

ANÁLISE DE DIFERENTES SETPOINTS E SEU IMPACTO NA AUTO-SINTONIA EM UM CONTROLADOR PID USANDO UM CLP SIEMENS SIMATIC S7-1500

IMPACT ANALYSIS OF ENCODER ON THE CONTROL AND AUTOTUNE OF A PID CONTROLLER USING A SIEMENS S71500 PLC

Jeanne Jacqueline de Souza*  E-mail: jeanne.za@hotmail.com
Julio Cesar Silva Massagrande*  E-mail: julio.massagrande@gmail.com
Orlando Rosa Junior*  E-mail: julio.massagrande@gmail.com

*Faculdade SENAI de Tecnologia Félix Guisard, Taubaté, SP, Brasil.

Resumo: Este estudo analisou e comparou a diferença nos resultados do *autotune* de um controle Proporcional Integral Derivativo (PID), com base em diferentes *setpoints*. Usou-se o Controlador lógico programável (CLP) do modelo SIMATIC S7-1500 e comparou-se o tempo de acomodação do sistema em diferentes velocidades. Nesse intuito, foi avaliado o uso da ferramenta de programação TIA Portal. Também foi avaliado o módulo de acesso, as conexões, a configuração e a otimização do controlador PID. O objetivo foi estudar o processo industrial de uma esteira para que faça movimentos e aceleração e redução de velocidade. Assim, o controle PID poderia otimizar o transporte de peças. Para o desenvolvimento e testes, foi usado um kit didático com uma esteira movida por motor de passo, no qual a velocidade é monitorada por um *encoder* incremental de 600 pulsos por revolução (PPR). Fez-se testes de sintonia para 25%, 50%, 75%, 90% e 100%. Excetuando o último teste, nos demais foi possível realizar o processo de sintonia automática e o sistema se comportou com um *overshoot* de menos de 5% em todos os casos. Percebeu-se que o sistema, mesmo que atuando de forma didática, atendeu as expectativas e permitiu o uso do recurso de sintonia automática.

Palavras-chave: Automação industrial. Encoder. PID. Esteira. Sintonia.

Abstract: This research has analyzed and compared the difference in the results of PID (Proportional Integral Derivative) control autotuning based on different setpoints. The programmable logic controller (PLC) used was the SIMATIC S7-1500 model, and the settling time of the system was compared at different speeds. The evaluation utilized the TIA Portal programming tool, assessing module access, connections, configuration, and PID controller optimization. The objective was to study the industrial process of a conveyor belt to manage movements, acceleration, and speed reduction. Thus, PID control could optimize part transportation. For development and testing, a didactic kit with a stepper motor-driven conveyor belt was employed, where speed was monitored using a 600 pulses per revolution (PPR) incremental encoder. Tuning tests were conducted for 25%, 50%, 75%, 90%, and 100% setpoints. Except for the last test, automatic tuning was possible in all cases, with the system exhibiting an overshoot of less than 5%. It was observed that the system, despite its didactic nature, met expectations and allowed for the use of automatic tuning.

Keywords: Industrial automation. Encoder. PID. Conveyor. Tuning.

1 INTRODUÇÃO

As esteiras transportadoras são muito utilizadas em diversos processos de movimentação de bens, de um ponto até outro (LATIF et al, 2020). Proporcionam um fluxo contínuo de materiais entre diversas operações, com confiabilidade, versatilidade e enorme gama de capacidades. Pode ser utilizada para transporte de numerosos tipos de materiais, em diversas áreas, como nas indústrias, portos e aeroportos. Corroborando, Febriyan e Purriyanto (2021) criaram uma aplicação usando uma esteira para separação de batatas baseada no peso dos tubérculos.

Duca (2022) apresentou uma solução comparando um sistema de transporte orientado a tempo e outro orientado a eventos, aplicando inclusive o controle proporcional, integral e derivativo (PID) ao sistema. Nos processos de automação industrial modernos é de comum a utilização do controle PID em diversas máquinas. São usados particularmente quando há necessidade de um controle preciso e confiável. O controle PID é útil para que se obtenha uma máxima eficiência no processo (ROZA, 2015).

Quando há a necessidade de maior controle e precisão nos sistemas de automação, o *encoder* é um dispositivo frequentemente referenciado. Ele converte movimentos ou deslocamentos em pulsos elétricos. Essa resposta é muito importante para a indústria, que precisa de feedbacks confiáveis para manter a operacionalização das linhas de produção (KARL J. ASTRÖM, 1995).

1.1 Justificativa

Para executar a sintonia em controladores, o profissional deve possuir sólidos conhecimentos nos diversos métodos de ajustes em controladores e, também quando fazer uso de cada um deles. Duca (2022) afirmou que sistemas baseados em eventos, como os controlados por PID precisam ser corretamente ajustados para evitar perdas na medição, visando o ajuste adequado. Latif (2020) afirma que a escolha correta do mecanismo de controle é importante para obter a melhor resposta do sistema quanto a distúrbios do dispositivo de monitoramento.

Com esse intuito, a inadequada sintonia dos controladores é um problema bastante frequente enfrentado pelo universo industrial. Isso implica diretamente na

estabilidade do processo, podendo também afetar e prejudicar a qualidade dos produtos obtidos. HOWIMANPORN et al (2016) aborda que o PID é um sistema de controle simples, mas que precisa ser corretamente ajustado para diminuir a flutuação transiente e menores erros estacionários.

1.2 Objetivos

O estudo propôs uma análise de caso de uso um encoder em um processo de transporte de materiais usando uma esteira com velocidade controlada por um sistema PID sintonizado automaticamente. Para tal, foram elencados diferentes objetivos específicos, definidos por:

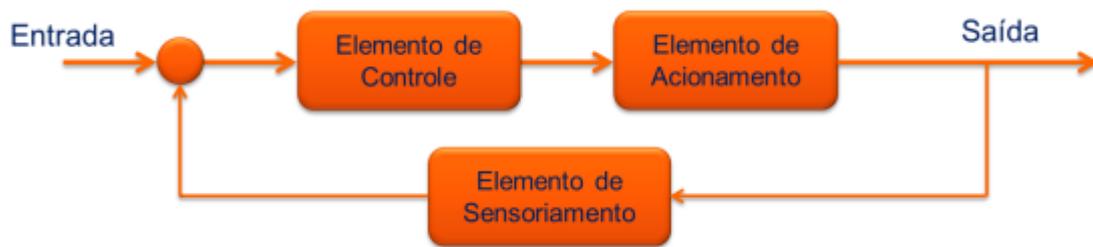
- a) Planejar e avaliar a estrutura do protótipo a ser utilizado;
- b) Montar uma aplicação de controle para a esteira transportadora;
- c) Realizar a sintonia automática do controle PID usando diferentes valores de setpoint;
- d) Analisar os resultados obtidos e os impactos dos setpoints na sintonia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PID e Métodos de Sintonia

Entre os diversos modos de controle em malha fechada, o PID se destaca pela simplicidade e robustez (HOWIMANPORN et al, 2016). Os três modos principais de controle são o proporcional (P), o integral (I) e o derivativo (D). A figura 1 mostra um diagrama de blocos de um controlador genérico com o *setpoint* sendo representado pela entrada. Além deste *setpoint* local, há a opção de *setpoint* remoto que permite a recepção de um sinal remoto ou de um dispositivo externo. Os sinais de entrada e de saída do controlador são do tipo elétrico, pneumático ou hidráulico. Segundo Siemens (2022), o *setpoint* é o ponto de referência usado pelo controlador PID para ajustar a saída, isto é, diminuir o erro entre o valor medido e esta referência.

Figura 1 – Diagrama de Blocos.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

2.2 PID e Auto Ajuste (Autotuning)

Esse controle fornece uma variação contínua da saída dentro de um mecanismo de realimentação de loop de controle para controlar o processo, de forma precisa, excluindo a oscilação e garantindo a eficiência.

O controle proporcional, referenciado pela constante de ganho k_p é utilizado para minimizar a característica de oscilação do controle liga e desliga. O controle PID vai além para reduzir erros e fornecer precisão e estabilidade em um processo. Ele faz isso usando a ação integral, por meio do ganho k_i e ações derivativas, usando o ganho k_d . Assim, elimina erros de desvio de controle e para gerenciar movimentos rápidos do processo. O modelo matemático de um controle PID é dado pela equação a seguir, com base no relatado por Seborg *et al.* (2019) :

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \int e(t) \cdot dt + k_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

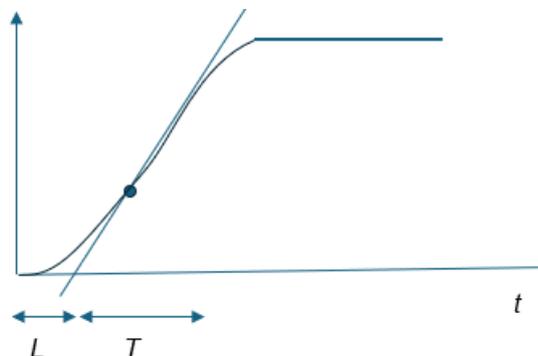
Todos os três termos PID precisam ser ajustados adequadamente com os requisitos da aplicação para alcançar precisão e confiabilidade que são primordiais para a qualidade de uma aplicação de controle. Para garantir que o controlador PID funcione corretamente é necessário que os ganhos Proporcional, Integral e Derivativo estejam configurados. A complexidade dessa configuração reflete diretamente no funcionamento do aparelho, e assim, os controladores PID possuem uma função chamada Auto Tune, que calcula automaticamente os valores para esses ganhos, assegurando mais eficiência no controle de temperatura (Somefun; Akingbade; Dahunsi, 2021).

O método de autoajuste (*autotuning*) permite que o controlador seja sintonizado de forma automática pelo usuário (Astrom e Hagglund, 1995). Contudo, esse

processo engloba a escolha do modelo e das regras de sintonia. As técnicas de sintonia e ajuste de controladores podem ser apresentadas em dois métodos: diretos e indiretos. O método direto define que os parâmetros do controlador são obtidos diretamente dos dados experimentais. Há ainda os métodos indiretos, nos quais se obtém o modelo do processo, seus parâmetros via modelo só após esta etapa os parâmetros são transmitidos ao controlador (OLIVEIRA JUNIOR et al, 2020).

Há outros métodos de sintonia do controle PID, como o desenvolvido por Ziegler e Nichols, citado por OGATA (2004). Nesta abordagem, foram sugeridas regras para sintonia do controlador PID, ajustando os valores das constantes. Eles utilizam como base a resposta transitória da planta a ser controlada. Realiza-se a inserção de um degrau unitário a entrada e verifica-se a resposta da planta (saída). Caso o sistema não possua integradores ou polos complexos conjugados dominantes, a resposta terá o aspecto de um S, conforme Figura 2. Nesta saída, pode-se mensurar o atraso L e a constante de tempo T , que serão usadas para calcular os parâmetros k_d , k_i e k_p .

Figura 2 -Resposta ao degrau unitário



Fonte: Os autores.

Com base na resposta, pode-se obter as constantes PID com base nas equações a seguir:

$$k_p = 1,2 \cdot \frac{T}{L}, k_i = \frac{1}{2 \cdot L}, k_d = 0,5 \cdot L \quad (2)$$

Neste método os testes devem ser realizados *in loco*, manipulando a planta para obter os parâmetros L e T . É um mecanismo que permite realizar a sintonia do controlador sem conhecer o modelo matemático da planta, que geralmente conta com

uma alta complexidade. De igual forma, ocorre com o método de *autotune*. Porém, no segundo, a parametrização das constantes é resultante de um processo automático, onde o próprio sistema se autoajusta para atender ao *setpoint* desejado. Porém, a resposta pode não ser a mais adequada para o sistema, pois se trata de um método empírico.

2.3 Encoders

Os *encoders* são sensores eletromecânicos que transformam posição angular em sinal elétrico. Com essa funcionalidade, sua utilização possibilita quantizar distâncias, controlar velocidades, medir ângulos, número de rotações, realizar posicionamentos, rotacionar braços robóticos (Zorzi, Cleber. Itatiba–SP 2004). O *encoder* é um dos tipos de sensores mais importantes atualmente. Ele apresenta um feedback sobre o motor de rotação e a posição de um determinado equipamento (ZORZI, 2004).

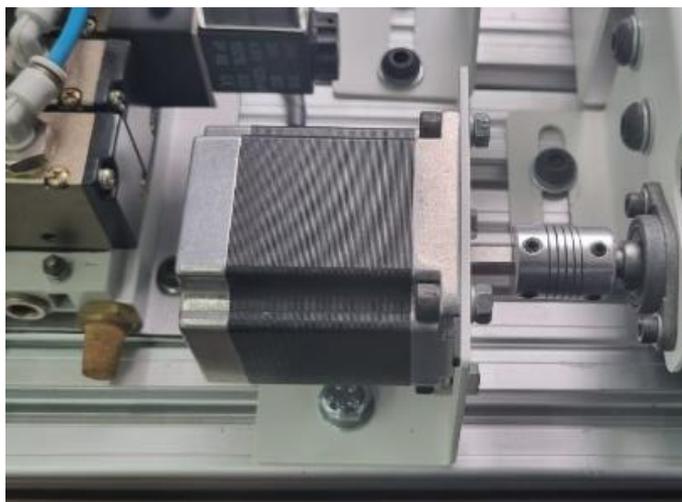
Os *encoders* podem ser classificados em:

- a) Absoluto: realiza a leitura de um código e este é único para cada posição do seu curso (código binário) (ZORZI, 2004).
- b) Incremental: produz impulsos através de revolução e esse impulso é a medida da distância, sendo pouco tecnológico, porém útil (ZORZI, 2004).

2.4 Motor de Passo

Esse tipo de motor se destaca pela capacidade de converter um sinal de entrada em um ângulo de rotação, com acentuada precisão de giro (SOUZA, 2014). A Figura 3 apresenta um motor de passo acoplado a um flange e, posteriormente, ao sistema mecânico a ser controlado.

Figura 3 – Motor de Passo



Fonte: Elaborada pelos autores.

O motor de passo tem um número fixo de polos magnéticos, que permitem determinar os passos do motor sem a necessidade de escovas. Já a precisão do ângulo de rotação do motor de passo é determinada através do seu número de passos (SOUZA, 2014).

3 METODOLOGIA

O estudo se baseou em uma pesquisa exploratória, com caráter de campo. Utilizou-se um kit didático de uma esteira transportadora para testar as respostas do sistema de controle à diversas formas de sintonia, com base na variação do *setpoint*. A análise dos resultados se deu de forma qualitativa, avaliando motivos e comportamentos do sistema aos distúrbios e ao próprio processo de sintonia automática.

Os sistemas de automação industrial tradicionais podem utilizar CLP (Controlador Lógico Programável) como elemento principal no controle geral do processo. Somando os elementos sensores, processadores (necessários para programação), módulos analógicos e outros. Neste caso, foi utilizado um CLP da fabricante Siemens, modelo S7-1500, exibido na Figura 4.

Figura 4 – CLP Siemens Simatic S7-1500



Fonte: Siemens (2024).

Para desenvolver o sistema e realizar os testes, foi utilizado um *encoder* de resolução de 600 pulsos por rotação (PPR) acoplado a uma esteira movida por um motor de passo, conforme apresentado na Figura 5. O *encoder* foi conectado a um transmissor que convertia o valor lido em pulsos para um intervalo entre 0 e 10 volts. Quanto maior o nível de tensão, maior a rotação realizada pelo motor.

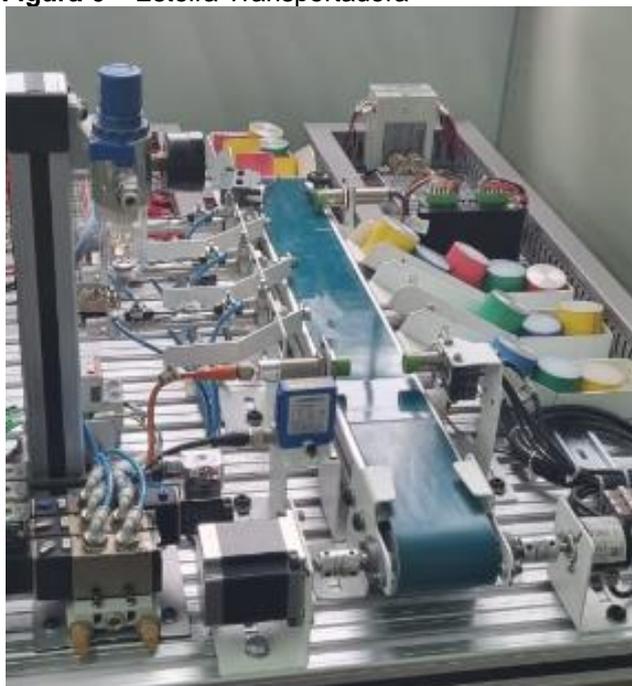
Figura 5 – *Encoder*



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para comando do sistema foi utilizado um método de controle de malha fechada. Uma malha de controle é conhecida como fechada uma vez que os resultados obtidos são a diferença entre o alvo e a parte real, ou seja, uma soma de feedback para calcular o erro. Dessa forma, um novo comando é emitido pelo drive para compensar (OGATA, 2011). O sistema foi exibido na Figura 6, contemplando o motor, o *encoder* e todos os demais conjuntos.

Figura 6 – Esteira Transportadora



Fonte: Elaborada pelos autores.

Primeiramente, foi desenvolvida uma aplicação para o CLP visando controlar o sistema com o auxílio do software Siemens TIA Portal, em sua versão 16. A lógica consistiu em um conjunto de lógicas simbólicas, denominada *ladder*, no qual foi utilizado o bloco *PID compact*, que tem a função de controlar e sintonizar automaticamente a malha.

Para a realimentação do sistema foi utilizado um conversor de frequência para sinal analógico (0 V – 10 V), que recebia os pulsos do *encoder* para feedback da velocidade, o qual foi conectado em uma das entradas analógicas do controlador.

Para a movimentação da esteira, utilizou-se um motor de passo de 3 ampéres comandado por um driver de conversão de pulsos para alimentação do motor.

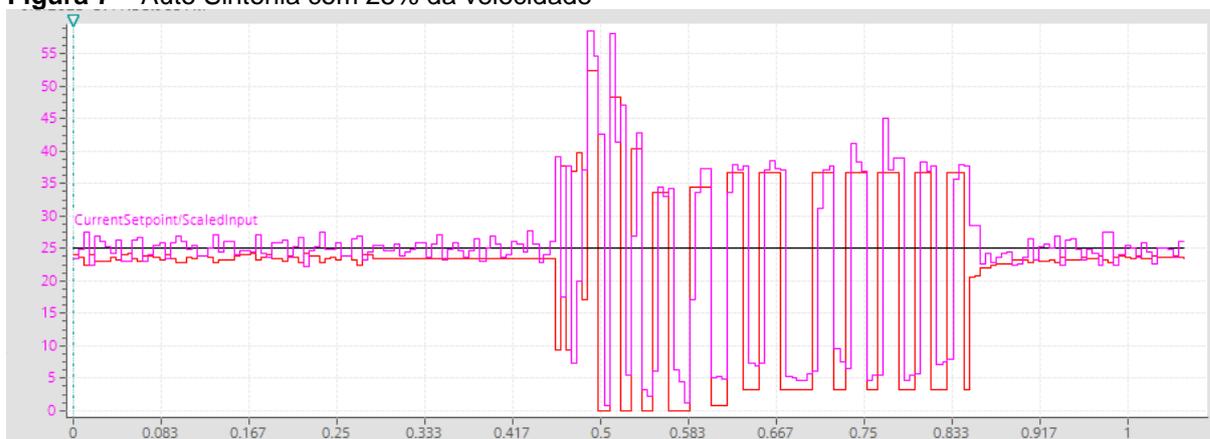
Na realização dos experimentos, foram definidos 5 *setpoints* pré-determinados nos valores de 25%, 50%, 75%, 90% e 100% da velocidade total da esteira. Foi utilizado o método de *autotuning* do bloco *PID compact* nessas escalas de velocidade. Na próxima seção foram dispostos os gráficos de resposta do sistema ao final do processo de sintonia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Sintonia com 25% da Velocidade

O primeiro teste foi feito utilizando 25% da velocidade máxima da esteira. A sintonia ocorreu de forma rápida, passado 1 minuto do início do processo e não apresentou overshoot significativo. A oscilação média final ficou próxima de $\pm 5\%$, conforme observado na Figura 7.

Figura 7 – Auto Sintonia com 25% da velocidade



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Observou-se que os valores de ganho proporcional, integral e derivativo tiveram intensidades equivalentes, sendo k_p ligeiramente mais elevado que os demais. Estando o valor de k_p em 0,114, o valor de K_i em 0,023 e o valor de k_d em 0,025. A figura a seguir apresenta os mesmos resultados dentro da aplicação. Estes parâmetros foram inseridos no bloco PID Compact da solução TIA Portal, conforme Figura 8.

Figura 8 – Gráfico de auto sintonia com 25% da velocidade

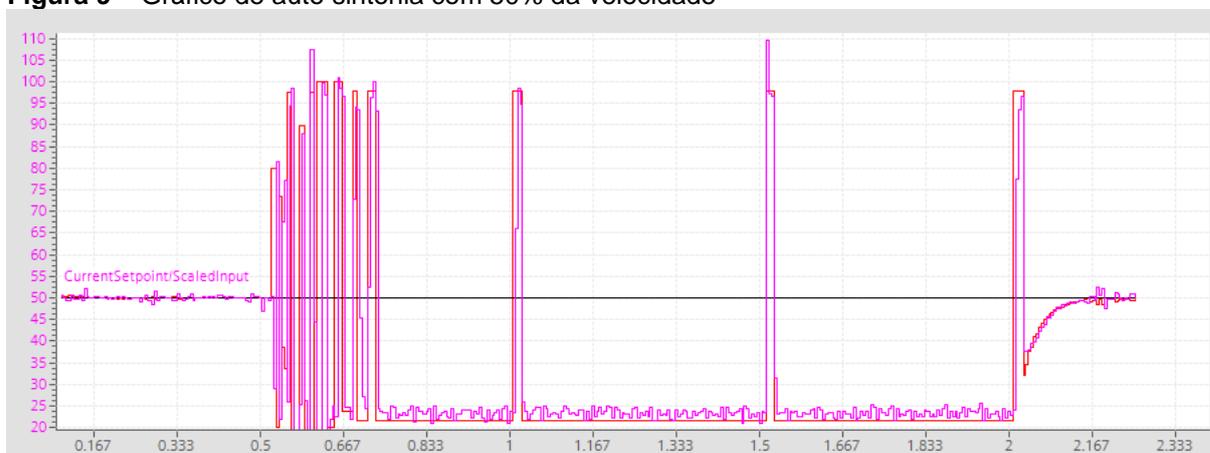
Proportional gain:	1.145683E-1	↓
Integral action time:	2.033495E-1 s	↓
Derivative action time:	2.496329E-2 s	↓
Derivative delay coefficient:	0.1	↓
Proportional action weighting:	1.0	↓
Derivative action weighting:	0.0	↓
Sampling time of PID algorithm:	9.997539E-2 s	↓

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

4.2 Sintonia com 50% da Velocidade

O segundo teste foi realizado com o *setpoint* em 50% da velocidade máxima. De imediato, foram verificadas três grandes diferenças em relação ao primeiro teste. A primeira, referente aos picos de *overshoot*, que podem ser observados ocorrendo quatro vezes ao longo da sintonia. A segunda se refere ao tempo de sintonia automática. Levou-se em torno de 2 minutos para encerrar o processo. E a última, quanto a oscilação final que teve uma variação menor em relação ao primeiro teste, oscilando pouco mais de 2,5%, conforme Figura 9.

Figura 9 – Gráfico de auto sintonia com 50% da velocidade



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os ganhos do controlador foram diferentes do primeiro teste, com exceção do integral, que apresentou intensidade relativamente maior que os demais. As constantes apresentaram os seguintes valores: k_p , 0,23, k_i , 0,178 e k_d , 0,034, inseridos no bloco PID Compact, conforme Figura 10.

Figura 10 – Parâmetros PID com 50% da velocidade

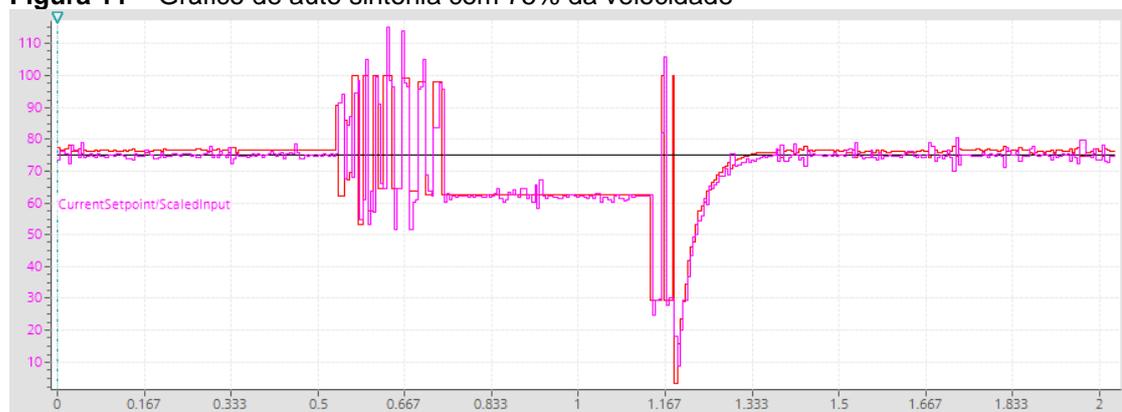
Proportional gain:	2.229928E-1	● ↓
Integral action time:	1.787511E-1 s	● ↓
Derivative action time:	3.486974E-2 s	● ↓
Derivative delay coefficient:	0.1	● ↓
Proportional action weighting:	1.0	● ↓
Derivative action weighting:	0.0	● ↓
Sampling time of PID algorithm:	9.99403E-2 s	● ↓

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3 Sintonia com 75% da Velocidade

O terceiro teste foi realizado com 75% da velocidade total da esteira. O tempo de sintonia foi rápido, aproximadamente um minuto e meio. A variação do processo pós-sintonia ficou entre 5%, para mais e para menos, similar ao primeiro teste. Durante a sintonia, também foram observados dois picos de velocidade, conforme Figura 11. Percebeu-se um *undershoot* durante a sintonia.

Figura 11 – Gráfico de auto sintonia com 75% da velocidade



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os parâmetros obtidos nesse teste foram os que mais se diferenciaram em relação aos demais. De forma imediata, observou-se que a constante k_p foi 0,09, k_d foi de 0,024. No entanto, o valor de k_i foi 0,203, sendo um valor próximo dos outros resultados, exibidos na Figura 12 do bloco PID Compact.

Figura 12 – Parâmetros PID com 75% da velocidade

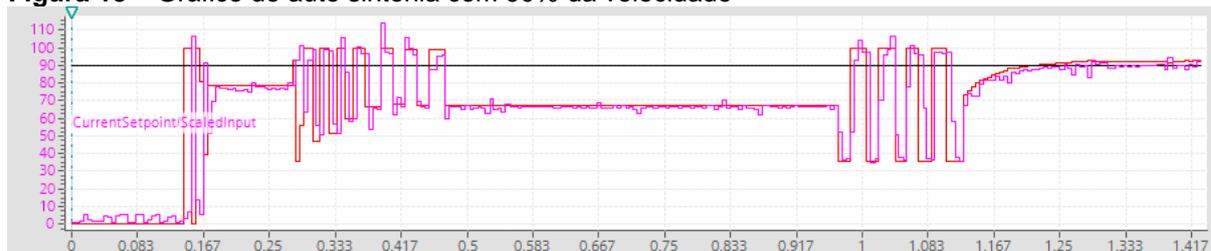
Proportional gain:	9.007508E-2	● ↓
Integral action time:	2.034032E-1 s	● ↓
Derivative action time:	2.496988E-2 s	● ↓
Derivative delay coefficient:	0.1	● ↓
Proportional action weighting:	1.0	● ↓
Derivative action weighting:	0.0	● ↓
Sampling time of PID algorithm:	1.000018E-1 s	● ↓

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.4 Sintonia com 90% da Velocidade

Esse teste foi realizado com 90% da velocidade da esteira e apresentou uma curva curiosa. O sistema executou os testes em 60% da velocidade antes de oscilar e estabilizar. Já o tempo de sintonia foi de aproximadamente 1 minuto, sem grandes oscilações na velocidade, conforme Figura 13.

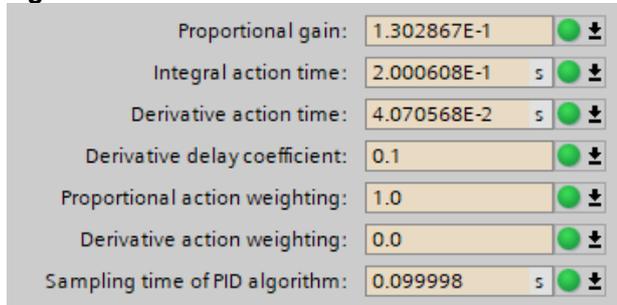
Figura 13 – Gráfico de auto sintonia com 90% da velocidade



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os valores de k_p e k_i obtidos foram similares aos do teste com 25% da velocidade. Por outro lado, o valor de k_d que mais se aproxima do resultado é o do teste com 50% da velocidade, onde foi de 0,04, conforme Figura 14.

Figura 14 – Parâmetros PID com 90% da velocidade

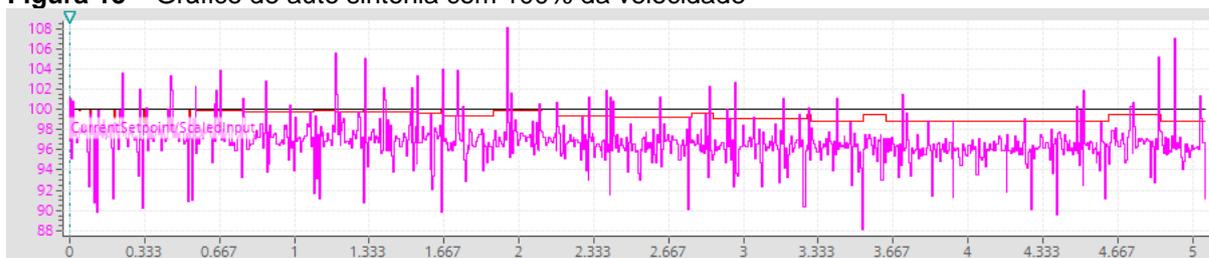


Fonte: Elaborada pelos autores.

4.5 Sintonia com 100% da velocidade

O último teste de sintonia foi realizado, conforme Figura 15, com 100% da velocidade e provocou um inconveniente. Como os valores de saída ultrapassavam os limites definidos no bloco PID *Compact*, o sistema não conseguiu ajustar os parâmetros para obter este valor máximo. Desta forma, não foi possível encerrar o processo, bem como levantar os valores das constantes adequadas a esta situação. O valor de saída ficou em média, próximo de 97% da velocidade máxima.

Figura 15 – Gráfico de auto sintonia com 100% da velocidade



Fonte: Elaborada pelos autores.

Em suma, os dados oriundos dos testes geraram a tabela 1, que representa uma compilação do que foi obtido:

Tabela 1 – *Setpoints* e seus resultados.

Porcentagem de Velocidade	Quantidade de <i>overshoots/undershoots</i>	Tempo de sintonia em minutos	Porcentagem de oscilação média
25%	0	1	5
50%	4	2	2,5
75%	1	1,5	5
90%	0	1	15
100%	-	-	-

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados dos testes, observou-se que o Método de *autotune* é altamente preciso e confiável. Pois, com exceção do teste em 100% da velocidade, é obtido em todos os casos um controle com variação baixa e rápido amortecimento, sem oscilações e picos.

Em relação ao desempenho, os pontos avaliados foram escolhidos pelo fato de que o *overshoot* é um indicativo de estabilidade do sistema e, quanto maior o seu valor, mais próximo o sistema estará de apresentar um comportamento instável.

Ao longo deste artigo, verificou-se que o investimento nesses dispositivos, quando se busca a sintonia de controladores PID se mostrou satisfatório, uma vez que os resultados apresentaram sintonia automática para 80% dos testes realizados. Isto permite identificar que os *encoders* são uma fonte de entrada para o sistema, atuando como um sensor que permite ao seu utilizador ajustar os parâmetros do sistema, a fim de obter os resultados de saída desejados. O uso de *encoders* atende a uma ampla gama de processos industriais, sendo adquiridos principalmente para fazer a leitura de rotações e de velocidade de motores. Afinal, os sistemas automatizados dependem de posicionamento e medições consistentes e precisas.

Apesar do sucesso na aplicação dos *encoders*, é um desafio para os profissionais da área em parametrizar os sistemas que se utilizam de tais recursos. Dimensionar adequadamente os *encoders* para uma determinada aplicação pode ser um desafio, uma vez que o nível de exatidão pode influenciar no custo e, conseqüentemente, na criação de aplicações com CLP que se utilizem destes dispositivos.

Porém, o intuito principal sempre foi mostrar que existem recursos que garantem uma boa confiabilidade no controle de um sistema de automação convencional, isto é, que utiliza CLP e sensores discretos.

Como oportunidade de estudos futuros, seria possível acoplar um *encoder* a uma esteira industrial e avaliar o comportamento do sistema de sintonia automática, conforme realizado neste estudo em uma esteira didática. Seria possível identificar se o comportamento do processo de sintonia seria equivalente ou se os resultados se dariam de maneira distinta. Além disso, utilizar *encoders* em sistemas de controle de velocidade angular, como moedores ou misturadores industriais, além de aplicar tais sistemas em mesas de transporte ou elevadores verticais podem ser objetos de estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ASTROM, K. J.; HAGGLUND, T. PID Controllers: **Theory, Design, and Tuning**. 2 ed. Estados Unidos: ISA, 1995.

BATISTA, E. D. S. **Instrumentação e controle de esteira transportadora utilizando CLP**. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFCG, 2015. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/18515>. Acesso em: 15. ago. 2023.

CHENG-CHING, Y. **Autotuning of PID Controllers**. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Autotuning_of_PID_Controllers/HCjWqglhHh0C?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=PID&pg=PA20&printsec=frontcover. Acesso em: 11 ago. 2023.

COMINOS, P.; MUNRO, N. PID controllers: Recent tuning methods and design to specification. Control Theory and Applications, **IEEE Proceedings**. v. 149, p. 46, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/3352456_PID_controllers_Recent_tuning_methods_and_design_to_specification. Acesso em: 08 ago. 2023.

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 25, n. 1, e-5332, 2025.

DUCA, O. Event-Based PID Control of a Flexible Manufacturing Process. **Perspectives and Challenges in Doctoral Research**, Romênia, v. 7, n. 4, set., 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2411-5134/7/4/86>. Acesso em: 15 ago. 2023.

HOWIMANPORN, S.; THANOK, S.; CHOOKAEW, S.; SOOTKANEUNG, W. Programmable Logic Controller. **Proceedings of the 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration**, Japão, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7844076>. Acesso em: 15 ago. 2023.

LATIF, A et al. Motor DC PID System Regulator for Mini Conveyor Drive Based-on Matlab. **Journal of Robotics and Control**, Indonesia, v. 1, n. 6, 2020. Disponível em: <https://journal.umy.ac.id/index.php/jrc/article/view/7652/5388>. Acesso em: 09 ago. 2023.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5 ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

OGATA, K. **Sistemas de Controle em Tempo Discreto**. Englewood Cliffs: Prentice Hall International, 1994.

OLIVEIRA JUNIOR et al. Sistema didático de sintonia automática e auto-ajuste de controlador PID. **Congresso Brasileiro de Automática**, v. 2, n. 1, 2020.

PAULO ROGÉRIO DA SILVEIRA, A. A. **Automação e Controle Discreto**. 9 ed. [S.l.]: Saraiva.

ROZA, F. **Avaliação de Desempenho de um Controlador PID de Velocidade em um Robô Móvel Diferencial**. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353794625_AVALIACAO_DE_DESEMPENHO_DE_UM_CONTROLADOR_PID_DE_VELOCIDADE_EM_UM_ROBO_MOVEL_DIFERENCIAL. Acesso em: 15 ago. 2023.

SIEMENS. **S7-1200, S7-1500 Function Manual**. Alemanha: Siemens, 2022. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/036/108210036/att_916450/v1/s71500_pid_control_function_manual_en-US_en-US.pdf?download=true. Acesso em: 20 ago. 2023.

SIEMENS. **SIMATIC S7-1500**. Disponível em: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>. Acesso em: 24 ago. 2024.

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A.; DOYLE III, F. J. **Process Dynamics and Control**. 4 ed. Nova Jersey: Estados Unidos da América: Wiley. 515 p., 2019.

SOMEFUN, O. A.; AKINGBADE, K.; DAHUNSI, F. The dilemma of PID Tuning. **Annual Reviews in Control**, v. 52, p. 65-74, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578821000407>. Acesso em: 18 ago. 2023.

SOUZA, V. A. **Controle de motor de passo bipolar**. 1 ed. Joinville: Clube de Autores, 76 p., 2014.

ZORZI, C. **Controlador PID digital de velocidade de um motor de corrente contínua**. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/91.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

Biografia do(s) autor(es)

Jeanne Jacqueline de Souza

Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica, pela Faculdade Anhanguera de Taubaté - SP (2014), e em Tecnologia Superior em Processamento de Dados, pela FAI de Santa Rita do Sapucaí – MG (1998). Atualmente é aluna da Pós-graduação em Automação Industrial e Robótica, pela Faculdade SENAI de Tecnologia Félix Guisard, de Taubaté-SP. Está cursando Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais pela UNIFESP, em São José dos Campos.

Julio Cesar Silva Massagrande

Possui graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica pela Faculdade SENAI de Tecnologia Félix Guisard. Atualmente é aluno da Pós-graduação em Automação Industrial e Robótica, pela Faculdade SENAI de Tecnologia Félix Guisard, de Taubaté-SP.

Orlando Rosa Junior

Possui Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica pela UNIFESP e graduação em Eng. Elétrica pela Universidade de Taubaté (2008). Atualmente é Instrutor de Formação Profissional III no - SENAI - Departamento Regional de São Paulo. Foi Professor de Ensino Superior I-A pela Faculdade de Tecnologia de Taubaté. Foi docente da Escola Técnica Professor Everardo Passos - ETEP Faculdades, no Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial. Leciona no Curso Técnico de Mecatrônica, Aprendizagem Industrial - Ocupação Eletricista de Manutenção. Foi docente no Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (ADS). Atua em Cursos de Aprendizagem, Técnico, Graduação e Pós-Graduação do SENAI-SP.



Artigo recebido em: 04/07/2024 e aceito para publicação em: 03/11/2024
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i1.5332>