

## PROJETOS CONCEITUAL E PRELIMINAR DE UM MECANISMO DE AUTO ALINHAMENTO PARA UMA ESTUFA AGRÍCOLA ROBOTIZADA COM TECNOLOGIA DE CONTROLE NUMÉRICO

## CONCEPTUAL AND PRELIMINARY DESIGN OF A SELF-ALIGNMENT MECHANISM FOR A ROBOTIZED AGRICULTURAL GREENHOUSE WITH NUMERICAL CONTROL TECHNOLOGY.

de Araujo, Tárík El Hayek Rocha Pitta<sup>1</sup>  
Machado, Lucas Bernardon<sup>2</sup>  
Sucaria, Rogério Sawaya<sup>3</sup>  
Luz, Glenda de Melo<sup>4</sup>  
Trombin, Lucas Henrique<sup>5</sup>  
Valdiero, Antonio Carlos<sup>6</sup>

**Resumo:** O objetivo deste artigo é propor uma solução de auto alinhamento para um robô pórtico em estufas para agricultura familiar. Por conta do aumento da população mundial, nas últimas décadas, houve uma expansão do número de estufas agrícolas. Tais estufas requerem melhorias, sendo automatizadas e robotizadas, com o objetivo do aumento de produtividade, além de humanizar o trabalho em tarefas insalubres. Nesse contexto, foram analisadas oportunidades de tecnologias para o agronegócio, destaca-se que os mecanismos robotizados de estufas apresentam dificuldades em se locomover numa estrutura não alinhada. Por razões diversas, como o uso de materiais disponíveis e processos de fabricação "baratos", a estrutura apresenta guias não lineares. Então, o conceito de mecanismos de auto alinhamento foi utilizado, tornando assim menos necessária a precisão de produção e montagem das estufas, viabilizando maior uso pela agricultura familiar, e permitindo o desenvolvimento dos projetos conceitual e preliminar de uma solução para uso na robotização de estufas. Foram empregados os métodos dos grafos para descobrir os circuitos independentes e cadeias cinemáticas, e o método de Reshetov para análise das juntas e suas mobilidades. Pretende-se assim contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias para estufas agrícolas.

**Palavras-chave:** Auto alinhamento, Não Linear, Estufas, Agricultura familiar.

*Abstract: The main goal of this paper is to propose a solution to the self-alignment to a gantry robot at greenhouse to a familiar agriculture. The increase in global population has been a strong argument, over the last few decades, to an expansion in the number of greenhouses. Such greenhouses require improvements, been automated and*

---

<sup>1</sup> graduando, UFSC, vinculado ao LHW, tarikdearaujo@gmail.com

<sup>2</sup> mestre, UFSC, vinculado ao LHW e LAR, lucasbernardon94@gmail.com

<sup>3</sup> graduando, UFSC, vinculado ao POLO, rogerio.sawaya@grad.ufsc.br

<sup>4</sup> graduando, UFSC, vinculado ao POLO, glendaluz29@gmail.com

<sup>5</sup> graduando, UFSC, vinculado ao LHW, trbn.lucas@gmail.com

<sup>6</sup> doutor, UFSC, supervisor do LHW, antoniocvaldiero@gmail.com

*robotized, with the main objective of the increase of productivity, beyond humanize the unhealthy tasks. In this context, were analyzed opportunities of technology to the agribusiness, the robotized mechanism of greenhouses presents difficulties in locomotion in a non alignment structure. For various reasons, such as the material use available and low-cost manufacturing process and the structure present guides non linear. So, the main concept of mechanism self-alignment was utilized, turning the assembly and precision of production less necessary, making possible the usage for familiar agriculture, and alloying the development of conceptual and preliminary projects of a solution to be used in the robotization of greenhouses. Were applied the method of graphs to discover the independent circuits and cinematics chains, and the Reshetov method to analyze joints and its mobility. It is planned so to contribute to the development of new technologies to agricultural greenhouses.*

**Key words:** Self alignment, Non linear, Greenhouses, Agricultura familiar.

## INTRODUÇÃO

O foco deste trabalho está intimamente ligado com a modernização do campo e com os avanços da tecnologia no meio rural, que já podem ser percebidos em vários ramos da agropecuária, desde a robotização de colheitas, até a melhoria nos maquinários, nesse artigo será trabalhada a questão de robotização e automação nas estufas agrícolas, tendo o enfoque na relação de auto alinhamento do robô Gantry.

O uso de estufas tem crescido muito nas últimas décadas devido a gama de possibilidades criadas pelas mesmas, como a produção continua durante o ano, o aumento da qualidade dos produtos e a maior produtividade por área (quando comparada a agricultura não protegida) (CUNHA, AR da, 2003).

De 1990 até 2010 o aumento da área de estufas agrícolas foi de 400% (716 mil ha para 3 milhões ha). As regiões do globo que concentram as unidades de agricultura protegida são a China e a região mediterrânea europeia, ambas visam melhorar seus produtos e a segunda tem o clima favorável para a construção das mesmas (Silva B. A. et al, 2014). Embora o Brasil seja um dos maiores produtores de commodities do mundo, o país não figura no ranking de maiores áreas de estufas.

Segundo o CONAPLA o brasil tem cerca de 30 mil hectares de cultivo protegido, tendo um aumento expressivo de 2005 para 2019, mas de ordem não comparável com os 400% globais na década anterior (13 mil para 30 mil ha). O país também está localizado abaixo da vizinha Argentina em área de estufas (CHANG, JIE et al, 2013).

O crescente dessa estrutura também provoca a modernização das mesmas e a chegada da agricultura 4.0, com mecanismos robotizados e estufas mais adaptadas às novas demandas (BERNARDON MACHADO, LUCAS, 2021).

Dentro do conceito da automação existem diversas máquinas com os mais diferentes objetivos, como o robô pórtico cartesiano, esse que é muito utilizado na robotização de estufas, o mecanismo se locomove pela estrutura de estufa, a utilizando como trilhos, para melhorar a produção e otimizar espaço. Esse robô possui três juntas prismáticas (PPP), composto por três translações nos eixos de coordenadas cartesianas. Tem a função de semear e de inserir fertilizantes na plantação (PORSCH et al., 2019).

O intuito desse trabalho é estudar os movimentos desse mecanismo e propor soluções para o auto alinhamento do robô pórtico. O método escolhido para essa análise é o método de Reshetov, esse que analisa a mobilidade do sistema e suas redundâncias de maneira mais simplificada e intuitiva, e para casos de baixa precisão requisitada é o recomendado (Reshetov, L. 1979). É possível fazer essa análise por meio de outros métodos, como o método de Davies, mas esse exige demasiado conhecimento prévio, mesmo que forneça precisão maior, não é exigido nesse caso.

Essa análise de movimentos, juntas e redundâncias se faz necessária visto que, os robôs são projetados para caminhos lineares, e por diversos fatores, esse caminho não se caracteriza dessa forma. Seja pela montagem, materiais utilizados ou transporte da estrutura, essa não permanece linear, logo é necessário um ajuste das juntas para viabilizar esses movimentos desejados no robô.

Será apresentado na seção 1 a metodologia utilizada para essa análise na seção 2 os cálculos e na seção 3 a proposta de auto alinhamento mais apropriada para tal problema.

## **1 METODOLOGIA E JUSTIFICATIVA**

### **1.1 JUSTIFICATIVA**

Para podermos analisar a questão do auto alinhamento é importante sabermos as especificações do nosso robô pórtico, estudando suas restrições e graus de liberdade, fornecidas pelos seus elos e juntas.

Também é importante entender os desafios que esse mecanismo enfrentará, como antes mencionado, o carrinho percorrerá um caminho não linear, diferente de sua idealização inicial, conforme a ilustração 1. E por isso é necessária uma análise mais profunda do mesmo para superar essa situação. Também é necessário saber quais são as exigências sobre esse robô, em qual direção deve se mover e qual sua finalidade, veja ilustração 2.

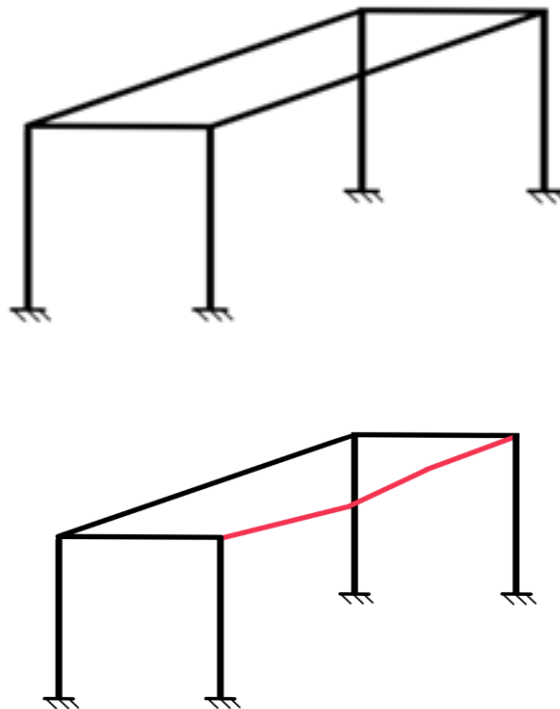


Ilustração 1: Desenhos esquemáticos de um trilho retilíneo e um não retilíneo.  
Fonte: Produção do Pesquisador.

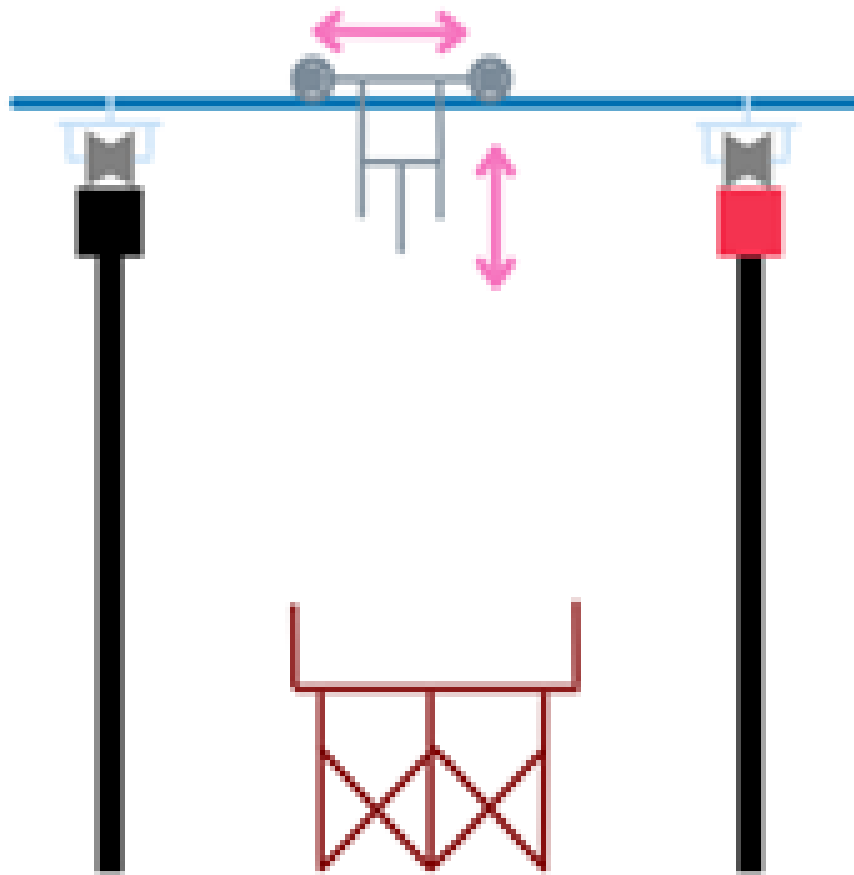


Ilustração 2: Desenho esquemático do robô na estufa.  
Fonte: Produção do Pesquisador.

O mecanismo analisado tem intuito de se mover nos eixos x e y, além de semear e inserir nutrientes no solo. Nesse contexto a robotização se torna interessante, pois é possível humanizar atividades insalubres e pouco ergonômicas, que seriam prejudiciais para os trabalhadores.

## 1.2 METODOLOGIA

Os tipos de pares cinemáticos são titulados por numerais gregos (I, II, III, IV, V) onde o número representa a quantidade de restrições dos pares. O robô em questão tem 6 elos e 8 juntas representados pelas letras “n” e “j” respectivamente.

O robô pórtico em questão é formado por 4 pares do tipo V, onde o único movimento permitido é o de rotação em torno do eixo z além de 4 pares do tipo IV que além da rotação em y permitem translação ao longo do eixo x. Como apresentado na ilustração 4 (RESHETOV, L. 1979).

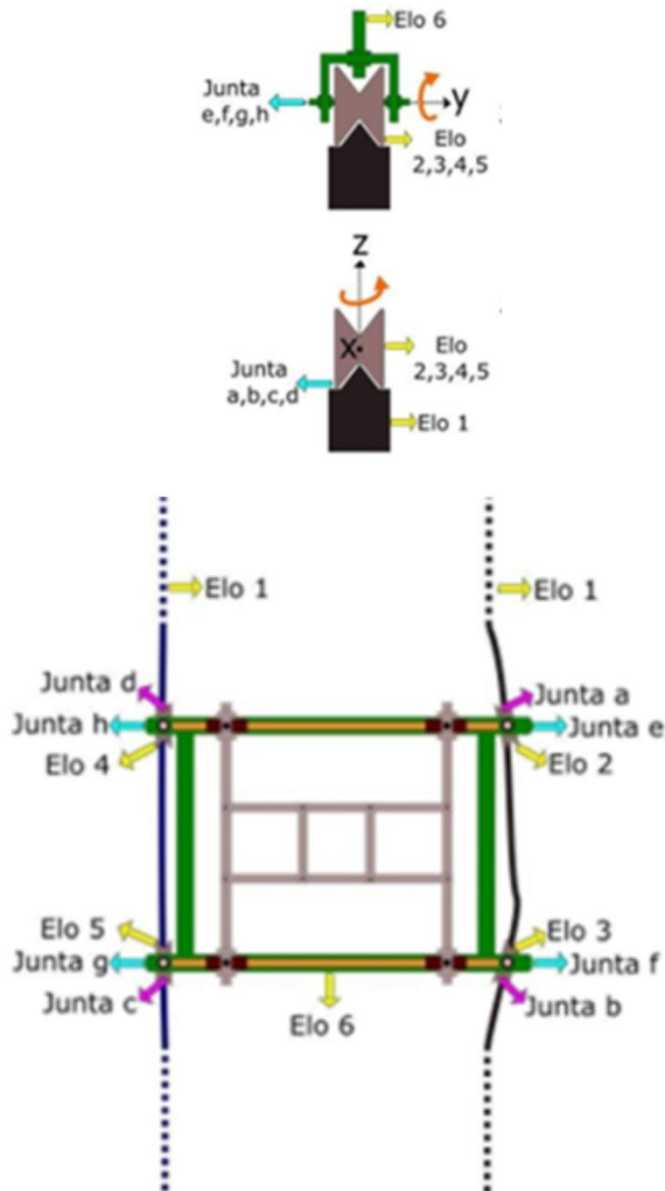


Ilustração 3: Desenho esquemático de elos e juntas.  
Fonte: Bernardon et al. 2021.

Os grafos são estruturas que facilitam o entendimento de diversas áreas do conhecimento. Representando mecanismos por meio de linhas e vértices. Os vértices representando os elos e as linhas representando as juntas.

Um grafo tem de ser montado de maneira simétrica e intuitiva; e permite a visualização mais simples do mecanismo como um todo. Existem diversos tipos de grafos, mas nesse artigo o tratado é o grafo mecânico (Shai; Press,1999). Para leitura do grafo é preciso entender que as letras representam juntas e os números os elos.

Na ilustração 4 o grafo mostrado é correspondente ao robô pórtico da ilustração 3.

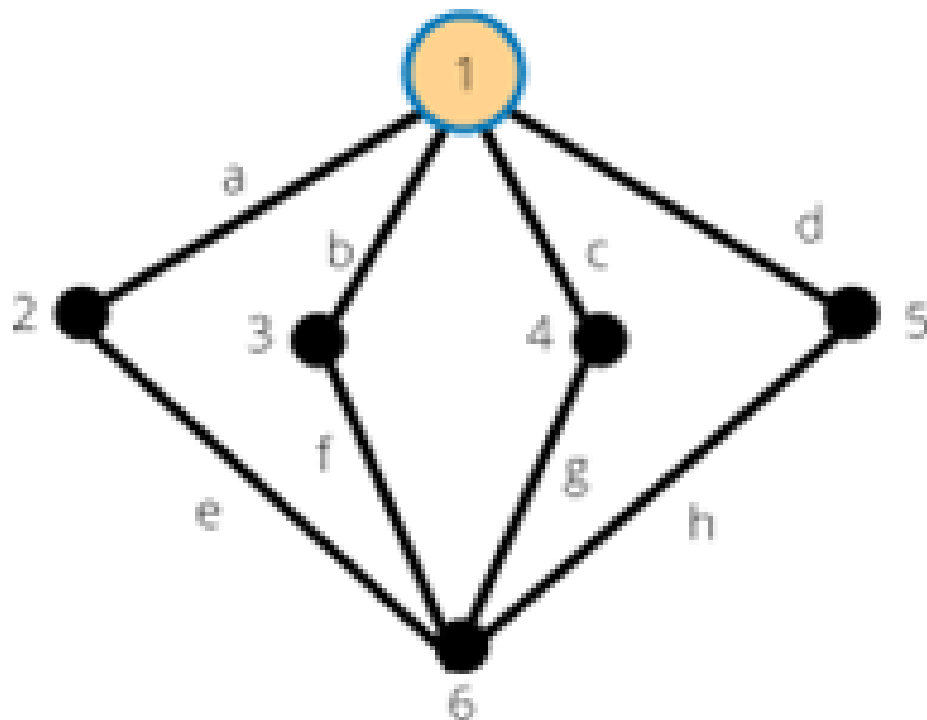


Ilustração 4: Grafo do mecanismo.  
Fonte: Produção do Pesquisador.

## 2 CALCULOS

### 2.1 MÉTODO DOS GRAFOS

A partir do grafo da ilustração 4 a análise se inicia com algumas equações, onde deve-se calcular a mobilidade do sistema e o número de circuitos independentes. A equação da mobilidade nesse caso deve considerar que o espaço onde o mecanismo está inserido é tridimensional e não o plano. Tendo que a equação leva

em consideração a mobilidade do mecanismo (M) e as restrições redundantes (q) assim  $\lambda = 6$ . Na ilustração 5 a equação foi realizada passo a passo.

$$M - q = (n - j - 1) * \lambda + \sum_{j=a}^h f_j \quad (1)$$

$$M - q = (6 - 8 - 1) * 6 + f_a + f_b + f_c + f_d + f_e + f_f + f_g + f_h$$

$$M - q = (-3) * 6 + (2 + 2 + 2 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1)$$

$$M - q = (-18) + 12$$

$$M - q = (-6)$$

Os subíndices A, B, C e D representam juntas do tipo contato linear, que permitem 2 graus de liberdade, já os subíndices E, F, G e H são juntas de rotação, que liberam apenas um movimento. A equação 1 apresenta o cálculo de M-q.

$$V - 1 = j - n \quad (2)$$

$$V = 8 - 6 + 1$$

$$V = 3$$

A partir do grafo é possível determinar os 3 circuitos independentes, de acordo com a ilustração 5. Sendo assim, analisando o sistema, encontram-se os circuitos "A B E F", "C G" e "D H", quando se completa uma volta pelos espaços internos do grafo. Os circuitos independentes são compostos por juntas exclusivas, ou seja, elas não se repetem para outros circuitos. Sendo assim temos os seguintes circuitos independentes. Essa quantidade que também pode ser calculada como apresentada na equação 2



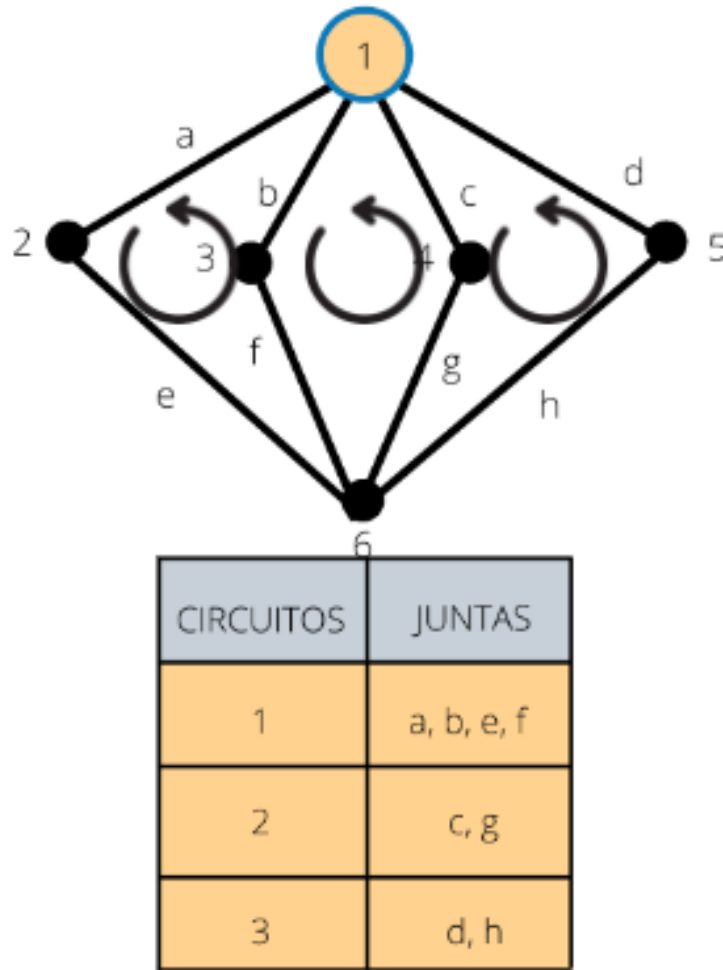


Ilustração 5: Esquema de circuitos independentes.  
 Fonte: Produção do pesquisador.

## 2.2 MÉTODO DE RESHETOV

Reshetov foi o primeiro a descrever os tipos de juntas para um mecanismo, e seu método é utilizado para analisar possíveis soluções em mecanismos que enfrentam algum problema de desalinhamento em seu deslocamento, como é o caso de trilhos irregulares que não proporcionam um paralelismo ideal para a operação do sistema robótico (RESHETOV, L. 1979).

Para isso é preciso verificar a existência de graus de liberdade extras e, se eles existirem, redistribuir para outra direção, somente rotações podem ser

redistribuídas e nunca no mesmo eixo, um grau de rotação no eixo-x não pode ser realocado como grau de translação no mesmo (Murai, E. H. 2019). Por fim, o número de liberdades ausentes indica o número de restrições e consequentemente os graus de liberdade extras, depois de atender os outros requisitos previamente estabelecidos, indica a mobilidade do sistema.

No método da tabela é necessário analisar os circuitos de maneira separada, no loop {A, B, E, F} a rotação em y foi substituída pela translação em z, e a rotação em z foi transformada em uma translação em y (antes as juntas tinham liberdades repetidas, agora elas fornecem movimentos diferentes ao sistema) veja a ilustração 6.

Com essa nova formatação de liberdades conseguimos verificar que 'q'= 7 e 'M'= 1 o que satisfaz a equação 1



Ilustração 6: Método da tabela.  
 Fonte: Produção do pesquisador.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nessa análise percebe-se que liberdades são necessárias e quais são redundantes. Utilizando o método de Reshetov, (Reshetov, 1979) e da obtenção das cadeias cinemáticas e uma análise profunda das possíveis estruturas, é possível eliminar as redundâncias e propor um novo modelo que permita o auto alinhamento, superando os problemas dos trilhos irregulares, sem comprometer a eficiência e qualidade do robô. Vale lembrar que além de ser simples o auto alinhamento também é mais barato que a troca por um trilho perfeito, que com o tempo se deteriora. Logo é a curto e longo prazo a melhor solução para o sistema.

Depois da análise e verificação das características do mecanismo e do guia (Martins. D., 2002) foram propostas duas soluções para o problema de auto alinhamento do robô pórtico.

A primeira, objetiva as menores mudanças possíveis no robô aliando as juntas de rotação com juntas prismáticas, ambas de tipo V, permitindo apenas rotação no eixo z e translação ao longo do eixo x.

A segunda solução visa o menor número de juntas possível, mas pode acarretar em uma mudança maior do mecanismo do robô gantry. Propõe a substituição de juntas de rotação por juntas cilíndricas, essas de tipo IV fornecem a rotação e translação necessária sem necessitar de outra junta acoplada a ela.

Na ilustração 7 é possível ver as juntas citadas nos parágrafos acima, e obter uma maior visão das ideias propostas.



Ilustração 7: Tipos de juntas inferiores.  
Fonte: Adaptado de Flores e Claro, 2005.

Existem outras propostas para o auto alinhamento, diferentes das propostas neste artigo, o projetista pode escolher por aliar outras juntas como achar melhor, ou até mesmo realizar o auto alinhamento por outros métodos como o método de Davies. Para validação dos conhecimentos e ideias propostas no presente trabalho o ideal é a construção de um protótipo do robô pórtico e da estufa automatizada, na ilustração 9 é apresentado os *Mock-ups da estufa, em diferentes vistas..*

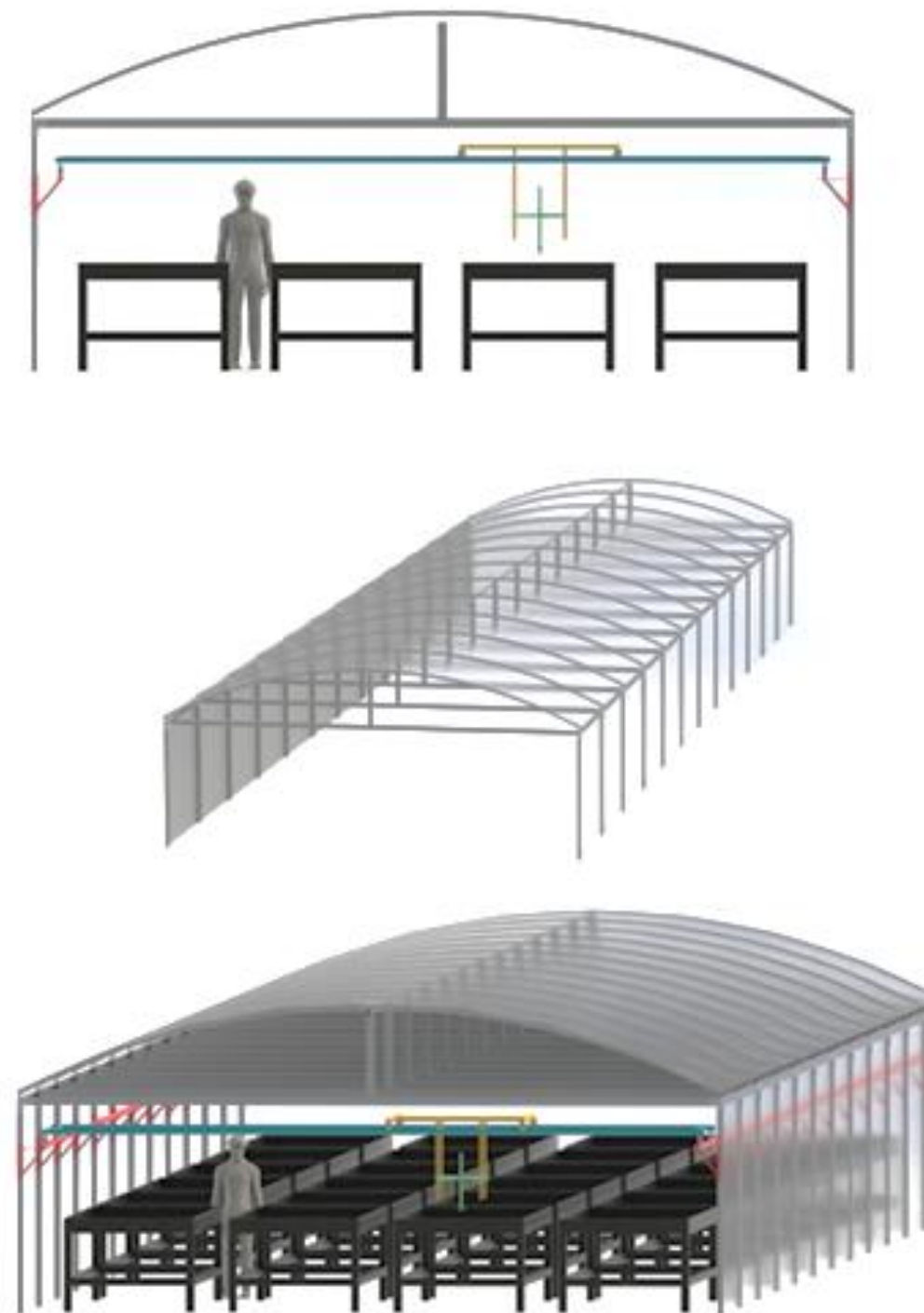


Ilustração 9: Mockup estufa.  
Fonte: Bernardon Machado, Lucas, 2021.

## CONCLUSÃO

Esse trabalho apresenta a análise de graus de liberdade, tipos de juntas e restrições de um mecanismo para uma estufa robotizada, e busca mostrar maneiras para solucionar as dificuldades que o trilho (estrutura interna da estufa) oferece. Como o uso de estufas cresce é necessário maximizar seu potencial, ainda mais se a forma de o fazer for simples e barata assim como o auto alinhamento é.

Por meio do auto alinhamento é possível oferecer essas variadas soluções, e com diferentes abordagens, o método de Reshetov, por meio da análise das juntas, mobilidade, restrições e o método da tabela foi o utilizado para encontrar uma maneira de substituição das juntas, a fim de adicionar as liberdades necessárias e eliminar o que não era preciso no mecanismo. Na seção acima foi proposta a substituição da junta de rotação, por uma cilíndrica, ou uma junta de rotação aliada com a junta prismática.

Existem outras maneiras de gerar o auto alinhamento, mas a proposta no artigo não necessita de grandes mudanças na estrutura e facilita a locomoção do robô pela estufa. Além de não prejudicar nem a qualidade do robô ou da estufa como conjunto, isso seria extremamente danoso, visto que o intuito é auxiliar a estufa em seu 'trabalho'. Os autores agradecem à UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), ao IFFar (Instituto Federal Farroupilha Campus Panambi) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio aos projetos de pesquisa "Desenvolvimento de Estufa Agrícola Robotizada de Baixo Custo" (SIGPEX: 202203044, CNPq: 306229/2021-8) e "Desenvolvimento de uma solução inovadora para turbina de baixa queda usando transmissão hidrostática" (SIGPEX: 202222878, CNPq: 406936/2022-6), por meio de auxílio financeiro e bolsas de iniciação científica, mestrado e doutorado, os quais contribuíram na concepção desta pesquisa na área de formação de recursos humanos em engenharia.

## REFERÊNCIAS

BERNARDON MACHADO, Lucas et al. Analysis of a Proposal for a Self-aligning Mechanism for Cartesian Robot in Greenhouses. In: International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics. Springer, Cham, 2021. p. 37-45.

CUNHA, AR da; ESCOBEDO, João Francisco. Alterações micrometeorológicas causadas pela estufa plástica e seus efeitos no crescimento e produção da cultura de pimentão. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 11, n. 1, p. 15-26, 2003.  
CHANG, Jie et al. esa. 2013; doi:10.1890/100223.

MARTINS, Daniel. Analysis of a Proposal for a Self-aligning Mechanism for Cartesian Robot in Greenhouses. Multibody Mechatronic Systems, p. 37.  
FLORES, Paulo; CLARO, José Carlos Pimenta. Cinemática de mecanismos 1: introdução ao estudo de mecanismos. 2005.

MARTINS, Daniel; GUENTHER, Raul. Hierarchical kinematic analysis of a redundant robot. In: Advances in Robot Kinematics. Springer, Dordrecht, 2002. p. 193-202.  
MURAI, Estevan Hideki et al. Number synthesis methods for mechanism design: an alternative approach. 2019.

PORSCH, Marcia Regina Maboni Hoppen et al. Low Cost Robotic Manipulator for Family Agriculture. J. Agric. Stud, v. 7, n. 4, p. 225-239, 2019.

RESHETOV, L. Self-aligning mechanism, (2<sup>nd</sup>) revised edition edn. 1979.

SHAI, Offer; PREISS, Kenneth. Graph theory representations of engineering systems and their embedded knowledge. Artificial Intelligence in Engineering, v. 13, n. 3, p. 273-285, 1999.

SILVA, B. A.; SILVA, AR da; PAGIUCA, L. G. Cultivo protegido: em busca de mais eficiência produtiva. Hortifruti Brasil, v. 1, p. 10-18, 2014.