

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL PARA TESTES DE UM DOSADOR DE ADUBO À TAXA VARIÁVEL COM ACIONAMENTO ELÉTRICO

Mauricio da Silva Pinto, mauriciospinto@gmail.com¹
Ronei Osvaldo Ziech, roneiziech@gmail.com¹
Felipe Oliveira Bueno, felipe.ob127@yahoo.com¹
João Antonio Cervi, joao.cervi@unijui.edu.br¹
Nataniel Cavagnolli, nataniel-cavagnolli@bol.com.br¹
Antonio Carlos Valdiero, valdiero@unijui.edu.br¹
Luiz Antônio Rasia, rasia@unijui.edu.br¹

¹ Universidade Regional da Fronteira Noroeste (UNIJUI), Caixa Postal 121, Cep 98280-000, Panambi- RS

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada experimental para testes de um dosador de adubo à taxa variável para aplicação na agricultura de precisão. O objetivo é projetar e construir uma bancada para a avaliação experimental do comportamento de um dosador de adubo acionado eletricamente. Os testes realizados na bancada experimental permitem determinar os parâmetros do modelo dinâmico do dosador de adubo, além da validação do controle à taxa variável. A metodologia utilizada é composta pelas fases de análise das necessidades, projeto conceitual, projeto preliminar e detalhado, construção do protótipo e testes experimentais. O protótipo experimental foi testado no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS) da UNIJUI com apoio da IMASA, do FINEP e do CNPq. Os testes do dosador de adubo montado na bancada permitiram a estimativa dos valores dos parâmetros do modelo matemático do dosador à taxa variável. Esta pesquisa visa contribuir para mecanização da agricultura de precisão de baixo custo, em especial o desenvolvimento de alternativas que atendam as necessidades da agricultura familiar e de inovações para transferência tecnológica em empresa nacional fabricante de semeadora-adubadora.

Palavras-chave: Bancada Experimental, Dosador de Adubo, Taxa Variável

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta o projeto de uma bancada experimental para testes de um dosador de adubo à taxa variável acionado eletricamente. Atualmente com o crescimento da agricultura de precisão, abriu-se o espaço para a pesquisa de adubação à taxa variável. Também, o uso de sistemas de controle eletrônico em máquinas agrícolas vem aumentando graças à ampla difusão dos sistemas de posicionamento global (GPS) e ao avanço da informática e da eletrônica (Baldo e Magalhães, 2012).

Molin (1997) já discutia a necessidade do tratamento localizado, pois em determinadas propriedades o solo é tão heterogêneo que não é possível ajustar uma dosagem adequada para toda a propriedade, o que ocasiona uma produção desuniforme e geralmente um custo maior que o necessário. Machado *et al.* (2015) comentam a importância da atuação precisa das máquinas agrícolas para o desenvolvimento da agricultura de precisão e do manejo localizado. Entretanto as menores propriedades agrícolas nem sempre dispõem de recursos para adquirir as últimas tecnologias em mecanização agrícola. Nestes termos, o incentivo ao incremento de produção de novos produtos, processos ou serviços tecnológicos em empresas que atendem a atividade agrícola é um elemento estratégico para o país, em especial das que compõem o Arranjo Produtivo Metal-Mecânico do Rio Grande do Sul.

Considerando que a qualidade de aplicação de fertilizantes é um parâmetro essencial na produtividade e que as máquinas atuais aplicam o fertilizante com um coeficiente de variação de 12% (Casão Júnior, 2000), torna-se necessário, conforme Reis e Forcellin (2006), o desenvolvimento de equipamentos mais precisos para a aplicação, e que atendam as necessidades dos clientes finais (Arend *et al.*, 2005). Além disso, o desenvolvimento de novas tecnologias (Valdiero *et al.*, 2015) aplicadas à agricultura pode permitir maior precisão, flexibilidade, confiabilidade e eficácia às

diferentes etapas da produção. Para isso é essencial o aperfeiçoamento das máquinas e equipamentos utilizados, que devem produzir cada vez mais com o mínimo de recursos desperdiçados (Scarlett, 2001).

Vários trabalhos abordam os sistemas de adubação à taxa variável (Machado *et al.*, 2015; Uhry, 2013; Garcia, 2011; Umezu, 2003; Martins, 1999; Molin, 1991), onde são utilizados sistemas de controle com os diferentes tipos de acionamento hidráulicos, elétricos e pneumáticos. Machado *et al.* (2015) testaram a acurácia e os tempos de resposta de máquinas para aplicação de defensivos agrícolas à taxa variável. Já Garcia (2011) desenvolveu uma bancada de testes para o controle da vazão mássica de adubo com um dosador acionado por um motor elétrico de corrente contínua. Umezu (2003) apresentou os resultados dos testes de um sistema dosador à taxa variável com acionado por um motor hidráulico desenvolvido para ser acoplado em uma semeadora adubadora.

Contudo, embora haja um avanço significativo na pesquisa e no desenvolvimento de equipamentos de precisão, em especial em dosagem a taxa variável, não há o mesmo interesse no desenvolvimento de projetos que contemplem equipamentos para uso da agricultura familiar (Valdiero *et al.* 2015). Dentro deste contexto, busca-se desenvolver uma bancada experimental para testes de um sistema de controle de dosagem de fertilizante sólido a taxa variável que futuramente possa atender a necessidade da agricultura familiar.

Na próxima seção apresenta-se uma breve análise das necessidades do projeto de pesquisa e desenvolvimento da bancada experimental instrumentalizada com um sistema de controle para adubação à taxa variável.

2. ANÁLISE DAS NECESSIDADES

A análise das necessidades da adubação à taxa variável no domínio de máquinas e equipamentos para agricultura, em especial das semeadoras-adubadoras, responsáveis por depositar as sementes e o adubo no solo, atendendo aos parâmetros agrônômicos de quantidades e forma de distribuição. Estas máquinas possuem em sua grande maioria um sistema de dosagem de adubo sincronizado com o movimento de deslocamento por meio de uma transmissão mecânica composta por correntes e rodas dentadas acionadas pelo giro da roda do implemento. Este tipo de equipamento convencional não permite ao produtor tratar de maneira adequada e produtiva da necessidade local de nutrientes no solo. Os fabricantes de semeadoras-adubadoras indicam uma faixa de velocidade para o plantio que leva em consideração a potência trator e as condições do relevo da propriedade. Também indicam a quantidade mínima e máxima de quilogramas de adubo por hectare, conforme se pode observar na Tab. 1.

Tabela 1. Referências de velocidade de plantio e quantidade de adubo

Referencias	Mínima	Máxima
Velocidade de plantio	4 km/h	12 km/h
Quantidade de adubo por hectare	140 kg/h	363 kg/h

Já quantidade de adubo na saída do dosador é uma função do giro do eixo do dosador, dada na Tab. 2 de acordo com o passo do helicóide do dosador.

Tabela 2. Referência de quantidade de adubo de acordo com o fabricante do dosador e o passo do helicóide

Valores em kg de adubo por rotação do dosador			
Fabricante de dosador	3/4"	1"	2"
Fertysistem	0.0115	0.022	0.0478
Politecno	0.00788	0.021196	0.058788
Monrizzo	0.0106	0.01849	0.03989

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de capacidade de dosagem de fertilizante dos principais dosadores utilizados no mercado, porém de acordo com as empresas que fabricam semeadoras adubadoras o modelo Fertysistem é o mais indicado. Assim como a quantidade de adubo por hectare depende da quantidade de giros do eixo do dosador é possível através de um sistema de acionamento alterar a quantia dosada mantendo constante a velocidade da máquina. Para isso propõem-se um sistema de acionamento elétrico capaz de alterar a quantidade de adubo de acordo com a velocidade do eixo do dosador.

O desafio proposto é o desenvolvimento e a construção do protótipo de um sistema modular para dosagem de adubo à taxa variável apropriada às semeadoras-adubadoras da indústria local, de fácil programação, com regulagens apropriadas, fácil operação e manutenção, baixo custo, resistente e versátil. Na abordagem do problema, utilizar-se-á a integração e sinergia de conhecimentos em engenharia mecânica, engenharia eletrônica, ciências da computação, agronomia, gerenciamento agrícola e administração, sistematizando os conceitos modernos de metodologia de projeto de produtos mecatrônicos propostos por Valdiero e Rasia (2016), de agricultura de precisão e de sistemas produtivos conservacionistas na forma de tecnologias adequadas à realidade da agricultura. Para que o projeto alcance o sucesso de suas iniciativas, prevê-se a interação com a indústria local, fabricante do setor Metal-Mecânica de máquinas agrícolas,

para transferência tecnológica dos protótipos e patentes com o objetivo da produção e comercialização dos equipamentos para os agricultores através de programas de financiamento.

3. DESCRIÇÃO DO PROJETO DA BANCADA EXPERIMENTAL

Na concepção do projeto de uma bancada experimental deve-se levar em consideração as características reais do que se pretende testar. Assim, neste trabalho, buscou-se projetar uma bancada que simule o comportamento de um sistema dosador de adubo, acionado por um motor elétrico, a fim de identificar as características e os parâmetros envolvidos. Esse sistema é subdividido em três principais componentes que formam um sistema mecatrônico, tal como ilustrado na Fig. 1.

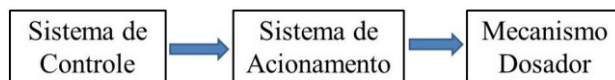


Figura 1. Três principais componentes do sistema mecatrônico da bancada do dosador de adubo a taxa variável

Considerando os componentes da Fig. 1, faz-se a seguir a descrição da bancada experimental de testes. O primeiro componente é o sistema de controle composto por um microcomputador (2) e (4), indicado na Fig. 2 e responsável pela visualização dos dados e interface com o operador, onde é montada uma placa eletrônica dSPACE 1104, a qual utiliza integração dos softwares MatLab/Simulink e ControlDesk, responsável pelo monitoramento e captura em tempo real, possibilitando-se a análise detalhada dos resultados obtidos na bancada de testes, através da construção de uma interface gráfica. O conector de sinais da placa dSPACE (1) é composto de conversores analógico-digital (entrada ADC) e conversores digital-analógico (saída DAC), onde se faz a conexão dos cabos de comunicação dos sensores que transmitem o sinal até a placa instalada no microcomputador. A alimentação em corrente contínua dos sensores e da placa é controlada através de uma fonte HP (3) de 24 VDC (*Voltage Direct Current* – Tensão Corrente Contínua) que é a fonte de alimentação dos elementos do sistema de controle.

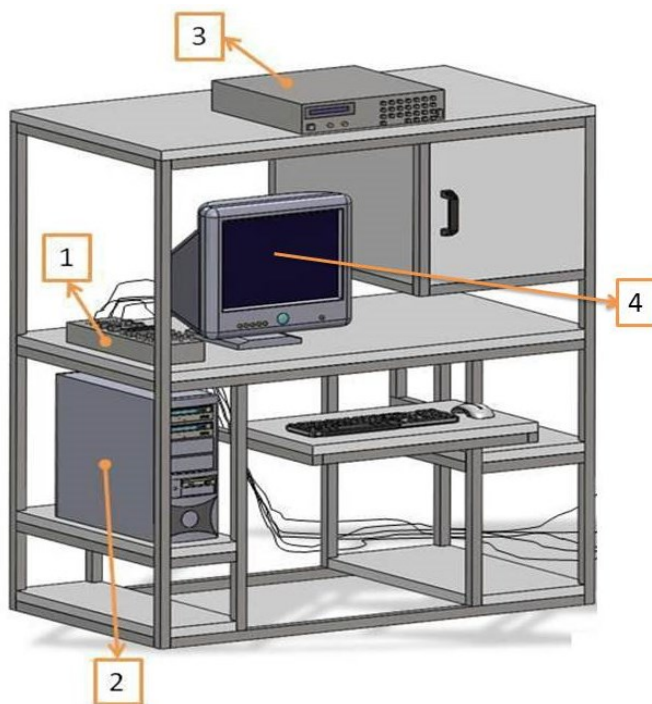


Figura 2. Ilustração da estação computacional utilizada no sistema de controle

Os segundo e terceiro componentes são o acionamento e o mecanismo dosador conforme se pode observar no desenho em perspectiva mostrado na Fig. 3.

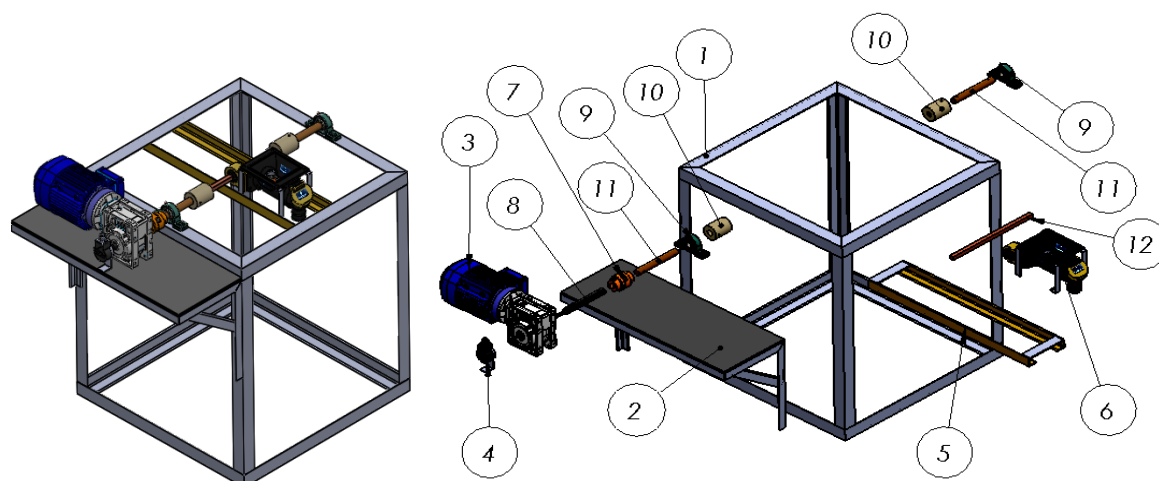


Figura 3. Desenho em perspectiva do projeto da bancada experimental com destaque para o acionamento elétrico e o mecanismo dosador de fertilizante sólido

Conforme a Fig. 3, a estrutura (1) é base principal da bancada, o suporte (2) é base do motor elétrico, onde é montado o motor elétrico (3) responsável pelo acionamento do dosador de adubo, (4) é um encoder incremental, (5) base do dosador, (6) dosador de adubo, (7) acoplamento estático entre motor e o eixo do dosador, (8) eixo de acoplamento do motor (9) são mancais do eixo do motor e do dosador, (10) buchas, (11) eixos dos mancais e (12) eixo do dosador.

Já o controle da velocidade angular do motor elétrico é feito através do inversor de frequência CFW10, o qual possui conexão com o motorreductor CA, conforme a Fig. 4 e as características do inversor estão na Tab. 3.

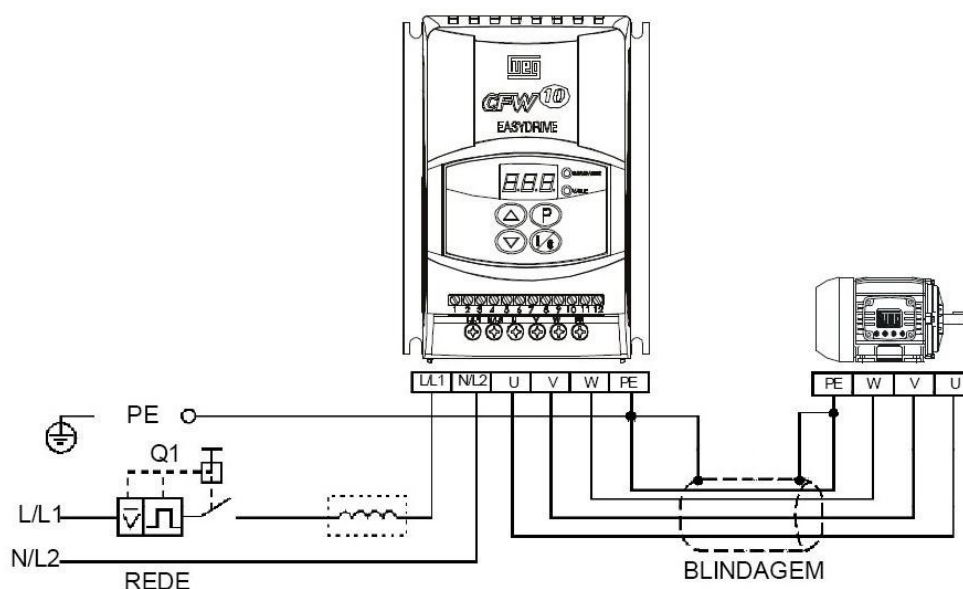


Figura 4. Conexões de Potência do Inversor de Frequência

Tabela 3. Descrição do Inversor de Frequência

Componente	Código	Fabricante	Principais Características
Inversor de Frequência	CFW10-0040-S2024-PSZ	WEG	Monofásico; Corrente Nominal de Saída: 4A.

Atualmente, existem diversos tipos de mecanismos dosadores, tais como, que os mais utilizados na indústria nacional são aqueles denominados “rosca sem fim”, que são compostos por um eixo com rosca helicoidal em sua periferia, inserido no interior de uma carcaça na parte inferior, e quando acionados por um conjunto de pinhões realizam o movimento de rotação, dosando o produto volumetricamente. A escolha deste tipo de mecanismo se deve ao fato de ser utilizado em grande parte dos equipamentos comerciais de dosagem de fertilizante. Já a escolha do modelo FertiSystem Auto-Lub AP NG da AGROMAC Fig. 5, baseia-se na sua utilização por vários fabricantes de semeadoras-

adubadoras e pelo fato de ser um equipamento considerado de precisão pelo fabricante, isto é, supostamente possui uma uniformidade de aplicação adequada.

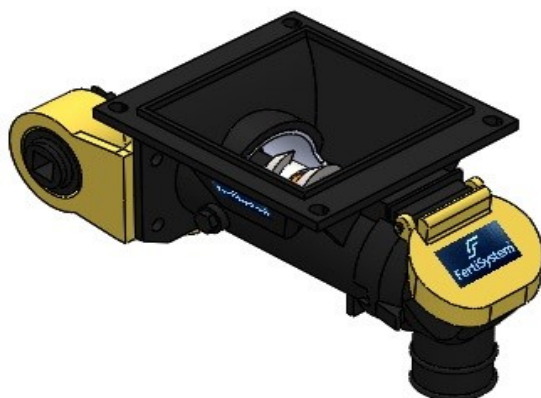


Figura 5. Dosador de adubo FertiSystem

Neste tipo de sistema a quantidade de adubo despejada pelo adubador é proporcional a velocidade do eixo do helicóide, logo se controlarmos a velocidade do eixo do dosador, controlamos também a quantidade de adubo que será deposita no solo.

O sistema de acionamento utilizado no presente trabalho é composto um moto-redutor elétrico de corrente alternada marca NOVA, código IP56-60Hz-4 polos, com as seguintes características: trifásico blindado; rotação: 1730 rpm (181,1651 rad/s); potência: 750 W; rendimento: 74% (se utilizada 50% da potência), 78,4% (se utilizada 75% da potência) e 80,5% (se utilizada 100%). A partir da rede elétrica (fonte de potência), após operação pelo sistema de controle, a alimentação de energia elétrica vai para o motor de corrente alternada – CA – (3) onde é convertida em energia mecânica. A energia mecânica é transmitida para o eixo do dosador (12) por meio de um acoplamento estático (7) que permite o movimento do eixo do dosador a uma determinada velocidade angular que será medida através de um encoder incremental.

Encoders incrementais são amplamente utilizados nas mais diversas aplicações como robóticas, cinemática e no controle realimentado de sistemas (Contreras, Flores e Silva, 2008). Eles são transdutores rotativos eletromecânicos onde um emissor envia feixes de luz através de duas fendas defasadas e uma terceira (conta giros) que são recebidas e interpretadas por uma placa eletrônica. Esta placa transforma o conjunto de feixes de luz em uma série de pulsos que são interpretadas como o movimento angular (em deslocamento e sentido) por uma placa de aquisição e controle. Apresenta-se na Fig. 6 a forma constitutiva do encoder incremental utilizado (Fiori, 2015).

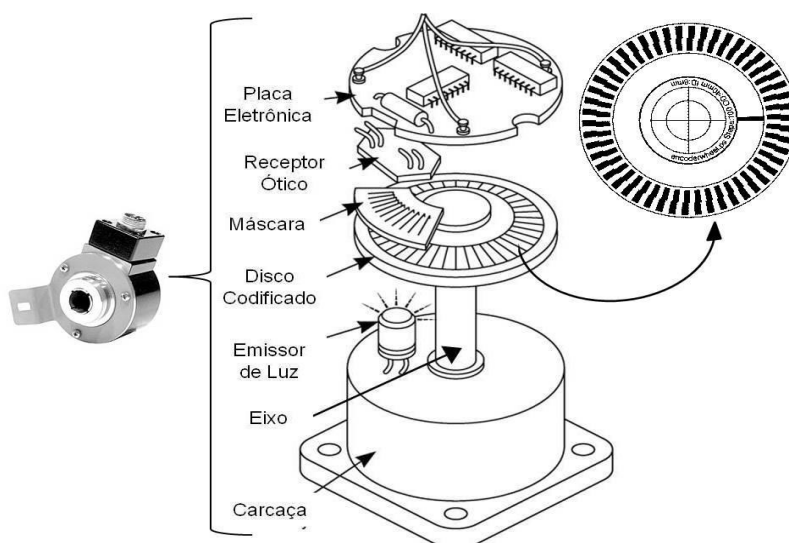


Figura 6. Encoder incremental com destaque ao disco codificado defasado

Estes sensores enviam os sinais de rotação e deslocamento através de pulsos que são recebidos e interpretados na dSPACE e capturados através do ControlDesk. As características do encoder incremental estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Características do Encoder Incremental e Transdutor de Deslocamento Linear

Componente	Código	Fabricante	Principais Características
Encoder Incremental	7510-0622-1000	Hohner	Pulsos: 1000 ppr (pulsos por rotação); Precisão: 0,09° (0,0015 rad); Alimentação: 24V.

. Assim, através deste encoder é medida a velocidade angular do eixo do dosador e corrigida pelo sistema de controle de acordo com os valores desejados. Pretende-se com este protótipo testar adubações que possam variar de entre 140 e 363 kg/há, considerando uma velocidade média da máquina de 8 km/h. Para isso, a velocidade do eixo do dosador deve ser de 26 rpm, para dosagens de 140kg/ha e de 88 rpm para dosagens de 363 kg/ha. Também serão realizados testes com velocidades intermediárias bem como alterações na velocidade visando o desempenho de uma adubação à taxa variável.

4. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir do projeto de desenvolvimento da bancada experimental com acionamento elétrico de velocidade controlada pelo inversor de frequência, foi possível iniciar a construção do protótipo para a realização dos testes de identificação dos parâmetros e a validação do modelo matemático da dinâmica de um sistema dosador de adubo à taxa variável. Uma vez que se obtêm os parâmetros e o modelo é validado, pode-se desenvolver estratégias para o sistema de controle do dosador a taxa variável.

Buscou-se contribuir para a utilização de tecnologia mecatrônica na agricultura, onde há espaço para novos desenvolvimentos e aplicações. Neste trabalho apresentou-se a análise das necessidades e o projeto de uma bancada com unidade de controle de um sistema dosador de adubo a taxa variável. Um protótipo de bancada experimental está em fase de construção para testes de dosagem a taxa variável e testes de validação de estratégias para o sistema de controle da velocidade angular do eixo do dosador. Pretende-se assim contribuir para o desenvolvimento de alternativas de controle de dosagens na agricultura de precisão para construção de equipamentos de baixo custo para empresas nacionais.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq – Brasil. Os autores são agradecidos pela disponibilidade da infraestrutura laboratorial do Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS) do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), instalado a partir do apoio financeiro do FINEP, SEBRAE, CNPq, CAPES, FAPERGS e de empresas parceiras do Arranjo Produtivo Local (APL) Metal-Mecânica da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

6. REFERÊNCIAS

- Arend, L.; Forcellini, F. A.; Weiss, A., 2005, “Desenvolvimento e testes de uma semeadora-adubadora modular para pequenas propriedades rurais”, Engenharia Agrícola, Jaboticabal, Vol. 25, No. 3, pp. 801-808.
- Baldo, R. F. G., Magalhaes, P. S. G., 2012, “Sistema de controle de velocidade sincronizada entre dois veículos agrícolas”, Ciência Rural, Vol. 42, No. 2, pp. 298-304.
- Casão Junior, R.; Araújo, A. G., 2008, “Primeira parte do componente específico Brasil, integrante do projeto FAO-CA-SARD”. Londrina, Fapeagro/Iapar.
- Contreras, A. C.; Flores, E. A. P.; Silva, R. O., 2008, “Multiplicador electrónico para encoder incremental”, Polibits, [online], No. 38, pp. 63-67.
- Fiori, A. F., 2015, “Modelagem matemática da dinâmica de uma transmissão mecânica do tipo fuso de esferas de um robô Gantry”, Dissertação (Mestrado) – UNIJUÍ, Ijuí.
- Garcia, A. P., 2011, “Sistemas de controle fuzzy para dosadores helicoidais de fertilizantes com acionamento elétrico”, Tese (Doutorado) – UNICAMP, Campinas.
- Machado, O. D. C.; Alonço, A. S.; F., T. R. e Carpes, D. P., 2015, “Acurácia e tempos de resposta de máquinas para aplicação de defensivos agrícolas à taxa variável”, Ciencia Rural [online], Vol.45, No.3, pp. 440-449. Epub 09-Dez-2014. ISSN 0103-8478.
- Machado, O. D. C. et al., 2015, “Acurácia das semeadoras-adubadoras à taxa variável”, Ciência Rural, Vol. 45, n. 7, pp. 1205-1213.

- Martins, M. M., 1999, “Desenvolvimento de um dosador helicoidal visando sua utilização em equipamentos de aplicação localizada de fertilizantes sólidos”, Tese (Doutorado) – UNICAMP, Campinas.
- Molin, J. P., 1991, “Desenvolvimento e análise de um dosador mecânico vertical para semeadora de precisão”, Dissertação (Mestrado) – UNICAMP, Campinas.
- Reis, A. V. D; Forcellini, F. A., 2006, “Identificação de requisitos de clientes para o projeto de um dosador de precisão para sementes miúdas”, Engenharia Agrícola, Vol. 26, n. 1, pp. 309–320.
- Scarlett, A. J., 2001. “Integrated control of agricultural tractors and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery”, Computers And Eletronics In Agriculture, Amsterdam, Vol. 30, n. 1-3, pp.167-191.
- Uhry, D., 2013, “Avaliação e critério para a utilização de semeadora com sistema de taxa variável de sementes na cultura da soja”, Tese (Doutorado) - UFSM, Santa Maria.
- Umezu, C. K., 2003, “Sistema de controle de um equipamento de formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis”, Tese (Doutorado) – UNICAMP, Campinas.
- Valdiero, A. C., Heck, T. G., Silva, J. A. G., 2015, “Tecnologias inovadoras aplicadas em sistemas agrícolas”, In: Sistemas agropecuários e saúde animal, Ed. UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, pp. 63-86.
- Valdiero, A.C.; Rasia, L.A., 2016, “Gestão de projetos de pesquisa e desenvolvimento de produtos mecatrônicos”, In: Valdiero, A.C.; Thesing, N.J. (Eds.), Desafios em Engenharia Industrial, Ed. Unijui, Ijuí, Brasil.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.”.

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL TEST BENCH WITH VARIABLE RATE FEEDER TO WITH ELECTRIC DRIVE

Mauricio da Silva Pinto, mauriciospinto@gmail.com¹

Ronei Osvaldo Ziech, roneiziech@gmail.com¹

Felipe Oliveira Bueno, felipe.ob127@yahoo.com¹

João Antonio Cervi, joao.cervi@unijui.edu.br¹

Nataniel Cavagnolli, nataniel-cavagnolli@bol.com.br¹

Antonio Carlos Valdiero, valdiero@unijui.edu.br¹

Luiz Antônio Rasia, rasia@unijui.edu.br¹

¹ Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, DECEEng/UNIJUÍ/Câmpus Panambi/Caixa Postal 121/CEP 98290-000, Panambi-RS, Brasil

Abstract. *This paper presents the development of an experimental facility to test a fertilizer dispenser to variable rate application in precision agriculture. The goal is to design and build a bench for the experimental evaluation of the behavior of a fertilizer dispenser electrically powered. Tests conducted in experimental bench for determining the parameters of the dynamic model of the fertilizer dispenser, beyond the control of the validation to the variable rate. The methodology consists of the analysis phases of requirements, conceptual design, preliminary and detailed design, prototype construction and experimental testing. The experimental prototype was tested at the Innovation Center for Automatic Machines and Systems Servo (NIMASS) of UNIJUÍ with support from Imasa, the FINEP and CNPq. The tests of the fertilizer dispenser mounted on the bench allowed the estimation of values of the parameters of the mathematical model of the dispenser at a variable rate. This research aims to contribute to the mechanization of low cost precision agriculture, in particular the development of alternatives that meet the needs of family agriculture, and developing innovations to technology transfer in national company seeder manufacturer.*

Keywords: *Experimental bench, fertilizer dispenser, Variable Rate*