

IDENTIFICAÇÃO DAS RESTRIÇÕES À MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DE MANDIOCA

DANIEL P. SAMPAIO¹, YU KAWAHARA², ARTHUR J. V. PORTO³, RICARDO Y. INAMASU⁴

¹Mestrando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, EESC – USP, São Carlos – SP, Fone: (16) 2107 2932, daniel.portioli@gmail.com.

²Mestrando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, EESC – USP, São Carlos – SP

³Doutor em Engenharia Mecânica, Professor titular, Departamento de Engenharia Mecânica, EESC – USP, São Carlos – SP

⁴Doutor em Engenharia Mecânica, Embrapa Instrumentação, São Carlos – SP.

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017

30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

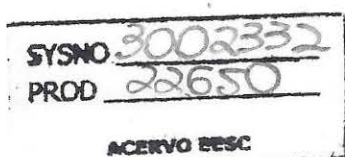
RESUMO: A mandioca detém grande parte da produção agrícola mundial por ser uma cultura de grande valor nutritivo e resistência a condições edafoclimáticas, servindo de segurança alimentar para vários países tropicais. A preponderância do cultivo no país é para abastecer mercados de consumo in natura de raízes e amido para várias agroindústrias. Apesar de sua grande aplicação, toda a cadeia agroindustrial encontra obstáculos para sua expansão devido ao baixo rendimento de produção, falta de disponibilidade de máquinas, escassez de recursos humanos especialmente para colheita. O objetivo do trabalho foi analisar as etapas de colheita, identificar pontos de mecanização e propor novos princípios de solução a partir das necessidades da produção agrícola. Utilizou-se da coleta de dados do estado da arte e visitas técnicas para definir características do projeto, gerar alternativas de arranjos operacionais e concepções de mecanismos. Obteve-se uma compilação de soluções para cada operação da colheita e foi selecionada uma alternativa de conceito com base em requisitos de ciclo de vida do equipamento, tamanho da propriedade, tipo de solo e cultivar. Visou-se contribuir com um leiaute inicial da colheita em conformidade com a realidade da agricultura familiar. Dimensionamentos detalhados e construção de protótipo de validação serão realizados em pesquisas posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Colheita de mandioca, Mecanização agrícola, Projeto sistemático.

RESTRICTIONS ON CASSAVA HARVEST MECHANIZATION

ABSTRACT: Cassava has a large worldwide agricultural production share as a crop with a great nutritional value and tolerance to climatic conditions, its providing food security for several tropical countries. The main Brazilian production is to supply fresh root market and starch for several agroindustry. Despite its great application, the agro-industrial production chain has obstacles to its expansion, in reason of to the low yield production, lack of machinery, labor resources mainly in harvest process. These paper objectives were to analyze the harvesting operation, identify mechanization gaps and propose new principles of solutions, referenced on the needs of the family-based farmer. State-of-the-art and technical visits were used to define project specification, to create alternatives for cassava harvesting process and mechanisms principles. A variant principle combination was obtained for each harvest operation and a concept design was selected based on equipment life, property size, soil and cultivars. The paper should contribute with an initial harvest design layout in accordance with the reality of family-based farmer. Refining design and prototype construction validation will be realized in subsequent research.

KEYWORDS: Cassava Harvest, Agricultural Mechanization, Engineering design.



INTRODUÇÃO

A mandioca é uma das principais explorações agrícolas do mundo, a produção de raízes brasileira, quarta maior no mundo, foi de 21,48 milhões de toneladas (FAO, 2013). A cadeia agroindustrial da cultura fornece produtos para a alimentação humana e animal, servindo para o produtor, como produto de segurança alimentar, por sua rusticidade e tolerância a intemperes. A cultura também fornece matéria prima para várias indústrias, como a de cosméticos, celulose e até mesmo de produtos substitutos do petróleo, como plásticos biodegradáveis e combustíveis renováveis.

Apesar de sua grande aplicação, a cultura sofre com restrições de sustentabilidade, por fatores como, o seu baixo rendimento econômico ligado aos custos de produção, escassez de mão de obra, principalmente para operações de tratos culturais e colheita, e a necessidade de maior controle da erosão durante o período do cultivo.

A colheita de mandioca é composta pelas operações, de corte e coletar ramas, para serem utilizadas como manivas sementes ou para sua trituração, extração das raízes do solo, desrama ou destaque das raízes da porção inferior da rama, denominada cepa (AGBETOYE, 1999; LORENZI, 2012; FARIAS, 2006), e por último a coleta das raízes.

No cultivo para indústria, são utilizados implementos para favorecer a redução do esforço de extração das raízes como os 'afoadores' e 'arrancadoras' (Carvalho, 2009 e Scaloni filho, 2005), mas estas não eliminam a dependência de operações manuais repetitivas do processo.

Existem algumas decisões sobre o tipo de preparo para cultivo, que podem influenciar nas condições para a colheita de mandioca. Por exemplo, em Carvalho (2009) indica o uso de canteiros como forma de redução de custos de colheita. Segundo Rangel (2013), um dos principais problemas do cultivo é a perda de solo, onde autores como Otsubo (2008), Fey (2007), Pequeno (2007) e Oliveira (2001) e pesquisaram a utilização do plantio direto em substituição ao convencional e obtiveram resultados divergentes indicando que pesquisas de validação são necessárias. Com isso, quais seriam as interferências de decisões de cultivo para a mecanização da colheita de mandioca.

O equipamento deve promover uma maior mecanização das atividades agrícolas reduzindo assim, atividades de grande esforço, repetitivas e em posições desfavoráveis como forma de aumentar sua viabilidade. Assim, neste trabalho, visou-se identificar e propor princípios de soluções mecânicas dispostas em seis variantes, que foram classificadas conforme requisitos dos produtores.

MATERIAL E MÉTODOS

Como o objetivo foi promover incrementos em mecanização da colheita de mandioca, focou-se no presente estudo a colheita semi-mecanizada para o atendimento da produção industrial de amido e farinha, onde os produtores já utilizam implementos semi-mecanizados para as operações de plantio e colheita. A maior parte da produção agroindustrial se localiza na região de encontro entre os estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul (FELIPE, 2015; CEPEA, 2016; FARIAS, 2006). Os tipos de solo normalmente encontrados na região são Latossolos de textura média arenosa, em algumas regiões de São Paulo a presença de Argissolos e no oeste do Paraná de Nitossolos (IBGE, 2017). Em relação a variedade, segundo Gamiero et al. (2003), a principal utilizada para a indústrias seria a Fécula Branca, entretanto nas regiões visitadas, viu-se a presença do IAC 14 em São Paulo e Baianinha no oeste do Paraná. Para o tamanho da propriedade, selecionou a faixa de 10 a 20 hectares, pela avaliação através de uma análise por diagrama de Pareto de ocorrência do número de estabelecimento por tamanho de área, para os três estados no censo agropecuário (IBGE, 2006). Na análise, o



projeto do equipamento, atenderia 66,98% da área total da colheita nesses estados, considerando a hipótese que a colhedora também atenderia à faixas maiores de área.

A estratégia de ação da pesquisa, foi o uso de técnicas de projeto sistemático em engenharia (RODRIGUES 2015; PAHL 2005), onde incluíram atividades; de clarificação do problema, geração de variantes de solução e avaliação através de critérios estabelecidos, pelas necessidades do ciclo de vida do equipamento e dos envolvidos na produção de raízes. As etapas do projeto preliminar e detalhado do equipamento deveram ser estudadas em continuidade da pesquisa. Desta maneira, foram realizadas visitas in loco nas regiões produtoras, sendo duas no Paraná e uma em São Paulo que apresentaram dois tipos de cultivo (convencional e direto) e duas características de solo (arenosos e argilosos).

As visitas do processo de colheita semi-mecanizado, foram necessárias para o entendimento e desdobramento do processo de colheita em seus diferentes estados de massa, energia e sinal, à serem representados por diagramas de bloco de funções (RODRIGUES, 2015; PAHL 2005; OTTO, 2011). Identificadas as funções de colheita, estas foram correlacionadas a necessidade de mecanização e posterior pesquisa e seleção de alternativas de princípios de mecanismos. As alternativas foram organizadas segundo uma matriz de morfologia, que relaciona cada função às alternativas de soluções. Na sequência, foram montadas seis variantes de processo de colheita selecionado os princípios de solução para cada função.

Para a definição dos requisitos, de avaliação das variantes de solução, foi utilizado a ferramenta QFD (Quality Function de Deployment) para traduzir as necessidades dos envolvidos no ciclo de vida do equipamento, em requisitos de projeto. As necessidades foram classificadas segundo critérios econômicos, ambientais, sociais e técnicos. Estes requisitos, foram ponderados com o uso do diagrama de Mudge que correlaciona a importância relativa de cada requisito pela comparação direta entre os demais, comparados um a um. (RODRIGUES, 2015). As notas das variantes foram obtidas pelas médias ponderadas de cada requisito e sua importância, com a aplicação de uma análise de valor qualitativa seguindo a diretriz da VDI 2225 (PAHL 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como frisado anteriormente, a existência de implementos denominados laminas ‘afoadoras’, que promovem a desagregação do solo e o desprendimento das raízes, foi imprescindível esclarecer na colheita semi-mecanizada, quais seriam os gargalos em mecanização das operações. Assim, a figura 1 resume as operações que devem ser priorizadas para a redução da repetitividade e do esforço do trabalhador agrícola.



FIGURA 1. Pontos priorizados para o estudo de mecanização da colheita de mandioca. a) Detalhe da operação manual de extração das raízes; b) e c) Detalhe da desrama

das raízes e seleção das raízes; d) Detalhe da coleta em leiras ou big bags. As imagens a) e b) foram tiradas na cidade de Marechal Cândido Rondon - PR e c) e d) em Echaporã – SP.

Para a extração das raízes, figura 1(a), verificou-se o mal posicionamento e desconforto do trabalhador se deslocando pelo campo de forma curvada e com grande repetição, para a extração de duas linhas de raízes. Em outra área de produção, houve-se a necessidade da utilização de picareta para o auxílio da tarefa, pois o solo possuía característica mais argilosa, a maior aderência à raiz dificulta a extração, mesmo com a passagem do ‘afofador’. A operação visa localizar a porção inferior da rama que une as raízes, denominada cepa, e elevá-la, seja por movimentos vibratórios em sua porção vertical externa ao solo, ou por meio de alavanca em sua porção horizontal subterrânea. Além disso, a operação deve garantir que as raízes não quebrem ou se desprendam da cepa durante a extração. Carvalho (2009) e Scalon filho (2005), obtiveram melhores resultados de rendimento, com o uso de implementos para a extração através de laminas de extração e correias de abraçamento inclinadas. Nestas, a primeira eleva um leito do solo com as raízes e a segunda abraça a porção vertical da cepa.

Seguindo para o destaque das raízes, figura 1 (b) e (c), repetem-se os mesmos problemas de ergonomia, pela execução das operações repetitivas de corte com laminas e agachamentos para a pega de material a ser destacado. No destaque são necessárias duas operações, uma de posicionamento e identificação da região de limite entre as raízes e a cepa e a outra é o destaque propriamente dito. As raízes possuem propriedades físico-químicas diferente das cepas, pois possuem grande quantidade de amido e água acumulada em seus tecidos, sendo assim, o controle da região do corte é a grande dificuldade da operação para a redução das perdas da produção. Apesar da aleatoriedade do posicionamento das raízes, uma particularidade do plantio mecanizado, é o favorecimento do crescimento direcional preferencial das raízes na região basal das ‘manivas sementes’, depositadas ao longo da linha de plantio na posição horizontal (FEY, 2009).

A última operação seria a seleção e coleta das raízes, onde é feita a verificação visual das raízes para separação, das que possuem regiões com doenças e/ou restos de cepas. A dificuldade é a substituição da tomada de decisão do operador em campo para a execução da operação.

Na sequência, procurou-se alternativas de mecanismos e sistemas que desempenhassem a função da operação, que foram organizadas na matriz morfológica da figura 2 que será utilizada para a geração de variantes de equipamentos de colheita.

Alternativas de soluções					
	1	2	3	4	5
A - Extrair Raízes	Esteiras paralelas 	Lâmina de remoção 	Rotul com elementos fendidos 	Lâmina de rem. com vibração 	
B - Posicionar Cepa e Raízes	Barreira física 	Sensor 	Manual 		
C - Destacar Raízes	Cizalhamento 	Estricção 	Aceleração 	Fricção 	Flexão
D - Selecionar raízes	Visual 	Sensor 			

FIGURA 2. Matriz morfológica de soluções; as linhas definem as funções de colheitas a serem estudas e as colunas as alternativas princípios de mecanismos. Para a geração de uma variante de solução seleciona-se para cada função uma alternativa.

Para a extração de raízes, verificou-se algumas alternativas já avaliadas por Kemp (1978), Alves Sobrinho (1981), Scalón filho (2005) e Carvalho (2009). Dessas soluções, vale ressaltar as diferenças entre lâminas de extração e as correias duplas de abraçamento. A primeira extrai as raízes formando um leito de solo para a proteção da raiz do equipamento, necessitando de maiores forças de tração pelo trator, devido ao grande volume de solo mobilizado na passagem, mas garante que não sejam deixadas raízes no solo. Já o sistema de correias duplas, retiram lentamente as raízes do solo com menor força de tração para implemento, mas exigem da colhedora maior controle do alinhamento das linhas de plantio, e não possuem o controle de perdas de raízes que se desprenderam da cepa e permaneçam no solo.

Para o destaque, foram pesquisadas alternativas de aplicação de força para o rompimento da região de estricção peduncular entre as raízes e a cepa, este deve ser promovido por tensões de cisalhamento ou tração dos tecidos das raízes, favorecidos ou não por laminas. Estas forças podem ser provocadas e intensificadas com compressão entre laminas; fricção de superfícies serrilhadas, mas também pela passagem das raízes em geometrias restritivas, flexões ou variações bruscas de velocidades, pois as raízes possuem diferentes propriedades de resistência mecânica que a cepa.

Com a matriz morfológica, figura 2, foi possível gerar seis alternativas de soluções apresentadas na figura 3.

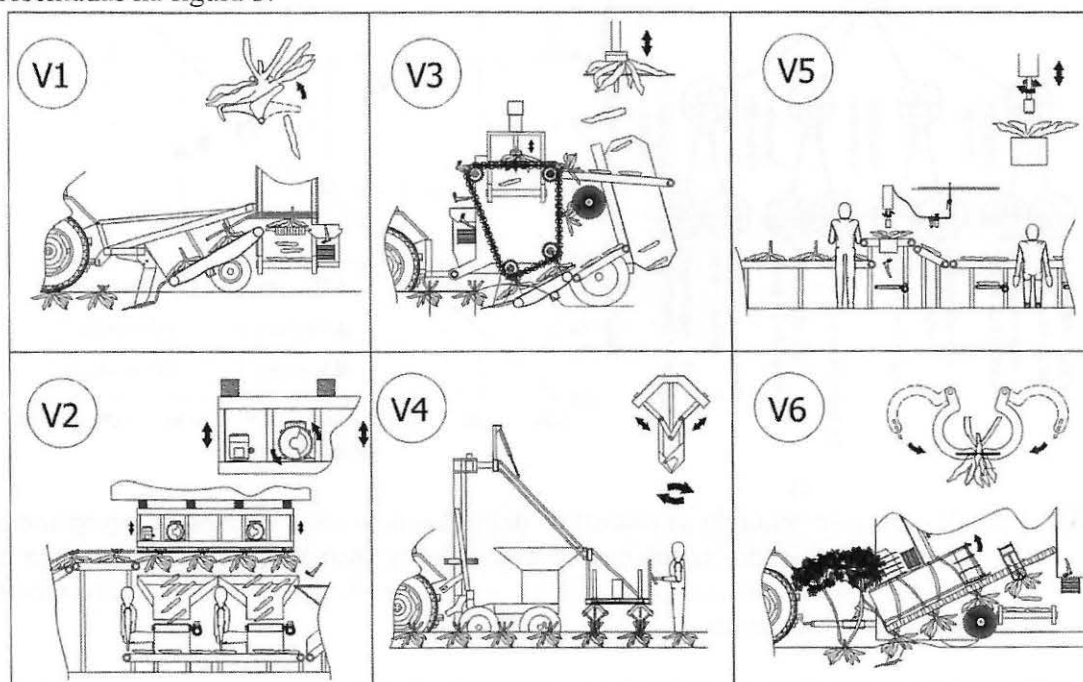


FIGURA 3. Variantes das soluções para colheita através da seleção de caminhos na matriz morfológica: **Variante 1** – A2-B1-C5-D1; **Variante 2** – A2-B3-C3-D1; **Variante 3** – (A1 e A2)-B2-C1-D1; **Variante 4** – B3-C1-A2-D1; **Variante 5** – A1-B3-C4-D1 e **Variante 6** – A1-B2-C4-D1.

Na variante 1, o destaque é realizado através de barras que giram em torno de um eixo central promovendo flexões das raízes contra barras cilíndricas. Na variante 2, o destaque é feito por oscilação das cepas promovidas por massas rotativas desbalanceadas, nas Variante 3 e 6, o destaque das raízes são executados por laminas de corte em direções diferentes, na variante 4, o destaque é realizado no solo com a retirada das cepas por garras mecânicas, que agarram as cepas com direcionamento manual e depois rotacionam para a ruptura dos pedúnculos das raízes, com o objetivo de proteger as raízes de danos mecânico, sendo que sua retirada será executada em operação agrícola posterior por laminas de extração. Na variante 5,

o destaque é realizado por uma serra em formato cilíndrico. O diferencial das variantes 2 e 5, é o local onde será feita a operação, transferido para fora da operação em campo, para um barracão na própria propriedade ou até mesmo a possibilidade de ser incorporada no processamento. Para a variante 3, foram incluídos dois sistemas de extração de raízes, com o objetivo de redução de perdas. Para a variante 6, as extrações das raízes são executadas antes da realização da poda de colheita, com o objetivo de diminuir quantidade de folhas e ramas, que podem interferir nas operações de extração e destaque. As operações de seleção de raízes, para todas as variantes, foram consideradas fora do campo, permitindo apesar do uso de mão de obra, melhores condições de conforto térmico e segurança, o que não limita também a duração da operação ao período da luz do dia. Analisando as variantes em relação as alternativas de cultivo, como o plantio direto e canteiros, acredita-se que as variantes 1, 2 e 4 seriam mais adequadas, pois a manutenção de cobertura pode influenciar os sistema de extração de raízes por correias paralelas, acarretando a subida de palhada junto com as raízes para o sistema de destaque. Para o sistema de canteiros, as soluções 3 e 4 seriam favorecidas pela redução dos esforços de tração do implemento, que utilizam laminas de extração como observados por Kemp (1978).

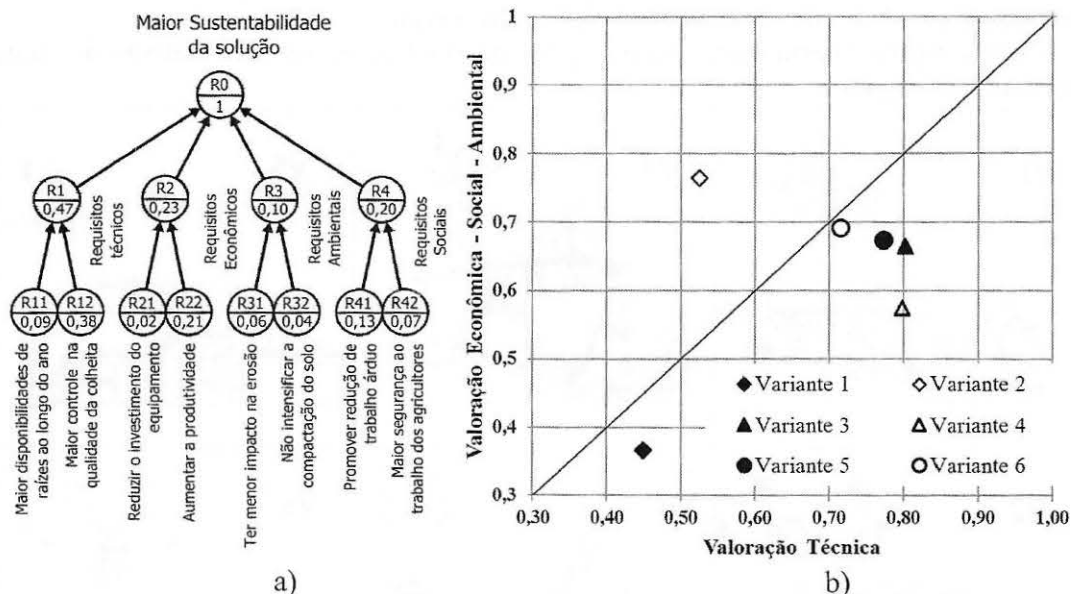


FIGURA 4. Classificação segundo os requisitos definidos pelo ciclo de vida do equipamento. a) Classificação dos requisitos de avaliação b) Distribuição do atendimento das variantes aos requisitos econômicos, sociais, ambientais e técnicos, apresentados de forma normalizada.

Como forma de direcionar a continuidade da pesquisa foram ordenadas as soluções quanto aos atendimentos dos requisitos da figura 4(a), com a aplicação de notas qualitativas. Foram avaliadas as etapas do ciclo de vida do equipamento envolvendo o projeto, produção, comercialização e utilização e descarte para a definição das principais necessidades dos envolvidos. As maiores médias foram obtidas pelas variantes 3, 6 e 5 e as piores para as variantes 1, 2 e 4 respectivamente. A figura 4(b) mostra uma dispersão das notas das variantes segundo a valoração técnica contra as demais (Econômica, social e ambiental). As maiores notas das da solução 3 deve-se ao fato desta buscar a redução de perdas de colheitas que podem chegar até a 20% (ALVES SOBRINHO, 1981), mas dependem do emprego do uso de canteiros para favorecer o seu rendimento. Em relação a expectativa de melhor aptidão ao segundo ciclo da cultura e assim a disponibilidade de raízes ao longo do ano. Em relação as soluções 1 e 2 as piores notas foram pela baixa expectativa de efetividade técnica do sistema

de desrama, mesmo sendo as de mais fácil adaptação à sistema de plantio direto, e por último a variante 4 possui avaliação mediana pela grande dependência da mão de obra que pode afetar questões de desempenho como a capacidade de campo, apesar de incrementos para a redução de esforços.

Vale ressaltar que iterações de melhorias podem ser feitas nas variantes bem como a proposições de novas variantes e com a sequência das pesquisas os princípios deveram ser avaliados por requisitos de desempenho para comprovação de efetividade nos projetos preliminares e detalhados.

CONCLUSÕES

Este estudo resultou na identificação de pontos com carência de pesquisa científicas e técnicas para a mecanização da colheita de mandioca, para resultar em aumentos de produtividade e viabilidade do processo. Com isso, foram propostos caminhos para a resolução do problema, para sistemas combinados de extração, desrama e seleção de raízes a serem validados em pesquisas futuras. Contudo, apesar de grande quantidade de estudos sobre mandioca, ainda existem poucos trabalhos sobre a mecanização para cultura onde a pesquisa visa contribuir.

REFERÊNCIAS

AGBETOYE, L. A. S., **Developments in cassava harvesting mechanization**. West Indian Journal of Engineering. V. 22, n.1, p. 11-19, 1999.

ALVES SOBRINHO, T. **Avaliação do desempenho de quatro protótipos de arrancadoras de mandioca**. 1981. 39 f. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1981.

CARVALHO, F. M. **Análise econômica de sistema de plantio e colheita da mandioca**. 2009. 67p. Tese – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2009.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Análise Econômica Mensal sobre o Setor de Mandioca e Derivados no Brasil**: <<http://cepea.esalq.usp.br/mandioca/?page=470>> Acesso em 20/09/2016.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops**. 2013. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 27 de ago. 2015.

FARIAS, A. R. N. et al. **Aspectos Socioeconômicos e Agronômicos da Mandioca**. Cruz das Almas; Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 871 p.

FELIPE, F. I. **Estudo multicaso das formas plurais de coordenação das feculares na compra de mandioca no Estado do Paraná**. In: 53º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2015. João Pessoa PB. 20 p.

FEY, E. **Aperfeiçoamento de um mecanismo sulcador para plantio direto de mandioca.** 2009, 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2009.

FEY, E. CONTI, C., SOUZA, J. H., GOBBI, F. C., FURLAN, F. **Influência do manejo do solo sobre a produtividade da mandioca de um e dois ciclos.** Revista RAT, V. 3, 4f. 2007

GAMIERO, A. H., CARDOSO, C. E. L., BARROS, G. S. C., ANTIQUEIRA, T. R., GUIMARÃES, V. D. A., **A indústria do amido de mandioca (Documento 6)**, 2003, Brasília – DF, Embrapa Informação Tecnológica.197p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**, 2006. <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>> acessado em: 10/06/2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da produção Agrícola**, 2016.

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>> acessado em: 10/06/2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos do Brasil**, 2017.

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf> acessado em: 10/01/2017.

KEMP, D. C., **Harvesting: a Field demonstration and evaluation of two machines.** In: Weber, EJ; Cock, JH; Chouinard, A.(eds.). Cassava harvesting and processing: Proceedings of a workshop, held at CIAT, Cali, Colombia, 24-28 April 1978. 1978.

LORENZI, J. O., **Mandioca (Boletim técnico, 245)**. 2º ed. Campinas-SP, CATI, 2012, 129p.

OLIVEIRA, J. O. A. P. et al. **Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (Manihot esculenta, Crantz).** Rev. Bras. Ciênc. Solo. V.25, n.2, p.443-450. 2001.

OTSUBO, A. A., MERCANTE, F. M., SILVA, R. F., BORGES, C. D. **Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca.** Pesq. agropec. bras., Brasília , V. 43, n. 3, p. 327-332, 2008.

OTTO, K., WOOD, K. **Product Design: Techniques in reverse engineering and new product development.** Upper Saddle River, Nova Jersey: Prentice Hall, 2001.

PAHL, G., BEITZ, W. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411 p.

PEQUENO, M. G. et al. **Efeito de três sistemas de preparo do solo sobre a rentabilidade econômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** Acta Sci. Agron. V. 29, n3, p.379-386, 2007.

RANGEL, M.A.S., HERPICH, S., PASTÓRIO, M.A. **Primeira contribuição dos estudos de sustentabilidade dos sistema de produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pela ferramenta “Análise energética”.** In: XV Congresso Brasileiro de Mandioca: Inovação e sustentabilidade: da raiz ao amido, 2013. Salvador. Anais Salvador BA. 2013. p.1127-1131.

RODRIGUES, A.R., SOUZA, A. F., BRAGHINI JUNIOR, A., BRANDÃO, L.C., SILVEIRA, Z.C. **Desenho técnico mecânico. Projeto e fabricação no desenvolvimento de produtos industriais.** São Paulo: Elsevier – Campus, 2015. 512p.

SCALON FILHO, H., ALVES SOBRINHO, T., DE SOUZA, C. M. A. **Desempenho de dois equipamentos na colheita semimecanizada da cultura da mandioca.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, V. 25, n. 2, p.557-564, 2005.