

**ESTRUTURA FUNCIONAL DE UM ENCANTEIRADOR E DEPOSITOR DE FERTILIZANTES PARA TRATORES DE BAIXA POTÊNCIA**Tiago Vega Custódio¹, Roger Toscan Spagnolo², André Oldoni³, Ângelo Vieira dos Reis⁴ & Antônio Lilles Tavares Machado⁵1 - Engenheiro Agrícola, Doutorando do PPGSPAF da UFPEL/Pelotas-RS, tiagovegacustodio@gmail.com2 - Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto da UFPEL/Pelotas-RS, roger.toscan@gmail.com3 - Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto do IFSul/Pelotas-RS, andreoldoni@gmail.com4 - Engenheiro Agrícola, Professor Associado IV da UFPEL/Pelotas-RS, areis@ufpel.edu.br5 - Engenheiro Agrícola, Professor Associado IV da UFPEL/Pelotas-RS, antoniolilles@gmail.com**Palavras-chave:**agricultura de base familiar
desenvolvimento de produto
máquinas agrícolas**RESUMO**

A agricultura familiar é responsável por uma parcela importante da produção agrícola do país. Entretanto, se depara com uma deficiência no que tange às máquinas agrícolas, sendo uma das dificuldades construir canteiros e depositar fertilizantes. Assim, muitas atividades são executadas manualmente, reduzindo a produtividade. Neste estudo, objetiva-se estabelecer a estrutura funcional de um sistema mecanizado capaz de formar canteiros e depositar fertilizantes no estado sólido, com necessidade de potência de acionamento inferior a 25 kW. A metodologia utilizada fundamenta-se no Modelo de Fases, empregado com êxito no projeto de máquinas agrícolas. Verificou-se o escopo do problema por meio da análise de especificações, identificação de restrições e estabelecimento das estruturas funcionais em forma de diagrama de blocos. Como resultado, foram obtidas quatro estruturas funcionais, sendo a estrutura funcional escolhida a que apresenta regulagens da largura e profundidade de canteiro, da dosagem e aplicação do fertilizante, da seleção e do tipo de engate para a fonte de tração e permite nivelar o canteiro. Por meio deste trabalho, foi possível gerar a estrutura funcional do sistema mecanizado que atende às necessidades dos agricultores, principalmente no que se refere à redução do tempo e esforço na execução destas tarefas.

Keywords:family-based agriculture
product development
agricultural machinery**FUNCTIONAL STRUCTURE OF A BEDSHAPER AND FERTILIZER DEPOSITOR FOR LOW POWER TRACTORS****ABSTRACT**

Family agriculture is responsible for a significant portion of agricultural production in the country, but it faces a deficiency when it comes to agricultural machinery that one of the difficulties is to build planting beds and deposit fertilizer. Then, many activities are developed manually, reducing productivity. In this study, the objective is to establish the functional structure of a mechanical system able to form planting beds and deposit solid fertilizers, requiring an activation power less than 25 kW. The methodology is based on Phases Model, employed successfully in agricultural machinery design. We verified that the problem scope by specifications analysis, restrictions identification, and establishment of functional structures in the form of block diagram. As a result, we obtained four functional structures, and the functional structure chosen, which presents adjustments of the width and depth of planting beds, the fertilizer dosage and application, the selection and type of coupling to the source of traction and allows leveling the planting beds. Through this work, it was possible to generate the functional structure of the mechanized system that meets the farmers' needs, mainly as regards the reduction of time and effort in these tasks.

INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é uma importante fonte para a geração de empregos, renda e produção de alimentos no Brasil (SCHNEIDER, 2016). O Censo Agropecuário 2006 identificou 4.367.902 propriedades familiares, que representam 84,4 % do total, ocupando apenas 24,3 % (80,25 milhões de hectares) da área dos estabelecimentos agrícolas. Ainda assim, responde por 38 % do valor da produção nacional (FAO, 2014).

A agricultura familiar se depara com uma significativa deficiência no que tange às máquinas agrícolas necessárias para suprir suas necessidades, pois não são poucos os casos em que as mesmas não se aplicam às condições de trabalho, tamanho da propriedade e sistema de cultivo (NIEMCZEWSKI *et al.*, 2014; TEIXEIRA *et al.*, 2009a).

Em visitas realizadas por pesquisadores do Núcleo de Inovação em Máquinas e Equipamentos Agrícolas (NIMEq) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), junto aos agricultores familiares da região sul do estado do Rio Grande do Sul, foi observada a necessidade de um sistema mecanizado capaz de preparar o solo, conformar o canteiro e depositar fertilizante, cujo acionamento ocorra por tratores de baixa potência.

Para obter as estruturas funcionais deste sistema mecanizado, foi utilizada a metodologia do Modelo de Fases, com o emprego das ferramentas, Diagrama de Mudge, Quality Function Deployment e a Matriz de decisão.

Os solos do Brasil, em sua maioria, apresentam baixa capacidade para suprir os nutrientes necessários para o desenvolvimento de culturas, e que para solucionar esse problema é necessária a incorporação de nutrientes no solo (NOBILE *et al.*, 2011; FILGUEIRA, 2012).

De acordo com Filgueira (2012); Lima Junior *et al.* (2012); Carvalho *et al.* (2014), o encanteirador deve permitir conformar canteiros com largura variável de 0,50 a 1,00 m e altura entre 0,10 e 0,30 m para suprir as necessidades dos agricultores familiares.

O objetivo deste estudo foi estabelecer a

estrutura funcional de um sistema mecanizado capaz de formar canteiros e depositar fertilizante orgânico, com necessidade de acionamento inferior a 25 kW de potência, visto que todos os agricultores entrevistados usavam fertilizante orgânico e a escolha quanto a potência dos tratores foi devido a muitos agricultores possuírem tratores com potência abaixo de 25 kW. Outros parâmetros utilizados foram os requisitos de clientes, obtidos por meio das entrevistas.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada encontra-se fundamentada no Modelo de Fases, que é uma metodologia de projeto utilizada no processo de desenvolvimento de produtos, utilizado por PAHL *et al.* (2005), ROZENFELD *et al.* (2006) e BACK *et al.* (2008), que se divide em quatro fases: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Ao final de cada fase, obtêm-se, como resultados, as especificações do projeto, a concepção do produto, o leiaute definitivo e a documentação do produto, sendo que neste trabalho foram realizadas as duas primeiras fases que correspondem às fases de projeto informacional e fase de projeto conceitual. Esta metodologia já vem sendo testada e utilizada por vários projetistas, se mostrando muito eficiente no desenvolvimento de sistemas mecanizados voltados para as necessidades de propriedades rurais (REIS & FORCELLINI, 2006b; TEIXEIRA *et al.*, 2009b; STEFANELLO *et al.*, 2014; VIANNA *et al.*, 2014).

Para a realização do projeto informacional, na etapa inicial, foram analisadas informações técnicas através da pesquisa de sistemas e produtos similares em bibliografias, patentes e respostas obtidas por meio de entrevistas realizadas com 23 agricultores familiares, produtores de tabaco e hortaliças nas propriedades localizadas no município de São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul. Em seguida, realizou-se a conversão das necessidades dos clientes em requisitos de cliente, conforme apresentado por REIS & FORCELLINI (2006a). Além disso, para a valoração destes,

utilizou-se a ferramenta “Diagrama de Mudge”. A fim de estabelecer os requisitos de projeto, de acordo com seu grau de importância, empregou-se a ferramenta do Quality Function Deployment ou Desdobramento da Função Qualidade (QFD), por meio da qual atribui-se valores às necessidades dos clientes, conforme apresentado por ANDERSSON et al. (2014). Posteriormente, utilizou-se o método da Matriz de decisão ou Método de Pugh, recomendado por ROZENFELD et al. (2006), para selecionar a estrutura funcional mais promissora para posterior evolução, utilizando como critério de seleção os requisitos dos clientes.

Definiu uma estrutura funcional como referência, atribuindo o valor zero para cada requisito de cliente analisado. As demais estruturas funcionais foram comparadas com a de referência quanto ao atendimento dos requisitos de clientes, atribuindo-se:

O valor +2 quando a estrutura funcional em avaliação atende muito melhor;

O valor +1 quando a estrutura funcional em avaliação atende melhor;

O valor 0 quando a estrutura funcional em avaliação atende igualmente;

O valor -1 quando a estrutura funcional em avaliação atende pior;

O valor -2 quando a estrutura funcional em avaliação atende muito pior.

O somatório das pontuações em relação ao atendimento dos requisitos de clientes foram posteriormente multiplicados pela valoração destes requisitos, desta maneira foi possível selecionar a melhor estrutura funcional para o projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através de entrevistas realizadas com agricultores de base familiar da região de Bom Jesus no município de São Lourenço do Sul - RS, foi possível constatar que 100% dos entrevistados realizavam duas operações distintas, uma para fertilizar e outra para encanteirar. A fertilização

em 86,67% é feita manualmente. A segunda etapa deste processo, que se destina ao preparo dos canteiros, normalmente é executada com arados de aiveca, de discos ou aleiradores. Verificou-se que a média das áreas destinadas às culturas (alfaca, batata, beterraba, cenoura, morango, repolho, tabaco e tomate) que utilizam canteiros são de 2,5 ha, não havendo necessidade de utilização de tratores com potência de acionamento superior a 25 kW.

A primeira etapa do projeto informacional referiu-se à análise das respostas obtidas por meio das entrevistas e informações providas da apreciação de sistemas similares discutidas entre a equipe de projeto. Desta forma, elencou-se as necessidades dos agricultores familiares (clientes externos). De posse das necessidades destes, foram estabelecidos os requisitos dos clientes, conforme descrito na metodologia, os quais foram distribuídos ao longo do ciclo de vida do desenvolvimento do produto e, posteriormente, transformados em requisitos de projeto.

Para hierarquizar os requisitos de projeto, primeiramente realizou-se a valoração dos requisitos de clientes, por meio da ferramenta diagrama de Mudge. A hierarquização dos valores de importância em dez classes foi obtida através da inserção dos dados em um histograma de frequência com amplitude variando de 0 a 14,42, maior valor observado no diagrama de Mudge (Figura 1). Cada classe com intervalo de variação de 1,44%, este valor é o resultado da divisão do valor do requisito mais importante (14,42%) pelo número de classes (10), sendo que a primeira classe apresentou um intervalo de 0 a 1,44% e a última de 12,79 a 14,42.

O requisito de cliente mais importante, após aplicação da ferramenta diagrama de Mudge, foi “conformar canteiros” (14,42%) e o requisito de cliente menos importante foi “ser fácil de montar” (0%), este ao ser mantido com os demais, para a classificação através do histograma de frequência, recebeu valor de 1,44 por pertencer à classe 1, da mesma forma que os demais valores não nulos desta classe, conforme apresentado na Tabela 1.

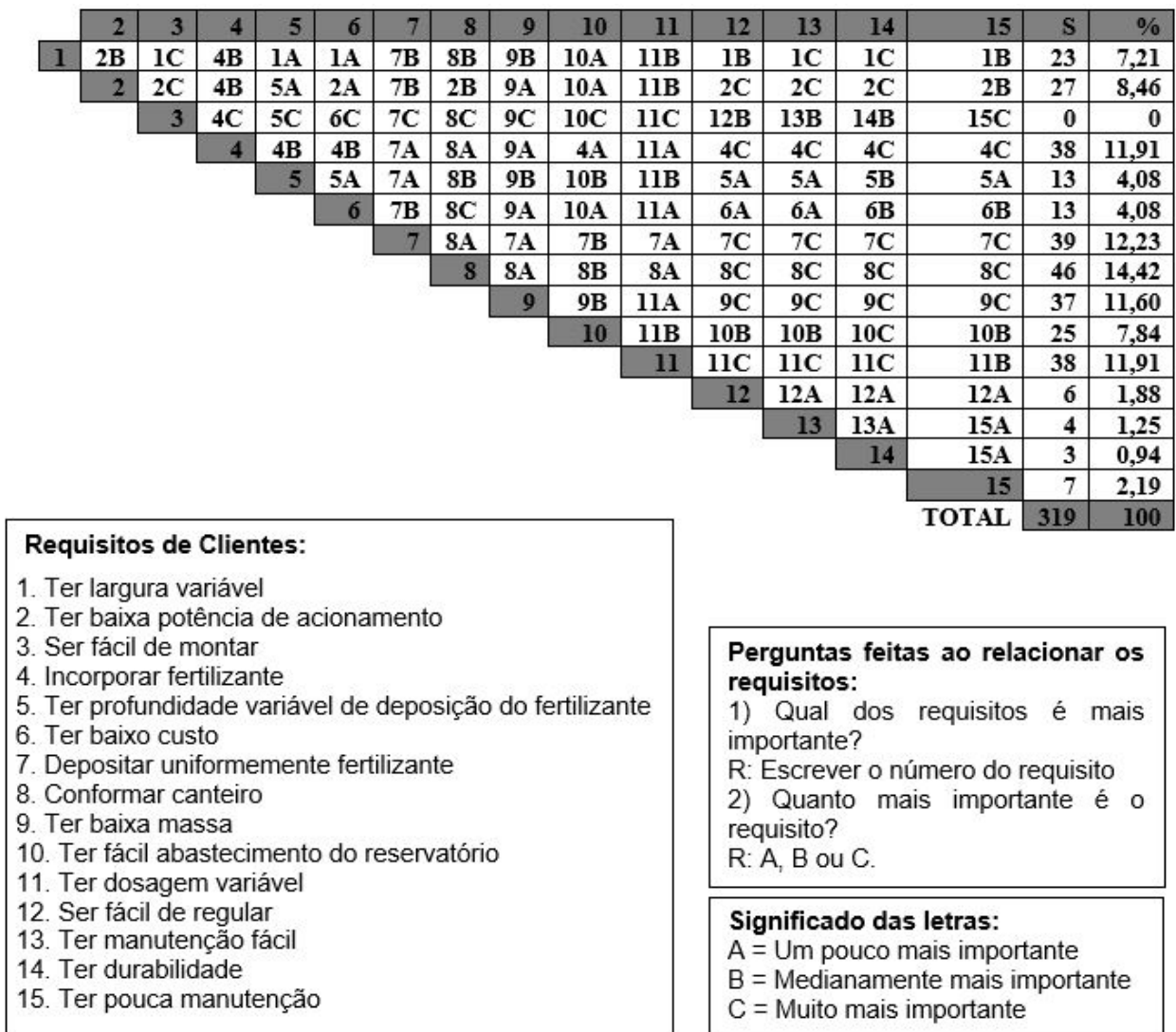


Figura 1. Diagrama de Mudge empregado na valoração.

Tabela 1. Hierarquização dos requisitos de clientes

Requisitos de clientes	Classe	Hierarquização (%)
Conformar canteiro	10	14,42
Depositar uniformemente fertilizante	9	12,23
Incorporar fertilizante	9	11,91
Ter dosagem variável	9	11,91
Ter baixa massa	9	11,60
Ter baixa potência de acionamento	6	8,46
Ter fácil abastecimento do reservatório	6	7,84
Ter largura variável	5	7,21
Ter baixo custo	3	4,08
Ter profundidade variável de deposição do fertilizante	3	4,08
Ter pouca manutenção	2	2,19
Ser fácil de regular	2	1,88
Ter manutenção fácil	2	1,25
Ter durabilidade	1	0,94
Ser fácil de montar	1	0

Os requisitos de projeto classificados, com a aplicação do QFD, em ordem decrescente de importância foram: potência de acionamento; largura de trabalho variável; custo de fabricação; profundidade de trabalho variável; deposição de fertilizante uniformemente; massa total; aproximação do centro de gravidade; nivelamento da superfície; custo de operação; custo de manutenção; dosagem de fertilizante variável; tempo de regulagem; tempo de manutenção; tempo de reabastecimento; intervalo de manutenção e vida útil. Ao examinar os resultados, observa-se que a hierarquização do requisito “potência de acionamento” toma o 1º lugar em importância, mostrando que há coerência com a finalidade do maquinário, pois o maquinário é projetado para agricultores de base familiar, que em geral utilizam tratores de baixa potência.

Na etapa estabelecer a estrutura funcional, determinou-se a função global do produto que foi

estabelecida como “dosar e distribuir fertilizante uniformemente em canteiro adequado a diversas culturas”. O verbo “dosar” aqui é entendido como regular a saída de fertilizante, de acordo com a necessidade da cultura a ser cultivada; o termo “distribuir uniformemente” diz respeito à lançar o fertilizante de maneira regular em toda a área do canteiro; já a expressão “canteiro formado” refere-se à encanteirar. Na Tabela 2, tem-se as entradas e saídas do sistema técnico em termos de energia, material e sinal.

O estabelecimento da função global esclareceu o problema de projeto e serviu como referência para as decomposições funcionais da Figura 2. A partir da função global, foi possível identificar quatro funções parciais: FP1 (Função Parcial 1); FP2 (Função Parcial 2); FP3 (Função Parcial 3) e FP4 (Função Parcial 4), que são comuns às operações de dosar, distribuir fertilizante e formar canteiros.

Tabela 2. Quadro de entradas e saídas do sistema técnico em termos de energia, material e sinal.

Representações	Entrada	Saída	Símbolo
Material	Fertilizante e solo	Fertilizante e solo	--- -->
Energia	Energia cinética e potencial	Energia e fluxo de massa	————>
Sinal	Regulagens	Monitoração do fluxo de fertilizante e conformação do canteiro	- . - . - .>
Fronteira do sistema periférico			- . . - . . -

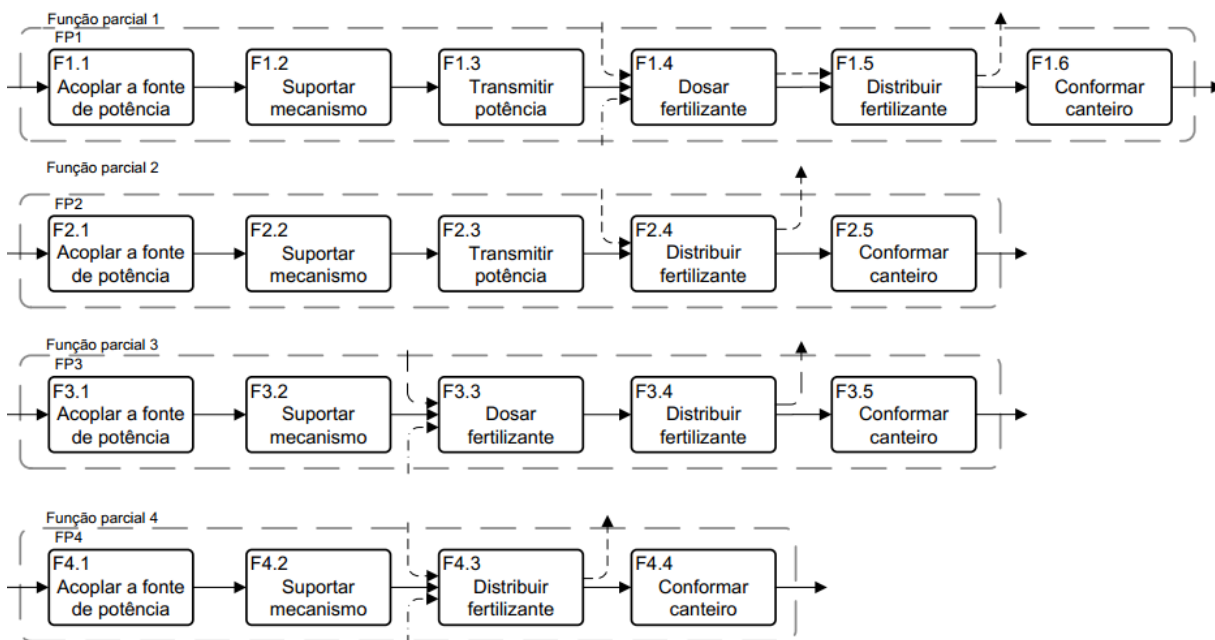


Figura 2. Diagramas de blocos representando as funções parciais derivadas da função global.

Quando as setas dos diagramas apontam em direção ao bloco (função), significa que há entrada de material, sinal ou energia, que será processado ou utilizado para desempenhar a função. Quando apontarem para fora do bloco (função), significa que há a resposta ou o resultado do processo.

Após a identificação das funções parciais: FP1, FP2, FP3 e FP4, foram obtidas as estruturas funcionais A, B, C e D, respectivamente. A estrutura funcional “A” possibilita abertura de sulco para incorporar o fertilizante ao solo, permitindo transmitir potência do implemento, visto que possui roda motora. A estrutura funcional “B” difere-se da “A” por permitir à seleção do engate a fonte de tração e regulação do vão livre horizontal, mas não possibilita abertura de sulco no solo. A estrutura funcional “C” permite abertura de sulco para misturar o fertilizante ao solo e para a transmissão de potência requerendo acoplamento ao trator, pois não possui roda motora. A estrutura funcional “D” difere-se da “B” por permitir nivelar o canteiro.

Utilizando a Matriz de Decisão para a escolha da seleção da estrutura funcional mais promissora, utilizaram-se como critérios de avaliação os requisitos de cliente. Por se considerar que as especificações-metas apresentaram um nível elevado de abstração, a estrutura funcional “A” foi definida como referência para o seu preenchimento.

Aplicando-se a metodologia da Matriz de Decisão, as demais estruturas funcionais foram pontuadas, de acordo com o grau de importância estabelecido pela equipe de projeto, chegando-se aos seguintes resultados: a estrutura funcional “B”: 24 pontos, a “C”: 5 pontos e a “D”: 40 pontos, conforme apresentado na Tabela 3. Sendo assim, relacionando-se as estruturas funcionais quanto à adequação aos requisitos de clientes (critérios técnicos) e tomando-se como base os resultados da matriz de avaliação, a estrutura funcional “D” foi a que apresentou melhor pontuação, sendo a escolhida.

CONCLUSÕES

- A estrutura funcional que melhor se ajusta à função global do encanteirador e depositador de fertilizantes foi a estrutura “D”, um protótipo desta estrutura funcional custa R\$ 1.900,00. Com a fabricação em grande escala, estima-se um valor abaixo de R\$ 1.500,00 para os agricultores familiares.
- Essa estrutura que permite regular a largura e profundidade do canteiro, apresenta um destorroador que possibilita a dosagem e aplicação do fertilizante e nivelamento do canteiro.

Tabela 3. Matriz de decisão das estruturas funcionais.

Critério técnicos (Requisitos de clientes)	Classe do requisito de cliente	Estrutura de referência	Estrutura funcional B	Estrutura funcional C	Estrutura funcional D
Ter largura variável	5	0	0	1	1
Ter baixa potência de acionamento	6	0	0	0	1
Ser fácil de montar	1	0	0	-1	-1
Incorporar fertilizante	9	0	0	0	0
Ter profundidade variável de deposição do fertilizante	3	0	0	0	0
Ter baixo custo	3	0	2	-1	-1
Depositar uniformemente fertilizante	9	0	0	0	0
Conformar canteiro	10	0	0	0	1
Ter baixa massa	9	0	1	0	2
Ter fácil abastecimento do reservatório	6	0	-1	0	-1
Ter dosagem variável	9	0	1	0	1
Ser fácil de regular	2	0	0	1	0
Ter manutenção fácil	2	0	1	0	1
Ter durabilidade	1	0	0	0	0
Ter baixa manutenção	2	0	2	1	0
Total			24	5	40

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSSON, N.L.M.; REIS, Â.V.dos; TEIXEIRA, S.S.; MACHADO, A.L.T.; FERREIRA, M.F. Utilização do QFD como ferramenta para seleção de Requisitos de Projeto de uma semeadora à tração animal. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v.22, p.426-432, 2014.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J.C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008. 648p.

CARVALHO, A.D.F.; SILVA, G.O.; PEREIRA, R.B.; PINHEIRO, J.B.; VIEIRA, J.V. Capacidade combinatória em cenoura para componentes de produção e tolerância à queima-das-folhas. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v.32, n.2, p.190-193, jun. 2014.

FAO - The State of Food and Agriculture. **Innovation in family farming**. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4040e.pdf>>. Acesso em 24 nov 2014.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3.ed. rev. e ampl. - Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 421p.

LIMA JUNIOR, J.A.L.; PEREIRA, G.M.; GEISENHOF, L.O.; SILVA, W.G.Da; BOAS, R.C.V.; SOUZA, R.J.de. Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, maio 2012.

NIEMCZEWSKI, B.K.; REIS, Â.V.dos; MACHADO, R.L.T.; MACHADO, A.L.T. Validação de um modelo de cálculo por elementos finitos do chassi de uma semeadora de quatro linhas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.161-170, fev. 2014.

NOBILE, F.O.de; GALBIATTI, J.A.; MURAISHI, R.I.; ARAUJO, J.R. Variáveis biométricas da cana-de-açúcar fertilizada com resíduos orgânico e industrial e irrigada com água servida e potável. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.193-200, fev. 2011.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K-H. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411p.

REIS, Â.V.dos; FORCELLINI, F.A. Identificação de requisitos de clientes para o projeto de um dosador de precisão para sementes miúdas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.309-302, 2006a.

REIS, Â.V.dos; FORCELLINI, F.A. Obtenção de especificações para o projeto de um mecanismo dosador de precisão para sementes miúdas. **Engenharia Rural**, Jaboticabal, v.17, n.1, p.47-57, 2006b.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C. de; SILVA, S.L.da; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo** - São Paulo, SP. Saraiva, 2006.

SCHNEIDER, S.A presença e as potencialidades da Agricultura Familiar na América Latina e no Caribe. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v.21, n.3, p.11-33, 2016.

STEFANELLO, G.; MACHADO, A.L.T.; REIS, Â.V.dos; MACHADO, R.L.T.; MORAIS, C.S. Estrutura funcional de uma semeadora de tração humana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.9, p.1583-1588, set. 2014.

TEIXEIRA, S.S.; REIS, Â.V. dos; MACHADO, A.L.T.; BISOGNIN, A.; SILVEIRA, H. A.T. Distribuição longitudinal de sementes de milho com dosador de disco horizontal operando com uma ou duas saídas de sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2417-2421, nov. 2009b.

TEIXEIRA, S.S.; MACHADO, A.L.T; REIS, Â.V.dos; OLDONI, A. Caracterização da produção agroecológica do sul do Rio Grande do Sul e sua relação com a mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.162-171, 2009a.

VIANNA, L.R.; REIS, Â.V.dos; MACHADO, A.L.T. Desenvolvimento de dosador de sementes com dupla saída para disco horizontal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.10, p.1086-1091, 2014.