

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROTÓTIPO DE MÁQUINA DECORTICADORA DE CASTANHA DE CAJU

Francisco Valdenor Pereira da Silva, valdenor@ifce.edu.br¹
Guilherme Gomes Noronha, noronha.gui@gmail.com²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. 13 de maio 2081 – Departamento de Indústria,

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. 13 de maio 2081 – Departamento de Indústria,

Resumo: De indiscutível relevância econômica para a região Nordeste do Brasil, o caju é uma das principais fontes de renda de produtores rurais. Do caju, a castanha processada e beneficiada representa em torno de 90% (noventa por cento) da renda gerada pela fruta. Há, contudo, para a agroindústria do caju o permanente desafio em solucionar o problema de baixa produtividade obtida na produção da castanha. Existem três (03) processos distintos de beneficiamento da castanha de caju: o mecanizado, o semimecanizado e o manual. As grandes fábricas operam com o processo mecanizado com elevado índice de amêndoas quebradas. Já as pequenas fábricas trabalham com o corte semimecanizado. Este último, objetivo deste artigo - projeto de um decortificador de amêndoas de castanha de caju - visa melhorar a produtividade na quebra da casca da castanha e, sobre tudo, no quesito ergonômico, dar ao trabalhador uma menor sobrecarga de trabalho e consequentemente uma diminuição de fadiga. O decortificador, ora mencionado, tem seu princípio de funcionalidade semelhante ao processo semimecanizado (maquineta com navalhas). No entanto, a ação da quebra da casca da amêndoa não se dá pelo esforço do operador, mas sim por dispositivos móveis sincronizados com deslocamentos lineares e rotativos tendo como princípio a transmissão por cames e correias. Definido o princípio de funcionalidade, partiu-se para construção do protótipo que abrange três grandes etapas: 1. Modelagem, montagem e análise dimensional dos componentes: Trata-se, baseando-se em uma análise dimensional com o uso de CAE, da modelagem e montagem virtual dos componentes do protótipo obtendo-se assim o protótipo em um conceito 3D virtual. Para tal, um ou mais softwares de modelagem 3D com tecnologia CAE foram utilizados (Como exemplo: Solid Edge e/ou NX); 2. Baseado no número de componentes, com suas respectivas análises dimensionais, partiu-se então para a definição de seus materiais juntamente com os seus quantitativos; 3. Fabricação dos componentes: Pelo processo de usinagem - utilizou-se programas NC's gerados pela tecnologia CAM. Estes, por sua vez, foram executados em máquinas CNC's de dois e três eixos. Por fim, pelo processo de soldagem - foram utilizados soldas com tecnologia MIG/MAG para a montagem da estrutura do protótipo.

Palavras-chave: amêndoa de castanha, decortificadora, modelagem, usinagem e agricultura familiar.

1. INTRODUÇÃO

O cajueiro, de nome científico *Anacardium occidentale* L. (Oliveira, 2008), originário do Brasil, pode ser encontrado em todo o território brasileiro. Contudo, sua relevância comercial só ocorreu a partir da década de 60 (Guanzirol *et al*, 2009). Destacam-se, no quesito produtividade, os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande de Norte (Pessoa; Leite, 1998). Devido a sua rusticidade, o mesmo poderá ser cultivado em áreas adversas, tais como: praias, dunas e formações de restingas (Mazzetto *et al*, 2009; Usaid, 2006).

Apesar das nozes serem consumidas em forma de alimento desde os tempos pré-históricos, somente no século XX a ACC (amêndoa de castanha de caju) começou a fazer parte do cardápio em vários países, haja vista tratar-se de uma iguaria rica em nutrientes essenciais para o ser humano. Atualmente a ACC é a terceira noz mais consumida no mundo, tanto na forma in natura, como fazendo parte de ingredientes em recheios, doces e salgados. (Paiva *et al*, 2000).

O processo de abertura da castanha de caju ocorre de diferentes maneiras no Brasil. Nas indústrias de grande porte, localizadas na maioria das vezes perto de grandes centros, seu processamento industrial é feito tradicionalmente mecânico, caracterizando uma alta produtividade com boa qualidade, mas apresenta o percentual de amêndoas inteira relativamente baixa (60%-65% do total) (Paiva; Neto, 2013).

Já no interior do nordeste brasileiro, onde fica a maioria das pequenas fábricas, o processo semimecanizado é vastamente empregado. Este método consiste em usar lâminas curvas no formato da castanha de caju, às quais penetram na casca da amêndoa com a ajuda de uma alavanca efetuando assim a abertura da mesma (Usaid, 2006). Nesse método é obtido um alto índice de amêndoas inteiras, porém com uma baixa produtividade.

Apesar do alto rendimento, esta é uma atividade de baixa ergonomia para o colaborador. Como consequência, desgaste e desconforto do operador são bem elevados, pois o mesmo, normalmente, trabalha em pé com o apoio de uma das pernas, requerendo bastante habilidade, destreza e disposição.

Neste sentido, o presente trabalho propõe um protótipo para a decorticação de ACC para pequenos produtores e minifábricas, visando o aumento da produtividade sem a perda da qualidade da amêndoa obtida através de um melhoramento ergonômico da atividade do colaborador.

A Figura 1 mostra a decorticação, por um processo semimecanizado, comum no sertão cearense. Percebe-se, quanto à ergonomia, uma má postura do trabalhador.



Figura 1. Operador de máquina decortidora manual de castanha de caju, em atividade.

2. SISTEMA DE BENEFICIAMENTO DE AMÊNDOAS - SISTEMA SEMIMECANIZADO

Nesse modelo, utilizado principalmente por pequenos produtores e minifábricas, é caracterizado principalmente pelo corte manual e pelo cozimento da castanha com vapor saturado. (Paiva *et al.*, 2000).

A substancial diferença desse sistema para o mecanizado é o alto rendimento em relação à qualidade das amêndoas, que pode chegar a 95% de inteiras. (Figueiredo; Gualberto Filho, 1997). A obtenção de ACC por este método segue os seguintes passos:

2.1 Sequência do Pré-processamento

Secagem: as castanhas são levadas para secagem em terreiros ou quadras de cimento onde possam ser expostas ao sol, devendo ficar com apenas 7% a 9% de umidade. (Paiva; Neto, 2013);

Limpeza: usando peneiras mecânicas ou manuais a limpeza livram as castanhas de pedras, folhas e outras impurezas. Sua finalização ocorre na colocação das castanhas sobre mesas onde são retirados os pedaços de pedúnculo que ainda ficaram nas castanhas. (Paiva *et al.*, 2006);

Classificação: são usadas chapas perfuradas em vários calibres que quando a castanha passa ocorre à seleção. (Embrapa, 2003);

Armazenamento: após os processos anteriores as castanhas podem ser armazenadas em sacos de fibra vegetal empilhados em depósitos bem arejados e secos por até um período de um ano. (Paiva *et al.*, 2006);

2.2 Sequência do Processamento

Cozimento: processo feito em autoclave ou caldeirão tendo como objetivo: preparar a castanha para corte, aumentar seu volume, facilitar seu corte, vitrificar o LCC e auxiliar na descolagem da amêndoa do endocarpo (Paiva; Neto, 2013);

Resfriamento e secagem: após o cozimento, as castanhas são colocadas em locais arejados, para que resfriem e sequem, facilitando assim a quebra de sua casca durante o corte;

Corte: processo executado por uma máquina manual dotada de uma alavanca, um pedal e lâminas curvas ajustadas de acordo com o tamanho da castanha, liberando a amêndoa com película. (Embrapa, 2003).

O sequenciamento das operações se dá, inicialmente, pela movimentação de uma alavanca que regula o avanço e recuo da lâmina de perfuração contra um conjunto de lâminas de corte bipartidas. Com o auxílio de uma das mãos, o operador segura uma castanha e a coloca entre as lâminas que, após o avanço dessas, é aplicada, pelo movimento de

uma alavanca, a abertura de uma das lâminas bipartidas. De forma sequencial, a Fig. 2 mostra as etapas para a operação manual de decorticação;



Figura 2. (a)Aproximação da castanha entre as laminas, (b)Avanço da lâmina de perfuração contra as lâminas de corte, (c)Abertura do conjunto de lâminas bipartida

Estufagem: para auxiliar a retirada da película que ainda envolve as amêndoas; estas são levadas, após o corte, para uma estufa visando reduzir a umidade entre 6% e 8% para menor ou deixando-as com umidade em torno de 3% (Paiva; Neto, 2013);

Resfriamento: para não ocorrer o risco de uma reumidificação das amêndoas; estas permanecem dentro das estufas, já desligas do sistema de vapor, até atingirem a temperatura ambiente; (Paiva; Neto, 2013);

Despeliculagem: as amêndoas são atritadas em uma superfície com cerdas ou em telas perfuradas para a remoção das películas (Embrapa, 2003);

Seleção e classificação: as castanhas são colocadas em bancadas e classificadas em tamanho, integridade e cor, pois estas são as características que mais agregam valor ao produto final (Paiva *et al.*, 2006)

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para definir a metodologia experimental, buscou-se familiarizar a equipe do projeto, na forma presencial, quanto ao método utilizado por um trabalhador da agricultura familiar no desenvolvendo da decorticação de amêndoas de castanha de caju. Com êxito, concluiu-se que a decorticação com máquinas manuais produz amêndoas de boa qualidade. Assim, adotou-se, para o desenvolvimento do protótipo, o mesmo princípio de funcionamento, mas, com a aplicabilidade de recursos tecnológicos embarcados, tais como: adoção de mecanismos de duas barras com movimentos articulados gerados por motores de passo; sendo estes controlados por um microcontrolador. Com isto, caberá ao operador, apenas a alimentação de duas castanhas por ciclo.

3.1. Modelagem dos componentes mecânicos

Com a concepção formatada para o funcionamento do protótipo, adotou-se, como ferramenta principal para a modelagem dos componentes, o aplicativo de CAE/CAD Solid Edge®. A princípio, partiu-se para a modelagem e montagem dos componentes que faziam parte do mecanismo de decorticação da amêndoa, e, em princípio, aplicou-se às lâminas um modelo semelhante ao formato do fruto.

Para a formatação do conjunto, foi projetada uma placa de fixação bipartida para o alojamento das lâminas fazendo assim com que estas se movimentassem de forma sincronizada. Como facilitador para o deslocamento linear do conjunto, placas/lâminas, dois mancais em bronze foram projetados. Por sua vez, estes deslizam sobre eixos que estão fixados em quatro bases parafusadas na mesa do decortificador. A Figura 3 elucida a placa desenvolvida.

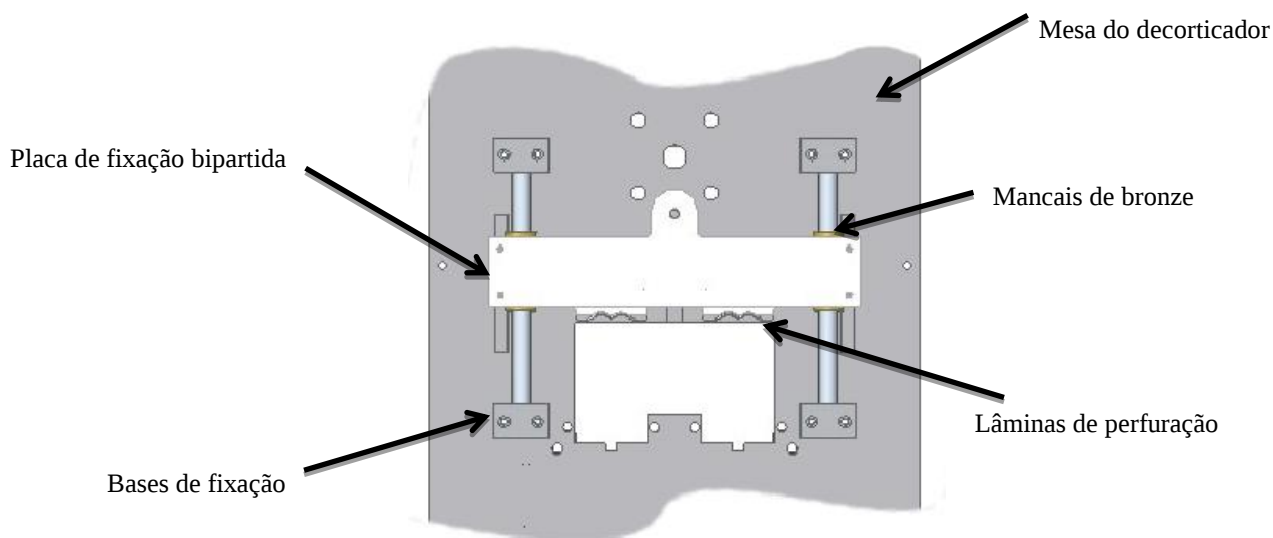


Figura 3. Placa de fixação das lâminas de perfuração.

Para promover a dinâmica da movimentação intermitente do conjunto: placas/lâminas, um came foi projetado, ilustrado na Fig. 4 Acoplado ao eixo da polia conduzida, sua velocidade de rotação se dá por uma relação de transmissão entre duas polias onde a motora está montada em um eixo concêntrico a de um motor de passo de 15kgf.cm de torque. A Figura 5 traz a montagem deste mecanismo.

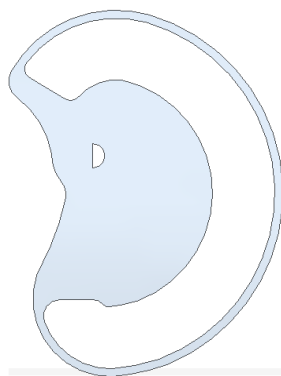


Figura 4. Came de rotação.

Com o intuito de aumentar o torque no came e, consequentemente, a força de avanço das lâminas de perfuração, foi adicionado uma relação de transmissão, 1:2, entre a engrenagem motora, acoplada ao eixo do motor de passo, e a conduzida, acoplada ao eixo de came, ver Fig. 5.

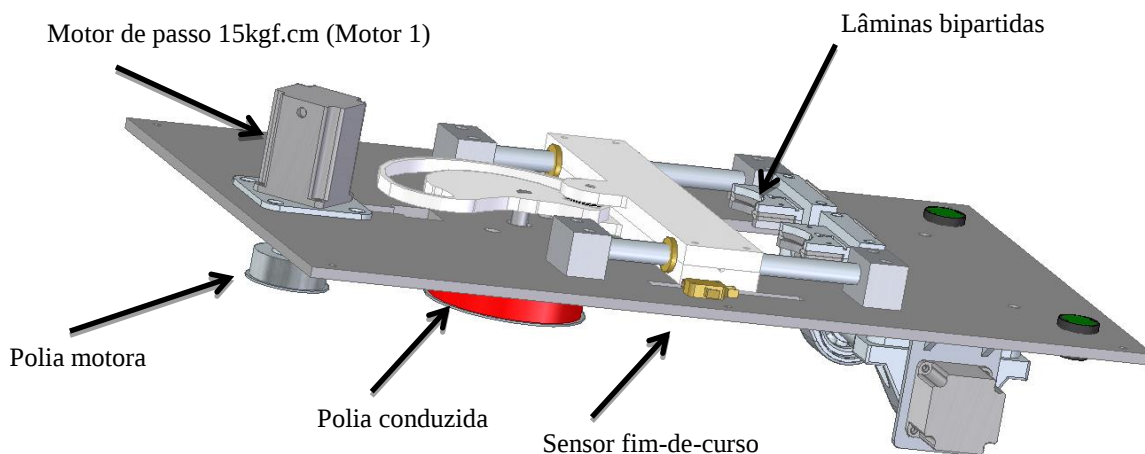


Figura 5. Mesa montada.

Também foi desenvolvido, para o dispositivo de abertura das castanhas, outro came que, ao ser rotacionado por outro motor de passo (Motor 2), atua em um mecanismo de duas barras fazendo com que as lâminas conjuntas sejam separadas pelo movimento rotacional de uma delas. A Figura 6 ilustra tal conjunto.

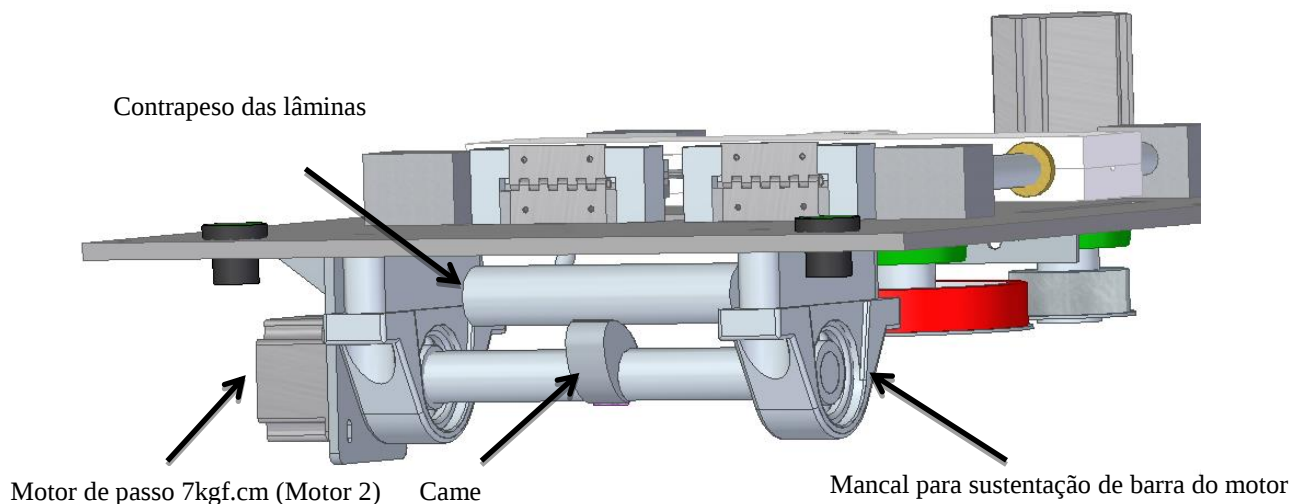


Figura 6. Dispositivo para abertura das lâminas bipartidas

Na Figura 7, visualizam-se quatro borrachas que têm, como objetivo, o posicionamento horizontal das castanhas para então, nestas, ocorrerem à penetração das lâminas. Tal dispositivo substitui as mãos do operador.

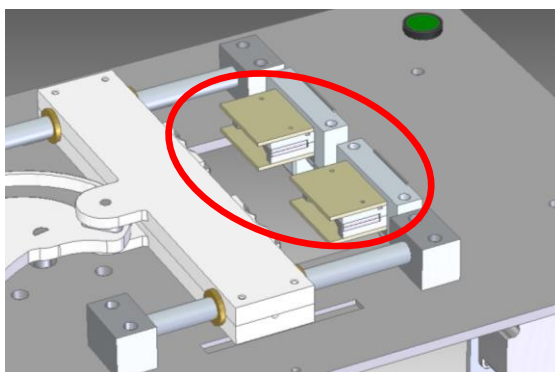


Figura 7. Borrachas de fixação.

Com quase todos os componentes modelados, foi necessário projetar um suporte capaz de alocar todos os componentes. A partir dessa necessidade, foi desenvolvida uma placa com dimensões de 430 mm x 660 mm (Mesa do decortificador).

Para a sustentação, juntamente com os componentes, foi modelado uma bancada constituída em aço do tipo galvanizado na forma retangular. Vale salientar que se tomou como base, para a definição da altura, um operador adulto com altura média de 1,70 m, podendo operar, em posição sentada, o protótipo proposto.

Paralelamente foram desenvolvidas dois depósitos, um para cada lado do equipamento, com o propósito de acomodar as castanhas que irão ser decorticadas. Assim, a placa com os componentes, fica apoiada no centro da mesa, com as castanhas para corte posicionadas nas laterais, de fácil acesso para o operador. A Figura 8 ilustra a montagem com os depósitos para as castanhas.

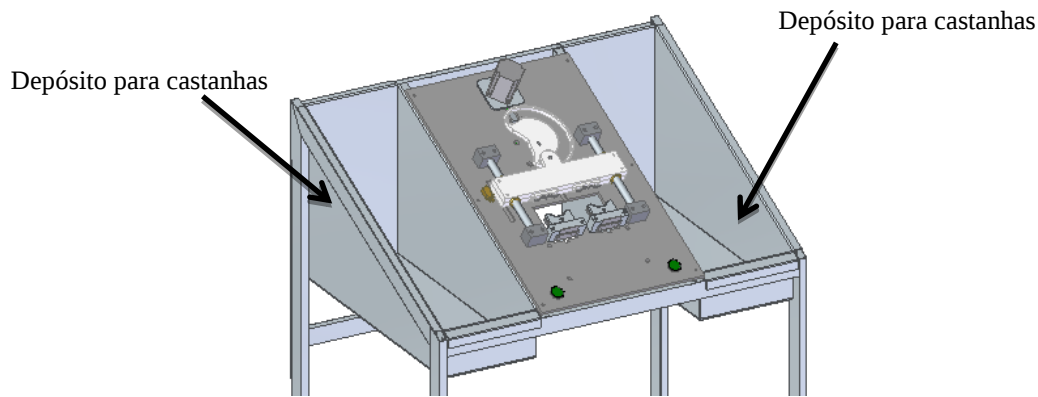


Figura 8. Montagem completa

3.2. Modelagem Dos Componentes Eletrônicos

Após os componentes mecânicos serem modelados, partiu-se para a elaboração do projeto eletrônico, que foi: a especificação das fontes de alimentação, o controlador programável, os *drivers* de comando dos motores, os sensores de fim de curso e as chaves de acionamentos.

Para o controle de todo o sistema foi usado o microcontrolador ATmega328P na plataforma de prototipagem eletrônica *Arduino Uno*[®]. Este último sendo responsável por receber os sinais dos sensores, processar e comandar os *drivers* de cada motor de passo.

Os motores especificados foram os do NEMA 23, como ilustrados na Fig. 9. Estes foram ligados em modo bipolar-série. Baseando-se nos *datasheets*, a alimentação necessária para o acionamento dos motores procedeu-se da seguinte forma: para o motor de 7 kgf.cm aplicou-se 3,5 V por fase, ou seja, 7 V no total e uma corrente máxima solicitada de 1.8 A (carga nominal). Quanto ao motor de 15 kgf.cm, a tensão/fase foi de 4.2 V com uma alimentação total de 8.2 V e chegando a solicitar um máximo 2.1 A.

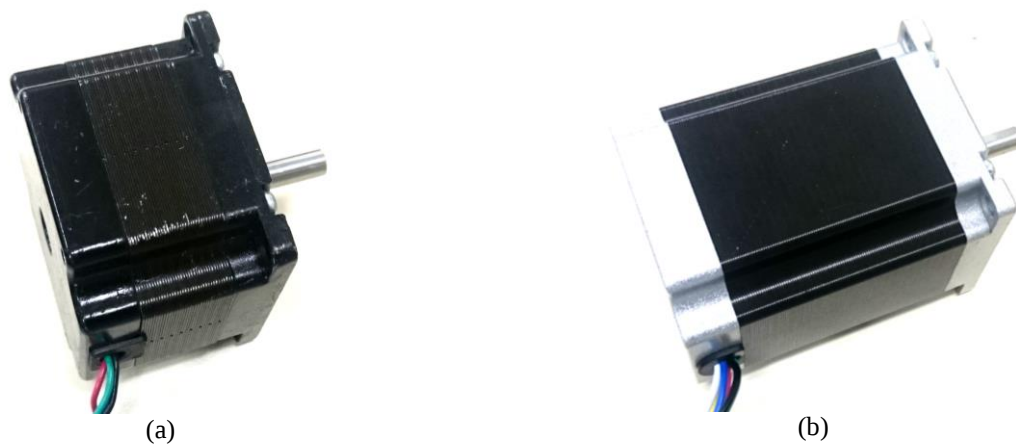


Figura 9. (a) Motor de passo NEMA 23 – 7 kgf.cm; (b) Motor de passo NEMA 23 – 15 kgf.cm

Com estes dados pôde-se selecionar um driver para controlar diretamente cada motor. Tratou-se do driver HY-DIV268N-5A, demonstrado na Fig. 10. O mesmo possui três objetivos: 1. Receber os sinais de habilitação, o sentido de rotação e pulsos do microcontrolador, 2. Processar tais dados e 3. Comandar o motor. Sendo o intermediário entre o microcontrolador e os motores, os drivers têm como entrada: os sinais oriundos do microcontrolador e a alimentação de uma fonte chaveada 24 V/5 A. E como saída: conectar-se às bobinas dos motores.



Figura 10. Driver para acionamento dos motores de passo.

Para monitorar e iniciar cada etapa do ciclo de corte, foram usados dois sensores e duas chaves NA (normalmente aberta). Sendo, um sensor de fim de curso responsável por detectar se a placa das laminas de perfuração se encontra na posição e outro, do tipo *push button*, responsável por detectar o avanço máximo das lâminas antes que a amêndoa seja perfurada por alguma das lâminas. Quanto às chaves, do tipo NA, são encarregadas pela inicialização do ciclo de cortes.

4. SIMULAÇÃO DOS COMPONENTES DESENVOLVIDOS

A partir de cada componente modelado os mesmos foram inseridos no ambiente *Assembly* do Solid Edge® para serem montados e juntos formarem o protótipo proposto.

Primeiramente, foi inserida, como peça base na montagem do projeto, uma placa, previamente modelada, detentora de todos os componentes móveis e estáticos. A partir daí, inseriu-se, nesta peça base, o conjunto de elementos correspondentes ao corte e separação da castanha. Neste momento, pôde visualizar o espaçamento ideal, levando em conta a variação entre os tamanhos as castanhas comerciais, para duas castanhas decorticadas ao mesmo tempo. A Figura 11 ilustra a distância entre cada conjunto de lâminas.

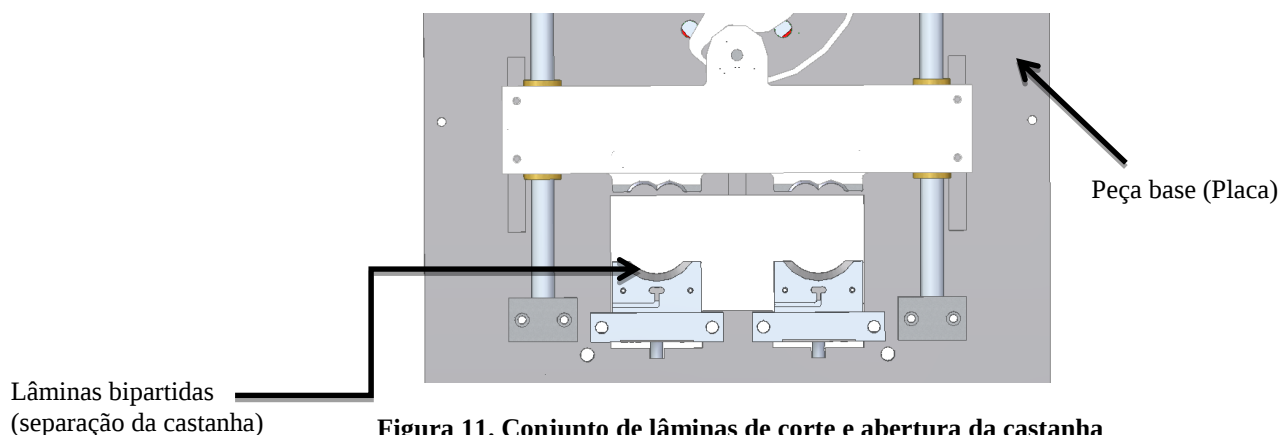


Figura 11. Conjunto de lâminas de corte e abertura da castanha

Com a aplicação de ferramentas de simulação (tecnologia embarca no aplicativo adotado para o desenvolvimento do projeto), todos os componentes que fazem parte do dinamismo do protótipo passaram, previamente, por simulações de movimentos. Com isto, pôde-se observar o ciclo com movimento dos componentes no processo de abertura das lâminas sobrepostas e, estrategicamente, verificar as possíveis interferências que poderiam ocorrer nos mecanismos. A Figura 12 enaltece a simulação sequencial dos movimentos da máquina.

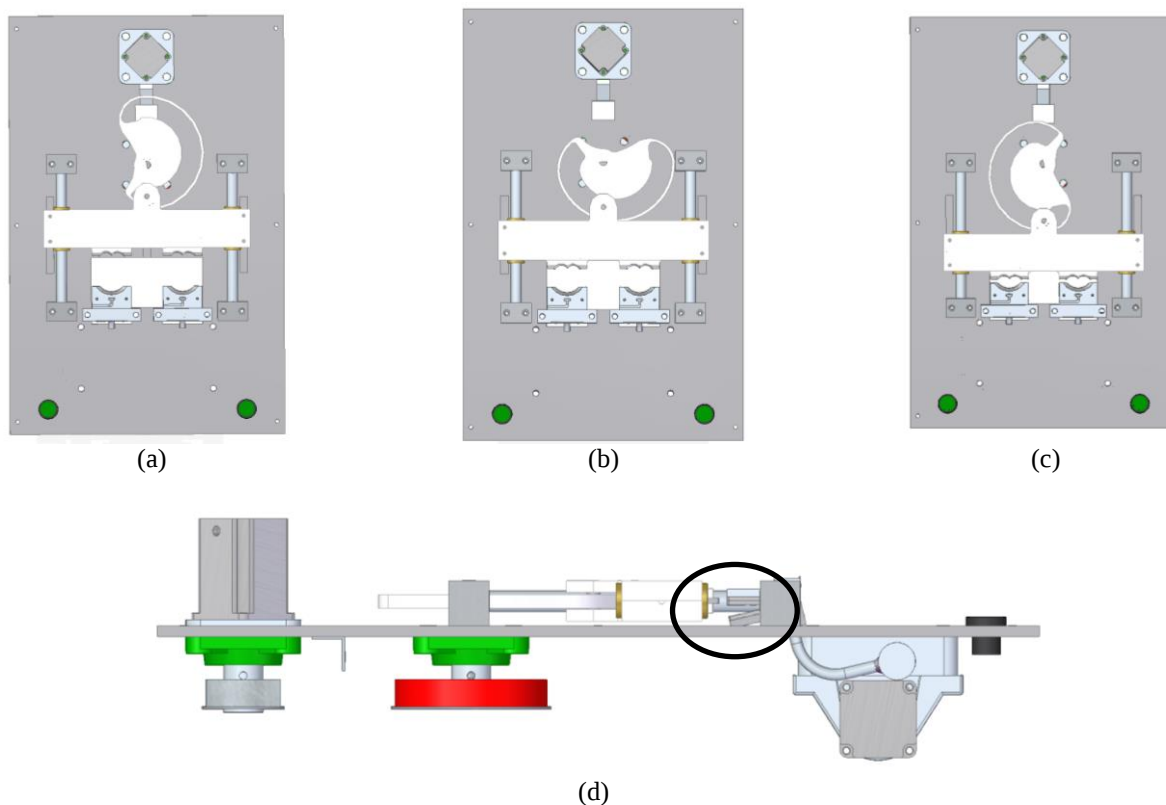


Figura 12. (a) Posição inicial do movimento; (b) Rotação do came e deslocamento axial da placa de fixação das lâminas de perfuração; (c) Posição final da placa, fim do movimento de corte; (d) Movimento de abertura das lâminas.

Definido o material para cada componente, pôde-se ter, no ambiente virtual de montagem, o peso em separado dos componentes, bem como da massa das submontagens e, somando-se, o peso total do equipamento.

Vale salientar que tal parâmetro, como exemplo, serviu de base para se chegar às dimensões mínimas necessárias para o contrapeso do mecanismo de duas barras.

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

É notória a melhoria nas condições de trabalho do operador com o uso do protótipo, ver Fig. 13, percebe-se que, além de tornar o trabalho mais confortável; sendo realizado sentado, também reduz a fadiga após tornar dispensável o movimento dos pés. Estes, por sua vez, não sendo mais necessários para acionamento de alavancas.

A Figura 14 mostra, como resultado, a montagem completa do protótipo.



Figura 13. (a) Pega da castanha – duas castanhas; (b) Alimentando a máquina - duas castanhas; (c) Acionamento do ciclo de decorticação da castanha.



Figura 14. Montagem final do protótipo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a toda à equipe do laboratório de CAD/CAM pelo apoio e auxílio que foi dado ao desenvolvimento do projeto, em especial aos bolsistas Luiz Felipe Oliveira Quirino e Saulo Macêdo Maia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento do projeto.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, por proporcionar o ambiente ideal ao desenvolvimento do projeto.

7. REFERÊNCIAS

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Iniciando um Pequeno Grande Negócio Agroindustrial: Castanha de Caju – Série Agronegócios. Embrapa Agroindústria Tropical/SEBRAE. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. 2003.
- Figueiredo, F. J. S. de; Gualberto Filho, A. Análise Do Processo De Beneficiamento Da Castanha De Caju Dentro Do Princípio Da Produção Segura. 1997
- Guanziroli, C. E.; Souza Filho, H. M.; Valente Júnior, A. S.; Basco, C. A. Entraves ao desenvolvimento da cajucultura no nordeste: margens de comercialização ou aumentos de produtividade e de escala? Revista Extensão Rural. ano XVI, n. 18, p. 96-122, 2009.
- Mazzetto, S. E.; Lomonaco, D.; Mele, G. Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. Química Nova, v. 32, n. 03, p. 732-741, 2009.
- Oliveira, V. H. de. Cajucultura. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 30, n. 01, p. 01-03, 2008.
- Paiva, F. F. de A.; Neto, R. M. da S. Agronegócio caju: práticas e inovações. EMBRAPA, p. 395–465, 2013
- Paiva, F. F. de A.; Neto, R. M. da S.; Pessoa, P. F. A. de P.; Leite, L. A. de S. Processamento de Castanha de Caju. Brasília - DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006
- Paiva, F. F. de A.; Silva Neto, R. M. da; Paula Pessoa, P. F. A. de. Minifábrica de processamento de castanha de caju. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2000. 22p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 07).
- Paula Pessoa, P. F. A. de; Leite, L. A. de S. Cadeia Produtiva do Caju: subsídios para pesquisa e desenvolvimento. São Paulo: Embrapa, 1998
- United States Agency For International Development - USAID. Análise da indústria de castanha de caju: inserção de micro e pequenas empresas no mercado internacional, v. 01, 2006. Disponível em: <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADM250.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.

PROTOTYPE OF CASHEW NUT CUTTER MACHINE

Francisco Valdenor Pereira da Silva, valdenor@ifce.edu.br¹

Guilherme Gomes Noronha, noronha.gui@gmail.com²

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará, Av. 13 de maio 2081 – Departamento de Industria,

² Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará, Av. 13 de maio 2081 – Departamento de Industria,

Abstract. *With a high economic importance to the Northeast of Brazil, the cashew is one of the main income sources for farmers. The processed cashew nuts represent around 90% (ninety percent) of the income generated by the fruit. However, there is a permanent challenge to solve the problem of low productivity for the cashew agribusiness. There are three (03) distinct cashew nuts processing: mechanized, the semi-mechanized and manual. The large factories use the mechanized process with high rate of broken nuts. The small factories work with semi-mechanized cutting. The last processing type and the purpose of this article – design a cashew nut cutter machine - aims to improve the productivity of the cashew peel cutting, mostly the ergonomic aspect, giving the employee a smaller workload and consequently a decrease of fatigue. The cutter, previously mentioned, has its principle of functionality similar to semi-mechanized process (dobby with razors). However, the action of nuts cracking does not occur due the effort of the operator, but by using mobile devices synchronized with linear and rotary displacement, based on the principle of transmission cams and straps. After the principle of functionality was defined, the prototype construction begun and this process was divided in three main steps: 1. Design, assembly and dimensional analysis of the components: this step includes the conception, modeling and virtual assembly of the prototype components in a virtual 3D environment, based on a dimensional analysis using CAE. For this purpose, 3D modeling softwares with CAE technology were used (i.e. Solid Edge, NX); 2. Definition of the machine materials and its quantitative: this step was based on the number and dimensional analysis of the prototype components; 3. Manufacturing of the components: it was used CN's programs generated by the CAM technology for the machining process. These programs then were loaded on two and three axes CNC machine's. Finally, the welding process, MIG / MAG welding process were used to assembly the prototype structure.*

Keywords: *cashew nut, cutter, design, manufacturing, and familiar agriculture*