



TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR II  
ROBÔ AUTÔMATO QUADRÚPEDE

Denise Irlaine dos Santos

Vinícius de Sousa Fernandes

Rafael Cordeiro Rodrigues

Bruno Henrique

Raul Victor

Arcos/MG

2018

DENISE IRLAINE DOS SANTOS  
VINÍCIUS DE SOUSA FERNANDES  
RAFAEL CORDEIRO RODRIGUES  
BRUNO HENRIQUE  
RAUL VICTOR

**TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR II:  
ROBÔ AUTÔMATO QUADRÚPEDE**

Relatório final do  
Trabalho Acadêmico  
Integrador II apresentado  
ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e  
Tecnologia de Minas  
Gerais - Campus: Arcos.

Orientador: Prof. Luiz  
Augusto Ferreira de  
Campos Viana.

Arcos/MG

2018

## RESUMO

O autômato quadrúpede é um robô projetado no Software *Autodesk Inventor* que simula os movimentos de um animal que possui quatro pernas. O robô, também irá demonstrar as transformações de movimento que ocorre em seu sistema de articulações através de uma animação. Neste projeto, será apresentado os estudos sobre as transformações de energia, em movimento circular e movimento linear baseados nos estudos das máquinas de Theo Jansen, os “Strandbeest”.

Contudo, dentre os principais objetivos será o desenvolvimento do robô em projeção 3D e a animação no “*Autodesk Inventor*”. Para a determinação das equações do movimento e a modelagem das articulações, foi de suma importância estabelecer métodos de geométricos no plano cartesiano, funções trigonométricas e algébricas.

Ao longo da história, máquinas robóticas que operam de forma autônoma, foram desenvolvidas e aprimoradas para o bem comum da sociedade, sejam elas para os fins de entretenimento, desenvolvimento de dispositivos tecnológicos em setores como a biomecânica, aviação, eletrônicos e automobilística.

Destarte, este projeto será um estudo aprofundado sobre as transformações de energia em movimento, bem como a animação do objeto propriamente dita.

Palavras chaves: Autômato. Transformação de movimento. Robô. Animação.

## ABSTRACT

The quadruped automaton is an *Autodesk Inventor Software* designed robot that simulates the movements of a four-legged animal. The robot will also demonstrate the transformations of movement that occurs in its joint system through an animation. This project will present studies on energy transformations, circular movement and linear movement. However, one of the main objectives will be the development of a 3D projection robot and the *Autodesk Inventor* animation. The establishment of geometric methods in the Cartesian plane, and the use of algebraic and trigonometric functions were of paramount importance in the ascertainment of motion equations and modeling of the joints system.

Throughout history robotic machines that operate autonomously have been developed and improved for the common good of society, whether for entertainment purposes or for the development of technological devices in sectors such as biomechanics, aviation, electronics and automotive.

Thus, this project will be an in-depth study on the transformations of energy in motion, as well as the animation of the object itself.

Key-words: Automaton. Motion Transformation. Robot. Animation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Autômato de desenhista de Pierre Jaquet-Droz .....	5
Figura 2- Um olhar por dentro do desenhista .....	5
Figura 3-Histograma de frequência .....	13
Figura 4-Gráfico de pizza .....	13
Figura 5:-Esboço não finalizado .....	17
Figura 6-Sistema com medidas.....	18
Figura 7- Mecanismo de transformação de energia.....	19
Figura 8- Descrição do mecanismo de Theo James .....	20
Figura 9-. Análise gráfica de Theo Jansen .....	21
Figura 10- Análise do gráfico de velocidade .....	22
Figura 11- Análise do gráfico de aceleração .....	26
Figura 12- Base fixa .....	28
Figura 13- Manivela .....	28
Figura 14-.Modelo 3D finalizado .....	28

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1:Lista de pessoas .....	11
Tabela 2:Tabela de frequencias .....	12
Tabela 3:Cronograma de atividades .....	16
Tabela 4:Variáveis e unidades .....	12

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
1.1 _Objetivos gerais .....	10
1.2 _Objetivos específicos.....	10
1.3 _Justificativa.....	10
<b>2. Referencial TEÓRICO</b> .....	14
2.1 _O autômato quadrúpede.....	14
2.2 _Fonte de energia usada .....	14
2.3 _Transformação de movimento.....	15
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	16
3.1 _Cronograma de atividades .....	16
3.2 _Desenho técnico.....	16
3.3 _Fonte de energia do autômato.....	17
3.4 _Dimensões do robô quadrúpede .....	17
3.5 _Transformação e transmissão de energia em movimento.....	18
3.6 _Sistema não conservativo de energia.....	26
3.7 _Aceleração e velocidade do robô.....	26
3.8 _Modelagem das peças em 3D no software Inventor.....	27
3.9 _Montagem do robô autômato software Inventor .....	27
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	29
<b>6. Apêndice</b> .....	30

## 1. INTRODUÇÃO

Os robôs autômatos, são máquinas que simulam os movimentos de seres vivos, possuem certo número de membros dos quais se baseiam, anatomicamente, às articulações de cada espécie a serem reproduzidas, são máquinas que realizam ações sem fonte de energia elétrica, sendo dispositivos de condicionamento operantes. Destarte, os autômatos possuem fonte e energia mecânica ligados à dispositivos que se combinam entre si de forma engenhosamente planejada e capazes de obter movimento.

Os primeiros mecanismos autômatos que surgiram na história, foram inicialmente projetados pelos gregos, estes, possuíam habilidades extremamente avançadas; como a criação de objetos que se moviam através de fontes de energia mecânica, como as de alavancas e vapor d'água. Contudo, o primeiro autômato que simulava e reproduzia atividades semelhantes aos dos seres humanos, foi criado pelo relojoeiro suíço Pierre Jaquet-Droz (1721-1790), durante o século XVIII, na Europa. Na época em que se seguia as grandes criações de autômatos do século, Pierre Jaquet-Droz se destacou entre todas as criações da época, criando o humanoide “O escritor”, o que o diferenciou e inspirou toda uma geração a se perguntar se havia, afinal, alguma diferença entre as máquinas de Pierre e os seres humanos. O autômato humanoide que Pierre havia criado, foi o mais notável feito da tecnologia do século XVIII, pois ele tinha o formato de um garotinho; dentro dele, havia cerca de 6 mil peças trabalhadas onde toda a maquinaria que o controlava foi aperfeiçoado para encaixar-se milimetricamente dentro do “garoto”. Atualmente, existe a empresa Jaquet-Droz, pioneira do setor relojoeiro fundada pelo suíço.

Contudo, em 1990 o físico holandês Theo Jansen criou um mecanismo que consistia em um sistema complexo de transmissão de energia, denominado por ele como “Os Strandbeest”, que eram máquinas compostas por inúmeros pares de membros e que se locomoviam apenas com a ação do vento. COLOCAR CITACAO .



Figura 1-Autômato desenhista de Jaquet-Droz.



Fonte: <<http://media.futuromusic.com/2014/02/the-writer-automaton-by-pierre-jaquet-droz-1774-image10.jpg>>

Figura 2-. Um olhar por dentro do desenhista



Fonte: <<http://www.desenhoonline.com/site/wp-content/uploads/Aut%C3%B4mato-Pierre-Jaquet-Droz-automaton5.jpg>>

## 1.1 \_Objetivos gerais

Projetar e desenvolver um robô de condicionamento operante, que simule os movimentos de um animal que possua quatro pernas e, promover maior entendimento e aplicabilidade nos estudos de transformações de energia em movimento. Desenvolver as ações que o robô irá operar através de uma animação no software *Autodesk Inventor*.

## 1.2 \_Objetivos específicos

- Entender e consolidar a aprendizagem dos movimentos que o robô realiza.
- Relacionar teorias e promover atividades práticas.
- Promover a modelagem 3D e a animação do robô no software *Autodesk Inventor*.

## 1.3 \_Justificativa

Após a realização de pesquisas sobre autômatos e transformações de movimento em livros, trabalhos de conclusão de curso e estudos publicados, foi decidido realizar um projeto que visa a aplicabilidade das matérias na prática, aprendidas no segundo semestre do curso de engenharia mecânica.

Baseando nas máquinas móveis de Theo Jansen, os “Strandbeest”, sistema complexo de transmissão de movimento e locomoção, o protótipo será relevante para fins acadêmicos e pesquisas futuras, e na construção de máquinas móveis e robóticas no decorrer do curso de engenharia mecânica. Destarte, para que o projeto tenha relevância social e acadêmica, o grupo realizou uma pesquisa na cidade de Arcos e no campus da Instituição, para saber, o quanto as máquinas móveis estão inseridas na sociedade.

Tabela 1- Lista de pessoas

	<b>Nomes</b>	<b>Idade</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>
<b>1</b>	Pedro Henrique	24	X	
<b>2</b>	Carlos	32		X
<b>3</b>	Henrique Júnior	23	X	
<b>4</b>	Monica	20	X	
<b>5</b>	Roberta	41		X
<b>6</b>	Jose roberto	33	X	
<b>7</b>	Leandro	30	X	
<b>8</b>	Viviane	42		X
<b>9</b>	Elton	54		X
<b>10</b>	Rosa	49		X
<b>11</b>	Nilson	51		X
<b>12</b>	Bruno	35	X	
<b>13</b>	Fernanda	24	X	
<b>14</b>	Edilamar	58		X
<b>15</b>	Wesley	32		X
<b>16</b>	Maria	48		X
<b>17</b>	Victor	17	X	
<b>18</b>	Leandro	19	X	
<b>19</b>	Clayton	43	X	
<b>20</b>	Bruna	20	X	
<b>21</b>	Luiza	22		X
<b>22</b>	Tawanda	20		X
<b>23</b>	Bianca	18	X	
<b>24</b>	Henrique	37		X
<b>25</b>	Hudson	27		X
<b>26</b>	Lucas	25		X
<b>27</b>	Joice	24		X
<b>28</b>	Maria Luiza	31	X	
<b>29</b>	Fagner	26	X	
<b>30</b>	Jose Geraldo	57		X

Fonte: Próprios autores

Media:

$$\frac{17+18+19+20+20+20+22+23+24+24+24+25+26+27+30+31+32+32+33+35+37+41+42+43+48+49+51+54+57+58}{30}$$

$$\frac{982}{30} = 32,73 \rightarrow \text{media}$$

Amplitude:  $58 - 17 = 41$

Amplitude de classe:  $\frac{41}{30} = 1,36$

Números de classes:  $k = \sqrt{n}$

$$k = \sqrt{30} \cong 5,477 \cong 5$$

Tamanho da classe:  $h = \frac{(\text{limite superior da classe}) - (\text{limite inferior da classe})}{(\text{numero de classes})}$

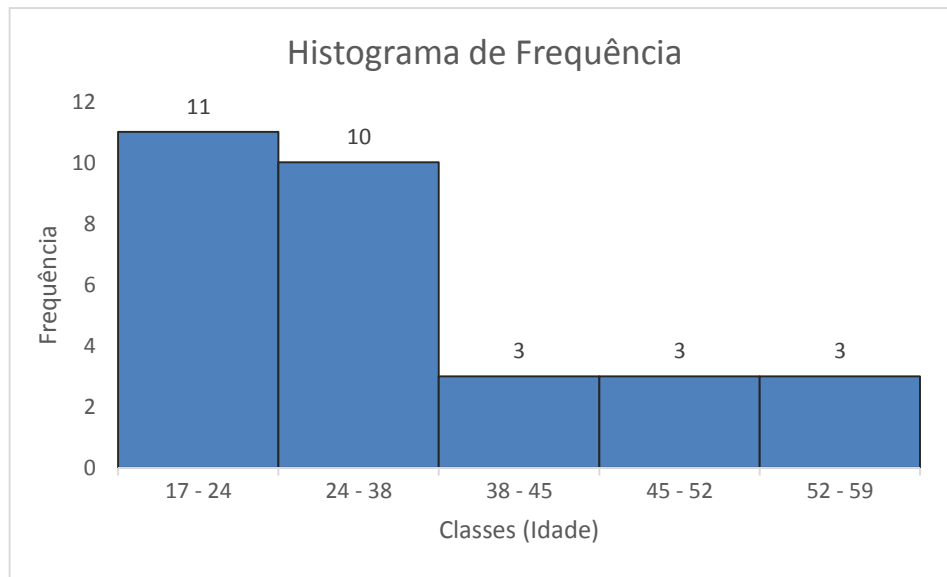
$$\frac{58 - 17}{6} \cong 6,83 \cong 7$$

Tabela 2- Tabela de Frequências

Classes	Frequência	Ponto médio	Freq. Relativa	Freq. Acumulada
17 - 24	11	20,5	0,36	11
24 - 38	10	31	0,33	21
38 - 45	3	41,5	0,1	24
45 - 52	3	48,5	0,1	27
52 - 59	3	55,5	0,1	30
	$\Sigma f = 30$		$\Sigma \frac{f}{n} = 0,99$	

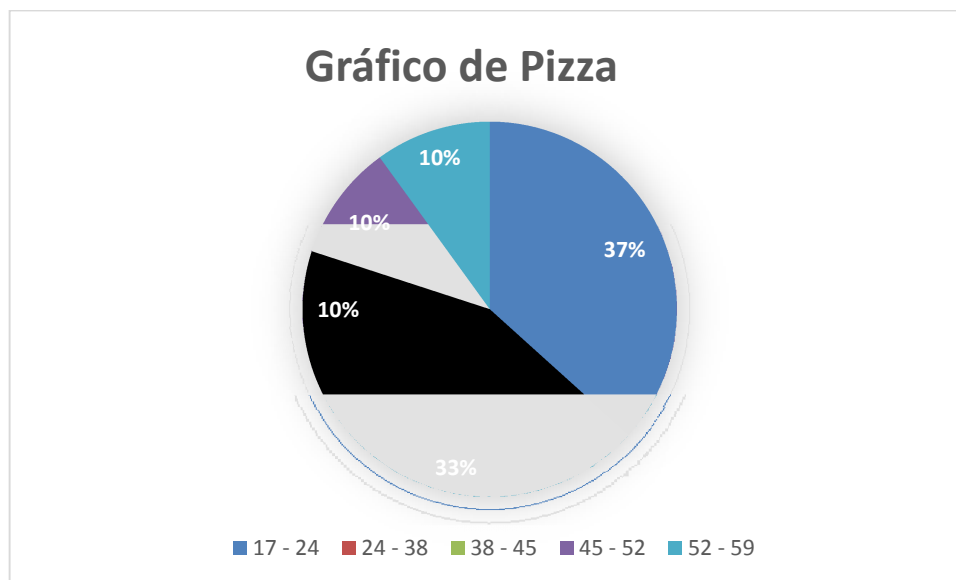
Fonte: Próprios autores

Figura 3- Histograma de Frequência



Fonte: Próprios autores

Figura 4- Gráfico de Pizza



Fonte: Próprios autores

Dessa forma, com as pesquisas e estudos realizados, foi possível saber o quanto as máquinas autônomas de transmissão de movimento são importantes no desenvolvimento da sociedade.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1\_ O autômato quadrúpede**

O que se move por si próprio, máquina composta de mecanismo que gera determinados movimentos e seu próprio modo locomoção comparado aos outros animais. As rodas são adequadas para superfícies firmes, sendo inviáveis para utilização em terrenos macios ou irregulares, uma vez que necessitam de um contato contínuo com o solo, exigindo uma superfície uniforme e firme, como uma estrada, o que inviabiliza seu uso se a estrada não existi. Estes mecanismos são denominados de forma simplista como máquinas móveis, onde o movimento, em real, é realizado por meio de “pernas”. Conceitos importantes para se gerar um movimento de caminhada eficaz. (VIEIRA, J; STOPPA, 2011)

### **2.2\_ Fonte de energia usada**

O dispositivo que irá fornecer energia para que o protótipo realize movimento, será uma “mola” de corda, que inicialmente irá exercer energia armazenada potencialmente elástica. A energia potencial elástica contida na corda, será transformada em movimento, do qual esta, será transmitida de forma integrada para todos os pontos principais das articulações do robô.

A energia potencial elástica de um sistema pode ser entendida como a energia armazenada na mola deformada (que é comprimida ou distendida de sua posição de equilíbrio, que é zero sempre que a mola não está deformada ( $x=0$ )). A energia é armazenada na mola apenas quando esta é distendida ou comprimida. Como a energia potencial elástica é proporcional a  $x^2$ , vemos que  $U$  é sempre positivo em uma mola deformada (SERWAY; JEWETT. 2010, p.181).

Logo, a energia potencial elástica associada a um sistema é definida por:

$$U = \frac{1}{2} \times K \times x^2$$

Onde  $U$  é a energia armazenada e  $K$  é a constante elástica da mola e,  $x^2$  é a deformação da mola.

A utilização do modelo proposto como fonte de energia empregado sendo o potencial elástico, foi de suma importância para que o protótipo se locomova de forma satisfatória quanto ao torque, velocidade e trabalho exercido em sua locomoção.

### **2.3 Transformação de movimento**

Consiste em fazer passar um movimento de um determinado mecanismo para outro. A transmissão de movimento pode fazer-se de várias maneiras: - por contato entre duas rodas; - por roldanas; - por correias de transmissão; - por correntes; - por rodas dentadas. A transmissão de movimento é necessária que uma roda seja condutora e a outra conduzida. Os mecanismos de transmissão permitem aumentar ou reduzir a velocidade e inverter o sentido ou a direção do movimento. Um mecanismo que faz um movimento irar fazer outro mecanismo gerar um novo movimento, como exemplo um movimento giratório gerar um movimento linear. (COLLINS, J.A, 2006)

### 3. METODOLOGIA

Por meio de pesquisas em diversas fontes estudo de conteúdos variados e outras fontes de informação é que foi possível realizar o trabalho acadêmico integrador II. Usando métodos específicos para cada etapa, as ferramentas corretas e um cronograma para melhor administração do tempo.

#### 3.1\_Cronograma de atividades

Tabela 3- Cronograma de Atividades

Cronograma de atividades TAI II - Grupo 6 - IFMG Campos Arcos																			
		Semanas																	
#	Atividades	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
1	Decisão do tema	X	X	X	X														
2	Capacitação do software (Inventor)			X	X	X	X												
3	Estudo bibliográfico				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
4	Desenvolvimento da animação						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
5	Desenvolvimento do relatório final						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
6	Preparação para a apresentação parcial								X	X									
7	Apresentação parcial									X									
8	Elaboração do banner													X	X	X	X		
9	Preparação para a apresentação final															X	X	X	
10	Entrega do relatório final																X		
11	Apresentação final																		X
12	Apresentação do banner																		X
13	Correção do relatório final																		X
																			X

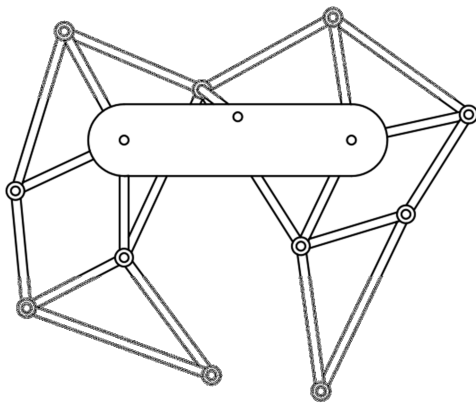
Fonte: Próprios autores.

#### 3.2\_Desenho técnico

No desenho técnico em específico de um autômato é necessário total conhecimento das dimensões de cada uma das peças, pois se uma delas estiver fora do tamanho específico, irá prejudicar no movimento de todo o conjunto. Em seguida que for feito o desenho no CAD é possível ter uma noção de como seria visualmente o autômato finalizado.



Figura-5:Esboço não finalizado



Fonte: Próprios autores

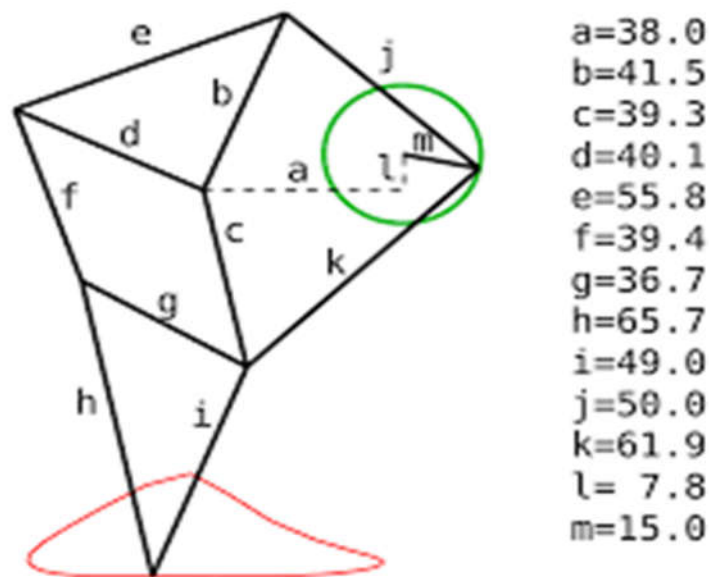
### **3.3\_Fonte de energia do autômato**

Como fonte de energia pode ser usado tanto uma mola que manterá parte da energia armazenada e assim mantendo o movimento por mais algum ou alguns ciclos pois o sistema de um autômato não é conservativo, ou um motor elétrico ligado diretamente na manivela ou eixo principal.

### **3.4\_Dimensões do robô quadrúpede**

A dimensão de cada parte da perna segue uma determinada medida para que haja o melhor funcionamento do conjunto e assim imitar o movimento de um ser quadrúpede.

Figura 6- Sistema com medidas



Fonte: Proprios autores.

### 3.5\_Transformação e transmissão de energia em movimento

A energia que vamos usar do tipo de corda, esse sistema e usado muito em relógios mecânicos, que inicialmente irá exercer energia armazenada potencialmente elástica em uma mola, que aciona uma máquina nem sempre produz o movimento apropriado ao trabalho que se deseja realizar. Para receber essa energia e necessário que uma força seja feita, sendo circular linear, para haver o armazenamento de energia. Quando isso ocorre, torna-se necessário empregar mecanismos de transformação de movimento. Para uma boa execução do trabalho, que a peça ou ferramenta esteja animada de movimento adequado e que sua velocidade seja conveniente ao trabalho a ser executado.

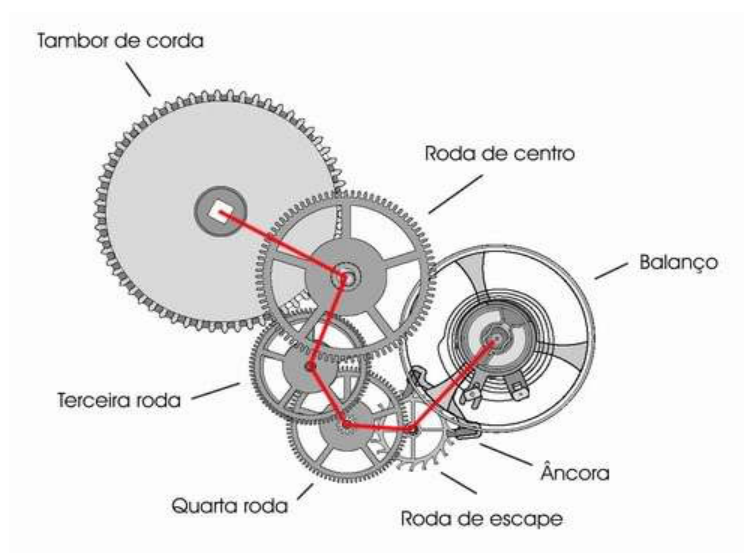
A corda é composta por uma mola em espiral em torno de um eixo que, quando enrolada, armazena energia que tentará liberar para retornar à sua forma original, a característica elástica do material com o qual é fabricada e por um tambor que converte esta energia em rotação. O eixo no centro do tambor é chamado de árvore. O tambor de corda é aonde fica a

mola de corda. Uma extremidade da mola é presa na parede interna do tambor e outra extremidade é fixada na árvore. Dando corda no relógio, a mola se enrola ainda mais, gerando uma tensão cuja liberação é exatamente a energia motriz do relógio. Um eixo e um pinhão ligado nas engrenagens, que permite o movimento desejado.

Movimento em máquinas é necessário diferenciar as expressões transmissão de movimento passagem de movimento de um órgão da máquina para outro órgão da mesma máquina, podendo ou não haver alteração na velocidade.

Há transformação de movimento quando o tipo do movimento sofre alterações num mecanismo de transmissão pode perde sua eficiência, se tiver engrenagens nos lugares errados pode alterar o sentido de movimento e a velocidade do robô.

Figura 7 – Mecanismo de transformação de energia



Fonte: <http://www.relogiosdepulso.net/mecanicos/funcionamento-dos-relogios-mecanicos/#.XAXQTWhKjIU>

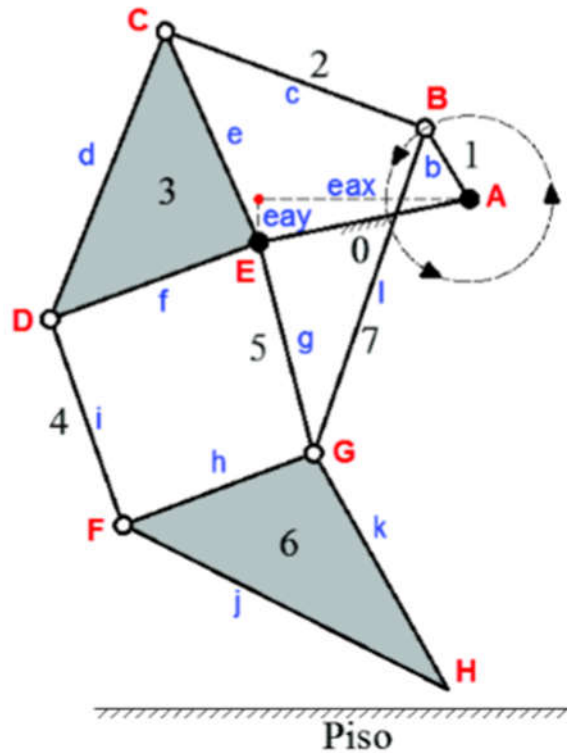
### **Mecanismo de Theo Jansen.**

Theo Jansen inventou um mecanismo com várias pernas que se movia de acordo com a direção do vento, dado o nome de “Strandbeest” criado em 2007.

Ele queria criar um mecanismo que se movia com o vento, ele criou vários projetos um com rodas outros com velas e aerodinâmicas diferenciadas, porem o que mais apropriou com suas condições foi o Strandbeest, juntando sua aerodinâmica com a areia da praia

molhada teria mais estabilidade e suas patas não tinha chances de atolar e nem ficar paradas com as irregularidades da areia.

**Figura 8: Descrição do mecanismo de Theo James**



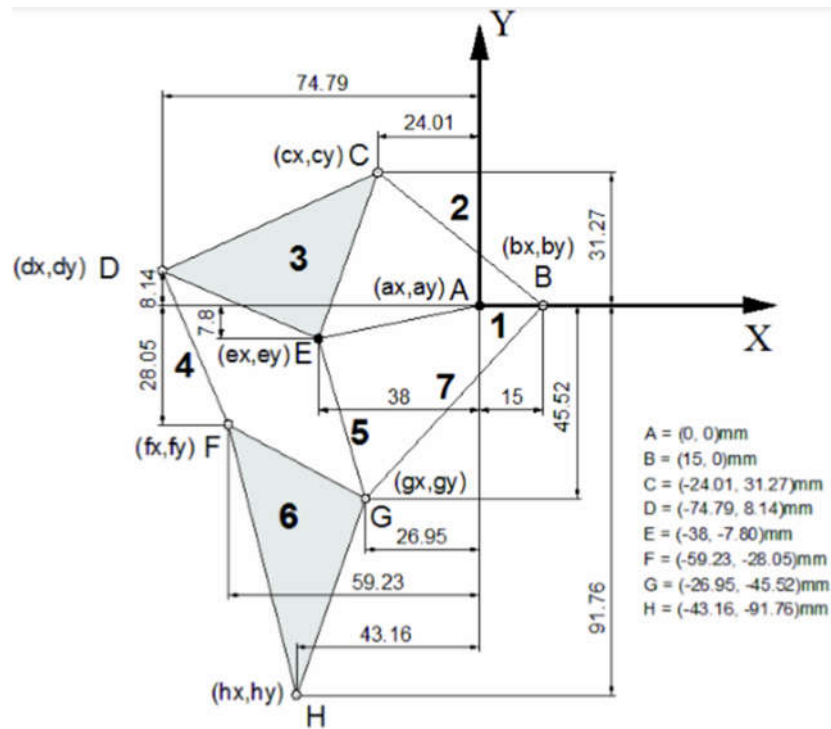
Fonte: < <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19785/1/CD-9194.pdf> >

Seu movimento começa no ponto A e termina no ponto H que é seu pé. Assim conseguindo visualizar melhor seus vetores. O mecanismo tem 7 ligações moveis, quatro juntas completas.

$$\begin{aligned} \overline{AB} &= b = 15\text{mm}; & \overline{BC} &= c = 50\text{mm}; \\ \overline{CD} &= d = 55,8\text{mm}; \overline{CE} = e = 41,5\text{mm}; \overline{DE} = f = 40,1\text{mm}; \\ \overline{DF} &= i = 39,4\text{mm}; & \overline{EG} &= g = 39,3\text{mm}; \\ \overline{FG} &= h = 36,7\text{mm}; \overline{FH} = j = 65,7\text{mm}; \overline{GH} = k = 49,0\text{mm}; \\ \overline{BG} &= l = 61,9\text{mm}; & eax &= 38\text{mm}; eay = 7,8\text{mm} \end{aligned}$$

Ele possui um único motor de manivela, constituindo em dois mecanismos de quatro barras composto de pontos.

**Figura 9: Análise gráfica de Theo Jansen**



Fonte: < <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19785/1/CD-9194.pdf> >

### Velocidade de rotação

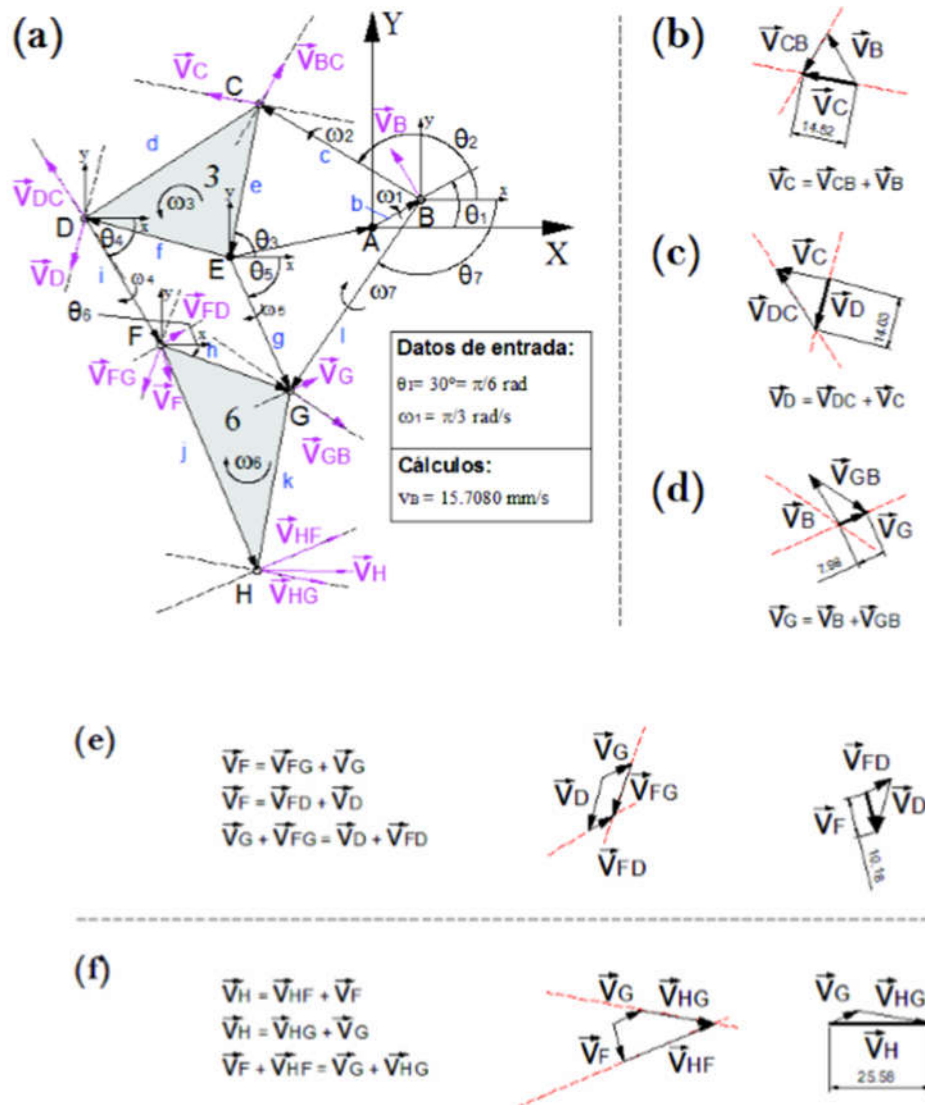
São a velocidade de dois pontos que pertencem ao mesmo corpo, com a seguinte fórmula:

$$\vec{v}_B = \vec{v}_{BA} + \vec{v}_A$$

Onde,  $V_a$  e  $V_b$  são as velocidades dos dois pontos que pertencem ao mesmo corpo, e a velocidade relativa entre estes dois pontos está no modulo da velocidade relativa é dada por  $w$  e a velocidade angular é  $r$ .

$$|\vec{V}_{AB}| = \omega \cdot r$$

Figura 10: Análise do gráfico de velocidade



Fonte: <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19785/1/CD-9194.pdf>>

Assim encontramos:

**Velocidade do ponto A:**

$$\vec{v}_A = (0\vec{i} + 0\vec{j})$$

**Velocidade do ponto B:**

$$B = \overrightarrow{P_{AB}} = b \cdot \cos \theta_1 \vec{i} + b \cdot \sin \theta_1 \vec{j}$$

$$\vec{v}_B = \frac{d(\overrightarrow{P_{AB}})}{dt} = -b \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \sin \theta_1 \vec{i} + b \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \cos \theta_1 \vec{j}$$

$$\vec{v}_B = b \cdot \omega_1 \cdot (-\sin \theta_1 \vec{i} + \cos \theta_1 \vec{j})$$

**Velocidade do ponto C:**

$$C = \overrightarrow{P_{AB}} + \overrightarrow{P_{BC}} = b \cdot \cos \theta_1 \vec{i} + b \cdot \sin \theta_1 \vec{j} + c \cdot \cos \theta_2 \vec{i} + c \cdot \sin \theta_2 \vec{j}$$

$$\vec{v}_C = \frac{d(\overrightarrow{P_{AB}})}{dt} + \frac{d(\overrightarrow{P_{BC}})}{dt}$$

$$= -b \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \sin \theta_1 \vec{i} + b \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \cos \theta_1 \vec{j} - c \cdot \frac{d\theta_2}{dt} \cdot \sin \theta_2 \vec{i} + c \cdot \frac{d\theta_2}{dt} \cdot \cos \theta_2 \vec{j}$$

$$\vec{v}_C = b \cdot \omega_1 \cdot (-\sin \theta_1 \vec{i} + \cos \theta_1 \vec{j}) + c \cdot \omega_2 \cdot (-\sin \theta_2 \vec{i} + \cos \theta_2 \vec{j})$$

**Velocidade do ponto D:**

$$D = -\overrightarrow{P_{EA}} + \overrightarrow{P_{ED}} = -e \cos \theta_3 \vec{i} - e \sin \theta_3 \vec{j} + f \cdot \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + f \cdot \sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{j}$$

$$\vec{v}_D = -\frac{d(\overrightarrow{P_{EA}})}{dt} + \frac{d(\overrightarrow{P_{ED}})}{dt} = -f \cdot \frac{d\theta_3}{dt} \cdot \sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + f \cdot \frac{d\theta_3}{dt} \cdot \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{j}$$

$$\vec{v}_D = f \cdot \omega_3 \cdot [-\sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{j}]$$

**Velocidade do ponto E:**

$$\vec{v}_E = (0 \vec{i} + 0 \vec{j})$$

**Velocidade do ponto F:**

$$\begin{aligned}
\vec{F} &= -\vec{P}_{EA} + \vec{P}_{ED} + \vec{P}_{DF} \\
&= -e a x \vec{i} - e a y \vec{j} + f \cdot \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + f \cdot \sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{j} + l \cdot \cos \theta_4 \vec{i} - l \\
&\quad \cdot \sin \theta_4 \vec{j} \\
\vec{v}_F &= -\frac{d(\vec{P}_{EA})}{dt} + \frac{d(\vec{P}_{ED})}{dt} + \frac{d(\vec{P}_{DF})}{dt} \\
&= -f \cdot \frac{d\theta_3}{dt} \cdot \sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + f \cdot \frac{d\theta_3}{dt} \cdot \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{j} - l \cdot \frac{d\theta_4}{dt} \cdot \sin \theta_4 \vec{i} - l \cdot \frac{d\theta_4}{dt} \\
&\quad \cdot \cos \theta_4 \vec{j} \\
\vec{v}_F &= f \cdot \omega_3 \cdot [-\sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{j}] - l \cdot \omega_4 \cdot (\sin \theta_4 \vec{i} + \cos \theta_4 \vec{j})
\end{aligned}$$

**Velocidade do ponto G:**

$$\begin{aligned}
\vec{G} &= \vec{P}_{AB} + \vec{P}_{BG} = b \cdot \cos \theta_1 \vec{i} + b \cdot \sin \theta_1 \vec{j} + l \cdot \cos \theta_7 \vec{i} - l \cdot \sin \theta_7 \vec{j} \\
\vec{v}_G &= \frac{d(\vec{P}_{AB})}{dt} + \frac{d(\vec{P}_{BG})}{dt} \\
&= -b \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \sin \theta_1 \vec{i} + b \cdot \frac{d\theta_1}{dt} \cdot \cos \theta_1 \vec{j} - l \cdot \frac{d\theta_7}{dt} \cdot \sin \theta_7 \vec{i} - l \cdot \frac{d\theta_7}{dt} \cdot \cos \theta_7 \vec{j} \\
\vec{v}_G &= b \cdot \omega_1 \cdot (-\sin \theta_1 \vec{i} + \cos \theta_1 \vec{j}) - l \cdot \omega_7 \cdot (\sin \theta_7 \vec{i} + \cos \theta_7 \vec{j})
\end{aligned}$$

**Velocidade do ponto H:**

$$\begin{aligned}
\vec{H} &= -\vec{P}_{EA} + \vec{P}_{ED} + \vec{P}_{DF} + \vec{P}_{FH} \\
&= -e a x \vec{i} - e a y \vec{j} + f \cdot \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + f \cdot \sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{j} + l \cdot \cos \theta_4 \vec{i} - l \\
&\quad \cdot \sin \theta_4 \vec{j} + j \cdot \cos(\theta_6 + \beta_2) \vec{i} - j \cdot \sin(\theta_6 + \beta_2) \vec{j} \\
\vec{v}_H &= -\frac{d(\vec{P}_{EA})}{dt} + \frac{d(\vec{P}_{ED})}{dt} + \frac{d(\vec{P}_{DF})}{dt} + \frac{d(\vec{P}_{FH})}{dt}
\end{aligned}$$



$$= -f \cdot \frac{d\theta_3}{dt} \cdot \sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + f \cdot \frac{d\theta_3}{dt} \cdot \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{j} - i \cdot \frac{d\theta_4}{dt} \cdot \sin \theta_4 \vec{i} - i \cdot \frac{d\theta_4}{dt} \cdot \cos \theta_4 \vec{j} - j \cdot \frac{d\theta_6}{dt} \cdot \sin(\theta_6 + \beta_2) \vec{i} - j \cdot \frac{d\theta_6}{dt} \cdot \cos(\theta_6 + \beta_2) \vec{j}$$

$$\vec{v}_H = f \cdot \omega_3 \cdot [-\sin(\theta_3 + \beta_1) \vec{i} + \cos(\theta_3 + \beta_1) \vec{j}] - i \cdot \omega_4 \cdot (\sin \theta_4 \vec{i} + \cos \theta_4 \vec{j}) - j \cdot \omega_6 \cdot [\sin(\theta_6 + \beta_2) \vec{i} + \cos(\theta_6 + \beta_2) \vec{j}]$$

### Aceleração:

**Aceleração de um ponto rígido é dada pela formula:**

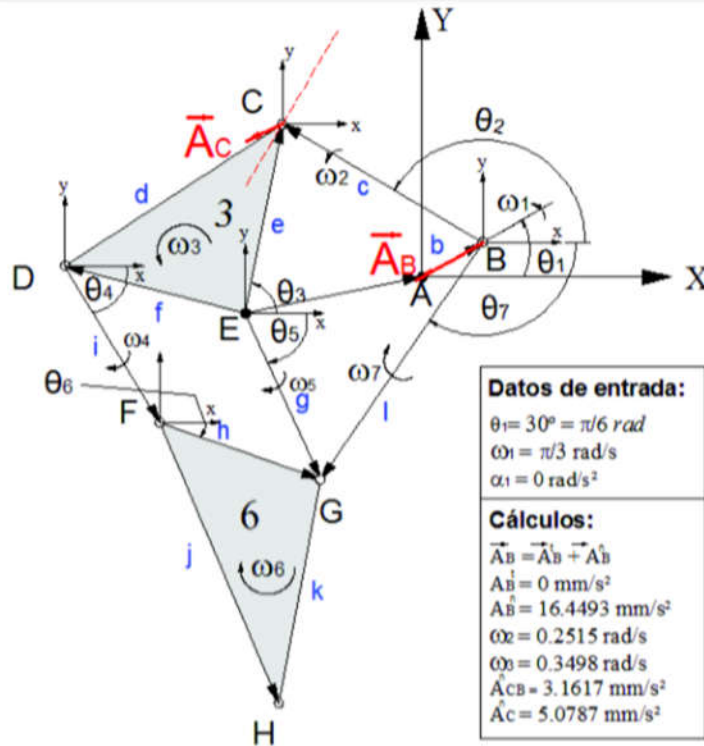
$$\vec{A}_A = \vec{A}_{BA} + \vec{A}_B$$

Onde são as velocidades relativa entre dois pontos que pertencem ao mesmo corpo, e aa é a velocidade relativa entre estes dois pontos. Cada aceleração linear consiste na soma do vetor e da aceleração tangencial e centrípeta. Módulos destes componentes são determinadas pela aceleração.

$$|\vec{A}^t| = \alpha \cdot r$$

$$|\vec{A}^n| = \omega^2 \cdot r$$

**Figura 11: Análise do gráfico de aceleração**



Fonte: < <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19785/1/CD-9194.pdf> >

### 3.6 Sistema não conservativo de energia

Para o caso do autômato o não há como manter toda energia no sistema, pois nele haverá atrito com a superfície na qual irá andar, e em cada nó oque dificultará sua movimentação. Outra coisa a se considerar é o material tanto do autômato quanto do terreno para saber melhor quanto da energia é perdida por ciclo. Tentando assim mantê-lo em movimento pelo maior tempo possível.

### 3.7 Aceleração e velocidade do robô

Usando a lei de hooke onde tem várias forças interagindo, e tal caracterização é um trabalho de caráter experimental. Entre essas forças que se interagem as forças “mais notáveis” são as forças elásticas, forças que são exercidas por sistemas elásticos quando sofrem deformação. Devido a tal motivo, é interessante ter uma ideia do comportamento mecânico presente nos sistemas elásticos. Essas deformações podem ser de diversos tipos:

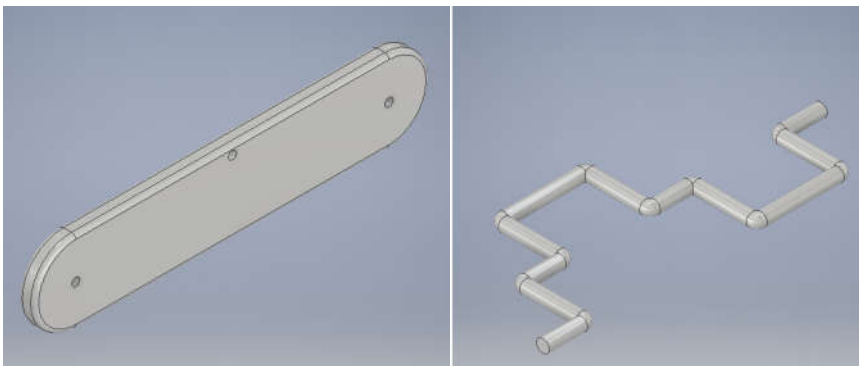
- Compressão
- Distensão
- Flexão
- Torção, dentre outros.

### 3.8\_Modelagem das peças em 3D no software Inventor

Foi feita a modelagem de cada peça de uma das pernas logo em seguida usando o recurso espelhar para criar duplicatas simétricas às originais.

Figura 13- Base fixa

Figura 14 –Manivela.

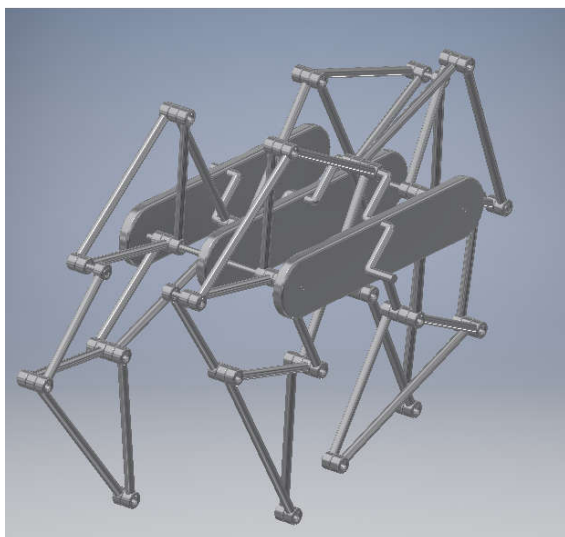


Fonte próprios autores

### 3.9\_Montagem do robô autômato software Inventor

Juntou-se cada peça feita por meio de restrição que definem o tipo de movimento que o objeto irá exercer no caso cada parte da perna.

Figura 15- Modelo 3D finalizado



Fonte: Próprios autores

#### **4. Considerações finais**

De acordo com os argumentos supracitados, pesquisas realizadas e estudos do movimento, neste projeto foi possível perceber a grande importância que os autômatos exerce na sociedade. Concomitantemente, no desenvolvimento de novos dispositivos robóticos para diversos setores que a sociedade demanda, como dispositivos biomecânicos, robôs eletrônicos domésticos, brinquedos, setores automobilísticos, automação de sistemas, aviação e etc.

Após a projeção e animação do autômato quadrúpede ser realizada e concluída no software Inventor, todos os cálculos foram determinados e o sistema obteve transformação de movimento, do Circular uniforme para o linear, como o esperado.

É importante salientar que projeto foi de grande importância para os estudantes do grupo. Estes, aprimoraram as relações interpessoais, assemelhando o trabalho em equipe ao mundo do trabalho do qual futuramente farão parte, e, principalmente, colocaram em prática os conhecimentos específicos das matérias aprendidas em sala de aula do segundo semestre do curso de engenharia mecânica. O desenvolvimento de todo o projeto fomentou criatividade e aprimoramento do intelecto de cada um, além do visível amadurecimento a compromissos, prazos para entrega de atividades e convivência em grupo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIEIRA, J; STOPPA, M. H. *Uma Introdução ao Projeto e Desenvolvimento de Robôs Autômatos que Caminham*. 2011. 15f. Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2011.

COLLINS, J.A. Projeto mecânico de elementos de maquinas. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

Jansen, T. (s. f.). STRANDBEEST. Recuperado 20 de fevereiro de 2018, a partir de <http://www.strandbeest.com/>

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19785/1/CD-9194.pdf>>

<http://www.relogiosdepulso.net/mecanicos/funcionamento-dos-relogios-mecanicos/#.XAXQTWhKjIU>

## 6. APÊNDICE

Tabela 4: Variáveis e unidades

Variável	Símbolo	Unidade no SI
Força	F	newtons (N)
Comprimento	l	metros
Tempo	t	Segundos (s)
Massa	m	quilogramas (kg)
Peso	W	newtons (N)
Velocidade	v	m/s
Aceleração	a	m/s <sup>2</sup>
Pulso	j	m/s <sup>3</sup>
Ângulo	$\theta$	graus (°)
Ângulo	$\theta$	radianos (rad)
Velocidade angular	$\omega$	rad/s
Aceleração angular	$\alpha$	rad/s <sup>2</sup>
Pulso angular	$\varphi$	rad/s <sup>3</sup>
Torque	T	N.m
Momento de inércia de massa	I	N.m.s <sup>2</sup>
Energia	E	joules (J)
Potência	P	watts (W)
Volume	V	m <sup>3</sup>
Peso específico	$\gamma$	N/m <sup>3</sup>