

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE UM SISTEMA PARA DOSAGEM DE FERTILIZANTE Á TAXA VARIÁVEL COM ACIONAMENTO ELÉTRICO

IVAN JÚNIOR MANTOVANI¹, ANTONIO CARLOS VALDIERO², NIVIA MARIA KINALSKI³, ANDREI FIEGENBAUM⁴, LUIZ ANTÔNIO RASIA⁵

¹ Mestrando, Universidade Federal de Santa Catarina, ivan.mantovani8@gmail.com

² Doutor, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, valdiero@unijui.edu.br

³ Doutoranda, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, nivia.kinalski@unijui.edu.br

⁴ Mestrando, Universidade Federal de Santa Catarina, andrei.fig@hotmail.com

⁵ Doutor, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, rasia@unijui.edu.br

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: A necessidade do aumento da produção agrícola brasileira é evidenciada com a perspectiva do IBGE que prevê um aumento de 8% até 2030 na população brasileira. Dados da Conab mostram que este aumento de produção ocorre, mesmo com a estagnação da área plantada, o avanço tecnológico de máquinas e equipamentos agrícolas para a agricultura de precisão é um dos principais fatores que alavancam isto. Neste contexto, apresenta-se o desenvolvimento e a construção do protótipo de um sistema de dosagem de fertilizantes sólidos com acionamento elétrico para semeadoras-adubadoras com dosagem a taxa variável. O sistema é composto por um dosador comercial acionado por um motoredutor elétrico de corrente contínua. Para o comando eletrônico do motor, desenvolveu-se um drive de potência e um sistema de controle embarcado numa plataforma microcontrolada de baixo custo (Arduino). Os estados da dinâmica do sistema são capturados por sensor do tipo encoder e por um módulo GPS, os quais podem ser visualizados por meio de uma Interface Homem Máquina (IHM) programada um smartphone com comunicação via *bluetooth*. São apresentados os resultados de testes experimentais de laboratório uma semeadora-adubadora de uma linha. Pretende-se contribuir para a automação de baixo custo de máquinas e equipamentos agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de Precisão, Aplicação de Fertilizante e Variabilidade Espacial.

DEVELOPMENT OF THE PROTOTYPE OF A SYSTEM FOR FERTILIZER DOSAGE AT VARIABLE RATE WITH ELECTRICAL OPERATION

ABSTRACT: The need for an increase in Brazilian agricultural production is evidenced by the IBGE perspective, which foresees an increase of 8% by 2030 in the Brazilian population. Conab data show that this increase in production occurs, even with the stagnation of the planted area, the technological advance of agricultural machinery and equipment for precision agriculture is one of the main factors that leverage this. In this context, the development and construction of the prototype of a dosing system of solid fertilizers with electric drive for seeders-fertilizers with variable rate dosing is presented. The system consists of a commercial

dosing unit driven by an electric motor of direct current. For the electronic control of the engine, a power drive and control system was developed on a low-cost microcontroller platform (Arduino). The states of the system dynamics are captured by an encoder type sensor and by a GPS module, which can be viewed by means of a Human Machine Interface (HMI) programmed with a smartphone with bluetooth communication. The results of experimental laboratory tests are presented in a single-row seeder. It is intended to contribute to the low-cost automation of agricultural machinery and equipment.

KEYWORDS: Precision Agriculture, Fertilizer Application e Spatial Variability.

INTRODUÇÃO

Através de projeções realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2016 a população brasileira deve passar de 206 milhões de habitantes em 2016 para 223 milhões de habitantes em 2030, um crescimento de aproximadamente 8%, ou seja, a produção de alimentos tem ter um crescimento similar para continuar o fornecimento. Segundo dados de uma série histórica da Companhia Nacional De Abastecimento - CONAB, 2016 de pesquisas realizadas desde 1976 até projeções futuras, as áreas para plantação estão estagnando, porém a produção de alimentos cresce a cada ano que passa, com isso, é evidente o crescimento na produtividade das lavouras brasileiras. Assim tento uma expectativa de acompanhar o crescimento populacional.

São muitos fatores fazem que a produtividade brasileira tenha este aumento, por exemplo melhorias genéticas em sementes, melhorias químicas em fertilizantes e defensivos, entre outros. No âmbito da engenharia mecatrônica a evolução das máquinas e equipamentos agrícolas foi fundamental manter e aumentar a produtividade principalmente no uso para tratamento localizado de culturas (MOLIN, 1997a) (MOLIN, 1997b). O tratamento localizado mais conhecido como agricultura de precisão é uma forma moderna de gerenciamento agrícola das etapas e atividades da produção de uma cultura (VALDIERO, HECK e SILVA, 2015). Para que ocorra este gerenciamento agrícola em grandes propriedades de maneira precisa, os avanços tecnológicos nos equipamentos agrícolas a taxa variável foi o advento da agricultura de precisão (MACHADO, ALONÇO, *et al.*, 2015a) (MACHADO, ALONÇO, *et al.*, 2015b). Com este crescimento no grau de tecnologia na agricultura, técnicas de controles de sistemas industriais, estão cada sendo mais utilizadas na agricultura (UMEZU e CAPPELLI, 2006). Neste contexto este trabalho tem o objetivo de desenvolvimento e construção de um sistema de dosagem de fertilizantes sólidos com acionamento elétrico a taxa variável, com controle em uma interface gráfica via aplicativo de *smartphone*.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS/ UNIJUÍ Campus Panambi, credenciado pela Agência Nacional de Petróleo _ ANP em 13 de outubro de 2014, portaria no. 1.542 do D.O.U), onde são realizados projetos de pesquisa em Automação e Robótica Industrial, Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, e Automação Aplicada na Geração de Energia Limpa, sob a coordenação do Professor Doutor Antonio Carlos Valdiero.

A metodologia implementada neste trabalho foram as clássicas e renomadas na área de projeto de produto sendo elas descritas por Back, 1983, Pahl, Beitz, *et al.*, 2005, Valdiero, 2008 e Back, Ogliari, *et al.*, 2008. Seguindo um modelo de desenvolvimento de projeto pelas seguintes etapas, a de análise das necessidades que engloba requisitos de demanda,

O sistema será controlado por um Arduino MEGA (1), este para que possa controlar o motor de corrente contínua (3) é necessário um interfaceamento por um drive de potência (2), pois a corrente de operação do motor é alta, assim não suportada pela porta de saída digital do Arduino. Para o sensoriamento, será utilizado um encoder incremental (6) e para que o sistema se georeferencie foi optado pelo equipamento mais utilizados em aplicações agrícolas para esta função que é um dispositivo GPS (7).

Para a implementação da IHM será utilizado um *smarthphone* (9), onde será desenvolvido um aplicativo, que comunicará com o Arduino via conexão *bluetooth*, desta forma, será necessário adicionar um módulo *bluetooth* (8) ao controlador. Também nesta concepção serão acoplados o dosador (5) ao motor através de uma transmissão por corrente (4).

Para construir um modelo conceitual completo do projeto nesta etapa, foi elaborado através de linguagem natural um modelo comportamental desejado do sistema, sendo seu início quando o usuário entra com os valores de quantidade de fertilizante desejada (kg/ha) e espaçamento entre linhas (cm), o *smartphone* envia estes via conexão *bluetooth* para o Arduino. Ao receber os dados o Arduino acessa o GPS para buscar a velocidade de deslocamento e a posição geográfica da semeadora-adubadora, compilando estas variáveis em na equação matemática, resulta a rotação desejada para o dosador.

Com a rotação desejado é aplicado um controle PID, resultando em sua saída um sinal de controle de 0 a 5 volts, que aciona o motor através de um interfaceamento pelo drive de potência. O motor acionado movimenta o dosador, que é supervisionado por um encoder incremental para fazer a leitura de rotação realizada. O processo finaliza quando o dado gerado pelo encoder é enviado para o Arduino e o mesmo utiliza como feedback do controle PID e envia junto a velocidade de deslocamento e localização para o *smarthphone*. E estas funções permanecem em um laço infinito.

Tratando-se de um sistema automático, nesta etapa de projeto preliminar, fez-se necessário a divisão em três áreas para projeto e construção do protótipo, as áreas da mecânica, eletroeletrônica e de software.

Na área da mecânica foi desenvolvido toda a parte mecânica deste projeto e principalmente seu acoplamento a uma semeadora-adubadora doada pela empresa IMASA, sendo ela constituída por um único conjunto de planta. Na Figura 2 está apresentada uma foto da semeadora-adubadora com a descrição de seus componentes, com o sistema mecânico já implementado.



FIGURA 2. Foto com descrições da semeadora-adubador, onde o sistema foi montado.

Este conjunto de planta da Figura 2, é composto por um sistema de distribuição de sementes classificado por disco perfurado horizontal, e acionado por uma transmissão de engrenagens e corrente conectada a roda de compactação, que além de compactar o solo após o depósito dos insumos, ela também fornece tração ao sistema de distribuição de sementes, portanto, não é a taxa variável. Também compõem o sistema um reservatório de semente e sulcadores do tipo disco duplo. O sistema de distribuição de fertilizante, que em sua forma original era composto por um dosador helicoidal com transbordo da linha Fertisystem onde era movido pela mesma transmissão que movimenta o sistema de distribuição de sementes, foi modificado para o sistema de dosagem de fertilizante a taxa variável apresentado neste trabalho.

Na área da eletroeletrônica foi dimensionado os circuitos de comando e potência, e testados via software, posteriormente foram construídos e acoplados em um envoltório padrão dos projetos realizados no NIMASS, para interfaciamento destes circuitos com a planta foram utilizados conectores de fixação por rosca afim de garantir o contato mesmo com trepidação que este equipamento ira ter que suportar. Na Figura 3 é apresentado esta montagem.

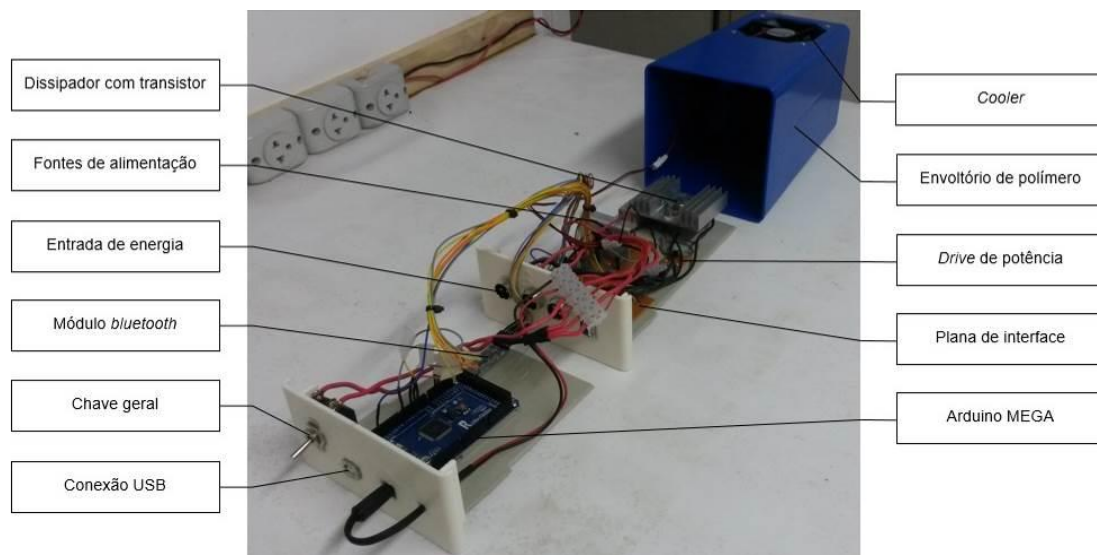


FIGURA 3. Foto das placas com os circuitos elétricos de comando e potência, no envoltório padrão

E na área de software prevendo uma comunicação entre o *smartphone* e o Arduino, foi necessário criar um protocolo de comunicação. O primeiro passo para a criação deste protocolo é conhecer as variáveis envolvidas e o número de caracteres de cada uma delas, que são elas do Arduino para o *smartphone*, velocidade de deslocamento com 5 caracteres (00,00), velocidade angular com 5 caracteres (00,00), latitude com 10 caracteres (-00,000000) e longitude com 10 caracteres (-00,000000). Já do *smartphone* para o Arduino, quantidade de fertilizante com 3 caracteres (000) e espaçamento entre linhas com dois caracteres (00).

TABELA 1. Protocolo de comunicação entre do Arduino para o *smartphone*.

Variável	Caracteres
Vetor	00,00;00,00;-00,000000;-00,000000
Velocidade de deslocamento	Caracteres de 1-5
Velocidade angular	Caracteres de 6-11
Latitude	Caracteres de 13-22
Longitude	Caracteres de 24-33








Definida as variáveis elas são agrupadas em um vetor de caracteres, separadas por “;”, isto para facilitar no tratamento dos dados e criar mecanismos de segurança na comunicação. Na Tabela 1 e Tabela 2 é apresentado um resumo do protocolo de comunicação entre o Arduino e o *smartphone*.

TABELA 2. Protocolo de comunicação entre do *smartphone* para o Arduino.

Variável	Caracteres
Vetor	000;00
Quantidade de fertilizante	Caracteres de 1-3
Espaçamento entre linhas	Caracteres de 5-6

Com os protocolos definidos foi desenvolvido ícones para a criação da tela inicial do aplicativo onde com o auxílio das etapas de projetos anteriores foi possível afirmar o que devesse apresentar na tela principal da Interface Homem Máquina – IHM. Estes ícones estão dispostos na Tabela 3.

TABELA 3. Descrição dos ícones utilizados no aplicativo.

						
1	2	3	4	5	6	7

1 - Quantidade de fertilizante; 2 - Espaçamento entre linhas; 3 - Velocidade de deslocamento; 4 - Velocidade angular; 5 - Posição geográfica; 6 - Latitude; 7 - Longitude.

Após os ícones definidos foi desenhado o aspecto visual da interface no aplicativo, como é visualizado na Figura 4.



FIGURA 4. Tela inicial do aplicativo.

O aplicativo em sua parte superior é composta pelos botões de conexão, função manual e função automático. Ao pressionar o botão “CONECTAR” abrirá uma lista de dispositivos pareados no aparelho, ou seja, antes de iniciar o aplicativo o *smartphone* deve parer com o Arduino, na lista deve-se selecionar o dispositivo nomenclaturado “dosador”, assim exibirá uma mensagem que o *bluetooth* está conectado, neste momento já será apresentado nos quatro

campos abaixo os valores de velocidade angular, velocidade de deslocamento e posições geográficas de acordo com o ícone de cada campo.

Para programar a quantidade de fertilizantes e espaçamento entre linhas, basta o usuário selecionar o campo em branco ao lado dos respectivos ícones e em seguida selecionar os botões “OK”. Este é o funcionamento do aplicativo em modo “MANUAL”, a parte automática que dosaria de acordo com a posição geográfica não foi desenvolvida neste trabalho. Finalizando o desenvolvimento e construção do protótipo foi realizado a programação do aplicativo e do controlados atreves de suas linguagens próprias.

A etapa de projeto detalhado desenvolvida junto a etapa de projeto preliminar, com isso, após o protótipo estar pronto, iniciou-se a fase da realização de testes.

Foram realizados 3 tipos de testes, o primeiro o teste foi de funcionamento de cada elemento separadamente ajustando-os para que desempenha-se um funcionamento sem falhas de *hardware* e de *software*. Em seguida foi realizado um teste do sistema em malha aberta, fundamental para determinar o comportamento do sistema em faixas com diferentes velocidades e o último teste realizado no protótipo foi a determinação dos ganhos do controlador. Para a realização dos testes foi montado a estrutura da semeadora-adubadora foi elevada e ajustada de acordo com a Figura 5.



FIGURA 5. Estrutura montada para a realização dos testes.

O primeiro teste foi simples, apenas acionado cada elemento individualmente para analisar o comportamento e verificar se este, está dentro o esperado. Foi desenvolvido programas específicos para cada componente a fim de solucionar todos os erros individuais, para quando ocorresse a programação completa restarem apenas erros de conjunto. Por exemplo o drive de potência, como foi construído no decorrer deste trabalho, foi submetido a teste expondo-o a situações extremas, como travamento do eixo, elevado tempo de funcionamento, entre outros, como resultado obtemos uma fragilidade no transistor de comando, onde não suportava a corrente de pico, para reparar este problema foi trocado o transistor por uma de maior potência.

O segundo teste foi o de comportamento do sistema em malha aberta ele foi realizado em laboratório, com o dosador carregado, acionando-o por um tempo de 60s em degrau. A temperatura no momento dos testes foi de 27°C e a umidade relativa do ar foi de 73%. Foram realizados 9 testes, iniciando com a tensão de 1V e chegando a 5V, com incremento de 0,5V a cada teste. Na Figura 6 é apresentado o gráfico com a curva de velocidade angular por tensão aplicada, neste gráfico foi aplicado um ajuste de curva para uma função linear.

Com ele foi percebido que em baixa velocidade angular o sistema mostrou-se muito oscilatório, porém, a com o aumento gradual da mesma, obtêm-se um comportamento que

estabiliza gradualmente na proporção do aumento de velocidade tornava-se mais estável, isto já era esperado por tratar-se de um motor elétrico que foi fabricado para trabalhar em rotação máxima. Com estes testes foi possível determinar 3 principais faixas onde o sistema teve um comportamento similar que são entre 0 e 25 RPM, nesta faixa é a pior situação de trabalho onde requerem um maior ajuste do controlador, a segunda faixa é entre 25 e 50 RPM, onde o sistema comportou-se de maneira transitória e a última faixa é entre 50 a 80 RPM, nesta faixa o sistema tem um comportamento muito estável, mantendo uma rotação com no máximo 1 RPM de variação.

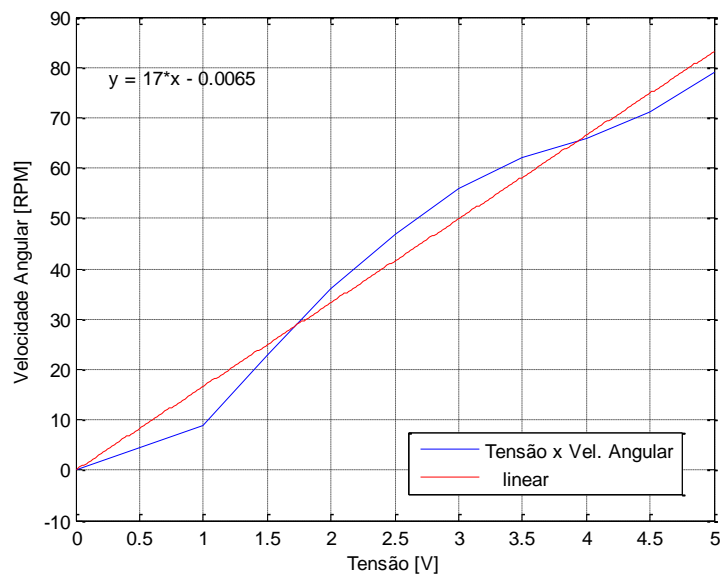


FIGURA 6. Curva de velocidade angular do dosador em malha aberta.

O último teste teve como objetivo encontrar os ganhos para o controlador, para isso, foi realizado vários testes em velocidades angulares médias das faixas de comportamentos mencionadas anteriormente, estes com “n” combinações de ganhos ao final os que demonstraram um melhor comportamento são, para a faixa de 0 - 25 RPM foi $K_p=4$, $K_i=3$ e $K_d=4$, para a faixa de 25 - 50 RPM foi $K_p=2$, $K_i=2$ e $K_d=3$, e para a faixa de 50 - 80 RPM foi $K_p=2$, $K_i=2$ e $K_d=1$. Com os ganhos definidos foi realizado dois testes para verificar o comportamento, o primeiro com uma rampa de velocidades angulares de 0 a 80 RPM com um incremento de 10 RPM, permanecendo 10s em cada velocidade e o segundo com uma rampa de velocidades angulares de 80 a 0 RPM com um decremento de 10 RPM, permanecendo 10s em cada velocidade. Estes com os resultados apresentados na Figura 7.

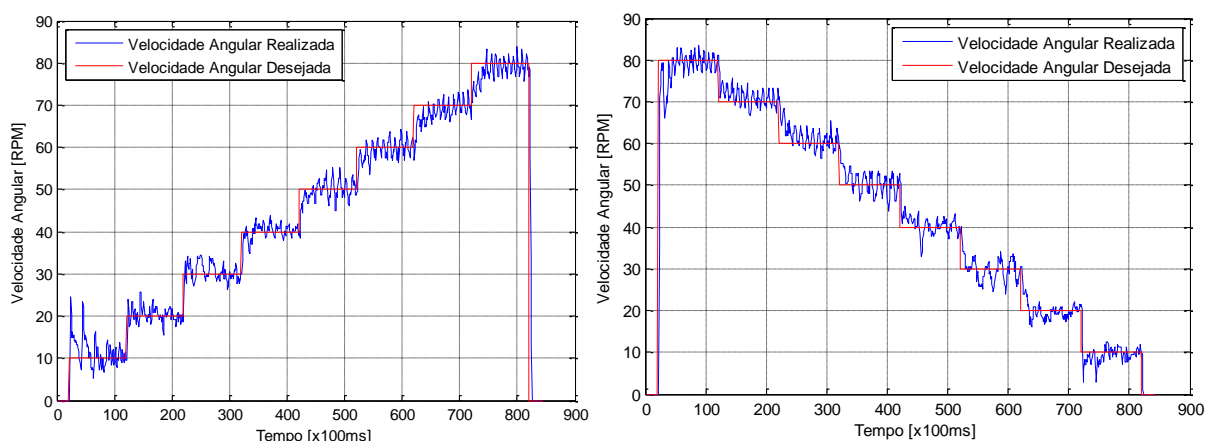


FIGURA 7. Curva de velocidade angular do dosador em malha fechada.

O uso do controlador PID, modificou o comportamento do sistema, comparando os resultados dele em malha aberta, tornando um sistema dinâmico de comportamento regular nas diversas faixas de velocidades angulares. A grande melhora acontece em baixas velocidades, inferiores a 30 RPM, onde o comportamento oscilatório do sistema apresentado anteriormente mante-se estabilizado.

Com relação ao erro da velocidade desejada com a realizada, em momentos instantâneos chega a 5 RPM, porém, o sinal da desejada oscila em uma alta frequência, para acima e a baixo da desejada, assim tem-se um erro médio em todas as faixas de velocidades menor que 1 RPM, com isso, para o controle de velocidade de um dosador de adubo o resultado é ideal. Destaca-se que visualmente é imperceptível esta oscilação em alta frequência. Também, não há filtros físicos de ruídos na parte elétrica do sensor encoder.

CONCLUSÕES

Uma das etapas do ciclo da agricultura de precisão é a aplicação de fertilizante a taxa variável. O estudo apresentado neste trabalho está relacionado a esta etapa, através do desenvolvimento e construção de um sistema elétrico de dosagem a taxa variável de fertilizante sólido. Assim através de uma metodologia de projeto de produto, foi possível desenvolver um projeto abrangendo multiáreas da engenharia. Ao final foi obtido um protótipo que através de testes foi demonstrado que um motor elétrico de corrente contínua pode ser utilizado como unidade motora em um sistema de dosagem de fertilizante a taxa variável. Este apresentando resultados que dão viabilidade prática a concepção apresentada neste trabalho.

E como perspectivas futuras pretende-se desenvolver a parte automática do sistema de dosagem e realizar testes em laboratório para determinar o erro na dosagem e se necessário ajustar, para que posteriormente sejam realizados testes em campo experimental, com o plantio e adubação de uma cultura, cultiva-la e realizar a colheita para realizar comparativos de dosagem de fertilizante a taxa variável com o modo convencional de aplicação de fertilizante. Estes comparativos a serem realizados junto ao departamento de agronomia da UNIJUÍ. Assim podendo tornar este estudo futuramente em um produto.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. et al. Distribuição Longitudinal de Fertilizante Granulado em Diferentes Umidades e Inclinações de Trabalho de um Dosador Helicoidal por Transbordo. **XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016**, Florianópolis, p. 1-4, 2016. ISSN 2358-582X.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, v. I, 1983.

BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. 1ª. ed. Barueri: Manolo, v. I, 2008.

BRASIL. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento, 2012. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm>. Acesso em: 26 Setembro 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série Histórica**, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>>. Acesso em: 11 Agosto 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções e Estimativas da População do Brasil e das Unidades da Federação**, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 11 Agosto 2016.

LONGARETTI, M. et al. Estratégia de Melhoria do Mecanismo de Distribuição de Fertilizantes do Dosador Rosca Helicoidal por Transbordo de uma Semeadora. **XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016**, Florianópolis, p. 1-4, 2016. ISSN 2358-582X.

MACHADO, O. D. D. C. et al. Acurácia e Tempos de Resposta de Máquinas para Aplicação de Defensivos Agrícolas à Taxa Variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 3, p. 440-449, 2015a. ISSN 0103-8478.

MACHADO, O. D. D. C. et al. Acurácia das Semeadoras-Adubadoras à Taxa Variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 7, p. 1205-1213, 2015b. ISSN 0103-8478.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão. Parte I: O Que é e Estado da Arte em Sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997a. ISSN 1809-4430.

MOLIN, J. P. Agricultura de Presisão. Parte II: Diagnóstico, Aplicação Localizada e Considerações Econômicas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 53, n. 9, p. 1689-1699, 1997b. ISSN 1809-4430.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, v. I, 2005.

UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L. Desenvolvimento e Avaliação de um Controlador Eletrônico para Equipamentos de Aplicação de Insumos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 225–230, 2006. ISSN 1807-1929.

VALDIERO, A. C. **Inovação e Desenvolvimento do Projeto de Produtos Industriais**. 1ª. ed. Ijuí: UNIJUÍ, v. I, 2008.

VALDIERO, A. C.; HECK, T. G.; SILVA, J. A. G. D. Tecnologias Inovadoras Aplicadas em Sistemas Agrícolas. In: SILVA, J. A. G. D.; CARBONERA, R.; FERNANDES, S. B. V. **Sistemas Agropecuários e Saúde Animal**. Ijuí: UNIJUÍ, v. I, 2015. p. 63-86.