Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP
VII SAEPRO – 14 e 15 de junho de 2023

APLICAÇÃO DE PROTÓTIPO VIRTUAL DE MÁQUINA AUTOMATIZADA SEPARADORA DE FRUTOS

Resumo

A indústria de processamento de frutos cresceu vertiginosamente em todo o mundo, apresentando a necessidade de separação mais eficiente. Normalmente a classificação dos frutos ainda é realizada manualmente ou utilizando tecnologias de custo elevado. O objetivo deste artigo é apresentar um protótipo de máquina separadora automática de frutos. Percebe-se na literatura a necessidade do desenvolvimento de um dispositivo que consiga realizar a separação de frutos de maneira ágil e padronizada e que seja eficiente nas etapas de seleção e descarte de frutos inaptos ao consumo. Quanto ao método de pesquisa, optou-se pelo estudo de caso e foi desenvolvido um protótipo em ambiente virtual, capaz de realizar simulações estáticas e dinâmicas relacionadas ao sincronismo desde a entrada do fruto até a etapa de separação. Constatou-se que a aplicação de um modelo virtual pode prever todas as etapas pertinentes ao processo de separação e classificação de frutos. Este artigo possui como resultado uma nova aplicação sobre os entendimentos de gestão e automação de processos industriais por meio de um protótipo virtual.

Palavras-chave: Máquina Virtual, Automação de Processos, Separador Automático de Frutos.

Abstract

The fruit processing industry has grown dramatically all over the world, presenting the need for more efficient separation. Normally the classification of fruits is still performed manually or using high-cost technologies. The aim of this paper is to present a prototype of an automatic fruit separator machine. It is noticed in the literature the need to develop a device that can perform the separation of fruits in an agile and standardized way and that is efficient in the stages of selection and disposal of fruits unsuitable for consumption. As for the research method, the case study was chosen and a prototype was developed in a virtual environment, capable of simulating static and dynamic aspects related to the

timing from the fruit entrance until the separation stage. It was verified that the application of a virtual model can represent all the relevant steps for the separation and classification of fruits. This article has as a result a new application on the understanding of management and automation of industrial processes through a virtual prototype.

Keywords: Virtual Machine, Process Automation, Automatic Fruit Separator.

Resumen

La industria de procesamiento de frutas ha crecido dramáticamente en todo el mundo, presentando la necesidad de una separación más eficiente. Normalmente la clasificación de frutas todavía se realiza de forma manual o utilizando tecnologías de alto costo. El objetivo de este artículo es presentar un prototipo de máquina separadora automática de frutas. Se advierte en la literatura la necesidad de desarrollar un dispositivo que pueda realizar la separación de frutos de forma ágil y estandarizada y que sea eficiente en las etapas de selección y disposición de frutos no aptos para el consumo. En cuanto al método de investigación, se optó por el estudio de caso y se desarrolló un prototipo en ambiente virtual, capaz de realizar simulaciones estáticas y dinámicas relacionadas con el tiempo desde la entrada de la fruta hasta la etapa de separación. Se verificó que la aplicación de un modelo virtual puede prever todos los pasos relevantes al proceso de separación y clasificación de frutos. Este artículo tiene como resultado una nueva aplicación en la comprensión de la gestión y automatización de procesos industriales a través de un prototipo virtual.

Palabras clave: Máquina Virtual, Automatización de Procesos, Separador Automático de Frutas.

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico no setor industrial trouxe a necessidade da adaptação das linhas de produção, com dispositivos automatizados capazes de realizar seleção e transporte de maneira padronizada, proporcionando uma qualidade superior do produto final.

Para atender aos requisitos de qualidade industrial surgiram os classificadores mecânicos, que são bastante comuns em linhas de embalagens de frutos e vegetais (CHAKRABORTY; DUBEY, 2018) por apresentarem maior eficiência e confiabilidade no processo, trazendo maiores benefícios para os produtores (XIA; ZHEN; CHEN; W. ZENG, 2019). Ademais, sistemas classificadores mecânicos substituem a inspeção humana, incapaz de avaliar processos por um longo prazo (CUBERO et al., 2011)

A tecnologia atual para classificação e separação de frutos está presente em muitas aplicações, como em mecanismos de esteira classificadora (LINHARES, 2019), máquinas seletoras de frutos cafeeiros (VITOR, 2020), máquina de secagem de produtos (NEELS et al., 2019) e em sistemas de aplicação para visão computacional (MARTINS, 2020). Fermo e Andrade (2018) utilizaram a visão computacional como ferramenta de inspeção automática de frutos e vegetais.

Há muitas aplicações de separadores de frutos e vegetais, inclusive com uso de visão computacional, mas atualmente são encontradas na literatura aplicações isoladas, nas quais não há uma abordagem integrada da máquina que realiza todo o processo de separação, desde a entrada até o processo de seleção do fruto, visando um sincronismo entre a as partes mecânicas e o sistema de visão computacional.

Este artigo possui como objetivo apresentar uma máquina virtual capaz de realizar a integração das etapas desde a entrada do fruto na esteira transportadora até a seleção automática do fruto, com possibilidade de implementação de visão computacional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Existem muitos estudos sobre a classificação de frutos e vegetais através de visão computacional, seja para classificação por cor (SOFU et al., 2016), tamanho (CALIXTO et al., 2016), forma (CUBERO et al., 2011) ou peso (XIA; ZHEN; CHEN; W. ZENG, 2019).

Um sistema de classificação de frutos e vegetais também pode ser conhecido como um sistema artificial. Ele não apenas substitui a inspeção humana no momento da separação, como melhora a qualidade e tempo demandado para tal função.

Dentre os sistemas classificadores de frutos e vegetais se encontra um padrão: para os dispositivos separadores, sua estrutura é composta por esteira transportadora, responsável pelo deslocamento do fruto; sistema de visão artificial de máquina, responsável pela coleta de informação; e mecanismo seletor de frutos e vegetais.

Apesar de existir esse padrão, entre os sistemas classificadores, não se encontra na literatura um dispositivo capaz de integrar todo o conjunto, considerando todo o sincronismo entre entrada, deslocamento, classificação e seleção.

De uma forma geral, uma esteira transportadora consiste de duas ou mais polias que movimentam uma superfície para que determinado material ou objeto possa ser transportado (COSTA, 2019), com deslocamento para frente ou para trás (NETO, 2019). A vantagem de se utilizar uma esteira horizontal é o controle de velocidade e deslocamento do fruto (NEELS et al., 2019).

Uma lacuna detectada na literatura é relativa a um estudo dinâmico sobre o deslocamento do fruto até a etapa de seleção. Com o uso do software SolidWorks é possível projetar uma esteira transportadora. Suas variáveis devem estar sincronizadas com aquelas da etapa de seleção por visão computacional, a qual requer tempo para processamento da imagem, e com as da etapa de separação, uma vez que precisa ser contabilizado o tempo de comutação entre a resposta da imagem e o acionamento do dispositivo de separação.

Da breve revisão apresentada da literatura, detectou-se a necessidade de desenvolver um projeto de máquina separadora automática de frutos que leve em conta o necessário sincronismo entre as diferentes etapas do processo, desde a entrada do fruto até as etapas de seleção e separação.

Para isso existe a necessidade de modelagem e simulação, de maneira estática e dinâmica, dessa máquina separadora automática de frutos. O estudo foi realizado com o uso do software SolidWorks para desenvolvimento da máquina separadora automática de laranjas.

3. MÉTODO

O projeto foi desenvolvido utilizando como base o fruto de laranja, considerando a distinção de tamanhos, pesos e formatos.

Uma única máquina foi projetada em modelo virtual, sendo constituída por duas esteiras, aqui denominadas esteira 1 e esteira 2.

O projeto mecânico correspondente à parte estrutural da esteira 1 e da esteira 2 foi realizado pelo software de modelagem 3D SolidWorks na versão 2021, sendo capaz de apresentar simulações tanto estáticas quanto dinâmicas relacionadas ao esforço que a máquina irá realizar.

As dimensões, categoria da esteira, material a ser utilizado, parte estrutural, capacidade de deslocamento foram projetadas para atender uma aplicação futura de dispositivo de visão computacional para seleção do fruto.

A esteira 1 é responsável pelo deslocamento e acomodação do fruto sobre o suporte que constitui a esteira 2, fazendo com que o fruto, quando inserido na máquina, venha a percorrer um caminho até chegar e se acomodar à estrutura da esteira 2.

Já a esteira 2 é responsável pela etapa de separação do fruto. O software de visão computacional enviará uma informação em niveis lógicos 0 ou 1 para o módulo de separação do fruto de modo a que a separação possa ser feita.

O desenvolvimento do projeto se deu pelo projeto mecânico, contendo um estudo de esforço relacionando a sua capacidade à carga inserida sobre as esteiras; projeto elétrico; e automação para controle de velocidade, acionamento e segurança, visando o sincronismo entre as esteiras e a etapa de seleção.

Para simulação estática e simulações estruturais da esteira transportadora 1, o software SolidWorks, com análise de elementos finitos, possibilita a análise estática, térmica e de frequência, como a tensão de Von Mises, análise de malha e a simulação URES, que representa o deslocamento do material sobre o esforço da máquina.

Parâmetros como largura, altura da esteira, material e condições de operação foram baseados em modelos existentes no mercado, como em Lokmax (2022) e Norelem (2022).

Também foi utilizado, para cálculos de velocidade, capacidade de carga e transporte, o livro “Transporte mecânico contínuo de materiais a granel” (AUGUSTIN, 2005).

Para projetar o sincronismo entre as esteiras e o tempo para processar uma imagem por meio de visão computacional, adotou-se que são necessários 1,37 segundos para obter a imagem da laranja e 0,04 segundos para classificar a condição do fruto (FERMO, 2022).

A quantidade de material a ser transportado por hora na esteira pode ser encontrado pela Equação 1, (AUGUSTIN, 2005).

$$Q = 3600 * A * V * D * K' \quad (1)$$

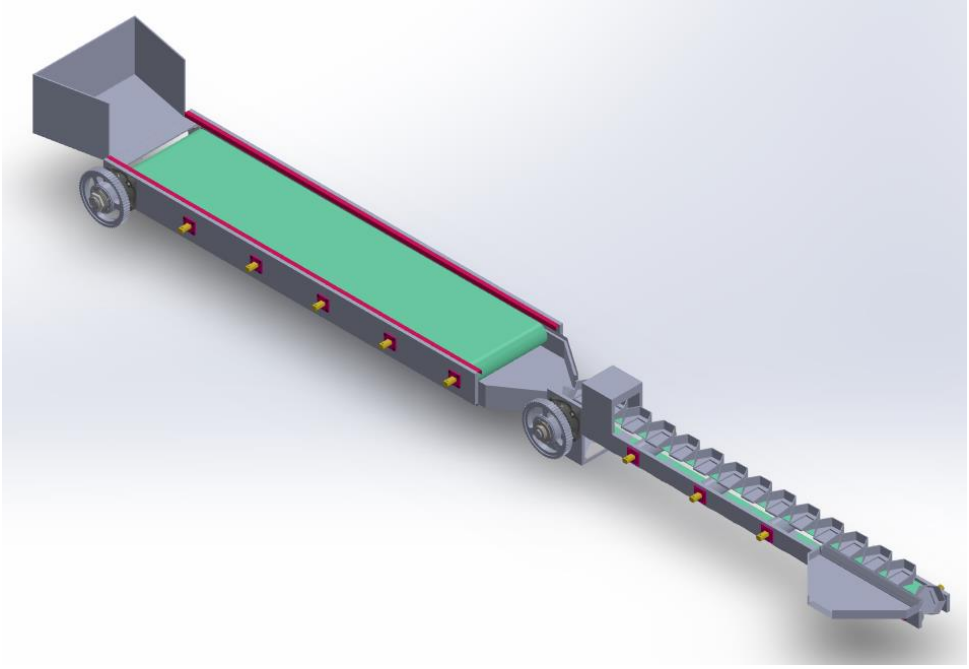
Na Equação 1, Q é a quantidade de material transportado, em t/hora; A é a secção transversal de carga, em metros quadrados (A = 0,04839 m²); V é a velocidade do transportador, em metros por segundo (V = 1,1 m/s ou 3,96 km/h); D é a densidade aparente do material transportado, em t/m^3 (a densidade da laranja é de 954 kg/m^3 de acordo com Mattos; Mederos, (2008); K’ é um coeficiente que depende do ângulo de inclinação do transportador, valendo 1,0 no caso de esteira sem inclinação (caso da aplicação deste trabalho).

A relação entre o software projetado por Fermo (2022) não foi testada, porém apresenta uma possibilidade para sinais analógicos e digitais. A velocidade para a qual a esteira 2 deve ser projetada depende do tempo de comunicação entre os softwares e por isso este trabalho não apresenta essa velocidade. Porém, são apresentadas formas de sincronizar a velocidade, tanto por meio analógico, como feito para a esteira 1, quanto de forma automatizada (digital), com implementação de um controlador lógico programável (CLP).

4. RESULTADOS

O resultado obtido foi o protótipo, presente na Figura 1, de uma máquina virtual por meio do software SolidWorks, capaz de identificar as aplicações de esforços e exibir simulações pertinentes à sua operação.

FIGURA 1 – PROTÓTIPO VIRTUAL DE MÁQUINA AUTOMATIZADA SEPARADORA DE FRUTOS.



Fonte: Autoria própria.

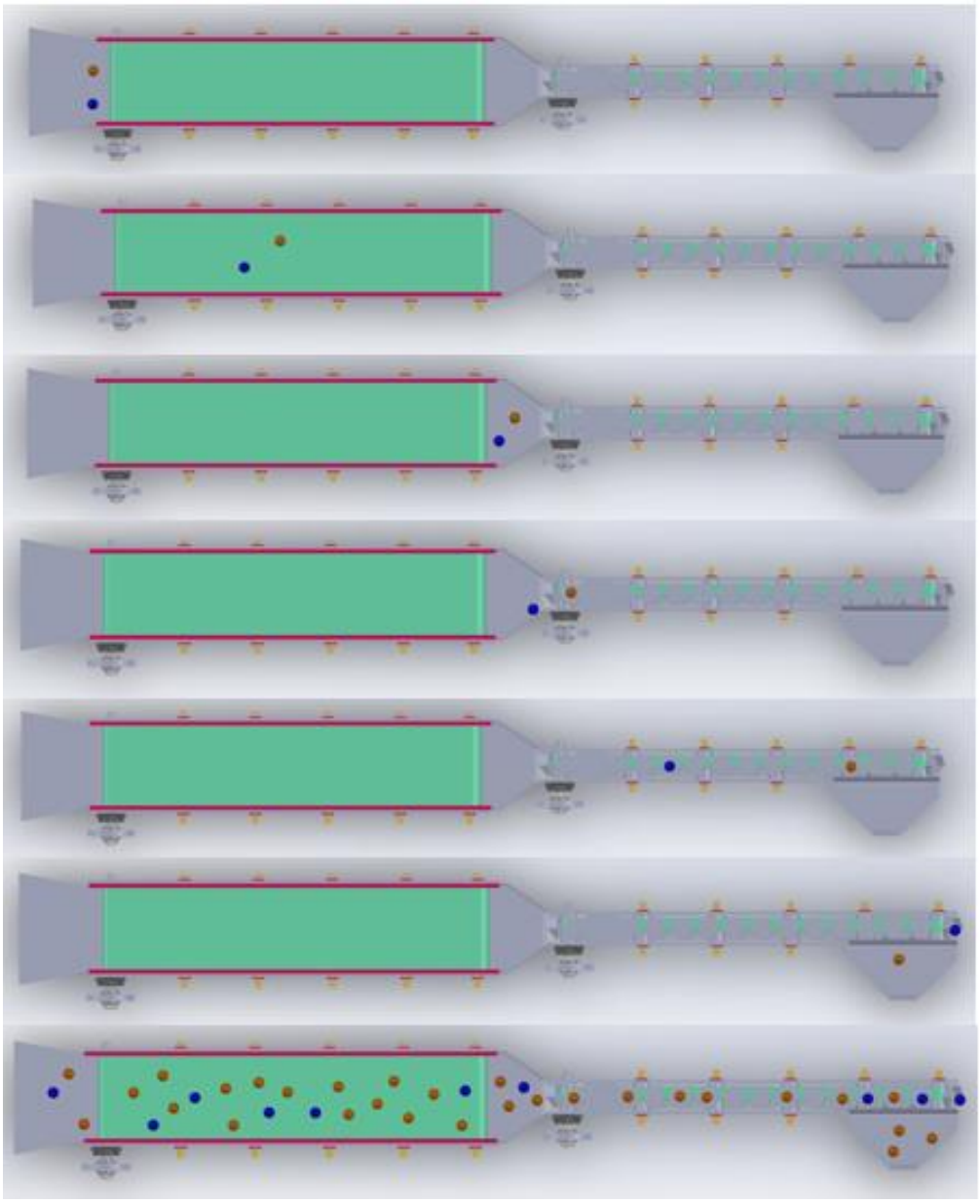
Utilizando a Equação 1, a máquina foi projetada para transportar 658,11 frutos de laranja por hora. Aplicando a Força de 1,0 N é possível observar a tensão de Von Mises sobre a lona da esteira transportadora 1, que apresenta uma condição de operação satisfatória, sendo o momento de ruptura quando a tensão de Von Mises atingir o valor de 168,59 N/m².

A correia presente na esteira 2 consta com 30 peças seletoras. Um dos problemas relacionados à separação do fruto se encontra na etapa de implementação para visão computacional. Essa etapa está apenas sendo representada para fins de aplicação do tempo de captura e processamento de imagem presente no trabalho de Fermo (2022).

Na Figura 2 é possível se observar uma sequência de *frames* da simulação dinâmica. Os *frames* ilustram diferentes momentos da operação da máquina, como a entrada do fruto sobre a esteira 1, seu transporte ao longo dessa esteira, e sua entrada na peça conectora entre a esteira 1 e a esteira 2, com sua inserção sobre a peça de suporte para sua posterior

seleção. Na Figura 2, a cor laranja representa um fruto com categoria “bom” enquanto a cor azul representa um fruto que deve ser descartado, por estar como impróprio para o consumo.

FIGURA 2 – Sequência de *frames* do protótipo virtual separador de laranjas.



Fonte: Autoria própria.

Como resultado final é possível projetar uma esteira de forma digital, visando cada componente estrutural físico, conexões, pontos de falha e melhorias possíveis. Também é possível se projetar, automatizar e simular a sua operação por meio do tempo.

Mesmo sem a aplicação da comunicação entre os softwares até o momento desse trabalho, é possível realizar a implementação desse projeto de forma física.

5. DISCUSSÕES

Numa próxima etapa do trabalho deverá ser testado o protótipo virtual com o software desenvolvido em Fermo (2022). Com o dimensionamento da esteira 2, pode-se calcular a capacidade de frutos que podem ser separados em determinado intervalo de tempo.

A esteira transportadora e separadora de frutos foi aplicada para frutos de laranja, mas pode ser implementada de acordo com a realidade de cada produtor e ser adaptada conforme o tipo de fruto que for ser selecionado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pretendeu-se nesse trabalho de pesquisa aplicar um modelo virtual de máquina separadora automática que pode ser aplicada para frutos e vegetais. A aplicação dessa máquina pode ser implementada junto ao conceito de indústria 4.0 juntamente a visão computacional, sendo aplicações de trabalhos futuros.

Como resultado dessa pesquisa mostrou-se que as dimensões podem ser modificadas conforme a necessidade de um produtor ou indústria, pois cada parâmetro pode ser adequado a uma realidade específica juntamente ao software para aplicação de visão computacional.

REFERÊNCIAS

AUGUSTIN L. R. *Transporte mecânico continuo de materiais sólidos a granel* (A.L.R, Vol. 1), 2005.

CALIXTO, R. R. M. F. ARAGÃO, A. B. RODRIGUES, L. G. PINHEIRO NETO, T. S. CAVALCANTE. Sistema de visão computacional para classificação de melão amarelo de acordo com o formato. XXXIV Simpósio brasileiro de telecomunicações –sbrt2016, 30 de agosto a 02 de setembro, Santarém, PA,2016.

CHAKRABORTY, S. K.; DUBEY, K. Embedded system for automatic real time weight based grading of fruits. International Conference on Recent Innovations in Signal Processing and Embedded Systems, RISE 2017. Anais...Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 8 jun. 2018.

COSTA, M. B. Esteira portátil lúdica pedagógica. Depositante: Marli Bernardo da Costa. BR 202019013708-3 U2. Depósito: 02 de julho de 2019. Concessão: 12 de janeiro de 2021.

CUBERO, S.; ALEIXOS, N.; MOLTÓ, E.; GÓMEZ-SANCHIS, J.; BLASCO, J. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. Food and Bioprocess Technology, v. 4, n. 4, p. 487–504, 2011.

FERMO, I.; ANDRADE, C. Image Processing on Orange Industry, a Brief Review. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, ISBN: 978-1-60595-523-0, p. 435–439, 2018.

FERMO, I. R. Classificação automática de imagens de laranjas por combinação de modelos de aprendizado de máquina e técnicas de processamento digital de imagensmaringá pr brasil dezembro de 2022. Tese de Doutorado, Universidade estadual de Maringá centro de tecnologia programa de pós graduação em engenharia química, 2022.

LINHARES, A. Mecanismo desviador deslizante central aplicado em esteira classificadora. Depositante: Adílio Linhares. BR 102018011292-9 A2. Depósito: 04 de junho de 2018. Concessão: 03 de dezembro de 2019.

LOKMAX - LOGISTICA E EQUIPAMENTOS. *Manual esteira modular - Datasheet, 2022.*

MARTINS, C. C. Sistema e método de visão computacional e identificação de produtos por imagens de câmeras de vídeo. Depositante: Carlos Cesar Martins. BR 102019000969-1 A2. Depósito: 17 de janeiro de 2019. Concessão: 04 de agosto de 2020.

MATTOS, J. S.; MEDEROS, B. J. T. Densidade de polpas de frutas tropicais: banco de dados e determinação experimental. BioEng, Campinas, v.2, n.2, p. 109-118, jan/abr. 2008.

NEELS, W. F.; HANEKAMP, W. H.; BEKELAAR, J. M. Aparelho para secagem de produtos alimentícios. Depositante: Moba Group B. V. BR 112020024264-9 A2. Depósito: 05 de junho de 2019. Concessão: 23 de fevereiro de 2021.

NETO, J. S. Esteira automatizada para secagem de café. Depositante: José Sendenski Neto. BR 102019020369-2 A2. Depósito: 27 de agosto de 2019. Concessão: 20 de março de 2021.

NORELEM. Esteiras Transportadoras de pequeno porte com acionamento interno – Datasheet, 2022.

SOFU, M. M., ER, O., KAYACAN, M. C., & CETIŞLI, B. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. Computers and Electronics in Agriculture, 127, 395–405. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.030, v. 127, p. 395–405, 1 set. 2016.

VITOR, G. B.; CAMPOS, R. J.; SILVA, V. A. Máquina selecionadora dos frutos do cafeeiro. Depositante: UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá; Universidade

Federal de Lavras. BR 102019010647-6 A2. Depósito: 24 de maio de 2019. Concessão: 01 de dezembro de 2020.

XIA, H., ZHEN, W., CHEN, D. W. ZENG. An ordinary multilayer fruit paper bag supplying device for fruit bagging. *HortScience*, *54*(9), 1644–1649. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14171-19, 2019.