

# Pesagem de peças e recálculo dos torques sofridos pelas juntas do braço robô

Por Amaro Duarte de Paula Neto

# Introdução

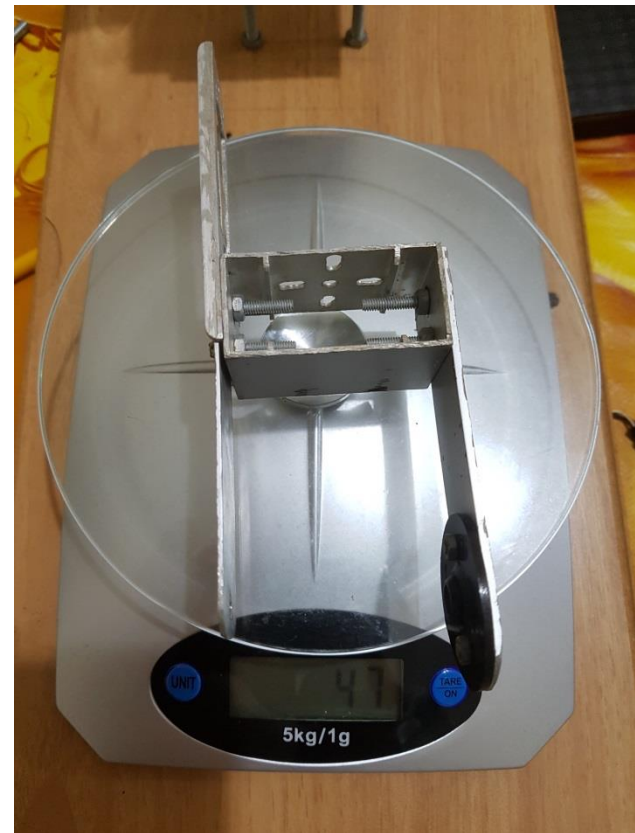
- Nesta análise, mostraremos as pesagens realizadas com as partes do braço robô, levando em conta, inclusive, os pesos dos parafusos utilizados na montagem dos segmentos e fixação dos motores, e dos cabos de extensão dos servomotores.
- Com base nas pesagens, é feito um recálculo dos motores seguindo a mesma sequência utilizada nos cálculos realizados no projeto inicial do braço robô.

# Pesagens das peças na balança

**Segmento L1 (com parafusos)**



**Segmento L1 (sem parafusos)**



# Pesagens das peças na balança

**Parafusos dos servos (segmento L1)**



**Parafuso de fixação (segmento L1)**



# Pesagens das peças na balança

**Peso do parafuso com porca e arruela**



- Parafusos exercem mais torque sobre a junta 1 quanto mais próximos estiverem da garra.



# Pesagens das peças na balança

**Segmento L2 (com parafusos do servo da junta 3)**

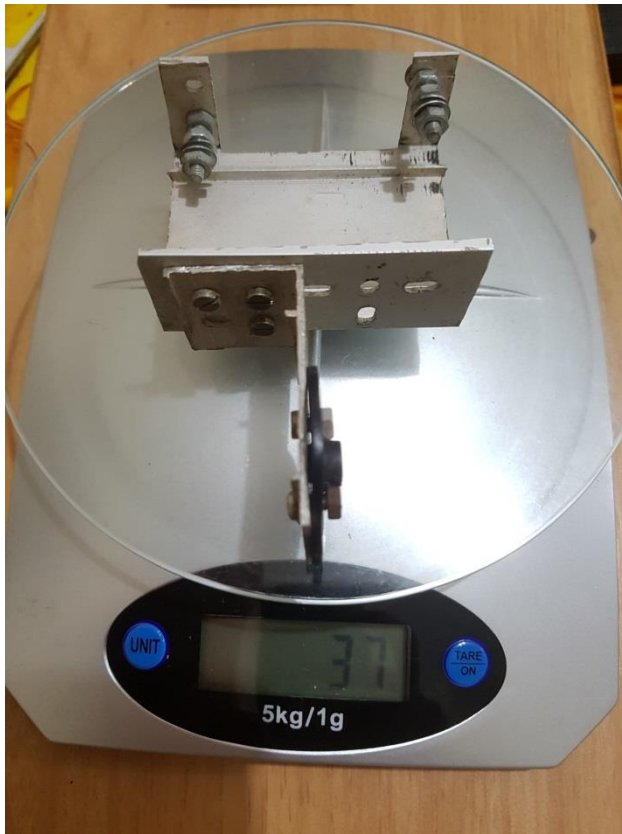
**Segmento L2  
(sem os parafusos)**



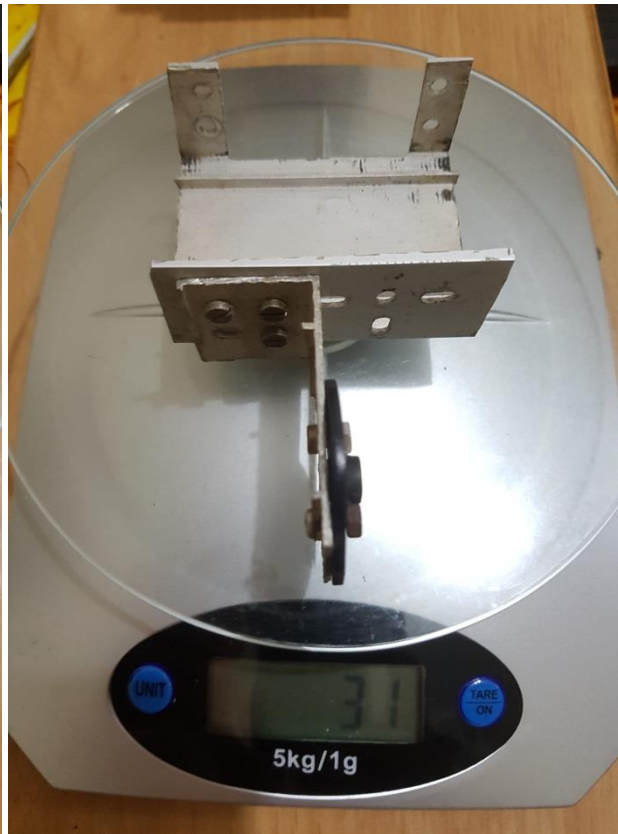


# Pesagens das peças na balança

**Segmento L3 (com  
parafusos de fixação  
do servo da junta 4)**



**Segmento L3 (sem  
parafusos)**



**Parafusos de fixação do  
servo da junta 4**



# Pesagens das peças na balança

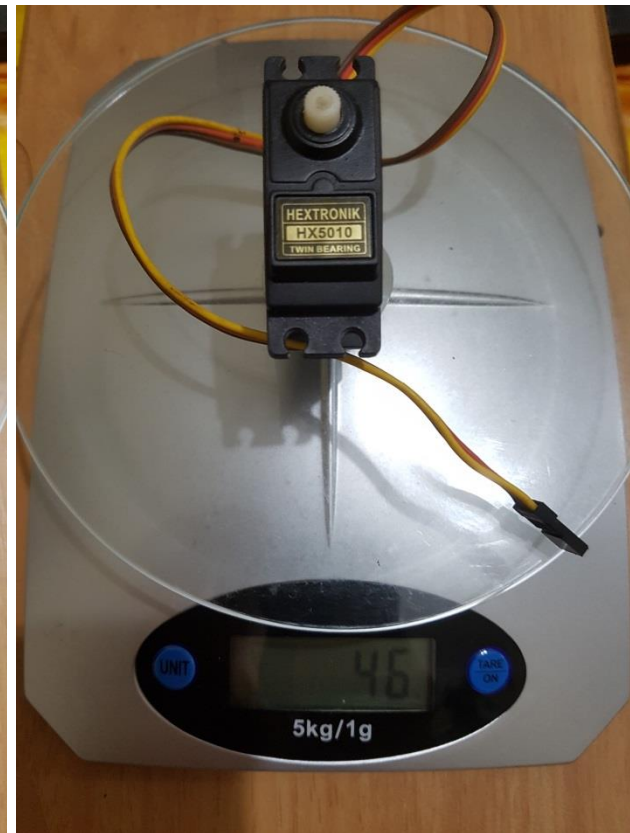
Servo junta 1



Servo junta 2



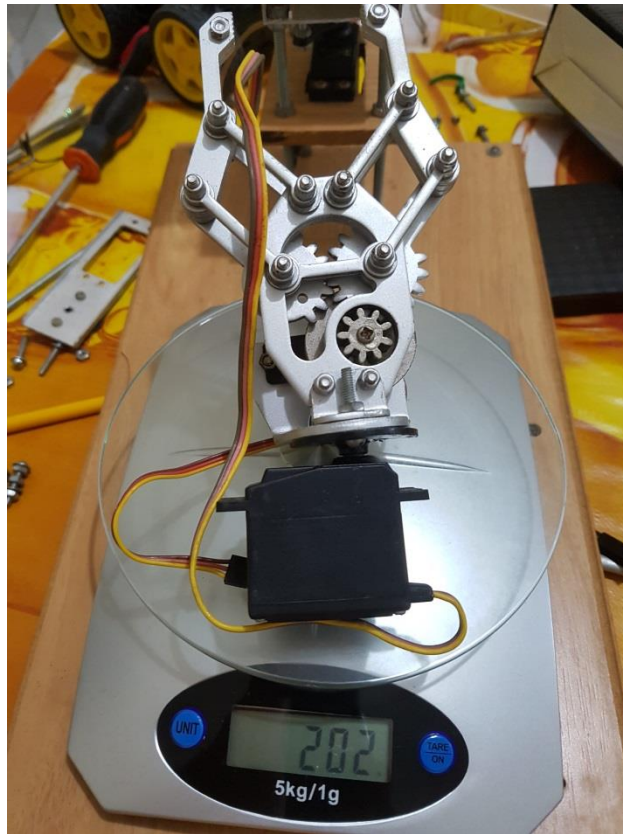
Servo junta 3





# Pesagens das peças na balança

## Garra MK2 + servo da junta 4

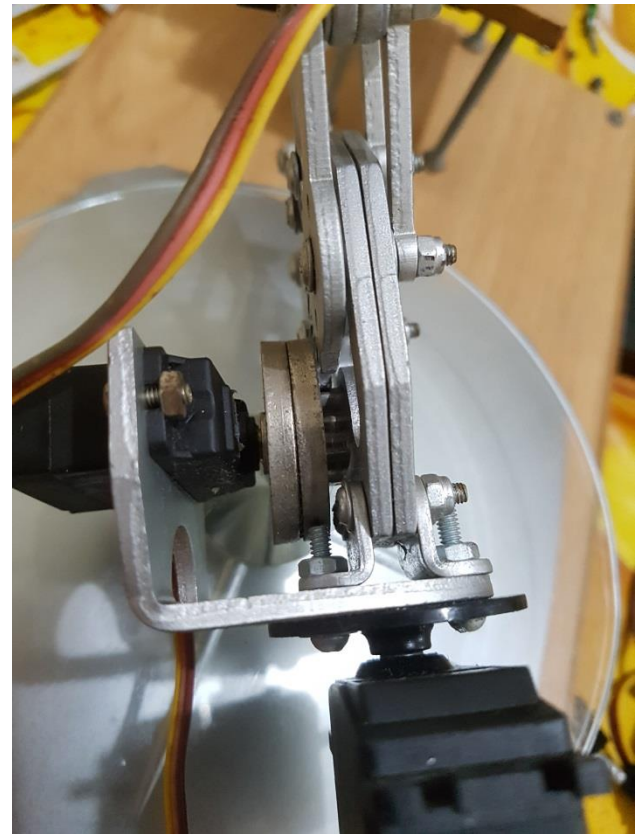


# Detalhamento da Garra + servo J4

**Servo HX5010 da junta 4**



**Parafusos de fixação do disco do servo da junta 4 à garra**

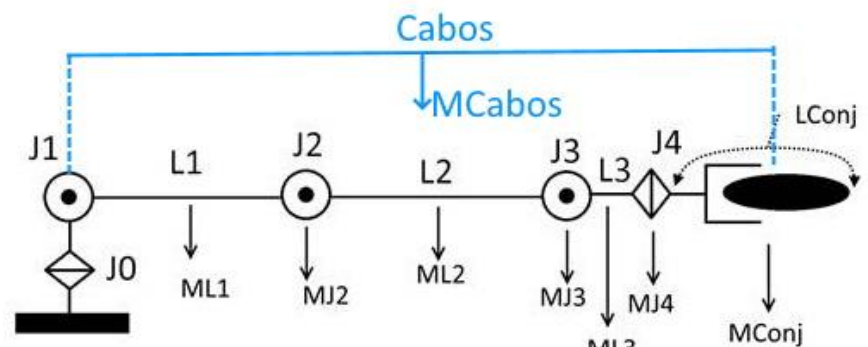


# Pesagens das peças na balança

## Cabos de extensão dos servomotores



- O cabo de extensão dos servomotores será encarado, no recálculo dos torques sofridos, como uma barra uniforme que se estende desde a junta 1 até o centro de massa do conjunto garra+objeto.



# Pesos calculados X Pesos da balança

## Segmentos

	Calculado	Pesado
L1	66g	53g
L2	33g	17g
L3	46g	37g
Garra (estimado c/ servo)	85g	156g
Garra (com servo) + servo J4	124g	202g

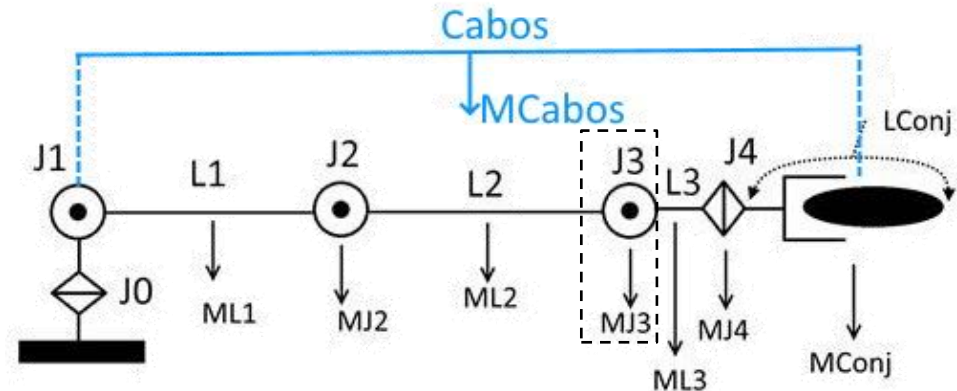
## Servos (com seus respectivos cabos)

	Pesquisado	Pesado
J1	75g	70g
J2	55g	62g
J3	39g	46g
J4 (estimado)	39g	46g

Cabos de extensão dos servos (pesado): 25g

Parafuso rosca máquina (com arruela e porca): 2g

# Recálculo dos torques sofridos com base nas pesagens



- Torque sofrido pela junta 3

$$MConj = 156g + 50g = 206g \text{ (garra+servo+objeto)}$$

$$L3 = 8,15cm \text{ (do primeiro cálculo)}$$

$$ML3 = 37g$$

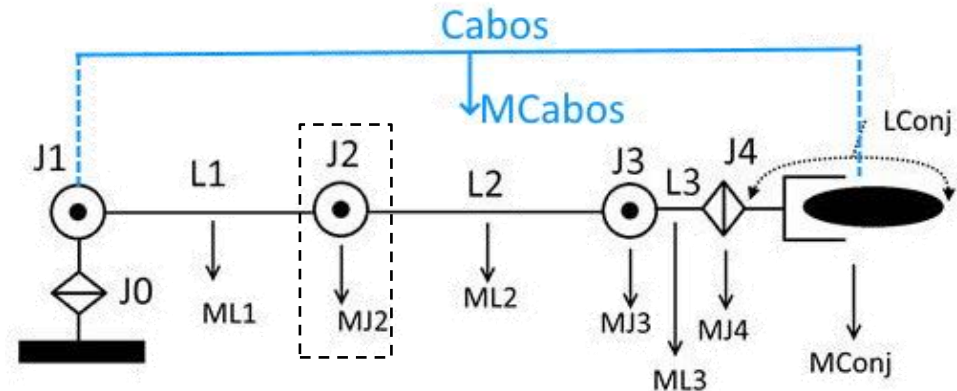
$$TJ3 = ML3 \cdot \frac{L3}{2} + MJ4 \cdot L3 + MConj \cdot \left( L3 + \frac{LConj}{2} \right)$$

$$TJ3 = 4,3Kg.cm \quad \text{Primeiro cálculo: } 3,0Kg.cm$$

Servo HX5010: Torque  $TM3 = 6,9Kg.cm$  e  $MJ3 = 46g$  (pesado)



# Recálculo dos torques sofridos com base nas pesagens



- Torque sofrido pela junta 2

$$MJ3 = 46g$$

$$L2 = 5,8cm \text{ (do primeiro cálculo)}$$

$$ML2 = 17g$$

$$TJ2 = ML2 \cdot \frac{L2}{2} + MJ3 \cdot L2 + ML3 \cdot \left( L2 + \frac{L3}{2} \right) + MJ4 \cdot (L2 + L3) + MConj \cdot \left( L2 + L3 + \frac{LConj}{2} \right)$$

$$\boxed{TJ2 = 6,3Kg.cm} \quad \text{Cálculo anterior: } 4,6Kg.cm$$

Servo HX12K: Torque  $TM2 = 10Kg.cm$  e  $MJ2 = 62g$  (pesado)

# Recálculo dos torques sofridos com base nas pesagens

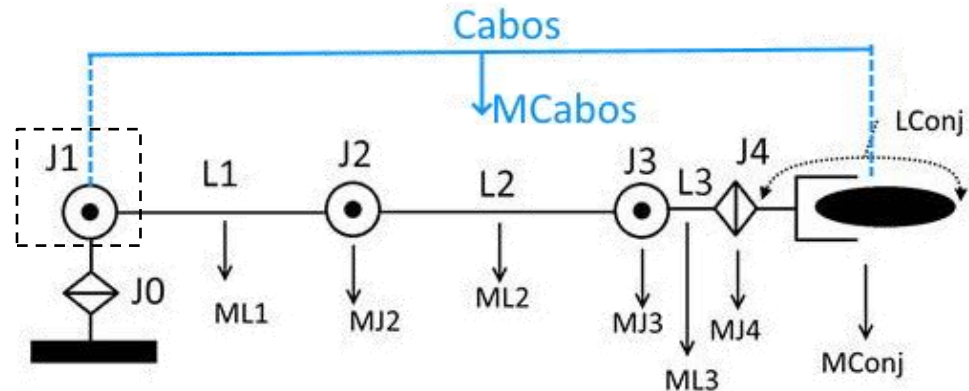
- Torque sofrido pela junta 1

$$MJ2 = 62g$$

$$L1 = 11,7cm \text{ (do primeiro cálculo)}$$

$$ML1 = 53g$$

$$MCabos = 25g$$



$$\begin{aligned}
 TJ1 = & ML1 \cdot \frac{L1}{2} + MJ2 \cdot L1 + ML2 \cdot \left( L1 + \frac{L2}{2} \right) + MJ3 \cdot (L1 + L2) \\
 & + ML3 \cdot \left( L1 + L2 + \frac{L3}{2} \right) + MJ4 \cdot (L1 + L2 + L3) \\
 & + MConj \cdot \left( L1 + L2 + L3 + \frac{LConj}{2} \right) \\
 & + MCabos \cdot \frac{\left( L1 + L2 + L3 + \frac{LConj}{2} \right)}{2}
 \end{aligned}$$

$$TJ1 = 11,86Kg.cm \quad \text{Cálculo anterior: } 8,99Kg.cm$$

$$\text{Servo TGY-MG959: Torque TM1} = 11,95Kg.cm \text{ (4,8V)}$$

# Conclusão (segmentos)

- Pesos dos segmentos na balança, mesmo com os parafusos, são mais leves que o calculado no projeto. No final das contas, isso se deve ao corte das peças de alumínio terem resultado em peças com menor densidade que o tubo de alumínio, mesmo com a inclusão dos parafusos.

# Conclusão (garra)

- Peso da garra (incluindo o servo) na balança é mais pesado que o calculado. Isso pode se dever à não inclusão dos pesos:
  - do cabo do servo;
  - dos parafusos de fixação do servo na garra;
  - da embreagem de amortecimento da garra (peça que evita que haja transferência total de torque/força entre o servo e os dedos da garra, a fim de evitar danos ao servo);
  - da engrenagem da embreagem;
  - do parafuso de fixação da engrenagem da embreagem ao eixo do servo.

# Conclusão (pesos dos servos)

- Pesos dos servos das juntas 2, 3 e 4 deram maiores que os informados nos sites de compra dos mesmos. Isso se deve ao fato do peso informado não incluir o cabo.
- Se estimarmos os pesos dos cabos dos servos das juntas 2, 3 e 4 com base na pesagem e no valor informado, dá 7g para cada servo.
- O servo da junta 1, que foi comprado em uma loja de aeromodelos, tem peso mais leve que o informado na loja. Provavelmente, o peso informado seja juntamente com os parafusos e a cruzeta (ou o braço, ou o disco) a fixar no servo.



# Conclusão geral

- Os torques resultantes de cada junta são os seguintes:
- $TR3 = TM3 - TJ3 = 6,9Kg.cm - 4,3Kg.cm = 2,6Kg.cm$
- $TR2 = TM2 - TJ2 = 10Kg.cm - 6,3Kg.cm = 3,7Kg.cm$
- $TR1 = TM1 - TJ1 = 11,95Kg.cm - 11,86Kg.cm = 0,09Kg.cm$
- A junta 1 tem dificuldades para erguer o braço robô da posição horizontal para a vertical porquê o torque resultante é muito reduzido, de forma que o servomotor TGY-MG959 não consegue iniciar o movimento de erguer o braço robô da posição horizontal para a vertical.
- Dependendo de quanto tempo o servo da junta 1 exerce esforço, é possível que o torque resultante possa, até mesmo, se tornar negativo.
- Existe, também, a possibilidade do servo da junta 1 não ter só um torque de stall, mas sim uma faixa de torques de stall, que pode ir de 9,48Kg.cm a 11,95Kg.cm, pois, mesmo sem segurar objeto, o braço robô não conseguia sair da posição horizontal.