

## INFLUENCIA DA NÃO LINEARIDADE DE FOLGA NO DESEMPENHO DE UM ROBÔ SOLDADOR

FERNANDO DA FONSECA SCHNEIDER<sup>1</sup>; PAULO JEFFERSON DIAS DE OLIVEIRA EVALD<sup>2</sup>; JUSOAN LANG MÓR<sup>2</sup>; RÔMULO THIAGO SILVA DA ROSA<sup>2</sup>; DÉBORA DEBIAZE DE PAULA<sup>2</sup>; RODRIGO ZELIR AZZOLIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande – fernando.f.schneider@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande – (paulo.evald, jusan66, romulothiago, deboradebiaze)@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande – rodrigoazzolin@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria mundial tem migrado para o modo automatizado há algum tempo. Na Ford, por exemplo, desde os anos 90, observa-se a substituição dos operadores por máquinas no processo de soldagem (MARQUES, 1990). O uso de robôs se justifica através da necessidade de substituir o trabalho humano em tarefas perigosas e insalubres (MÓR et al., 2016), contudo, deve-se garantir que, quando utilizados nas tarefas designadas, eles consigam ter boas precisões com repetições (PADOIN et al., 2010).

Nesse viés, há um vasto emprego de robôs soldadores no ambiente industrial, como robôs para células de soldagem linear (KO et al., 2012), robô pulsador para soldagem MIG de ligas de Alumínio não tratáveis com calor (KÖSE et al., 2016), Tartilope V2F com seguimento de juntas (PINHEIRO, 2014), robô BUG-O-MDS system de soldagem linear modular (BUG-O SYSTEM, 2014), entre outros.

O robô BUG-O-MDS system, aqui tratado apenas por BUG-O, é constituído por dois módulos, a unidade mestre de deslocamento e o Weaver linear, responsável pela costura do cordão de solda. O BUG-O deve ser montado próximo à peça a ser soldada e, após serem selecionados os parâmetros da solda no módulo de controle, deslocar-se-á sobre um trilho paralelo a ela. A unidade mestre é responsável pela movimentação longitudinal ao longo do trilho, já o Weaver linear é encarregado pela movimentação transversal da trama utilizada para costura da solda (BUG-O SYSTEM, 2014). Na Figura 1.a é possível analisar os componentes do BUG-O.

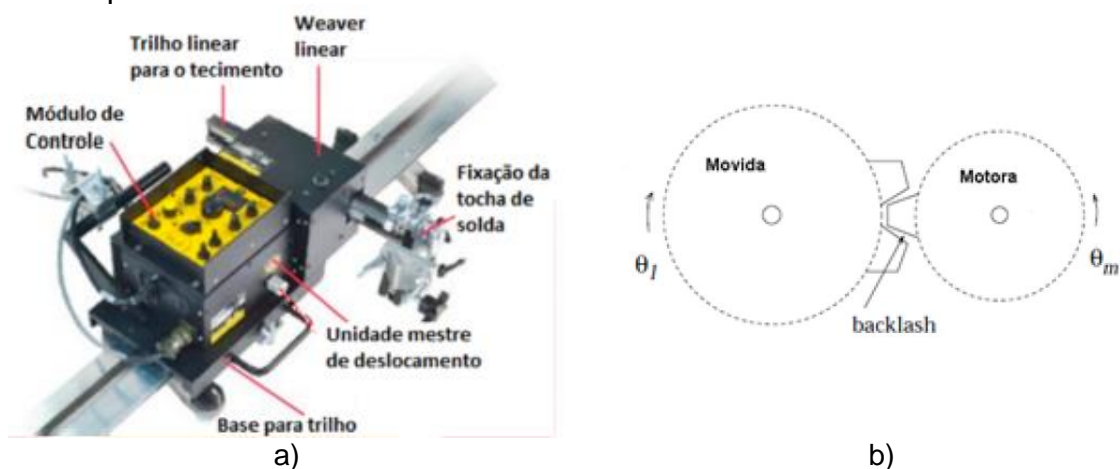


Figura 1 – a) Estrutura do BUG-O, adaptado de (BUG-O SYSTEM, 2014).  
b) Esquema backlash, adaptado de (PADOIN et al., 2010).

No trabalho de MÓR (2017) está descrita a modelagem matemática detalhada desse sistema, bem como a identificação de parâmetros e o controle de deslocamento do BUG-O. Neste trabalho citado, não foi avaliada a folga (*backslash*) presente na transmissão mecânica do trem de engrenagens. Sabe-se que entre os fatores que influenciam negativamente na precisão dos robôs, o *backslash* dificulta o desempenho de sistemas de controle (PADOIN et al., 2010), sendo esse fenômeno uma das mais importantes não linearidades que limitam o desempenho do controle de posição e velocidade. (NORDIN et al., 2002).

A seleção ótima de uma transmissão por engrenagens depende de muitos fatores, destacando-se entre eles a velocidade de entrada, folga, eficiência e custo. Em geral a transmissão de menor custo apresenta a maior folga. Logo, buscando amenizar custos, pode-se compensar o *backslash* no esquema de controle. A principal característica do *backslash* é um atraso promovido entre a ação da engrenagem motora e o recebimento dessa ação na engrenagem movida (PADOIN et al., 2010). Esse atraso é gerado devido a posição angular da engrenagem motora, como pode ser visto no esquema da Figura 1.b.

Visando analisar a influência do *backslash* no desempenho do robô BUG-O, que apresenta cremalheira com roda dentada, foi realizada a modelagem de folga de forma similar à modelagem descrita por PADOIN et al. (2010). Entretanto, em seu trabalho, esses autores avaliam as engrenagens de dentes retos, podendo gerar possíveis imprecisões nos resultados obtidos.

## 2. METODOLOGIA

Primeiramente, foi implementado o modelo desenvolvido por PADOIN et al. (2010), em ambiente *Matlab/Simulink*, conforme mostrado na Figura 3.

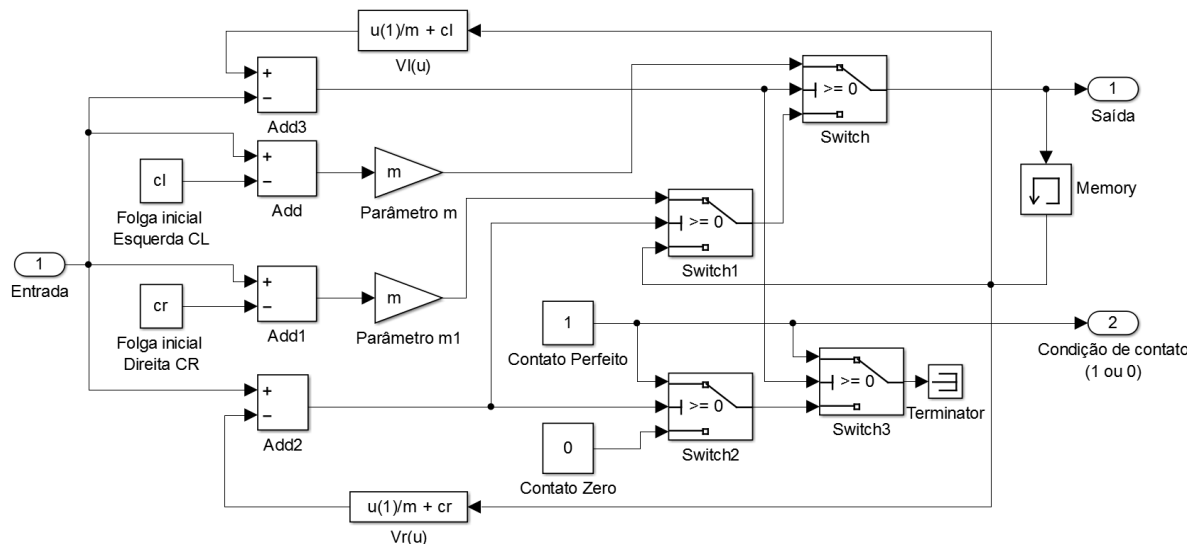


Figura 3 – Simulação do modelo de *backslash* em *Matlab/Simulink*.

Como descrito por PADOIN et al. (2010), a ação da engrenagem motora sobre outro componente gera *backslash* devido a posição angular desses perfis. No modelo descrito por MÓR (2017), o *backslash* está na transição da velocidade angular ( $W_G$ ) para velocidade linear ( $V_r$ ), ponto onde acontece o encontro da engrenagem com a cremalheira. Destaca-se há ausência de acesso a qualquer posição angular nesse local, dessa forma, houve a necessidade de aplicar um integrador (OGATA; SEVERO, 1998) após  $W_G$ , para se obter a posição angular, tornando possível o uso do subsistema do *backslash* (Figura 3). Ressalva-se

ainda, que deve-se utilizar de um derivador para a reobter a  $W_G$ , como pode ser observado na Figura 4.

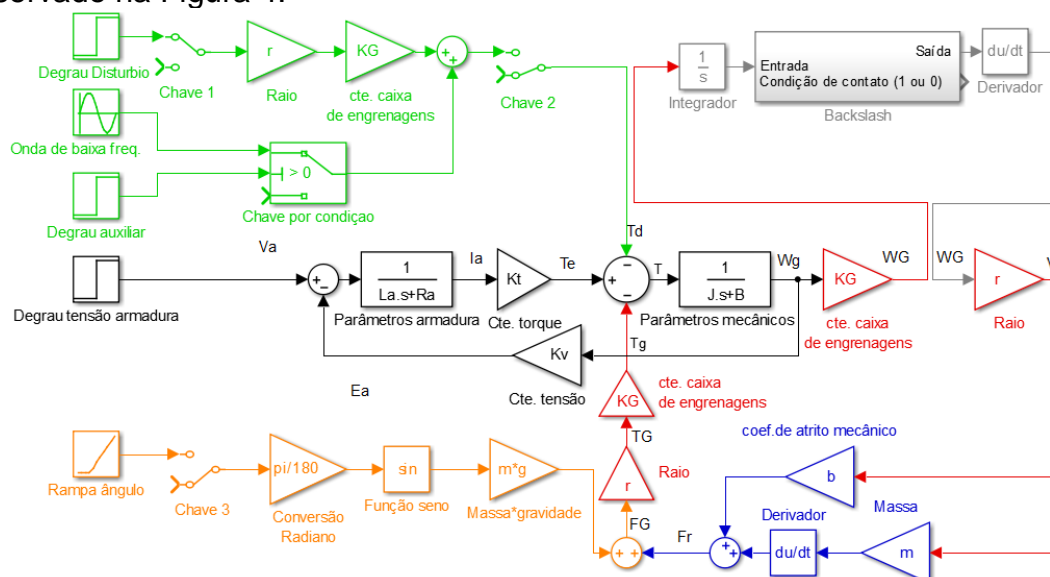


Figura 4 – Modelagem do BUG-O considerando *backslash*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5.a, nota-se um atraso na resposta gerado entre os ângulos da engrenagem motora e o trem de engrenagens, após aplicar uma tensão de 14 V e com uma folga de 2 graus. Pode-se comparar a velocidade de saída do BUG-O, com relação ao tempo, para a mesma tensão sem e com folga, analisando as Figura 5.b e Figura 5.c, respectivamente.

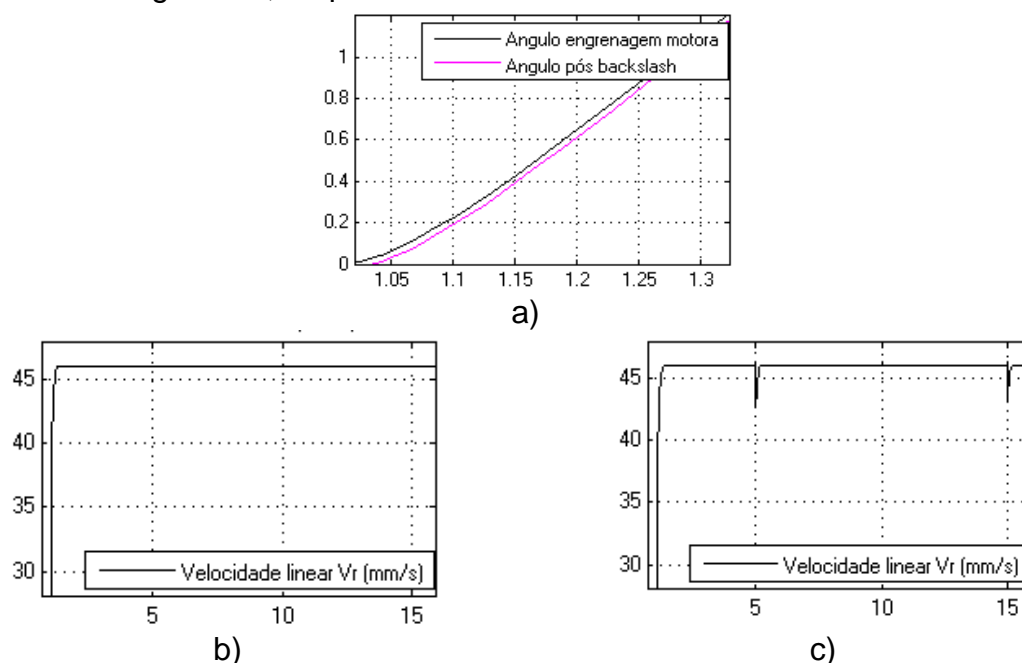


Figura 5 – a) Atraso temporal na ação da engrenagem. b) Velocidade sem *backslash*. c) Velocidade com *backslash*.

Analisando a Figura 5 é possível afirmar que o *backslash* influencia no desempenho de um robô soldador, gerando quedas de velocidade, podendo influenciar negativamente na qualidade da solda feita pelo mesmo.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi mostrado a integração de um modelo de *backslash* ao modelo de um robô de soldagem linear BUG-O. Essa dinâmica tem estudo relevante uma vez que a mesma pode denegrir o desempenho de controladores devido sua natureza não linear. O próximo passo é validar experimentalmente a contribuição realizada ao modelo já existente e validado. Para tal, pretende-se testar variações de folgas no BUG-O, avaliando suas consequências na velocidade de saída, e propor uma estratégia de controle para compensá-la.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUG-O SYSTEMS, **Instructions and parts manual: modular drive system**, Bug-O System Corp., Canonsburg, PA, 2014, pp. 1–57.

KO, Sung Hoon; KIM, Jeom Goo; MOON, Hyeong Soon. Automatic welding robot system for the horizontal position in the shipyard. In: **Control, Automation and Systems (ICCAS), 2012 12th International Conference on**. IEEE, 2012. p. 240-245.

KÖSE, Ceyhun; TATLI, Zafer. Pulsed DC Robotic MIG Welding of Non Heat Treatable Aluminum Alloys. *Int. J. Electrochem. Sci*, v. 11, p. 1918-1927, 2016.

MARQUES, Rosa Maria. O impacto da automação microeletrônica na organização do trabalho em duas montadoras brasileiras. **Revista de Economia Política**, v. 10, n. 3, p. 39, 1990.

MÓR, J.L. **Modelagem, identificação de parâmetros e controle de velocidade de um robô soldador**. 2017. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande – FURG. PPGCOMP.

MÓR, Jusao Lang et al. Uma contribuição para o controle de velocidade de um robô soldador. **XXI Congresso Brasileiro de Automática**, pp. 2960-2965, 2016.

NORDIN, M. et al. Controlling mechanical systems with backlash - a survey. **Automatica**, pp. 1633-1649, 2002.

OGATA, Katsuhiko; SEVERO, Bernardo. **Engenharia de controle moderno**. Prentice Hall do Brasil, 1998.

PADOIN, Eduardo et al. Simulação computacional de não linearidade de folga nas juntas de Manipuladores Robóticos. In: **BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS, CONTROL AND THEIR APPLICATIONS (DINCON)**. 2010.

PINHEIRO, Leandro Soares. **Mapeamento 3D e planejamento de trajetórias para preenchimento de cavidades por meio de soldagem em múltiplos passes usando o processo gmaw robotizado**. 2014. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, DF.