

ESTUDO DA TEORIA DE MECANISMOS APLICADA AO MECANISMO DE JANSEN: BICICLETA ARANHA

Mateus Felipe Benicio Moraes, mfb.moraes@discente.ufma.br¹
Cassio Bruno Florêncio Gomes, cassio.bruno@discente.ufma.br¹
Edilson Dantas Nóbrega, edilson.dantas@ufma.br¹
Elson César Moraes, elson.cm@ufma.br¹

¹Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65080-805

Resumo: No início da década de 1990, o artista e físico Theo Jansen, após anos de pesquisas, criou um mecanismo de pernas de estruturas complexas conhecido como Mecanismo de Jansen, que demonstra possuir bom desempenho para locomoção em terrenos irregulares. Assim, o presente trabalho visa estudar a teoria aplicada ao Mecanismo de Jansen - Bicicleta Aranha, com o objetivo de demonstrar aos estudantes do curso de Engenharia Mecânica a importância da disciplina de Mecanismos em sua formação. Para realização deste projeto, inicialmente uma revisão da teoria sobre o tema foi feita, posteriormente se utilizou um software comercial de CAD para o desenvolvimento dos desenhos pertinentes ao mecanismo. São apresentados os desenhos do modelo em vistas ortogonais e do conjunto. Ao final, algumas considerações relacionadas à experiência de se desenvolver esse tipo de atividade na disciplina de mecanismos são apresentadas.

Palavras-chave: mecanismo, projeto, bicicleta aranha, CAD

1. INTRODUÇÃO

Em 1990, após uma década de estudos, o holandês Theo Jansen criou um mecanismo de estruturas complexas denominado Strandbeest, mostrado na Fig. 1.



Figura 1: StrandBeest, Rotterdam (2002).

As Strandbeests são compostas por vários conjuntos de pernas que se movem devido à força do vento e da areia molhada presentes na costa holandesa (ARTFUTURA, 2005). Elas foram desenvolvidas a partir de um algoritmo que buscou um design ótimo para seus componentes.

As pernas das Strandbeests, conhecidas normalmente como mecanismo de Jansen, consistem em uma série de hastes de diferentes comprimentos ligadas umas às outras, construídas com tubos leves e flexíveis, fios de nylon e fita adesiva, tendo aparência semelhante as pernas de um inseto.

Tal mecanismo gerou interesse por parte de pesquisadores ao redor do mundo que vem realizando estudos a fim de avaliar sua implementação no cumprimento de determinadas tarefas.

Kakati *et al.* (2015) projetaram uma cadeira móvel para deficientes físicos, baseada no mecanismo de Jansen, com o intuito de disponibilizar um meio de locomoção que seja capaz de trafegar por vários terrenos, de superar pequenos

obstáculos, além de ter o mesmo custo de uma cadeira de rodas comum na Índia. Os resultados indicaram que o projeto possuía algumas desvantagens: era muito pesado, não funcionava corretamente no solo e o esforço para movimentá-lo era alto, no entanto, segundo os autores, melhorias podem ser realizadas de forma a desenvolver essa tecnologia.

Kim *et al.* (2010) desenvolveram um trabalho cujo propósito foi a implemenção de um robô capaz de operar tanto em terreno arenoso quanto em pantanoso. Também foi realizada uma análise cinemática do dispositivo. O robô é baseado no mecanismo de Jansen e utiliza dois motores elétricos de corrente contínua para se locomover, além de possuir diversos sensores eletrônicos que permitem o operador visualizar o ambiente em que o dispositivo se encontra. Os resultados indicaram que o robô foi totalmente capaz de andar sob terreno arenoso ou pantanoso e também de fornecer informações para o operador. Além disso, segundo os autores, caso fosse mais leve e possui-se uma bateria mais eficiente, poderia ser amplamente utilizado para funções de busca, inteligência, vigia e etc...

Nansai *et al.* (2015) realizaram modificações no mecanismo de Jansen de modo a aumentar o número de configurações de movimento. No projeto em questão, algumas hastes foram substituídas por juntas deslizantes acopladas a atuadores lineares, permitindo que a distância entre as conexões fosse alterada. As modificações no modelo possibilitaram a mudança do movimento do mecanismo, inclusive durante a locomoção, o que acaba aumentando suas capacidades. Além disso, os atuadores só são controlados durante o processo de mudança, mantendo a simplicidade mecânica do design original do mecanismo.

Portanto, este trabalho tem o objetivo de estudar a teoria que envolve o mecanismo de Jansen e, a partir disso, apresentar o projeto de um protótipo de um sistema de pernas para uma Bicicleta Aranha utilizando um software comercial de CAD (Computer Aided Design, Desenho Assistido por Computador em português), de modo a demonstrar a importância da disciplina de Mecanismos na formação de alunos da Engenharia Mecânica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção tem por objetivo apresentar uma breve revisão de conceitos gerais de mecanismos, seguida de uma revisão mais profunda sobre o mecanismo de Jansen e seu funcionamento.

2.1 Mecanismos

O desenvolvimento de máquinas e mecanismos teve início na antiguidade, sob a forma de sistemas simples como: alavancas, planos inclinados, roletes e polias, contudo, sua grande ascensão aconteceu após o início da revolução industrial, onde dispositivos mais complexos e sofisticados eram necessários para solucionar problemas de controle de movimento (Doughty, 1987; Norton, 2010).

Reulaux, de acordo com J. Uicker Jr. *et al.* (2017), define um mecanismo como: "uma montagem de resistentes corpos, conectados por juntas móveis, para formar uma cadeia cinemática fechada com um elo fixo e com o propósito de transformar o movimento". É composto por elos, corpos rígidos com ao menos 2 nós (pontos para anexação de outros elos), e juntas, conexões entre dois ou mais elos (em seus nós) que permite o mesmo movimento ou movimento potencial entre os elos conectados (Norton, 2010).

Mecanismos podem realizar 3 tipos de movimento, sendo eles: translação, rotação e movimento complexo, a combinação entre translação e rotação (Norton, 2010). O movimento pode ser classificado pelo número de graus de liberdades, que se trata da quantidade de variáveis independentes necessárias para descrevê-lo (Doughty, 1987).

2.2 Mecanismo de Jansen

O mecanismo de Jansen (Fig. 2) é classificado como um mecanismo de 1 grau de liberdade e 8 elos (Nansai *et al.*, 2015). As barras se movimentam devido a ação rotativa de uma conexão específica. A rotação é dividida em quatro fases, sendo elas: levantamento, retorno, suporte e abaixamento, que, quando combinadas, resultam no movimento de caminhada de todo o mecanismo (Kakati *et al.*, 2015; Komoda, 2016).

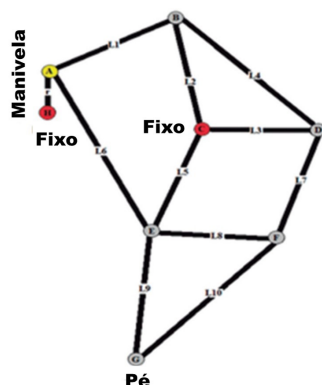


Figura 2: Esquema do mecanismo de Jansen, Adaptado de Borges *et al.* (2016).

A estrutura pode possuir um par de pernas dispostas simetricamente e movidas pela mesma manivela (Fig. 3), sendo que nessa configuração, o membro dianteiro é antifase com relação ao traseiro, fazendo com que os dois cooperem durante o deslocamento (Sengupta and Bhatia, 2017).

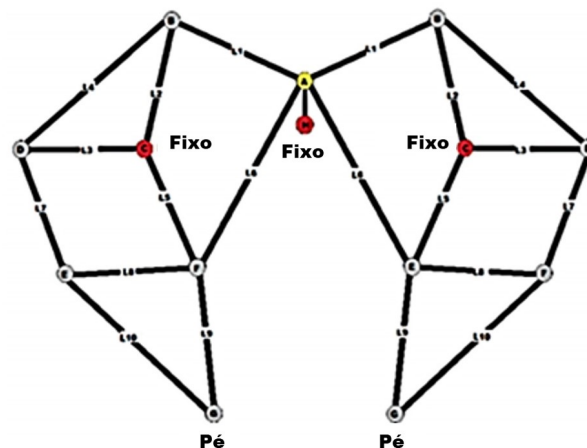


Figura 3: Mecanismos de Jansen acoplados, Adaptado de Borges *et al.* (2016).

Theo Jansen desejava que as Strandbeests permanecessem no mesmo nível enquanto andassem sob o solo, portanto, era necessário que o movimento da perna seguisse uma curva cuja parte inferior possuísse um perfil similar a uma linha reta. De modo a obter a curva almejada, em 1990, o físico desenvolveu um algoritmo capaz de desenhar uma curva a partir de uma dada proporção de comprimento para o conjunto de barras que compõem o mecanismo.

O número de possíveis combinações a serem avaliadas pelo computador era muito grande, devido a isso, Jansen decidiu usar o princípio da evolução na forma de um programa, sendo ele capaz de selecionar os conjuntos cuja parte inferior da curva fosse mais semelhante a uma linha reta, e depois os recombinar (reproduzir), dando origem a uma nova geração de conjuntos. Esse processo de seleção e reprodução foi repetido diversas vezes, até a obtenção dos 13 números exibidos na Fig. 4.

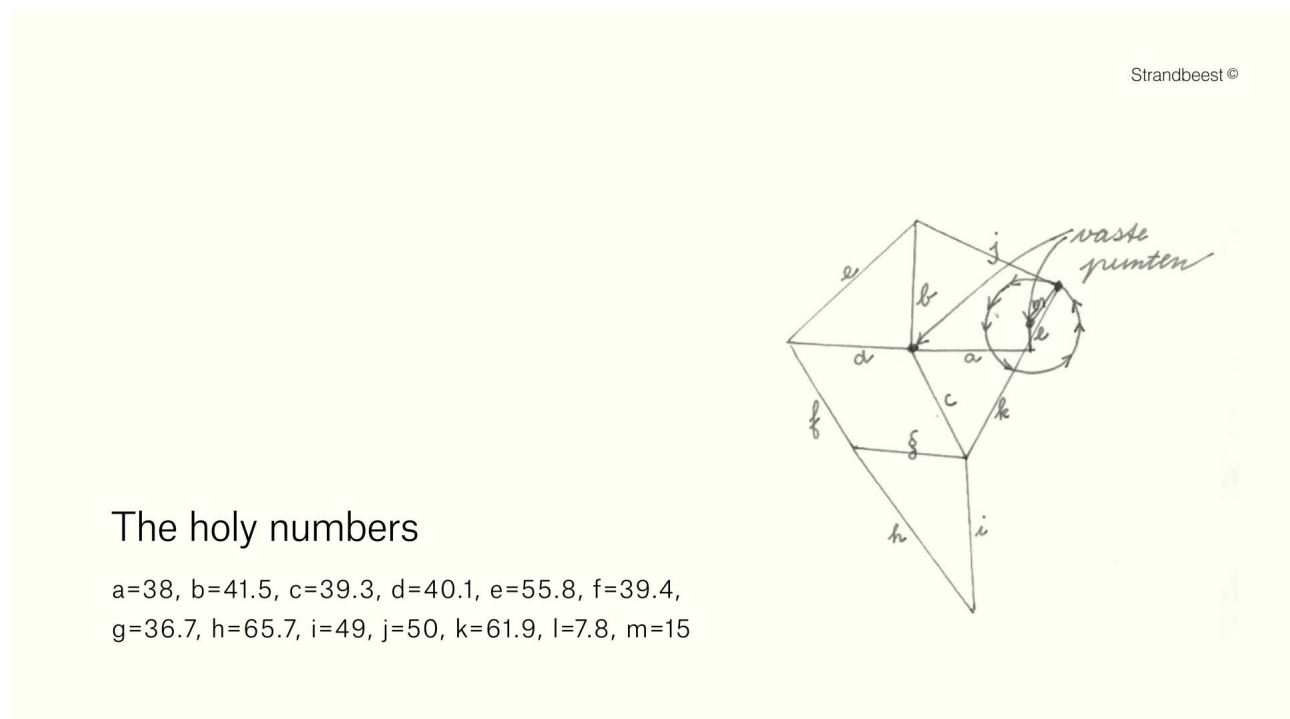


Figura 4: Dimensões originais do mecanismo de Jansen, Strandbeest (2022).

3. METODOLOGIA

O software de CAD utilizado para a realização do desenho foi o *SolidWorks* 2020 da *Dassault Systemes*, uma ferramenta capaz de fazer desenhos 3D complexos, montagens de mecanismos, análises de movimento, simulações estáticas,

simulações dinâmicas, etc.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 exibe uma das pernas do protótipo a) e suas vistas frontal b), superior c) e lateral d). Cada perna é composta por 10 peças com 3mm de espessura, cujo valor foi escolhido de acordo as espessuras de placas de PSAI (Poliestireno de Alto Impacto) disponíveis. O comprimento individual de cada uma das peças corresponde as proporções do mecanismo de Jansen multiplicadas por 2 (Fig. 6). Os furos possuem um diâmetro de 4 mm, cujo valor foi escolhido devido ao baixo custo, fácil acesso e alta disponibilidade de fusos e rebites com essas mesmas dimensões. Os triângulos possuem curvas em suas extremidades, evitando assim a presença de pontos de concentração de tensão.

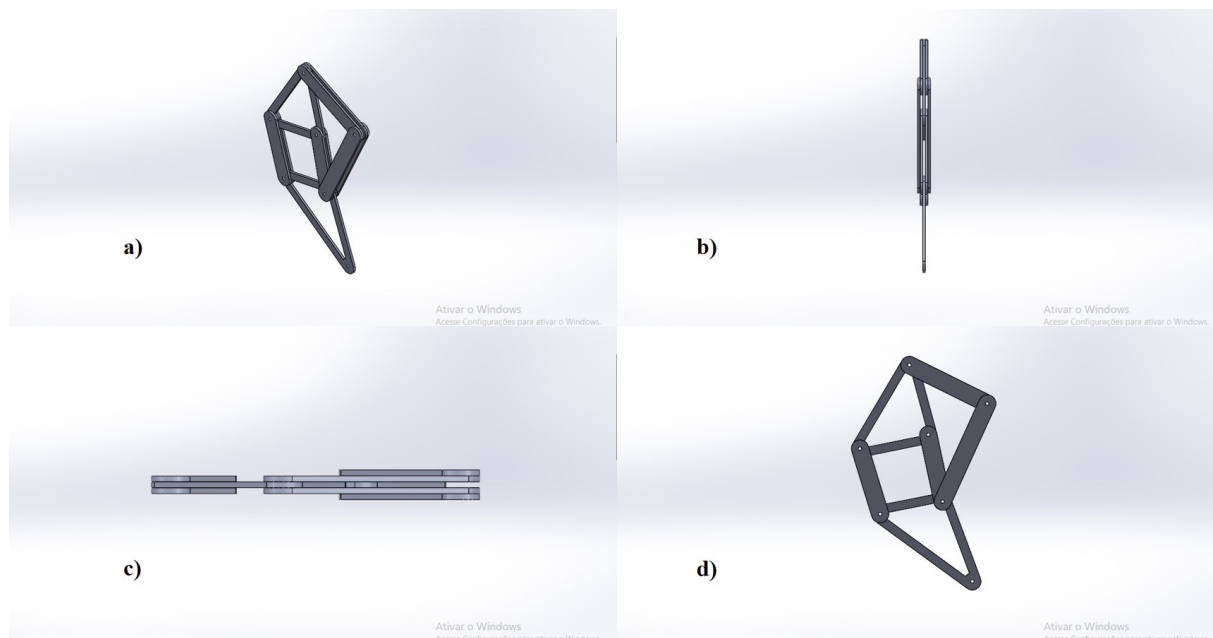


Figura 5: a) Perna do protótipo, b) Vista frontal, c) Vista superior, d) Vista lateral, Autores (2022).

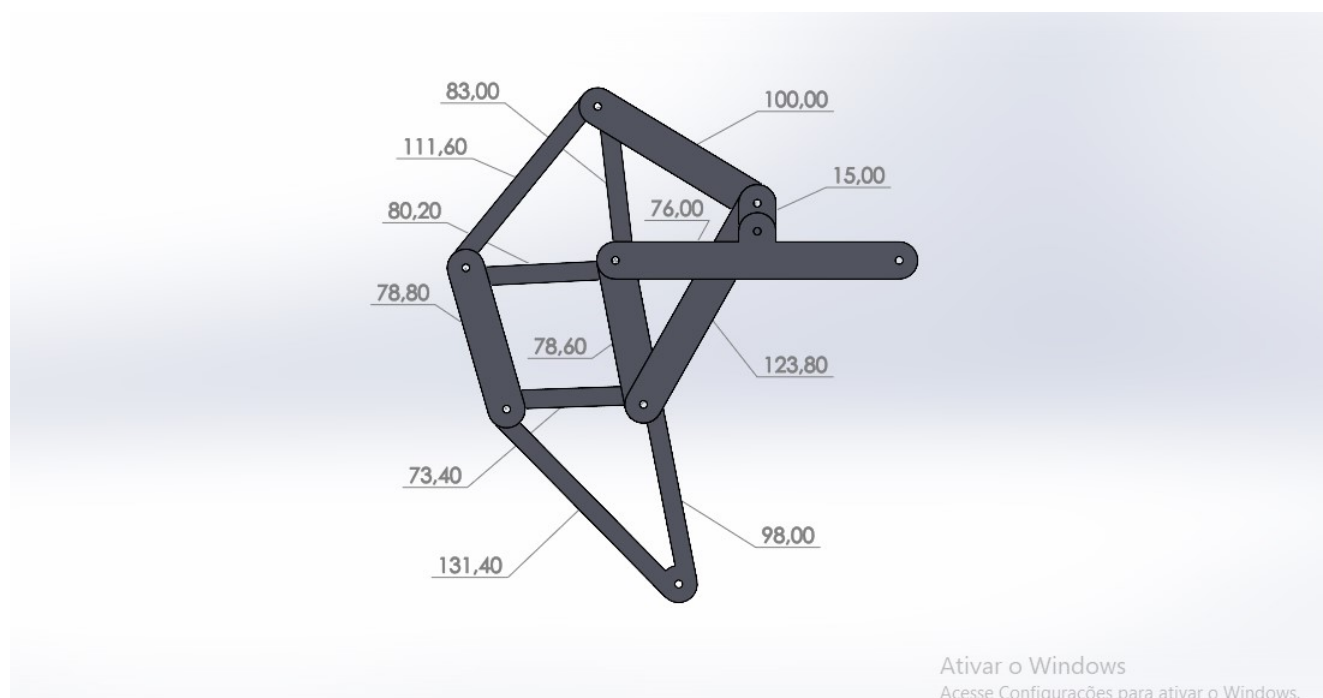


Figura 6: Dimensões da perna do protótipo, Autores (2022).

A Figura 7 exibe a montagem do protótipo a) e suas vistas frontal b), superior c) e lateral d). O protótipo é constituído por 3 pares de pernas cujas manivelas são conectadas entre si funcionando como um virabrequim, que além de ser responsável pela transmissão da ação rotativa para as pernas também realiza uma defasagem de 120 graus no movimento

de um par de pernas com relação aos pares adjacentes.

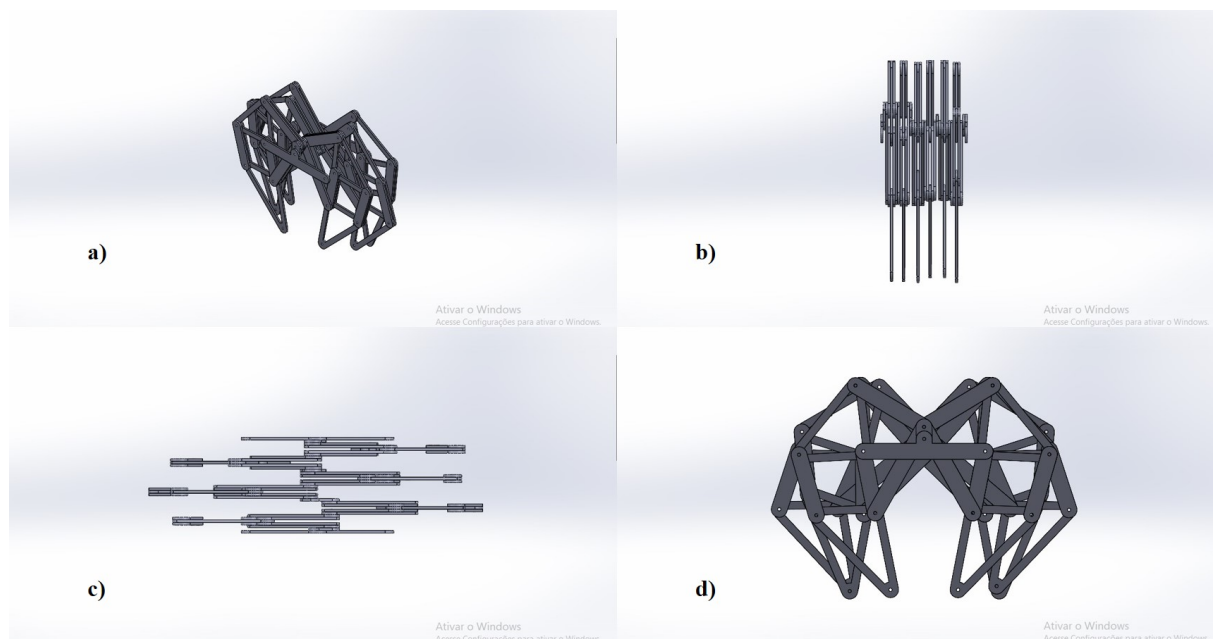


Figura 7: a) Protótipo, b) Vista frontal, c) Vista superior, d) Vista lateral, Autores (2022).

Durante a realização do projeto foi possível constatar a importância de um bom conhecimento sobre as aplicações de componentes simples como eixos, fusos, rebites, porcas e etc, pois tais informações foram utilizadas na especificação do diâmetro dos furos das peças e influenciaram no projeto do sistema de virabrequim. Além disso, outra questão fundamental identificada foi a capacidade de ajustar o projeto de modo que ele possa ser realizado com os recursos disponíveis, ainda que escassos. Para isso foi necessário levar em conta os custos e a disponibilidade dos materiais e componentes necessários para confecção do protótipo durante sua fase de projeto, fazendo constantes alterações no desenho e buscando alternativas viáveis para as limitações encontradas.

Um ponto bastante discutido durante o design do projeto foi a forma de confecção das peças, um critério que influencia não só nos custos, mas também na sua possibilidade de fabricação e em seu funcionamento. Devido a isso, o desenho do protótipo foi realizado de modo que as peças pudessem ser feitas através de uma impressora 3D e/ou uma máquina de corte. A parte do protótipo mais afetada por essa decisão foi o sistema de virabrequim, projetado de modo que suas peças pudessem ser fixadas às pernas do protótipo com rebites e/ou eixos.

A espessura definida para as peças foi de 3 mm, podendo ser alterada de acordo com a quantidade de material disponível para a impressora, as espessuras das placas para corte e/ou o tipo de material a ser utilizado. Os dois tipos de materiais escolhidos para a confecção das peças do protótipo foram polímeros e metais. Essas opções foram definidas a partir do projeto original das Strandbeests, que utilizou tubos de plástico, e dos trabalhos apresentados na literatura como os de Kakati *et al.* (2015), Kim *et al.* (2010) e Nansai *et al.* (2015), que utilizaram metal. Dentre esses dois, os materiais poliméricos se destacam por questão de custo, disponibilidade e versatilidade, considerando o fato de que podem ser cortados e/ou utilizados na impressão 3D.

A experiência de realizar este trabalho forneceu diversos conhecimentos relacionados a realização um projeto de engenharia e aos percalços durante o cumprimento de tal tarefa, assim proporcionando um bom aprendizado para os estudantes de engenharia mecânica que participaram dessa atividade.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o projeto de um protótipo para um sistema de pernas de uma bicicleta aranha. A importância de fatores como: conhecimentos sobre componentes básicos e sua função nos projetos de engenharia, recursos disponíveis, custos associados ao projeto, tipos de materiais a serem utilizados, métodos de fabricação e versatilidade do projeto foi atestada.

Percebeu-se também a relevância da realização de um projeto desse tipo para a formação dos alunos da engenharia mecânica, os estimulando a aplicar a teoria lecionada na disciplina de mecanismos, além de adquirir outros conhecimentos e desenvolver habilidades necessárias para o cumprimento da tarefa proposta, assim agregando em suas vidas acadêmicas e profissionais.

6. AGRADECIMENTOS

Obrigado à Universidade Federal do Maranhão (UFMA) por fornecer a estrutura necessária para a realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- ARTFUTURA, 2005. “Strandbeest Theo Jansen”. Disponível em: <https://www.artfutura.org/v3/en/theo-jansen/>. Acesso 04/03/2022.
- Borges, J.S., Stoppa, M.H. and Rabelo, M.N., 2016. “Determinação das equações do movimento de máquinas móveis do tipo Jansen”. *Estudos Interdisciplinares em Ciência Exatas e da Terra*, pp. 43 – 56. ISSN 9788580391633. doi:10.5151/9788580391633-03.
- Doughty, S., 1987. *Mechanics of machines*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kakati, U., Rameez, M., Medhi, P. and Moorthy, M., 2015. “Design and Fabrication of a Walking Chair using Linkage Mechanism”. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 4, No. 8. ISSN 2278-0181. doi: <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV4IS080193>.
- Kim, S.W., Jung, H., Kim, Y., Kim, H., Han, S.H. and Kim, D.H., 2010. “Analysis and Design of a Legged Walking Robot Based on Jansen Mechanism”. In *SCIS & ISIS 2010*.
- Komoda, K., 2016. “A Determinant Analysis to Detect the Singularity of the Extended Theo Jansen Mechanism in the Phase-Rotation-Amplitude Parameter Space”. *Journal of Computer Science & Systems Biology*, Vol. 9.
- Nansai, S., Rojas, N., Elara, M.R., Sosa, R. and Iwase, M., 2015. “On a Jansen leg with multiple gait patterns for reconfigurable walking platforms”. *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 7, No. 3, pp. 1 – 18. doi: 10.1177/1687814015573824.
- Norton, R.L., 2010. *Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos*. AMGH Editora Ltda.
- Rotterdam, K., 2002. “Strandbeesten van Theo Jansen”. Disponível em: <https://www.kunsthall.nl/nl/plan-je-bezoek/tentoonstellingen/strandbeesten/> Acesso 20/12/2020.
- Sengupta, S. and Bhatia, P., 2017. “Study of Applications of Jansen’s Mechanism in Robot”. *International Journal of Advanced Research and Innovation*, Vol. 5, No. 3, pp. 354 – 357. ISSN 2347 - 3258.
- Strandbeest, 2022. “Explains”. Disponível em: <https://www.strandbeest.com/>. Acesso 10/02/2022.
- J. Uicker Jr., J., Gordon R. Pennock and Joseph E. Shigley, 2017. *Theory of Machines and Mechanisms*. Oxford University Press, 5th edition.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF MECHANISM THEORY APPLIED TO THE JANSEN MECHANISM: SPIDER BICYCLE

Mateus Felipe Benicio Moraes, mfb.moraes@discente.ufma.br¹

Cassio Bruno Florencio Gomes, cassio.bruno@discente.ufma.br¹

Edilson Dantas Nóbrega, edilson.dantas@ufma.br¹

Elson César Moraes, elson.cm@ufma.br¹

¹Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga, São Luís - MA, 65080-805

Abstract: In the early 1990s, the Dutch Theo Jansen, after years of research, created a mechanism of legs of complex structures known as the Jansen Mechanism, which shows good performance for locomotion on uneven terrain. Thus, the present work aims to study the theory applied to the Jansen Mechanism - Spider Bicycle, in order to demonstrate to the students of the Mechanical Engineering course the importance of the Mechanism discipline in their education. To accomplish this project, initially a review of the theory on the subject was done, and later a commercial CAD software was used to develop the drawings pertinent to the mechanism. The drawings of the model in orthogonal views and of the assembly are presented. At the end, some considerations related to the experience of developing this type of activity in the mechanisms discipline are presented.

Palavras-chave: mechanism, design, spider bike, CAD