



VII Encontro de Iniciação Científica e
Tecnológica
VII ENICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
20 e 21 de outubro de 2022



Estudo e projeto conceitual de sistemas robóticos agrícolas apoiado em técnicas de Design for Manufacturing DFM

PAULO ROSSI PRATES¹, JOHN FABER ARCHILA DIAZ²

¹ Graduando em engenharia mecânica, IFSP- Araraquara, paulo_rossiprates@hotmail.com

² Doutor em engenharia mecânica, USP – São Carlos, john.faber@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Robotização – 3.05.05.04-6

RESUMO: Um dos principais problemas encontrados para o rápido crescimento populacional é o da disponibilidade alimentar, que é afetada pela diminuição de áreas cultiváveis, diminuição de fontes hídricas aproveitáveis, aquecimento global dentre outros, obrigando a “produzir mais com menos” uma das maneiras de aportar na solução da problemática é a inclusão de tecnologia e robótica no agro que permita apoiar a aplicação de técnicas de agricultura sustentável e agricultura de precisão, porém com tecnologia de custo acessível para o agricultor. Visando fazer um aporte nesse quesito, o presente projeto propõe o desenvolvimento conceitual de uma parte da plataforma agrícola robótica incluindo no início do processo do projeto técnicas de Design For Manufacturing DFM a qual permite reduzir custos e melhorar a escalabilidade dos sistemas robóticos, no caso aplicados na agricultura. A pesquisa se baseia em sistemas robóticos existentes desenvolvido na ESSC-USP com quem o IFSP-Araraquara tem parceria e apresentará o projeto conceitual de uma melhora na plataforma robótica para agricultura considerando técnicas de DFM.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia, Robótica, Agricultura, DFM.

INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento de práticas de agricultura sustentável é preciso o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias, porém, os custos fazem destas, proibitivas, por isso que é preciso propor desde o processo de projeto ferramentas que levem em conta os custos e ajudem para fazer as tecnologias mais acessíveis sem esquecer do impacto na produtividade, uma das alternativas é aplicar o Design for manufacturing DFM nas etapas do projeto (El Waki, 2019), o DFM será aplicado na pesquisa, projetando o desenvolvimento de robôs agrícolas com o uso de tecnologias de manufatura convencionais e modernas avaliando o seu impacto e viabilidade visando desenvolver robôs agrícolas com custo menor de produção do que os convencionais por meio da possibilidade de revisão do algoritmo do projeto do qual o DFM é capaz de proporcionar através da combinação dos elementos de hardware, processo e controle (Zhou et al, 2019). Com isso, aprimorar o projeto e o uso de ferramentas Computer aided design CAD; computer aided engineering CAE e computer aided manufacturing CAM.

Para esse conceito da melhora da manufatura do projeto um artigo desenvolvido por Kerbrat et al, 2011, o qual se tratou de otimizar práticas no conceito DFM no ambiente de métodos modulares híbridos que avalia a melhor maneira para manufaturar o projeto sendo possível mesclar a usinagem convencional com métodos modulares e aditivos. Além disso, muitas técnicas são apresentadas para a melhora do processo DFM assistindo aos projetistas bem como; métodos de seleção de processos de manufatura (Esawi, 2000), preceitos de design para manufatura e montagem (Boothroyd et al, 2002), ferramentas de análise para manufaturabilidade (Gupta, 1995) e o design axiomático (Suh, 2001) cuja teoria foi aplicada no trabalho de

Ferrer et al, 2010, o qual utiliza essa metodologia para amparar os projetistas a fim de otimizar o processo de projeto e consequentemente a fabricação.

Para o desenvolvimento deste presente projeto foi realizado um estudo sobre as plataformas agrícolas da EESC-USP; R2A (Archila, 2017), Mirã II (Larenas et al, 2019), AgriBot (Tangerino et al , 2011) e RAM (Torres et al, 2013), as quais serviram de base para um novo projeto conceitual desenvolvido visando a maior eficiência e economia destes protótipos, que muito contribuem para o desenvolvimento de pesquisas agrícolas no país, aplicando os conceitos DFM para melhora do projeto.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o intuito de criar uma plataforma robótica que é capaz de se locomover em ambientes agrícolas, o AgriBot (figura 1, item I) foi desenvolvido com a finalidade de obter dados em campo para o desenvolvimento de pesquisas e contribuir para a agricultura de precisão, a qual traz uma leitura de toda área cultivável e, com isso, é feita uma tomada de decisão quanto a administração de insumos na lavoura (Tangerino et al , 2011).

O projeto do Robô Agrícola Móvel RAM possui um excelente sistema de controle que contribui muito para a agricultura de precisão. O resultado final desta plataforma pode ser visto na figura 1 item II, onde apresenta o projeto em CAD e posteriormente o protótipo fabricado. Sua estrutura é composta de compartimentos para armazenar baterias na parte inferior, visto que são mais pesados e com isso abaixam o centro de gravidade deixando a estrutura com maior estabilidade.

O Mirã II foi mais um rover agrícola desenvolvido com a missão de realizar análises de solo através de uma tecnologia chamada espectroscopia de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS, do inglês). Essa tecnologia é capaz de realizar análises de componentes químicos presentes em uma amostra por meio de um laser pulsado liberando um plasma (Larenas et al, 2019). Na figura 1 item III, é mostrado o projeto desenvolvido pela EESC - USP em parceria com a Embrapa Instrumentação.

Por fim, temos o R2A, que é mais um projeto de uma plataforma agrícola que visa a agricultura de precisão. Desenvolvido para todos os tipos de terrenos e culturas, o R2A contribui com a economia de recursos nas lavouras, por meio de suas aferições precisas. O R2A é fruto de um projeto conceitual que englobou diversos modelos de rovers agrícolas tais como; RAM por NEPAS e Embrapa (Godoy et al, 2010), Robô de capina de Tijmen Bakker (Bakker et al.,2010). Todos esses projetos são referência para o R2A que executam atividades em campo como aplicação de fertilizantes, coleta de dados entre outras. São providas de motores elétricos, à combustão, sistemas hidráulicos, pneumáticos e eletrônicos. (Archila, 2017)

Este rover (Figura 1, item IV) foi fabricado pelo LabRoM - USP, Embrapa, IFSP e UIS. Suas dimensões totais são 1,1 x 0,8 x 0,75 m e sua massa é de 65 Kg, conta com um sistema de propulsão e direção elétrico que possui uma autonomia de 25 Km. (Archila, 2017)

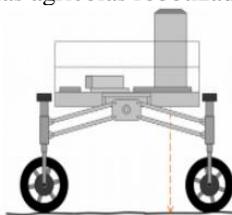
FIGURA 1 – Plataformas agrícolas robotizadas.



I - AgriBot.



II - RAM.



III - Mirã II



IV - R2A.

Fonte: I - Tangerino et al (2011); II - Tabile et al (2011); III - Larenas et al (2019); IV - Archila (2017).

O R2A foi comparado com os rovers Mirã e AgriBot e se mostrou muito eficiente podendo ser utilizado para diversas finalidades; mapeamento de solo com a tecnologia LIBS, variação da quantidade de fertilizantes na lavoura podendo contribuir com a eficiência na aplicação, aumentar a produtividade e reduzir custos, identificar doenças nas frutas ou nas plantas. Além disso, conta também com uma robótica colaborativa com drones, o que permite recarregar as baterias dos drones e assim melhorar a qualidade de aferições e

mapeamento das lavouras. (Archila, 2017). As técnicas de DFM serão discutidas no tópico de Metodologia, neste trabalho.

OBJETIVOS

A partir da análise feita na revisão bibliográfica dos rovers agrícolas, o grande objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto conceitual de uma estrutura mecânica com uma melhora para contribuir ainda mais com a agricultura de precisão. Para isso, será preciso aplicar os conceitos, visto a total eficácia dessa modelagem aplicada no trabalho de Kerbrat, referenciado na introdução deste trabalho.

METODOLOGIA

A elaboração de um projeto é a fase primordial para que haja êxito na confecção do produto aliando rendimento e eficácia, para isso diversos autores trazem caminhos de como definir os processos para que se obtenha uma manufatura rentável e funcional. Barbosa traz resumidamente as principais etapas para se chegar próximo ao modelo ideal de um produto que está sendo desenvolvido. Dessa forma, os contribuintes do projeto devem seguir os passos seguintes; a) Identificar as necessidades do mercado Consumidor; b) Especificar as funções do produto; c) Especificar as características principais do projeto; d) Elaboração da ideia conceitual do projeto; e) Detalhamento da ideia conceitual, como, por exemplo, a forma; f) Desenvolvimento final do produto. Além dos benefícios que trazem os softwares CAD e CAE, junto a isso, incluem-se os softwares CAM (Computer Aided Manufacturing) que são responsáveis pelo projeto da simulação da manufatura. A integração entre o CAD, CAE e CAM é fundamental para a produção, pois gera um maior controle sobre os processos e conseqüentemente reduz despesas por desperdício e tempo de produção, pois nessa fase do projeto pode verificar se as ferramentas disponíveis para a fabricação são adequadas para realizar os caminhos projetados.(Blog 4ing, 2020).

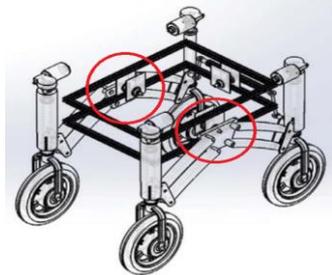
Segundo o especialista sênior no grupo de produtos de manufatura da Autodesk do Brasil, Raul Arozi, o Software Fusion 360®, da Autodesk, oferece um excelente ambiente CAM integrado com o CAD e CAE os quais possibilitam a execução muito viável de um projeto para manufatura. Nesse cenário, para realizar uma simulação CAM no software, é necessário ter um projeto em CAD. Após isso, na parte de manufatura do software é definido o setup inicial (a), ou seja, de qual operação irá ser utilizada; fresamento, torneamento, corte de chapa a laser, plasma, etc. Também nesta etapa é definido o zero peça para a correta orientação da mesa na máquina. Após o setup inicial é feita a escolha da ferramenta a ser utilizada (b); na etapa (c) é definida a geometria onde será realizado o faceamento da peça; na etapa (d) é configurado os parâmetros para os movimentos em vazio da ferramenta; a etapa (e) mostra o controle de passes da ferramenta; a etapa (f) mostra o caminho da usinagem; na etapa (g) podemos ter uma ideia de como será todo o processo e a partir daí podemos analisar a forma de trabalho da máquina, é nessa etapa que obtemos as informações se haverá algum conflito durante esse processo. Após isso, na etapa (h) é validado o processo e se inicia o processo real de simulação da manufatura. Na última etapa (i) pode ser gerado o código G pelo pós-processador do Fusion 360. Portanto, essas etapas viabilizam a forma de usinagem conforme a necessidade e com isso são feitas as seleções da ferramenta, parâmetro de corte, distância de segurança para movimentos em vazio, distância de retração de ferramenta, altura para movimentos em avanço de corte, o topo do bloco e a altura para final do faceamento.(Raul Arozi). Por fim, é gerado uma aba com as estatísticas das operações e a partir daí conseguimos otimizar os processos da manufatura, aplicando os conceitos DFM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este presente trabalho visou a melhora do processo de manufatura de uma peça da plataforma robótica agrícola responsável por interligar o sistema de suspensão do rover R2A (Archila, 2017), representada na figura 2, tal feito contribui para a agricultura de precisão no quesito de facilitar o processo de fabricação e o custeio da manufatura. Foi realizado um *brainstorming* do modelo apresentado na figura 2, posteriormente foi realizado o detalhamento deste projeto e realizado a simulação de manufatura gerada no Fusion 360 e aplicado à metodologia CAM, onde foi possível simular e otimizar as etapas de manufatura de uma peça fresada da plataforma robótica. Com isso, obtemos o processo de fabricação do produto e os dados para os processos de usinagem. A figura 4 item I mostra os resultados obtidos pela simulação realizada no software

fusion 360, onde foi possível acompanhar todo o processo de usinagem da peça e a partir daí coletar as informações sobre os caminhos escolhidos pela máquina.

FIGURA 2 - Componente de interligação da suspensão no chassi.



Fonte: Archila (2017)

A partir de uma análise de todo o conjunto do rover R2A, chegou-se a necessidade de melhora do componente responsável por interligar a suspensão com o chassi, a partir disso, foi desenvolvido e aplicado os conceitos de DFM neste componente a fim de otimizar a estrutura e contribuir com melhorias para a navegação do robô. Diante disso, a seguir será apresentado o modelo de como foi feita a tomada de decisão de todo o processo.

Utilizando os conceitos de QFD é possível apontar com maior precisão os locais onde possam apresentar possibilidades de melhorias, para isso, foi realizado um levantamento de dados conforme a tabela 1.

TABELA 1 - Análise da Viabilidade do Projeto Pela Matriz QFD.

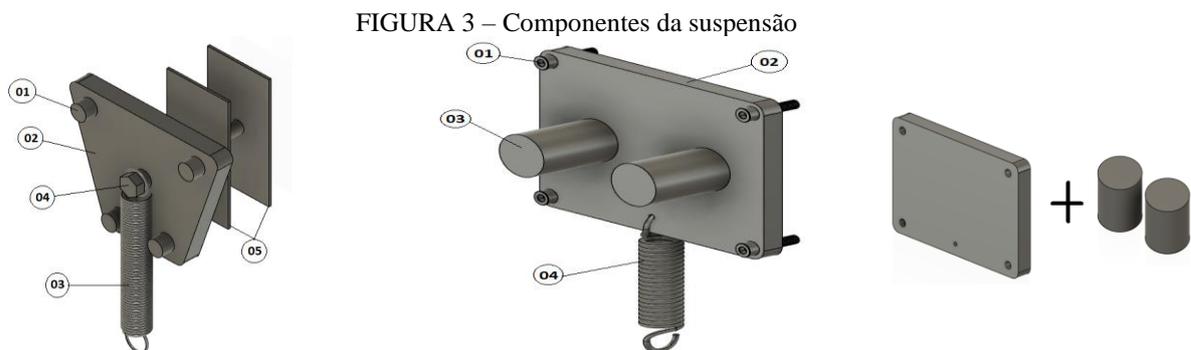
	Chassi	Direção	Suspensão
Peso	10	3	10
Autonomia	10	2	5
Eficiência	7	10	10
Navegação	3	10	10
Manufatura	10	10	10
Total	40	35	45

Fonte: Próprio autor (2022).

Desse modo, foi possível chegar à conclusão de que a parte de suspensão do veículo deveria ser otimizada, visto que estabelece fortes conexões com a maioria dos requisitos do projeto. O modelo em estudo é representado pela figura 3, item I, que mostra o detalhamento de suas partes; 01) são os pontos que recebem a articulação da suspensão; 02) estrutura base que sustenta o componente; 03) Mola que exerce uma força vertical de apoio para a suspensão; 04) Parafuso passante responsável por fixar a mola e os pontos fixadores do componente ao chassi; 05) fixadores do componente ao chassi.

A partir dessa análise foi possível realizar um estudo de melhora deste componente, visto sua complexidade de fabricação e montagem. A seguir será mostrado o resultado do novo modelo, na figura 3, item II, o qual foi projetado visando a redução do custo e do tempo de produção utilizando o software CAM para simulação de manufatura pelo Fusion 360 por meio da metodologia juntamente com a ideia do trabalho de Kerbrat, 2011, a qual nos possibilitou realizar um brainstorming voltado para a facilidade de fabricação e montagem do componente.

O novo modelo otimizado é composto por 4 parafusos (01) que realizarão a fixação da base estrutural do componente (02) no chassi da plataforma robótica. Os pontos que recebem a articulação da suspensão (03) foram projetados para alocar essas articulações em conjunto em um único pino. A produção desses pinos foi baseada na montagem híbrida proposta por Kerbrat ilustrada na figura 3, item III, onde os pinos são produzidos separadamente e soldados na estrutura a fim de economizar material. Dessa forma, é possível facilitar o processo de usinagem por conta da geometria simples e otimizar a montagem desse componente no chassi.



I - Componente de interligação da suspensão com o chassi.

II - Componente Otimizado por DMF.

III- Manufatura Híbrida.

Fonte: Próprio autor (2022).

Esta etapa é fundamental para o projeto, pois é onde se aplica o DFM para que haja uma melhora do processo da manufatura. Em decorrência disso, as melhorias podem ser executadas levando em consideração esses dados obtidos, visto que é discutido as formas de melhora, bem como, a alteração nos parâmetros da máquina; velocidade de corte, avanço, tipo de ferramenta, etc. Sendo assim, é possível realizar essas alterações no projeto para que a produção seja a mais otimizada possível e esse trabalho favorece a lucratividade, pois realiza melhorias na qualidade do produto evitando desperdícios e diminui o tempo de produção. Desse modo, seguindo as etapas de (a) a (i), segundo a metodologia de Arozi, que mostram todo o processo de manufatura, tal feito foi aplicado neste projeto e as estatísticas foram analisadas visando a melhora da produção conforme os resultados obtidos por meio da simulação pelo software na figura 4.



I - Simulação da manufatura do componente original.

II - Simulação da manufatura da base do novo modelo.

III - Simulação da manufatura do componente do novo modelo.

Fonte: Próprio autor (2022).

Após a simulação realizada no software, foi possível analisar todos os parâmetros da produção por meio da simulação da manufatura, com isso, chegamos em um tempo de produção da máquina de aproximadamente 21 minutos, segundo as estatísticas geradas pelo software, o qual mostra na figura 4, item I. Dessa maneira, essa tecnologia nos permitiu analisar o processo da manufatura e poder aplicar o DFM, neste caso foi otimizado a troca de ferramenta, velocidade de corte e avanço e alteração no tipo de geometria, com isso o tempo da produção foi muito otimizado conforme mostra a estatística da figura 4, itens II e III que juntas totalizam um tempo total de 14 minutos, visto que é necessário duas peças do item III. Essa melhora realizada, proporcionou um significativo ganho de tempo, onde o tempo de produção passou de 21 minutos para aproximadamente 14 minutos.

CONCLUSÕES

Portanto, podemos concluir que os resultados atingiram os objetivos propostos neste trabalho, visto que os conceitos de Design for manufacturing foram aplicados sobre um componente de uma plataforma robótica agrícola para favorecer a melhora da sua manufatura e conseqüentemente o aumento de qualidade no produto final que irá favorecer as práticas de agricultura de precisão.

O software Fusion 360 se mostrou muito eficiente para realizar tais operações, suas interfaces interligadas de CAD, CAE e CAM contribuíram muito para o melhor resultado do projeto. Com isso, foi possível realizar alterações na forma de produção da manufatura aplicando os conceitos DFM e realizando alterações nos parâmetros de usinagem como; velocidade de corte, avanço e troca de ferramentas e o modelo do componente aplicando um conceito de manufatura híbrida. Esses processos foram otimizados por conta dos resultados obtidos pela simulação de manufatura do software, onde foi observado o melhor caminho da ferramenta e os pontos máximos que ela poderia trabalhar. Dessa forma, os processos foram otimizados para o produto final ser produzido com maior qualidade em tempo reduzido e evitando desperdícios.

REFERÊNCIAS

- AMK Esawi , MF Ashby. O desenvolvimento e uso de uma ferramenta de software para selecionar processos de fabricação nas fases iniciais do projeto. 2000 Society for Design and Process Science (SDPS) (2000) , pp. 27 – 43
- G. Boothroyd , P. Dewhurst , W. Knight. Projeto de Produto para Fabricação e Montagem. Marcel Dekker , Nova York (2002)
- GF Barbosa. Application of the DFMA methodology - Design for Manufacturing and Assembly - in the design and manufacture of aircraft. 2007. Dissertation (Master's in Manufacturing) - School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/D.18.2007.tde-30012008-103011. Accessed on: 2022-06-28.
- G. T. Tangerino, E. P. Godoy, R. A. Tabile, R. Y. Inamasu, & Porto, A. J. (2011, December). Hydraulic networked control of four wheel steering agricultural robot. In 2011 9th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA) (pp. 142-147). IEEE.
- J. F Archila Diaz. (2017). Design of a Rover to precision agriculture applications (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- M. C Larenas, MAGALHÃES, V., & MILORI, D. (2019). Sistema LIBS embarcado para aplicações agrônômicas. Implementação dos sistema de disparo dos pulsos laser. In Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 2019, São Carlos, SP. Ciência, inovação e mercado: anais. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2019. Editores: Paulino Ribeiro Villas-Boas, Maria Alice Martins, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori, Ladislau Martin Neto. SIAGRO 2019.
- NP Suh. Axiomatic Design: Advances and Applications. Oxford University Press , Oxford (2001)
- O. Kerbrat, P. Mognol, H. Jean-Yves. A new DFM approach to combine machining and additive manufacturing, Computers in Industry, Volume 62, Issue 7, 2011, Pages 684-692, ISSN 0166-3615
- R. A. Tabile, et al . Design and development of the architecture of an agricultural mobile robot. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 31, n. 1, p. 130-142, fev. 2011 . Disponível em <http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000100013&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 24 maio 2022. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100013>.
- R. Arozi., Fusion 360: conhecendo o ambiente de CAM. [Mundo MFG - Blog Oficial sobre Design e Manufatura da Autodesk](https://blogs.autodesk.com/mundo-mfg/2017/06/20/fusion-360-conhecendo-o-ambiente-de-cam/), 2017. Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/mundo-mfg/2017/06/20/fusion-360-conhecendo-o-ambiente-de-cam/>> Acesso em: 08/03/2022.
- S. D. El Wakil. (2019). Processes and design for manufacturing. CRC Press.
- S. Gupta , D. Das , WC Regli , DS Nau. Análise automatizada de manufaturabilidade: uma pesquisa Research in Engineering Design , 9 (3) (1995) , pp . 168-190
- Software CAM: o que é e quais são seus benefícios. 4i Engenharia Especialistas em Engenharia 4.0, 2020. Disponível em: < <https://www.4ieng.com.br/single-post/software-cam-o-que-e-e-quais-sao-seus-beneficios>> Acesso em: 08/03/2022.
- ZHOU, Wenzhan, Hung Wen Chao, Yu Zhang, Chan Yuan Hu, Wei Yuan, Yifei Lu, Hongmei Hu, and Xiang Peng. "DFM: "Design for Manufacturing" or "Design Friendly Manufacturing"." Journal of Microelectronic Manufacturing 3.1 (2019): 1-8. Web.