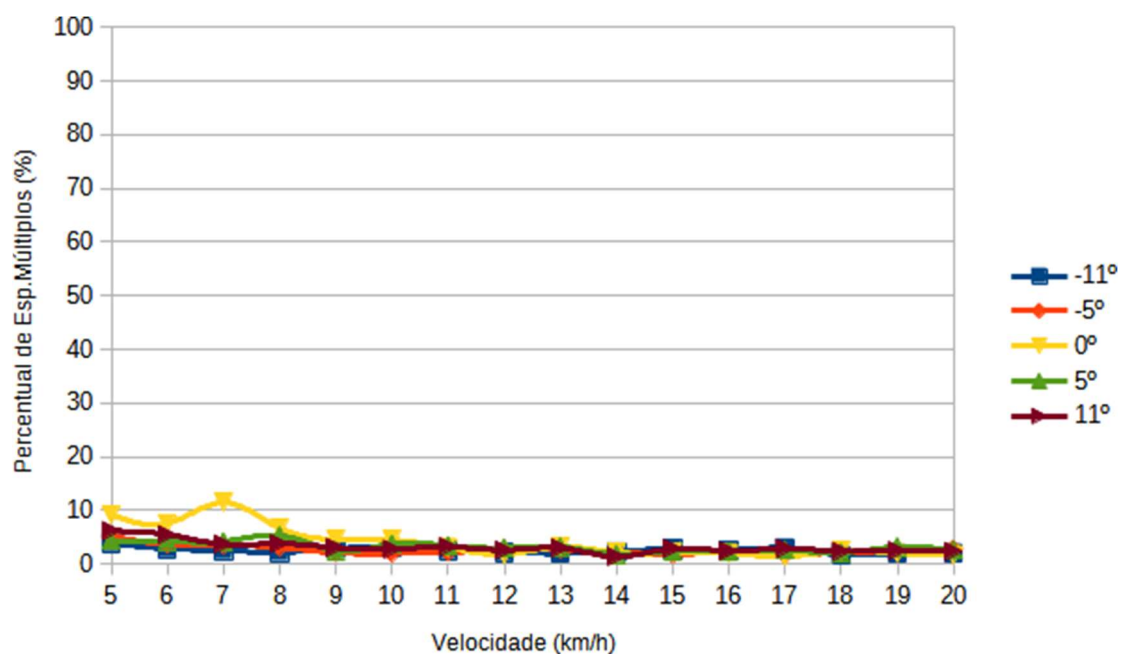


Figura 48. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador MaterMacc operando sem tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

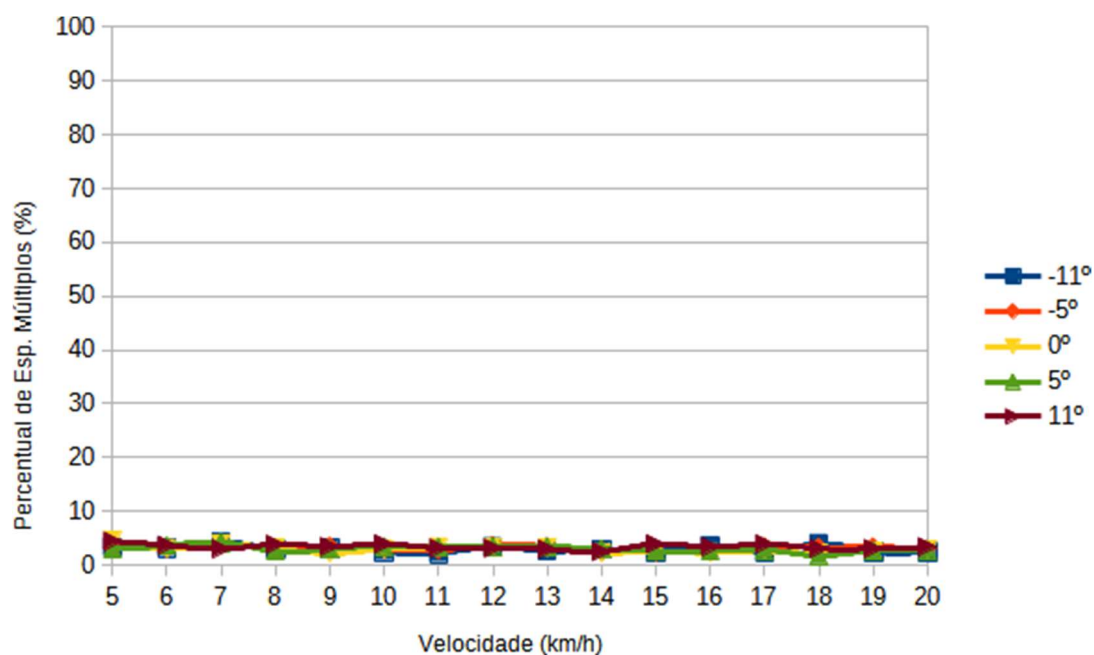


Figura 49. Resultado gráfico da análise de dados quanto ao percentual médio de espaçamentos múltiplos do dosador MaterMacc operando com tubo condutor nas inclinações longitudinais de -11°, -5°, 0°, 5° e 11°.

## APÊNDICE B – Tabelas de percentual médio de espaçamentos aceitáveis

Tabela 12. Percentagem de deposições aceitáveis (%) de milho híbrido P1225VYHR pelo dosador John Deere em função da velocidade de semeadura para 0° de inclinação longitudinal.

| Velocidade (km.h <sup>-1</sup> ) | Sistema de Condução |                   |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                  | Sem tubo condutor   | Com tubo condutor |
| 5                                | 95,48               | 96,64             |
| 6                                | 94,72               | 97,04             |
| 7                                | 95,76               | 97,28             |
| 8                                | 96,00               | 98,00             |
| 9                                | 95,84               | 98,00             |
| 10                               | 97,92               | 97,92             |
| 11                               | 98,08               | 97,28             |
| 12                               | 96,48               | 97,92             |
| 13                               | 97,28               | 96,32             |
| 14                               | 96,40               | 96,40             |
| 15                               | 96,72               | 96,40             |
| 16                               | 97,20               | 96,40             |
| 17                               | 97,28               | 90,72             |
| 18                               | 97,60               | 89,04             |
| 19                               | 96,32               | 89,68             |
| 20                               | 96,96               | 92,80             |

Tabela 13. Percentagem de deposições aceitáveis (%) de milho híbrido P1225VYHR pelo dosador Precision Planting em função da velocidade de semeadura para 0° de inclinação longitudinal.

| Velocidade (km.h <sup>-1</sup> ) | Sistema de Condução |                   |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                  | Sem tubo condutor   | Com tubo condutor |
| 5                                | 95,52               | 88,32             |
| 6                                | 95,12               | 86,00             |
| 7                                | 94,16               | 87,12             |
| 8                                | 93,84               | 88,72             |
| 9                                | 97,28               | 85,76             |
| 10                               | 96,64               | 87,68             |
| 11                               | 97,12               | 87,04             |
| 12                               | 96,48               | 86,88             |
| 13                               | 97,52               | 87,52             |
| 14                               | 96,96               | 85,68             |
| 15                               | 96,88               | 87,20             |
| 16                               | 94,96               | 86,80             |
| 17                               | 95,60               | 87,52             |
| 18                               | 95,36               | 87,52             |
| 19                               | 95,20               | 87,52             |
| 20                               | 95,04               | 85,28             |

Tabela 14. Percentagem de deposições aceitáveis (%) de milho híbrido P1225VYHR pelo dosador MaterMacc em função da velocidade de semeadura para 0° de inclinação longitudinal.

| Velocidade (km.h <sup>-1</sup> ) | Sistema de Condução |                   |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                  | Sem tubo condutor   | Com tubo condutor |
| 5                                | 85,04               | 84,88             |
| 6                                | 86,40               | 84,80             |
| 7                                | 78,00               | 83,92             |
| 8                                | 82,80               | 83,76             |
| 9                                | 86,40               | 84,72             |
| 10                               | 85,52               | 83,84             |
| 11                               | 84,64               | 79,84             |
| 12                               | 82,24               | 79,68             |
| 13                               | 79,84               | 75,44             |
| 14                               | 73,92               | 75,36             |
| 15                               | 73,68               | 67,84             |
| 16                               | 69,92               | 67,60             |
| 17                               | 64,96               | 62,00             |
| 18                               | 58,96               | 54,56             |
| 19                               | 52,72               | 53,36             |
| 20                               | 49,28               | 51,04             |

**Efeito de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de sementes em dosadores pneumáticos – Henrique Gonçalves Andrade**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção

Agrícola Familiar



Dissertação

**Efeito de velocidade, inclinação longitudinal e sistema de condução de sementes em dosadores pneumáticos**

**HENRIQUE GONÇALVES ANDRADE**

Pelotas, 2022