



## IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO UTILIZANDO O MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Thamiris Lima Costa, [thamiriscosta@hotmail.com](mailto:thamiriscosta@hotmail.com)<sup>1</sup>

Fabian Andres Lara-Molina, [fabianmolina@utfpr.edu.br](mailto:fabianmolina@utfpr.edu.br)<sup>1</sup>

Victor Bolzon, [victor\\_bolzon@hotmail.com](mailto:victor_bolzon@hotmail.com)<sup>1</sup>

Edson Hideki Koroishi, [edsonh@utfpr.edu.br](mailto:edsonh@utfpr.edu.br)<sup>1</sup>

Daniel Almeida Colombo, [danielcolombo@alunos.utfpr.edu.br](mailto:danielcolombo@alunos.utfpr.edu.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Cornélio Procópio, Av. Alberto Carazzi, 1640, Cornélio Procópio, PR, 86300-000, Brasil.

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é identificar parâmetros de um manipulador robótico com dois graus de liberdade utilizando o Método dos Mínimos Quadrados. Os parâmetros a serem identificados são as massas, os atritos viscosos e os atritos de Coulomb de cada junta. Primeiramente, o manipulador robótico é modelado utilizando a formulação de Lagrange e, então, é gerada uma trajetória pseudo-aleatória para o modelo dinâmico do manipulador, a fim de obter valores experimentais. A partir destes valores, o Método dos Mínimos Quadrados é utilizado para a identificação dos parâmetros. Por fim, analisando os resultados obtidos, verifica-se a efetividade da utilização deste método para a identificação de parâmetros dinâmicos.

**Palavras-chave:** Manipulador robótico, Identificação de Parâmetros, Método dos Mínimos Quadrados.

### 1. INTRODUÇÃO

Manipuladores robóticos possuem várias aplicações em diversas áreas, tais como processos de manufatura, exploração espacial, entre outras. Como em suas aplicações o manipulador realiza movimentos específicos, é importante formular leis de controle que permitam o desenvolvimento adequado de suas respectivas funções (Andres Lara-Molina, 2014). Porém, para que estas leis de controle atuem de forma satisfatória, é importante que o modelo dinâmico do manipulador seja confiável e preciso. No entanto, situações como imprecisão dos equipamentos de medições ou existência de parâmetros não mensuráveis podem afetar a confiabilidade do modelo dinâmico. Desta forma, propõe-se a utilização de métodos de identificação de parâmetros, com a finalidade de obter parâmetros precisos que tornem o modelo dinâmico confiável.

Existem diversos trabalhos desenvolvidos na área de identificação de parâmetros, tais como (Albán, 2004), (Avila, 2008), (Romano, 2010) e (Souza, 2010).

O escopo deste trabalho é aplicar métodos numéricos para a identificação de parâmetros de um manipulador robótico com dois graus de liberdade baseado no método dos mínimos quadrados. Primeiramente, realiza-se a modelagem dinâmica do manipulador e em seguida foi realizada a identificação dos parâmetros de massa, atrito viscoso e atrito de Coulomb de cada junta do manipulador. Por fim, verifica-se que o método utilizado para a identificação de parâmetros mostrou resultados satisfatórios, confirmando sua viabilidade.

Este trabalho está organizado em cinco seções, sendo que a seção 2 discorre sobre o manipulador robótico estudado e sobre seu modelo dinâmico. A seção 3 apresenta o Método dos Mínimos Quadrados para a identificação dos parâmetros. A seção 4 apresenta os resultados obtidos e apresenta uma análise destes. Por fim, a seção 5 discorre sobre a conclusão do trabalho.

### 2. MANIPULADOR ROBÓTICO

Neste trabalho foi utilizado um manipulador robótico com dois graus de liberdade, como mostra a Fig. 1.

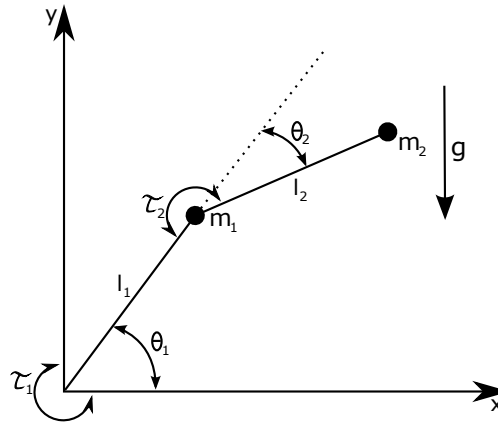


Figura 1: Manipulador Robótico Planar de dois graus de liberdade.

Sendo  $g$  a aceleração da gravidade,  $l_i$  e  $m_i$  são o comprimento e massa do elo  $i$ , respectivamente,  $\theta_i$  e  $\tau_i$  são os ângulos e torques das juntas  $i$  rotacionais, respectivamente.

A dinâmica do manipulador foi modelada por meio da formulação de Lagrange. Esta formulação baseia-se na energia do manipulador. Então, primeiramente, considerou-se a energia cinética do sistema, que é expressa pela Eq. (1).

$$k_i = \frac{1}{2} m_i v_i^2 + \frac{1}{2} I_i \omega_i^2 \quad (1)$$

Sendo  $k_i$  a energia cinética do elo  $i$ ,  $v_i$  a velocidade linear no elo  $i$ ,  $I_i$  o momento de inércia do elo  $i$  e  $\omega_i$  a velocidade angular da junta  $i$ .

A energia cinética total do manipulador é o somatório da energia cinética de cada junta, como mostra a Eq. (2).

$$k = \sum_{i=1}^n k_i \quad (2)$$

Sendo  $n$  o número total de juntas.

Visto que as velocidades linear e angular são funções da posição  $\theta$  e da velocidade  $\dot{\theta}$ , então a equação da energia cinética pode ser expressa como uma fórmula escalar  $k(\theta, \dot{\theta})$ .

Em seguida, considerou-se a energia potencial do sistema, cuja fórmula é apresentada na Eq. (3).

$$u_i = m_i g P_{C_i} \quad (3)$$

Sendo  $u_i$  a energia potencial do elo  $i$  e  $P_{C_i}$  o vetor que define a posição do centro de massa de elo  $i$ .

A energia potencial total do manipulador também é dada pelo somatório da energia potencial de cada junta. A Eq. (4) apresenta este somatório.

$$u = \sum_{i=1}^n u_i \quad (4)$$

Posto que o vetor  $P_{C_i}$  é função da posição  $\theta$ , então a energia potencial pode ser expressa como uma fórmula escalar  $u(\theta)$ . A formulação dinâmica de Lagrange consiste na diferença entre a energia cinética e a energia potencial, como mostra a Eq. (5).

$$L(\theta, \dot{\theta}) = k(\theta, \dot{\theta}) - u(\theta) \quad (5)$$

Com base na Eq. (5) é possível obter a equação do movimento do manipulador através de sua derivada, que está representada na Eq. (6).

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau \quad (6)$$

Entretanto, estas equações dinâmicas não compreendem os atritos nas juntas. Então, com a finalidade de se obter um modelo próximo do real, serão considerados dois tipos de forças de atrito, o viscoso e o de Coulomb. O atrito viscoso gera uma relação de proporcionalidade entre o torque e a velocidade da junta em movimento. A Eq. (7) apresenta a equação do atrito viscoso.

$$\tau_{atrito_i} = v_i \dot{\theta}_i \quad (7)$$

Sendo  $i$  a junta em movimento,  $v_i$  a constante do atrito viscoso da junta  $i$  e  $\dot{\theta}_i$  a velocidade da junta  $i$ . O atrito de Coulomb é expresso pela Eq. (8).

$$\tau_{atrito_i} = c_i \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_i) \quad (8)$$

Sendo  $i$  a junta em movimento,  $c_i$  a constante de Coulomb da junta  $i$  e  $\dot{\theta}_i$  a velocidade da junta  $i$  (Craig, 2012). Logo, a força de atrito total é dada pela Eq. (9).

$$\tau_{atrito_i} = v_i \dot{\theta}_i + c_i \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_i) \quad (9)$$

Considerando que em muitos manipuladores o atrito nas juntas também depende da posição desta (Craig, 2012), podendo-se escrever a força de atrito total como:

$$\tau_{atrito_i} = f(\theta, \dot{\theta}) \quad (10)$$

Por fim, reescrevendo a equação do movimento do manipulador, Eq. (6), e considerando as forças de atrito, Eq. (10), obtém-se o modelo dinâmico, como mostra a Eq. (11).

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + F(\theta, \dot{\theta}) \quad (11)$$

Sendo  $M(\theta)$  a matriz  $(n \times n)$  de massa do manipulador,  $V(\theta, \dot{\theta})$  o vetor  $(n \times 1)$  das forças inerciais e de Coriolis,  $G(\theta)$  o vetor  $(n \times 1)$  da gravidade e  $F(\theta, \dot{\theta})$  o vetor  $(n \times 1)$  das forças de atritos viscoso e de Coulomb.

Entretanto, o modelo dinâmico direto é expresso pela Eq. (12), cuja entrada é o torque e a saída é a aceleração.

$$\ddot{\theta} = M^{-1}(\theta)[\tau - V(\theta, \dot{\theta}) - G(\theta) - F(\theta, \dot{\theta})] \quad (12)$$

As matrizes  $M(\theta)$ ,  $V(\theta, \dot{\theta})$ ,  $G(\theta)$  e  $F(\theta, \dot{\theta})$  para o manipulador robótico com dois graus de liberdade estudado neste trabalho, estão apresentadas nas Eq. (13), (14), (15) e (16), respectivamente.

$$M(\theta) = \begin{bmatrix} (m_1 + m_2)l_1^2 + m_2l_2^2 + 2m_2l_1l_2\cos(\theta_2) & m_2l_2^2 + m_2l_1l_2\cos(\theta_2) \\ m_2l_2^2 + m_2l_1l_2\cos(\theta_2) & m_2l_2^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$V(\theta, \dot{\theta}) = \begin{bmatrix} -m_2l_1l_2(2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2)\sin(\theta_2) \\ m_2l_1l_2\dot{\theta}_1^2\sin(\theta_2) \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$G(\theta) = \begin{bmatrix} (m_1 + m_2)gl_1\cos(\theta_1) + m_2gl_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \\ m_2gl_2\cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$F(\theta, \dot{\theta}) = \begin{bmatrix} v_1\dot{\theta}_1 + d_1\operatorname{sign}(\dot{\theta}_1) \\ v_2\dot{\theta}_2 + d_2\operatorname{sign}(\dot{\theta}_2) \end{bmatrix} \quad (16)$$

A Tab. 1 apresenta os valores dos parâmetros do manipulador adotados nas simulações numéricas do modelo dinâmico, este conjunto de parâmetros foi adotado de estudos anteriores apresentados por (Lara-Molina *et al.*, 2014).

Tabela 1: Parâmetros do manipulador robótico.

| JUNTA 1   |       | JUNTA 2   |       |
|-----------|-------|-----------|-------|
| Parâmetro | Valor | Parâmetro | Valor |
| $l_1$     | 0,25  | $l_2$     | 0,25  |
| $m_1$     | 0,25  | $m_2$     | 0,25  |
| $d_1$     | 1,00  | $d_2$     | 1,00  |
| $v_1$     | 1,00  | $v_2$     | 1,00  |

### 3. IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS

Os parâmetros a serem identificados do modelo dinâmico do manipulador robótico são as massas e os atritos viscosos e de Coulomb de cada junta. Para isto, será utilizado o Método dos Mínimos Quadrados (Aguirre, 2007). Como este método é realizado a partir de valores experimentais, primeiramente serão obtidos estes valores através de simulação computacional, para que, posteriormente, seja possível realizar a identificação destes parâmetros.

#### 3.1 Método dos Mínimos Quadrados

Reescrevendo o modelo dinâmico inverso, Eq. (11), como uma combinação linear dos parâmetros a serem identificados, obtém-se a Eq. (17).

$$\tau = W\hat{X} \quad (17)$$

Sendo  $p$  a quantidade dos parâmetros a serem identificados,  $\hat{X}$  é o vetor ( $p \times 1$ ) dos parâmetros desconhecidos, como mostra a Eq. (18), e  $W$  é a matriz de observação ( $n \times p$ ), como apresenta a Eq. (19).

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ d_1 \\ v_1 \\ d_2 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} & w_{16} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} & w_{26} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Os coeficientes da matriz  $W$  estão apresentados na Eq. (20).

$$\begin{aligned} w_{11} &= l_1^2 \ddot{\theta}_1 + gl_1 \cos(\theta_1) \\ w_{12} &= (l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos(\theta_2)) \ddot{\theta}_1 + \\ &\quad (l_2^2 + l_1 l_2 \cos(\theta_2)) \ddot{\theta}_2 + l_1 l_2 (2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) \sin(\theta_2) + \\ &\quad gl_1 \cos(\theta_1) + gl_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ w_{13} &= \operatorname{sgn}(\theta_1) \\ w_{14} &= \dot{\theta}_1 \\ w_{15} &= 0 \\ w_{16} &= 0 \\ w_{21} &= 0 \\ w_{22} &= (l_2^2 + l_1 l_2 \cos(\theta_2)) \ddot{\theta}_1 + l_2^2 \ddot{\theta}_2 + l_1 l_2 \dot{\theta}_1^2 \sin(\theta_2) + gl_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ w_{23} &= 0 \\ w_{24} &= 0 \\ w_{25} &= \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_2) \\ w_{26} &= \dot{\theta}_2 \end{aligned} \quad (20)$$

No entanto, para considerar todas as medições, é preciso concatená-las na matriz de observação  $W$ . Desta forma obtém-se uma matriz de observação de ordem  $((n \cdot N_e) \times p)$ , como mostra Eq. (21).

$$Y = W(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta})\hat{X} + \rho \quad (21)$$

Sendo  $Y$  o vetor  $((n \cdot N_e) \times 1)$  das medições do torque,  $W$  a matriz  $((n \cdot N_e) \times p)$  de observação,  $\rho$  o vetor  $((n \cdot N_e) \times 1)$  do erro das medições e erro do modelo.

É possível realizar manipulações matemáticas na Eq. (21), com a finalidade de obter uma solução para a estimação dos parâmetros desconhecidos. Esta solução é apresentada na Eq. (22).

$$\hat{X} = (W^T W)^{-1} W^T Y \quad (22)$$

Após a identificação dos parâmetros desconhecidos, realiza-se o cálculo da variância do erro da estimativa, que é dada pela Eq. (23).

$$\sigma^2 = \frac{1}{r-p} \sum_{k=0}^r (y(k) - \hat{y}(k))^2 \quad (23)$$

Sendo  $\sigma^2$  a variância,  $r$  a quantidade total de observações  $(n \cdot N_e)$ .

Desta forma, calcula-se a matriz de variância-covariância do erro da estimativa, como mostra a Eq. (24).

$$C = \sigma^2 (W^T W)^{-1} \quad (24)$$

O elemento  $C_{ii}$  da matriz de variancia-covariância corresponde à variância  $\sigma_i^2$  do parâmetro  $i$  identificado. A Eq. (25) mostra o cálculo da porcentagem do desvio padrão relativo ao parâmetro  $i$ .

$$\sigma_i(\%) = \frac{\sigma_i}{\hat{X}_i} 100 \quad (25)$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, foram obtidos os valores experimentais. Para isto, gerou-se uma trajetória a fim de obter o torque nas juntas do manipulador. Em seguida, este torque foi utilizado para a simulação do robô. A Fig. 2 apresenta o diagrama de blocos de como foi realizado este procedimento.

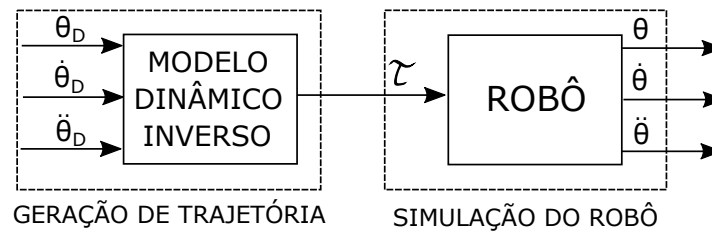


Figura 2: Diagrama de blocos.

Sendo  $\theta_D$  a posição desejada e  $\dot{\theta}_D$ ,  $\ddot{\theta}_D$  suas primeira e segunda derivadas, respectivamente.

A trajetória utilizada para a excitação do sistema foi uma função senoidal pseudoaleatória, de forma a garantir a continuidade da primeira e segunda derivada. As Eq. (26) e (27) apresentam as funções da posição, velocidade e aceleração das juntas 1 e 2, respectivamente.

$$\begin{aligned} \theta_1 &= A_1 \frac{\theta_{max}}{2} \cos(a_1 w_1 t) + A_2 \frac{\theta_{max}}{2} \cos(a_2 w_2 t) \\ \dot{\theta}_1 &= -A_1 \frac{\theta_{max}}{2} a_1 w_1 \sin(a_1 w_1 t) - A_2 \frac{\theta_{max}}{2} a_2 w_2 \sin(a_2 w_2 t) \\ \ddot{\theta}_1 &= -A_1 \frac{\theta_{max}}{2} a_1^2 w_1^2 \cos(a_1 w_1 t) - A_2 \frac{\theta_{max}}{2} a_2^2 w_2^2 \cos(a_2 w_2 t) \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned}
\theta_2 &= B_1 \frac{\theta_{max}}{2} \cos(b_1 w_1 t) + B_2 \frac{\theta_{max}}{2} \cos(b_2 w_2 t) \\
\dot{\theta}_2 &= -B_1 \frac{\theta_{max}}{2} b_1 w_1 \sin(b_1 w_1 t) - B_2 \frac{\theta_{max}}{2} b_2 w_2 \sin(b_2 w_2 t) \\
\ddot{\theta}_2 &= -B_1 \frac{\theta_{max}}{2} b_1^2 w_1^2 \cos(b_1 w_1 t) - B_2 \frac{\theta_{max}}{2} b_2^2 w_2^2 \cos(b_2 w_2 t)
\end{aligned} \tag{27}$$

Sendo as frequências angulares  $w_1 = 25\text{rad/s}$  e  $w_2 = 15\text{rad/s}$ . E  $\theta_{max}$  representa o valor máximo da posição do manipulador, cujo valor é  $180^\circ$  devido às suas singularidades. A Tab. 2 apresenta os valores dos outros parâmetros da trajetória.

Tabela 2: Parâmetros da Trajetória.

| JUNTA 1   |       | JUNTA 2   |       |
|-----------|-------|-----------|-------|
| Parâmetro | Valor | Parâmetro | Valor |
| $A_1$     | 0,200 | $B_1$     | 0,600 |
| $A_2$     | 1,700 | $B_2$     | 1,300 |
| $a_1$     | 1,000 | $b_1$     | 0,400 |
| $a_2$     | 0,019 | $b_2$     | 0,010 |

Substituindo os valores da Tab. 2 nas Eq. (26) e (27), obtém-se as trajetórias das juntas do manipulador. A Fig. 3 apresenta a posição da junta 2 ( $\theta_2$ ) em função da posição da junta 1 ( $\theta_1$ ).

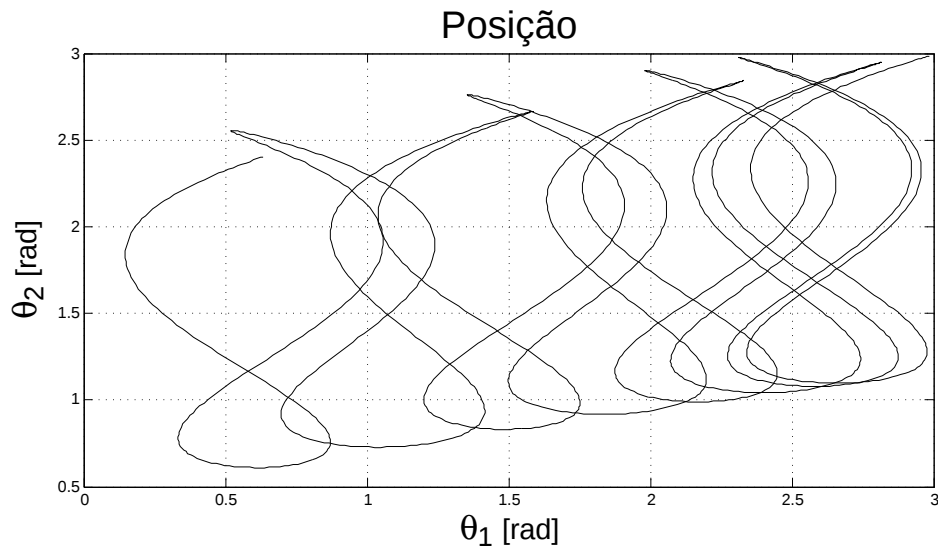


Figura 3: Posição das juntas do manipulador robótico.

A Fig. (4) mostra a velocidade das juntas 1 e 2 em função do tempo.

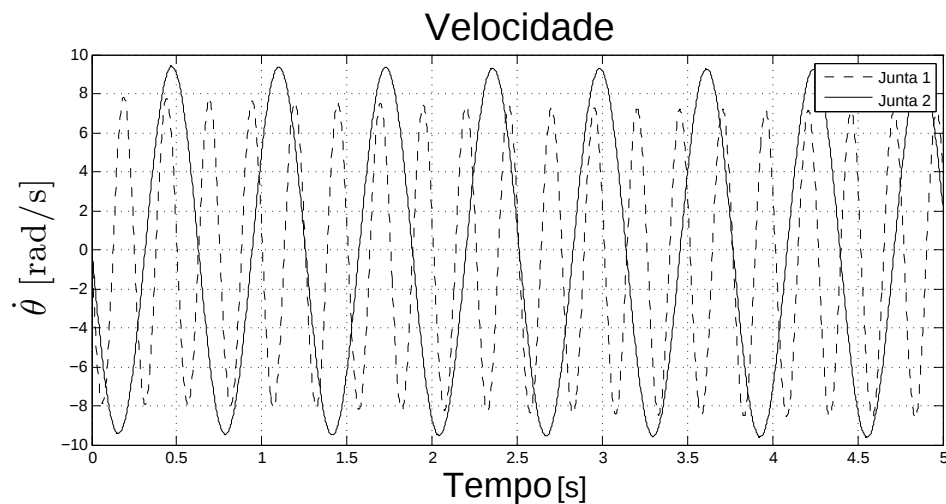


Figura 4: Velocidade das juntas do manipulador robótico.

A Fig. (5) mostra a aceleração das juntas 1 e 2 em função do tempo.

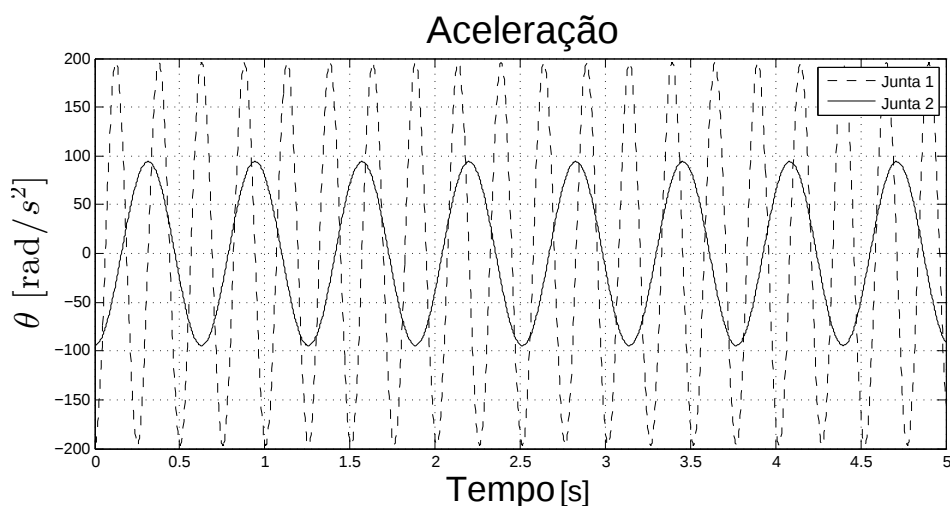


Figura 5: Aceleração das juntas do manipulador robótico.

Durante a simulação, também foi considerado um ruído branco na velocidade do manipulador. As Fig. 6 e 7 apresentam os gráficos da posição e da velocidade na presença do ruído, respectivamente.

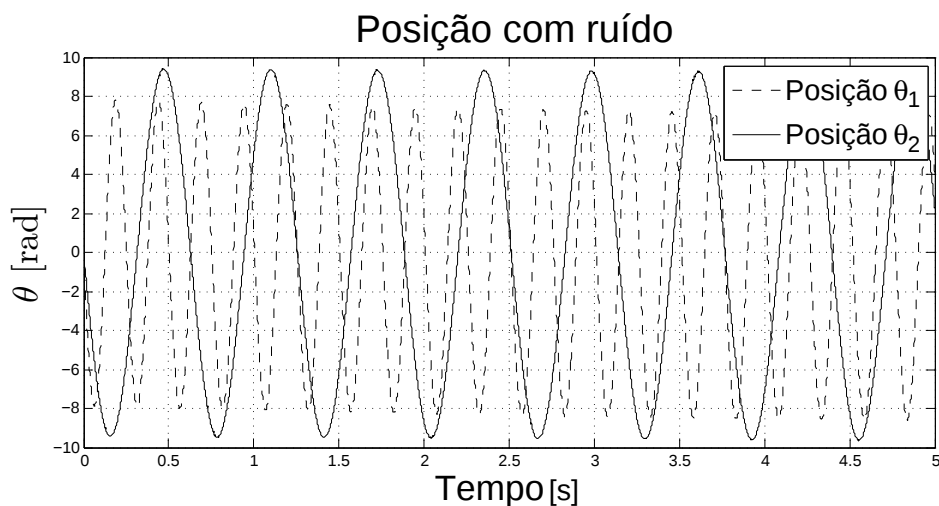


Figura 6: Posição com ruído.

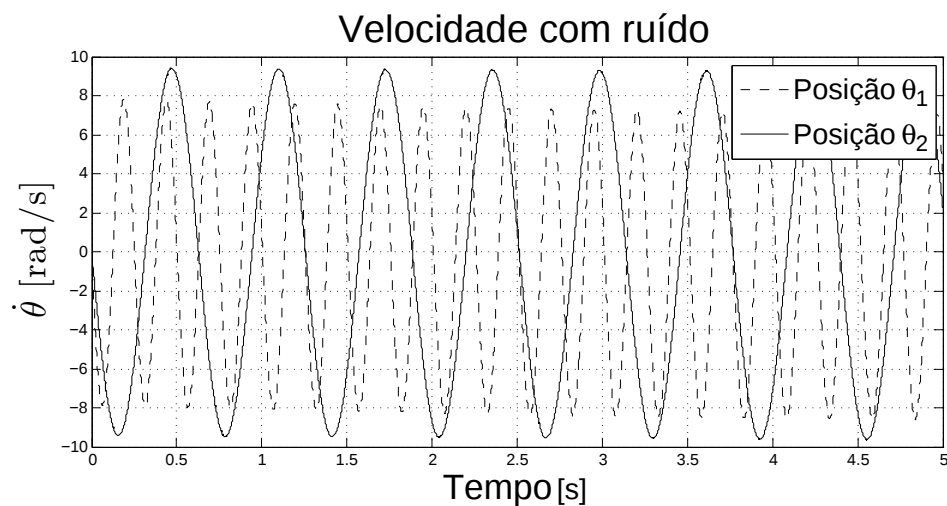


Figura 7: Velocidade com ruído.

A simulação dos modelos dinâmicos do manipulador foi realizada no software Matlab/Simulink. Após estas simulações, foram obtidas  $N_e$  observações por articulação, isto é, a quantidade de valores experimentais. Portanto, a partir dos valores do torque, da aceleração, da velocidade e da posição obtidos de cada junta, é possível realizar a identificação dos parâmetros pelo Método dos Mínimos Quadrados.

As Tab. 3 e 4 apresentam a comparação entre os parâmetros teóricos e identificados das juntas 1 e 2, respectivamente, para a trajetória mostrada anteriormente. Também é apresentado o desvio padrão percentual do parâmetro identificado.

Tabela 3: Comparação entre os parâmetros teóricos e identificados da junta 1.

| JUNTA 1    |               |                    |              |
|------------|---------------|--------------------|--------------|
| Parâmetros | Valor Teórico | Valor Identificado | $\sigma(\%)$ |
| $m_1$      | 0,2500        | 0,2504             | 0,0411       |
| $d_1$      | 1,0000        | 0,9898             | 0,0287       |
| $v_1$      | 1,0000        | 0,9938             | 0,1621       |

Tabela 4: Comparação entre os parâmetros teóricos e identificados da junta 2.

| JUNTA 2    |               |                    |              |
|------------|---------------|--------------------|--------------|
| Parâmetros | Valor Teórico | Valor Identificado | $\sigma(\%)$ |
| $m_2$      | 0,2500        | 0,2499             | 0,0183       |
| $d_2$      | 1,0000        | 1,0016             | 0,0243       |
| $v_2$      | 1,0000        | 1,0009             | 0,1634       |

Após a identificação dos parâmetros, realizou-se uma comparação entre o torque nas juntas com os valores teóricos e com os identificados. As Fig. (8) e (9) apresentam esta comparação do torque das juntas 1 e 2, respectivamente.

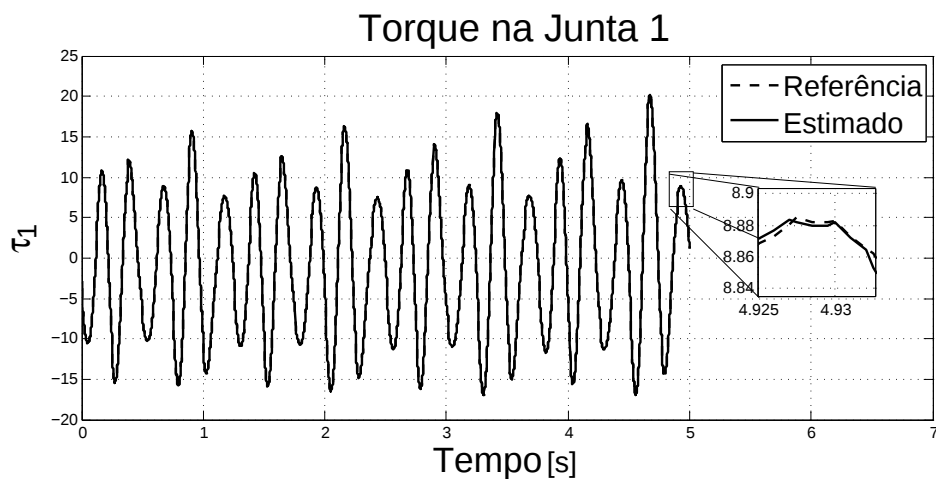


Figura 8: Torque teórico e experimental da junta 1.

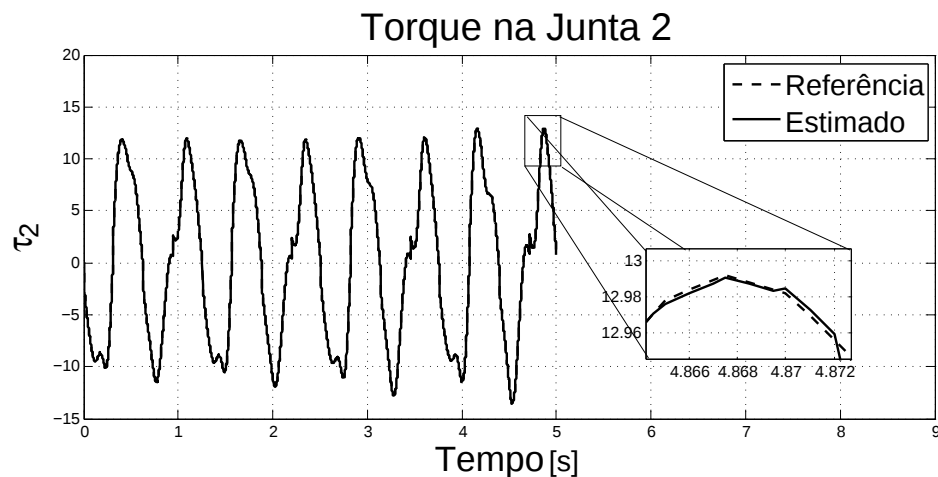


Figura 9: Torque teórico e experimental da junta 2.

Analisando as Tab. 3 e 4, pode-se verificar que, mesmo na presença do ruído branco, os parâmetros identificados ficaram bem próximos dos parâmetros teóricos, tanto para a junta 1 quanto para a junta 2. Isto também pode ser concluído verificando que os valores percentuais dos desvios padrão são pequenos.

A partir da análise dos dados, também pode-se concluir que a trajetória utilizada para a excitação do sistema foi adequada para a estimação dos parâmetros.

Observando as Fig. (8) e (9) pode-se inferir que as curvas do torque teórico e identificado praticamente se sobrepuseram, indicando que os valores identificados foram bem próximos dos valores teóricos. Pode-se acrescentar que, como a diferença entre o torque identificado e o torque teórico é pequena, pode-se utilizar uma lei de controle baseada no modelo, como o controle de torque computado.

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra a viabilidade da utilização de métodos numéricos baseados no método dos mínimos quadrados para a identificação de parâmetros, com a finalidade de solucionar problemas como imprecisão dos equipamentos de medições ou existência de parâmetros não mensuráveis. Neste trabalho foram identificados os parâmetros de massa, atrito viscoso e atrito de Coulomb de cada junta de um manipulador robótico com dois graus de liberdade.

A princípio foi realizada a modelagem dinâmica do manipulador utilizando a formulação de Lagrange, a fim de obter o modelo dinâmico direto e o modelo dinâmico inverso. Em seguida, a identificação dos parâmetros foi realizada utilizando o método dos mínimos quadrados. Como este método é realizado a partir de valores experimentais, uma trajetória para a posição, velocidade e aceleração foi gerada, para ser utilizada no modelo dinâmico inverso, a fim de obter o torque amostrado de cada junta. Por fim, este valor do torque foi utilizado no modelo dinâmico direto, para obter os valores amostrados da posição, velocidade e aceleração de cada junta. Após a obtenção dos valores experimentais, foi utilizado o Método dos Mínimos Quadrados para a identificação dos parâmetros.

Analisando o item 4, verifica-se que os parâmetros identificados eram bem próximos aos parâmetros reais, isto é, a média é bem próxima do valor identificado e o desvio padrão é pequeno. Por conseguinte, os resultados obtidos foram satisfatórios, o que confirma a viabilidade da utilização do Método dos Mínimos Quadrados para a identificação de parâmetros dinâmicos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Cornélio Procopio, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica DIRPPG e ao programa de Iniciação Científica Voluntário.

## 7. REFERÊNCIAS

- Aguirre, L.A., 2007. *Introdução à identificação de sistemas: técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais*. UFMG.
- Albán, O.A.V., 2004. *Contribution à l'identification et à la commande des robots parallèles*. Ph.D. thesis, Université Montpellier II.
- Andres Lara-Molina, Fabian, e.a., 2014. "Robust generalized predictive control of the orthoglide robot". *Industrial Robot: An international Journal* 41.3, pp. 275–285.
- Avila, J.P.J., 2008. *Modelagem e identificação de parâmetros hidrodinâmicos de um veículo robótico submarino*. Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo.

Craig, J.J., 2012. *Robótica*. Pearson Education do Brasil, 3rd edition.

Lara-Molina, F.A., Koroishi, E.H. and Steffen, V., 2014. "Uncertainty analysis of a two-link robot manipulator under fuzzy parameters." In *Robotics: SBR-LARS Robotics Symposium and Robocontrol (SBR LARS Robocontrol)*.

Romano, R.A., 2010. *Identificação de processos não-lineares e quantificação de atrito em válvulas de controle*. Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo.

Souza, L.C.A., 2010. *Contribuições ao problema de estimação de parâmetros em sistemas LPV*. Ph.D. thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.

## 8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

### IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF A ROBOTIC MANIPULATOR USING THE MINIMUM SQUARES METHOD

**Abstract:** *This work propose is identify the parameters of a robotic manipulator with two degrees of liberty using the Minimum Squares Method. The parameters to be identify are the masses, the viscous friction and the Coulomb friction of each joint. Initially, the robotic manipulator was model using the Lagrange formulation, and, then, it is generated a pseudo-random trajectory for the dynamic of the manipulator, with the objective of obtain experimental values. From these values, the Minimum Squares Method is used for the parameters identification. Ultimately, analyzing the results, it is verified the viability of using this method to identify dynamics parameters.*

**Keywords:** *Robotic Manipulator, Parameters identification, Minimum Squares Method.*