



## INVESTIGAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE CONTROLE SINTONIZADOS VIA ALGORITMOS EVOLUTIVOS VERSUS MÉTODOS CLÁSSICOS

Matheus Felipe Gremes (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Cid Marcos Gonçalves Andrade, e-mail: cmgandrade@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Química/Maringá, PR.

**Área: Engenharias / Subárea: Engenharia Elétrica**

**Palavras-chave:** PID, Algoritmos heurísticos, Controle de processos

### Resumo:

Um dos grandes problemas da engenharia é o controle. O controlador PID, amplamente utilizado na indústria, é extremamente robusto e pode ser utilizado para diversos problemas, desde que seus parâmetros se adequem a cada situação. Nesse contexto, se busca o melhor método de sintonização dos parâmetros PID possível. Dentre as diversas maneiras de sintonizar tais parâmetros, este trabalho investiga alguns métodos heurísticos: o Algoritmo Genético, o Algoritmo de Otimização por Enxame de Partículas Adaptativo e o Algoritmo TRIBES, os quais se baseiam em fenômenos da natureza. No trabalho é implementado um exemplo de cada um dos algoritmos citados acima. Com auxílio do software Scilab, estes algoritmos foram testados, juntamente com o método clássico de Ziegler-Nichols, a fim de comparar entre eles a qualidade da solução obtida.

### Introdução

O PID é o controlador mais utilizado na indústria, sendo aplicado na resolução dos mais diversos problemas (Knospe, 2006). Um controlador deste tipo é determinado por seus três ganhos: proporcional  $K_p$ , integral  $K_i$  e derivativo  $K_d$ . A fim de encontrar a combinação ideal de parâmetros para o controlador (o que chamamos de sintonizar o controlador), vários métodos podem ser utilizados. Dentre eles, estão os métodos determinísticos, que são os convencionais (por exemplo o método de Ziegler-Nichols) (OGATA, 1995), e os métodos heurísticos, como o Algoritmo Genético (AG) (COELHO & COELHO, 1999), o Algoritmo de Otimização por Enxame de Partículas (PSO — Particle Swarm Optimization) e o Algoritmo TRIBES (CLERC, 2006), os quais se baseiam em fenômenos da natureza. Denominamos indivíduo um conjunto constituído por ganhos  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  do controlador PID, correspondente a um ponto no espaço de busca, e denominamos população um conjunto de indivíduos. Cada indivíduo dessa população, a fim de ser testado, é submetido a um processo de controle. De acordo com seu desempenho, é creditada uma pontuação por indivíduo, chamada de fitness. O Algoritmo Genético se baseia no evolucionismo darwiniano. A cada geração são selecionados diversos indivíduos da população, sendo que quanto maior o fitness de



cada indivíduo, maior sua chance de ser selecionado. Os indivíduos selecionados têm suas características misturadas entre si a fim de gerar alguns novos indivíduos, o que se assemelha à reprodução no evolucionismo, e estes farão parte de uma nova população, juntamente com os indivíduos anteriores. Por fim, alguns indivíduos passam por mutações, que são pequenas alterações em seus ganhos, e também são inseridos nessa nova população. O processo de reprodução e mutação se repete e cada nova população é chamada de geração. Após um número pré-determinado de gerações, o algoritmo convergirá para uma solução ótima. O PSO se baseia na inteligência coletiva de enxames. Inicialmente, os indivíduos são posicionados em posições aleatórias distribuídas no espaço de busca com velocidades aleatórias e a informação do melhor ponto é o próprio ponto inicial. A cada iteração deste código, uma partícula recebe a informação de melhor ponto de um determinado número de outras partículas, chamadas informantes. Em seguida, a velocidade da partícula é alterada para a soma ponderada entre velocidade anterior, velocidade necessária para transportar a partícula para o melhor ponto qual a partícula já passou e o melhor ponto dado pelos informantes. Por fim, a partícula se move de acordo com esta nova velocidade. Após diversas iterações, as partículas convergirão para uma solução. Nesse trabalho é implementado uma variante do PSO que tem a característica de adaptar as constantes de movimento, o número de partículas da população e os informantes de cada indivíduo (CLERC, 2006). O algoritmo TRIBES funciona de forma similar ao PSO, exceto que o TRIBES não precisa receber parâmetros que especifiquem a forma como ele irá resolver o problema proposto, como por exemplo o numero de partículas da população e a constante de confiança em seu próprio movimento. O algoritmo TRIBES tem estratégias estruturais de adaptação, controlando a modificação do tamanho do enxame e a forma como os links de informação entre as partículas são feitos (CLERC, 2006). Além disso, a forma como as partículas mudam de posição não é feita através das velocidades no espaço de busca, e sim através do método dos Pivots utilizando a melhor posição já encontrada pela partícula e a melhor posição já encontrada pelos seus informantes.

## Materiais e métodos

A princípio, foi feita a revisão bibliográfica do conteúdo previamente citado, quando constatou-se que a utilização dos métodos heurísticos na sintonia do controlador PID pode não só ser mais eficiente bem como ser mais robusto, uma vez que, em problemas mais complexos, enquanto métodos determinísticos se limitam a encontrar um ponto ótimo local (que pode não ser o global), os métodos heurísticos alcançam mais frequentemente o ponto ótimo global. Em seguida, iniciou-se a etapa de implementação dos algoritmos no software Scilab. Segundo o pseudocódigo apresentado nos artigos, foram selecionados os parâmetros de cada um dos algoritmos, a função custo mostrada na equação 1, que consiste da soma do critério de erro ITSE (Integral Time Squared Error) e a variação de controle ponderada com  $w = 20$  (COELHO & COELHO, 1999), e a função de transferência mostrada na equação 2, sendo as duas últimas utilizadas como base para comparação entre os métodos de sintonia do controlador PID. A sintonia dos parâmetros do controlador PID utilizando o método Ziegler-Nichols para a comparação com os outros métodos foi obtida de (DEMITI, 2018).

$$J(u, e) = \sum_{k=0}^{NA} k[e(k)^2 + w\Delta u(k)^2] \quad (1)$$

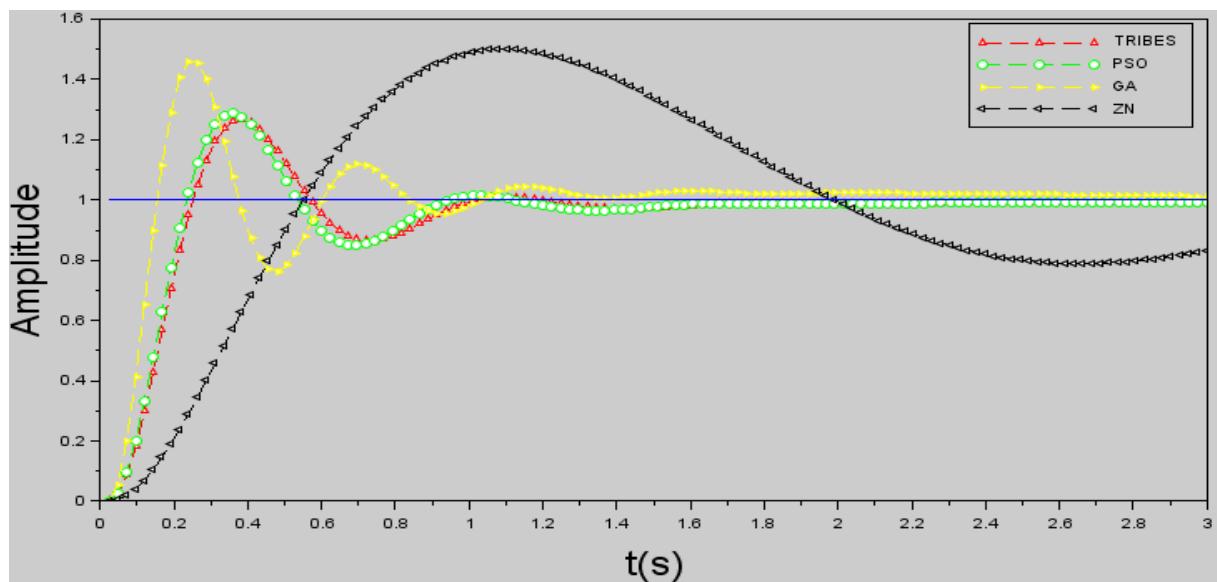
$$\frac{1}{s(s+2)(s+5)} \quad (2)$$

## Resultados e Discussão

Na Figura 1 é possível constatar que os três algoritmos heurísticos implementados nesse trabalho, Algoritmo Genético, PSO adaptativo e TRIBES, conseguiram sintonizar o controlador PID de forma a obter uma resposta a uma entrada unitária superior a sintonizada pelo método Ziegler-Nichols. Das quatro curvas apresentadas na Figura 1, a resposta sintonizada pelo método Ziegler-Nichols foi a que apresentou o pior tempo de acomodação e o pior sobressinal. Além disso, na tabela 1, o método Ziegler-Nichols foi o que apresentou o pior critério de desempenho, a função custo, apresentada na equação 1.

Dentre os métodos heurísticos, aquele que apresentou a melhor sintonia do PID foi o algoritmo TRIBES, com o menor tempo de acomodação, menor sobressinal e o menor valor para a função custo da equação 1. Seguido pelo PSO adaptativo e pelo Algoritmo Genético.

**Figura 1** – Gráfico ampliado da resposta a uma entrada unitária com o PID sintonizado com diferentes métodos



**Tabela 1** – Critério de desempenho para sintonia de cada método.

|        | Ganho      |            |            | Critério de desempenho |
|--------|------------|------------|------------|------------------------|
| Método | Kp         | Ki         | Kd         | J(u,e)                 |
| ZN     | 42,000000  | 69,930000  | 17,51752   | 0,367132               |
| AG     | 149,834707 | 205,600285 | 197,026971 | 0,022112               |
| PSO    | 73,268013  | 0          | 92,581523  | 0,016806               |
| TRIBES | 69,851542  | 0,020770   | 81,810440  | 0,016730               |

### **Conclusões** (Arial 12, Negrito, alinhado à esquerda)

Nesse trabalho foi implementado três algoritmos heurísticos utilizando o software Scilab, Algoritmo Genético, PSO Adaptativo e Algoritmo TRIBES, para a sintonia dos parâmetros de um controlador PID. Os resultados obtidos através das sintonias pelos métodos heurísticos foram comparados com o método clássico Ziegler-Nichols constatando que esse foi superado. Conclui-se que métodos de sintonia para um controlador PID por algoritmos heurísticos são de uma forma geral muito interessantes e com grande potencial de aplicação. Outra conclusão é de que a escolha dos valores dos parâmetros desses algoritmos, como por exemplo o número de indivíduos da população e o numero de descendentes no caso do Algoritmo Genético, são de extrema importância para se obter sucesso com a aplicação desses métodos heurísticos, vantagem que o Algoritmo TRIBES apresenta sobre os demais por apresentar parâmetros que se adaptam automaticamente.

### **Agradecimentos**

DEQ - UEM

### **Referências**

KNOSPE, C. **PID Control**. IEEE Control Systems Magazine. Feb 2006 p. 30-31.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 4 ed. São Paulo. Pearson, 2003. 788 p.

COELHO, L. S.; COELHO, A. A. R; **Algoritmos Evolutivos Em Identificação E Controle De Processos: Uma Visão Integrada E Perspectivas**. Departamento de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

CLERC, M. **Particle Swarm Optimization**. 1 ed. United States, ISTE Ltd, 2006.

DEMITI, F. T. **Sintonia De Controlador Pid Por Meio De Algoritmos Evolutivos Para Sistemas Realimentados Com E Sem Atraso**. Departamento De Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 2018.