



## Técnicas de sintonia de PID no controle de vazão e nível na planta didática SMAR PD3 Foundation Fieldbus

Talysson Manoel de Oliveira Santos<sup>1</sup>

Graduação em Engenharia Elétrica, UFOP, João Monlevade, MG

Márcio Feliciano Braga<sup>2</sup>

Departamento de Engenharia Elétrica, UFOP, João Monlevade, MG

Edgard Gregory Torres Saravia<sup>3</sup>

Departamento de Engenharia Elétrica, UFOP, João Monlevade, MG

**Resumo.** A presente investigação visa aplicar teoria de controle e instrumentação em processos industriais. Duas malhas com controlador PID foram implementadas com o objetivo de controlar nível e vazão em um tanque de aquecimento de uma planta de cunho educacional - SMAR PD3 Foundation Fieldbus. Na sintonia dos controladores PID, foram aplicados os métodos de Ziegler e Nichols do ponto crítico, Skogestad e também a ferramenta Sisotool que é uma ferramenta do Matlab. A eficiência foi obtida através das comparações entre os métodos.

**Palavras-chave.** Instrumentação, Controle de Processos, Controlador PID, Sintonia de controlador PID, Controle de Vazão, Controle de Nível.

## 1 Introdução

Implementar técnicas de controle e automação na indústria, proporcionam aumento na qualidade e quantidade de produção, além de reduzir os custos [7].

Uma ferramenta importante, que visa corresponder a automação industrial, é a utilização de controladores de processos contínuos, como, por exemplo, o PID que é o algoritmo mais utilizado industrialmente. De acordo com a literatura científica, aproximadamente 97 % das malhas de controle utilizadas em plantas industriais são controladas com PID, devido à simplicidade do ajuste de seus parâmetros [1, 2, 5, 6, 9].

Nesta investigação, que é um trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Elétrica, são aplicadas técnicas de sintonia de controlador PID com o intuito de controlar vazão e nível na planta de instrumentação SMAR PD3 *Foundation Fieldbus*, planta-piloto de cunho educacional presente no laboratório de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que está de acordo com a norma ISA S5.1.

---

<sup>1</sup>talyssonsantos1@gmail.com

<sup>2</sup>mfbraga@deelt.ufop.br

<sup>3</sup>edgard@deelt.ufop.br

## 2 Métodos para sintonia de controlador PID

### 1. Método do ponto crítico de Ziegler e Nichols

Este método tem como objetivo, a partir do comportamento do sistema operando na região crítica de estabilidade, determinar o ganho crítico ( $K_U$ ) e o período crítico de oscilação ( $P_U$ ), que devem ser substituídos na Tabela 1 para encontrar os parâmetros do controlador [11].

### 2. Método de Skogestad

Este método requer a obtenção dos parâmetros do processo a partir da curva de reação. Em função do modelo do processo e do parâmetro de desempenho  $\tau_c$ , [10] propõe a sintonia para o PID conforme a Tabela 1. O valor de  $\tau_c$  pode ser escolhido de forma arbitrária, mas, deve estar de acordo com a Eq. 1, em que  $\theta$  é o tempo morto apresentado pelo sistema.

$$-\theta < \tau_c < \infty \quad (1)$$

O método de Skogestad foi utilizado por [3] para sintonizar controladores de processos didáticos sem atraso de transporte, no qual adotou-se  $\tau_c = 0,7\tau$ . Neste trabalho também será adotado a mesma relação para obtenção de  $\tau_c$ .

Tabela 1: Sintonia pelo método de Ziegler e Nichols e Skogestad.

| Ziegler e Nichols |           |                   |                 | Skogestad   |                                          |                                               |          |
|-------------------|-----------|-------------------|-----------------|-------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| Controlador       | $K_P$     | $T_I$             | $T_D$           | Processo    | $K_P$                                    | $T_I$                                         | $T_D$    |
| P                 | $0,5K_U$  | -                 | -               | 1º ordem    | $\frac{\tau}{K \cdot (\tau_c + \theta)}$ | $\text{Min}[\tau, 4 \cdot (\tau_c + \theta)]$ | -        |
| PI                | $0,45K_U$ | $\frac{P_U}{1,2}$ | -               | 2º ordem    | $\frac{\tau}{K \cdot (\tau_c + \theta)}$ | $\text{Min}[\tau, 4 \cdot (\tau_c + \theta)]$ | $\tau_2$ |
| PID               | $0,6K_U$  | $\frac{P_U}{2}$   | $\frac{P_U}{8}$ | Atraso puro | 0                                        | -                                             | -        |

### 3. *Sisotool*

Experimentalmente, muitas vezes tenta-se modelar a dinâmica do processo como sendo um modelo de primeira ordem. Esta aproximação da dinâmica da planta industrial é satisfatória para se ajustar e definir controladores [2].

Com a função de transferência do sistema, é possível obter os parâmetros do controlador PID utilizando o *Sisotool*, que é uma extensão do *Matlab*® que permite encontrar os dados dos controladores de sistemas realimentados [8].

No *Sisotool* foi escolhido a opção de ajuste automático da sintonia de controlador PID. O programa permite escolher o tipo de método de sintonia (robusto ou clássico), o tipo de controlador (P, PI, PD, PID) e o método. Neste trabalho o *Sisotool* retornou os parâmetros do controlador a partir da formulação do método clássico de Chien, Hrones e Reswick (CHR) [4].

### 3 Ensaios

A planta didática SMAR PD3 Foundation Fieldbus (FF) possibilita a distribuição das funções de controle através de blocos funcionais. As malhas de controle implementadas de vazão e nível encontram-se ilustradas na Fig. 1(a) e na Fig. 1(b) respectivamente.

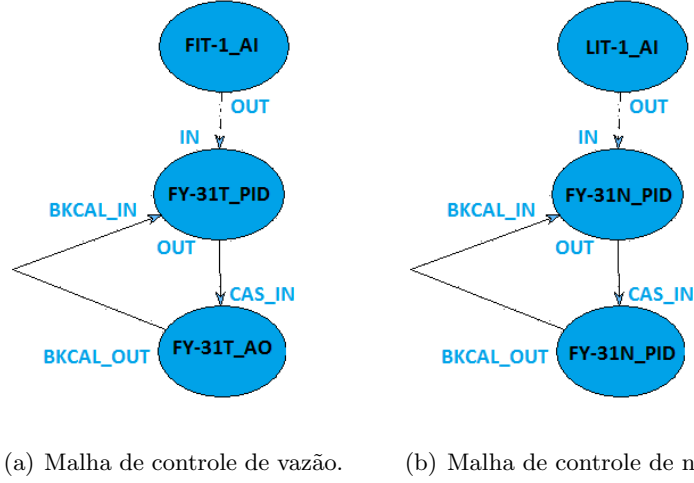


Figura 1: Malhas de Controle

Analisando a Fig. 1(a), o bloco que possui a tag FIT-1AI está relacionado a um transmissor e indicador de vazão (*Flow Transmitter Indicator*), que mede a vazão do tanque de aquecimento em L/h. O bloco com a tag FY se trata de um posicionador de válvula. Devido ao uso da rede FF, o algoritmo de controle PID é implementado no posicionador da válvula FY-31T-PID.

Na Fig. 1(b), o bloco que possui a tag LIT-1AI está relacionado a um transmissor e indicador de nível (*Level Transmitter Indicator*), que mede o nível do tanque de aquecimento em percentual (%).

#### 3.1 Sintonia do Controlador

##### 1. Método do ponto crítico de Ziegler e Nichols

- A princípio, é escolhido um valor pequeno para a ação proporcional com as ações integrativa e derivativa nulas;
- Em seguida, um *setpoint* foi escolhido e a bomba hidráulica foi acionada;
- O ganho proporcional foi aumentado gradativamente até se obter uma resposta oscilatória com amplitude constante, que é a operação no ponto crítico de estabilidade. Este ganho que levou o sistema a operar na região crítica de estabilidade é conhecido como ganho crítico ( $K_U$ ). O tempo entre os valores de pico desta resposta oscilatória é chamado de período crítico ( $P_U$ );
- A partir dos parâmetros encontrados no item anterior, aplicam-se as equações da Tabela 1 para determinar as ações do controlador.

## 2. Método de Skogestad

- É necessário obter o comportamento do sistema para diferentes entradas. A variável manipulada é a abertura da válvula e a variável controlada é a vazão ou o nível. Foram escolhidas quatro entradas distintas do tipo degrau: 25%, 50%, 75% e 100% de abertura da válvula;
- As entradas devem ser aplicadas no sistema em malha aberta;
- Os parâmetros do modelo devem ser obtidos na curva de reação de cada uma das quatro entradas aplicadas. Deve-se fazer a média dos parâmetros encontrados por cada entrada e aplicar nas equações da Tabela 1.

## 3. Obter FT e utilizar a ferramenta *Sisotool*

- Os parâmetros do modelo são encontrados por meio da curva de reação. Adota-se o sistema como de primeira ordem e encontra-se a Função de Transferência (FT) de malha aberta do processo;
- De posse da FT do processo, utiliza-se o programa *Sisotool* para determinar os parâmetros do controlador. A topologia do PID utilizada no programa é a paralela, ou seja, é dada no por

$$C(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2)$$

- A ferramenta *Sisotool* encontrará a FT do controlador. Basta comparar com a Eq.2 para encontrar os indicadores do controlador.

## 3.2 Teste de Validação

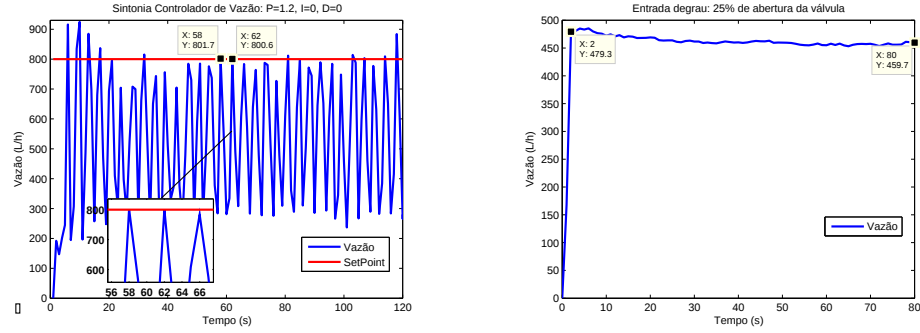
A validação do controlador foi obtida através das seguintes condições:

- O teste foi realizado para 3 valores distintos de *SetPoint* (*SP*) e cada valor de *SP* foi analisado 4 vezes;
- Os valores de *SP* que foram utilizados são: 300, 500 e 800 L/h de vazão e 25%, 50% e 75% de nível;
- Realiza-se a média entre os 4 resultados obtidos para cada valor de *SP*, com o intuito de reduzir o efeito de ruídos.

## 4 Resultados

A Fig. 2(a) mostra a sintonia pelo método do ponto crítico de ZN sistema operando com ganho de 1,2 e a Fig. 2(b) ilustra a curva de reação para entrada degrau de 25% de abertura da válvula, ambas para sintonia do controlador de vazão.

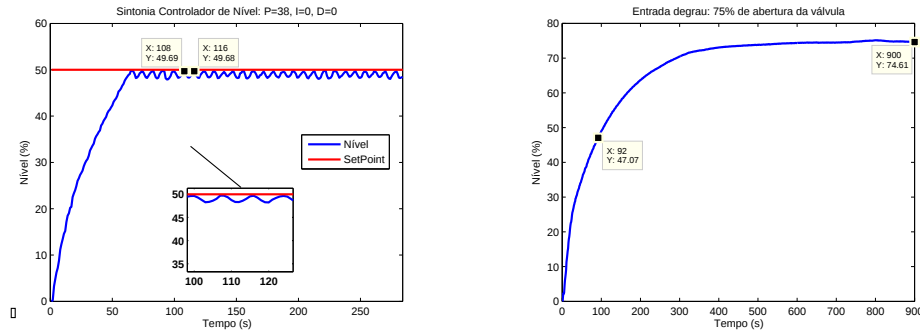
Para sintonia do controlador de nível, a Fig. 3(a) mostra a sintonia pelo método do ponto crítico de ZN sistema operando com ganho de 38 e a Fig. 3(b) ilustra a curva de reação para entrada degrau de 75% de abertura da válvula.



(a) Método do ponto crítico para um ganho  $K_P = 1, 2$  (Vazão).

(b) Curva de reação: Entrada degrau de 25% de abertura da válvula (Vazão).

Figura 2: Sintonia do controlador de vazão



(a) Método do ponto crítico para um ganho  $K_P = 38$  (Nível).

(b) Curva de reação: Entrada degrau de 75% de abertura da válvula (Nível).

Figura 3: Sintonia do controlador de nível.

Segundo [2], para o controle de vazão e nível, o controlador ideal é o PI.

A partir das figuras 2(a) e 3(a) é possível obter a sintonia pelo método do ponto crítico para o controlador de vazão e nível, respectivamente. Com as curvas de reação ilustradas nas figuras 2(b) e 3(b) é possível obter a FT de 1ª ordem de vazão e nível e encontrar a sintonia pelo método de Skogestad e pelo Sisotool.

As funções de transferência de 1ª ordem que representam o processo de vazão e nível são representadas pelas equações 3 e 4 respectivamente.

$$G_v(s) = \frac{18,51}{1,28s + 1} \quad (3)$$

$$G_n(s) = \frac{0,9948}{92s + 1} \quad (4)$$

Os resultados para a sintonia dos controladores de vazão e nível podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2: Sintonia dos controladores de vazão e nível pelos métodos de Ziegler e Nichols, Skogestad e Sisotool (formulação de CHR).

| Vazão            |         |        |       | Nível            |       |         |       |
|------------------|---------|--------|-------|------------------|-------|---------|-------|
| Método           | $K_P$   | $T_I$  | $T_D$ | Método           | $K_P$ | $T_I$   | $T_D$ |
| Ponto Crítico ZN | 0,54    | 3,333  | 0     | Ponto Crítico ZN | 17,1  | 6,667   | 0     |
| Skogestad        | 0,072   | 1,28   | 0     | Skogestad        | 1,436 | 92      | 0     |
| Sisotool (CHR)   | 0,49043 | 4,3479 | 0     | Sisotool (CHR)   | 2,041 | 41,9097 | 0     |

Os resultados obtidos para os  $SP$  de 300, 500 e 800 L/h de vazão, podem ser vistos nas Fig. 4(a), 4(b) e 4(c), respectivamente.

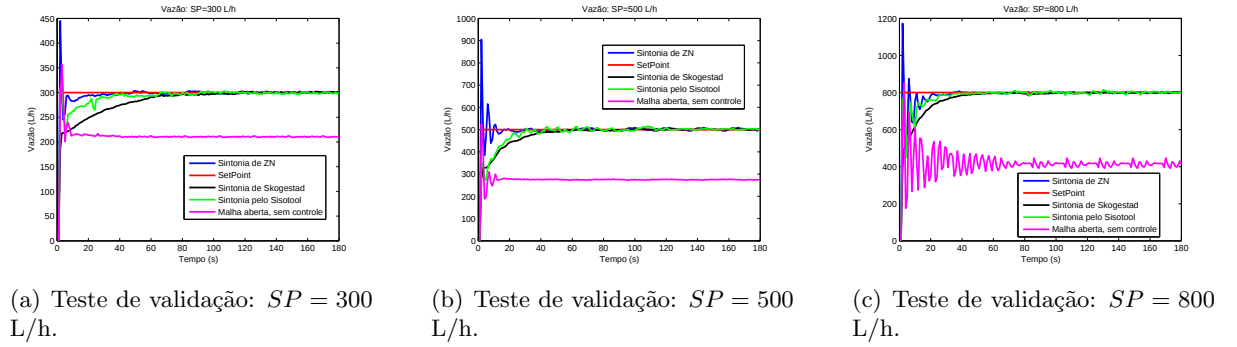


Figura 4: Resultado de validação do controle de vazão.

Os resultados obtidos para os  $SP$  de 25, 50 e 75 % de nível, podem ser vistos nas Fig. 5(a), 5(b) e 5(c), respectivamente.

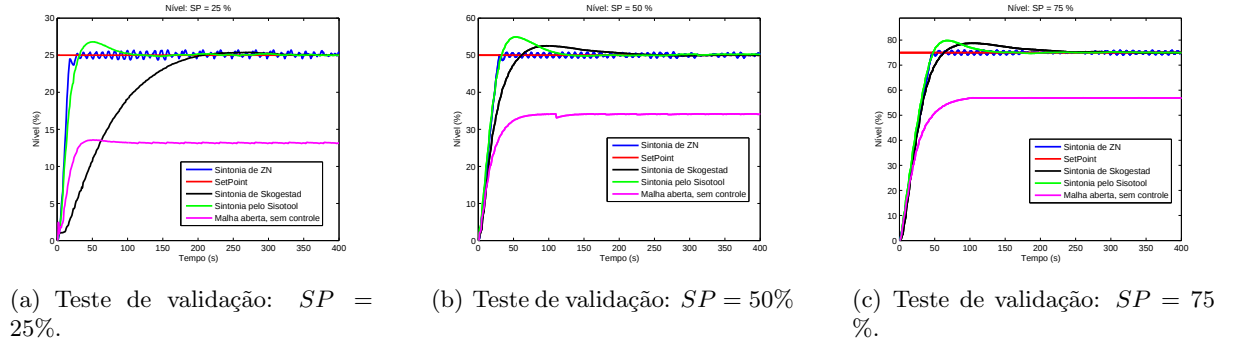


Figura 5: Resultado de validação do controle de nível.

## 5 Discussões

Com base nos resultados apresentados na figura 4, nota-se que o controlador sintonizado por Ziegler e Nichols apresentou resultados com sobressinais elevados que chegaram a ultrapassar 100%, deixando claro que não foi obtido o comportamento esperado. Utilizando os parâmetros do controlador obtidos pelo *Sisotool* (formulação de CHR), o sistema apresentou sobressinais aceitáveis, menores que 20%. O sistema não apresentou sobressinais utilizando o método de Skogestad. Entretanto, o método de Skogestad faz com que

a resposta do sistema fique mais lenta, apresentando maior tempo de acomodação em relação à ferramenta *Sisotool*. Em regime permanente todos os métodos apresentaram bons resultados, a vazão foi controlada com erro praticamente nulo.

Analisando a figura 5, observa-se que todos os métodos apresentaram sobresinais aceitáveis durante o regime permanente. Entretanto, o método do ponto crítico de Ziegler e Nichols não apresentou bons resultados durante o regime permanente, a resposta do sistema ficou variando. A sintonia do controlador pelo método de Skogestad e utilizando a ferramenta *Sisotool* apresentou bons resultados. Em regime transitório não houve sobresinal maior que 10% para nenhum dos dois métodos e em regime permanente a resposta do sistema ficou uniforme, não apresentando oscilações. O erro em regime permanente foi praticamente nulo.

Portanto, o método do ponto crítico de Ziegler e Nichols retorna sintonias de controladores com ganhos proporcionais elevados, o que causa um comportamento agressivo no sistema e, conseqüentemente, o método não apresentou resultados satisfatórios para o controle de vazão e de nível. O método de Skogestad e a utilização do *Sisotool* com a formulação de CHR apresentaram bons resultados para controle de vazão e nível.

## Agradecimentos

Ao departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto pela disponibilidade de infraestrutura que permitiu a realização e conclusão deste trabalho

## Referências

- [1] K. J. Astrom e T. Hagglund, PID Controllers: Theory, Design and Tuning, 2 edn, (1995), ISBN:1-55617-516-7.
- [2] M. C. M. M. Campos, Controles típicos de equipamentos e processos industriais, 2 edn, Blucher, (2010), ISBN:978-85-212-0552-4.
- [3] P. R. B. Campos e C. A. B Campos, Sintonia de controladores para processos didáticos sem atraso de transporte, COBENGE, pp. 1-11, (2014).
- [4] Chien-Hrones-Reswick (CHR), PID–PID controller tuned using the CHR tuning rules. The controller is tuned at a flow rate at the midpoint of the flow range, (1952)
- [5] P. D. I. R. Isermann, Digital Control Systems, 2 edn, Springer-Verlag, (1989), ISBN: 978-3-642-86422-3.
- [6] W. L. Luyben, Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers, 2 edn, McGraw-Hill, (1990).
- [7] A. L. Maitelli, Controladores lógicos programáveis, UFRN, (2003).
- [8] MathWorks (2017). Control system designer, Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/control/ref/controlsystemdesigner-app.html>. Acesso em: 12 de março 2017.
- [9] F. G. Shinskey, Process Control Systems, 4 edn, McGraw-Hil, (1996), ISBN:978-3-642-86422-3.
- [10] S. Skogestad, Simple analytic rules for model reduction and pid controller tuning, vol. 25, pp.85–120, (2004), DOI: 10.4173/mic.2004.2.2.
- [11] J. Ziegler e N. Nichols, Optimum settings for automatic controllers, Transactions of the ASME, vol. 64, pp. 759–768, (1942).