



ABORDAGEM TEÓRICA DO CONTROLE PID APLICADO A MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA (CC)

Alan Gonçalves Paulo e Silva – alangps1@gmail.com
Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Engenharia Mecânica.
Av. Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário.
58.429-900 – Campina Grande – Paraíba

Resumo: *Este trabalho tem como objetivo executar uma revisão bibliográfica sobre o uso do controle PID aplicado a motores CC, comparando e mostrando as diferenças entre diferentes métodos aplicados para determinação de seus parâmetros, como motivação para a disciplina de Metodologia do Trabalho Científico pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande. O método utilizado consistiu na busca de arquivos e documentos em sites de pesquisa de diferentes entidades como os do Google e do Google Acadêmico, além dos Periódicos Capes. Foram observados apenas os resultados da busca nas três primeiras páginas dos sites, com a introdução de palavras-chave, onde posteriormente foi feita uma filtragem através do título, do resumo e dos resultados obtidos, e escolheram-se dez arquivos que deram origem a este artigo. Conseguimos então detalhar de forma satisfatória a aplicação do controle PID nos motores CC, com a apresentação das funções de transferência tanto do controlador como do motor, obtidos através do método das Transformadas de Laplace e da teoria dos sistemas de controle. Ao final do trabalho, foram comparadas as diferentes formas de se obter as constantes de ajuste do algoritmo de controle PID, mostrando as maneiras mais eficazes para sua determinação, de modo rápido e preciso.*

Palavras-chave: *Motores CC, Controle PID, Funções de transferência, Sistemas de controle.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem se observado uma grande evolução das tecnologias de controle e automação, com o surgimento de máquinas e equipamentos cada vez mais modernos. Esse crescimento, em grande parte, se deve ao desenvolvimento e aplicação em larga escala da eletrônica embarcada, o que fez com que o controle dos processos se tornasse cada vez mais precisos e eficientes, do ponto de vista da qualidade de montagem e produção dos bens.

Com o crescimento da utilização de máquina e equipamentos mais sofisticados, sentiu-se a necessidade de se utilizar um controle mais robusto e capaz de atender as necessidades do sistema, sem comprometer seu funcionamento ou desempenho. Para tal, está sendo aplicada a teoria de Sistemas de Controle, que pode ser definida como uma interconexão de componentes formando uma configuração de sistema que produzirá uma resposta desejada do

processo a qual se quer controlar. Podendo fazer uso de atuadores (servomotores, motores, resistências elétricas, cilindros hidráulicos, etc.) e de elementos sensores (acelerômetros, termômetros, manômetros, fins de curso, etc.) para complementar o projeto de cada sistema.

Esses sistemas podem ser classificados a princípio, em sistemas de controle de malha aberta e de malha fechada, onde o primeiro é caracterizado pela utilização de atuadores para controlar diretamente o processo sem se fazer o uso de retroação, ou realimentação dos dados de saída do mesmo. Já sistemas de controle de malha fechada também utiliza atuadores para o controle do sistema, porém, faz-se o uso de retroação dos sinais de saída do atuador, pelo uso de elementos sensores que realimentam o processador a fim de comparar a saída de sinal medida e a desejada, corrigindo a diferença entre os sinais e assim reduzindo o erro de controle.

A Figura 1 apresenta um exemplo simplificado de um sistema de controle de malha aberta (a) e de um sistema de controle de malha fechada (b), respectivamente.

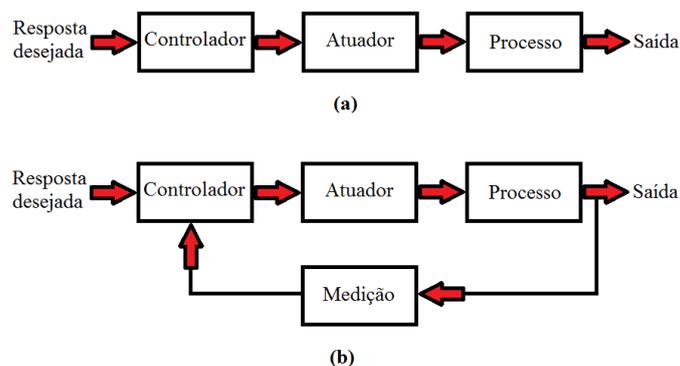


Figura 1 – Sistema de controle em (a) malha aberta (sem retroação) e em (b) malha fechada (com retroação).

Fonte – Autoria própria (2014).

Por essa razão, foi motivada a criação desse trabalho para que se identifiquem as variáveis e se desenvolva uma abordagem mais direta e completa da literatura, sobre os mecanismos de controle de motores CC através do uso de um algoritmo de controle PID e seus componentes.

Para o nosso sistema o controlador será um motor de corrente contínua (CC), o processo a controlar será o posicionamento desse motor e o controlador será a implementação do algoritmo de controle PID do motor. Portanto iremos abordar com uma maior ênfase, os mecanismos de controle através da alteração das variáveis de controle PID que modifiquem o estado, ou seja, a posição do motor CC.

2. ABORDAGEM TEÓRICA

A princípio iremos nos aprofundar sobre o que é o algoritmo de controle PID e como é feita a sua aplicação em motores CC, através das equações básicas de controle obtidas pelo método da transformada de Laplace. Com o auxílio da modelagem matemática dos sistemas dinâmicos, que pode ser definida como o conjunto de equações matemáticas que descrevem de maneira satisfatória o comportamento do sistema estudado. Levando em consideração que

um sistema pode ser representado de diversas maneiras diferentes, dependendo do ponto de vista considerado, por isso podem ser geradas diferentes modelagens matemáticas de um mesmo problema.

2.1. Funções de transferência

Para a teoria utilizada em controle, as funções de transferência são largamente utilizadas para a caracterização da relação entre as variáveis de entrada e saída dos componentes do sistema ou de sistemas que podem ser representados por equações diferenciais lineares constantes ao longo do tempo. Ela é normalmente definida como a relação entre a transformada de Laplace da saída (função da resposta) e a transformada de Laplace da entrada (função de excitação). É possível representar a função de transferência da dinâmica de um sistema pela utilização de uma equação algébrica em função de s .

Segundo Ogata (2003 apud SANTOS, H. C., 2009, p. 18) “a função de transferência é uma propriedade inerente ao sistema, que não depende da magnitude e da natureza da função de entrada ou de excitação”.

Caso a função de transferência não seja conhecida, ela pode ser determinada fazendo-se diversas tentativas para encontra-la com a ajuda do estudo das entradas e das respectivas respostas, ou saídas do sistema. Após se determinar a função de transferência, as características dinâmicas do sistema serão conhecidas, independentemente da sua descrição física. A Fig. 2 mostra um exemplo de uma função de transferência.

$$G(s) = \frac{\mathcal{L}[Saída]}{\mathcal{L}[Entrada]} = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 \cdot S^m + b_1 \cdot S^{m-1} + \dots + b_{m-1} \cdot S + b_m}{a_0 \cdot S^n + a_1 \cdot S^{n-1} + \dots + a_{n-1} \cdot S + a_n}$$

Figura 2 – Função de transferência.
Fonte – Ogata (2003 apud SANTOS, H., 2009).

2.2. Controle PID

O controlador PID (proporcional, integral e derivativo) e suas variações (PI, PD) são sem dúvida os mais utilizados na indústria como um todo. A sua grande utilização e sua sobrevivência, é em parte devido a sua fácil aplicação nos sistemas, e por permitir que seus parâmetros sejam obtidos de maneira simples, na maioria das vezes de modo empírico, ou seja, por tentativa e erro. Com isso, dependendo da complexidade do sistema, esse tipo de controlador pode apresentar resultados bastante satisfatórios. Observando-se, que quanto maior a sua complexidade, mais complicado serão os ajustes dos seus parâmetros.

O controle PID é mais utilizado em sistemas de controle de malha fechada, como por exemplo, o apresentado na Figura 1 (b). Com a utilização de diversas regras e métodos de sintonia dos seus parâmetros, ajustes no controlador podem ser realizados até mesmo em campo, em que principal motivo de sua aplicação é diversidade de aplicações em sistemas de controle. Segundo Campestrini, (2006 apud SANTOS, H. C., 2009, p. 24) os “controladores PID são facilmente programáveis, de baixo custo, robustos e versáteis, com a capacidade de fornecer comportamentos transitórios e de regime permanente satisfatórios para uma grande variedade de processos encontrados na indústria”.

Como o próprio nome já diz, ele é composto por uma parcela proporcional, uma integral e uma derivativa. Nos controladores do tipo proporcionais, a saída do controlador é diretamente proporcional a sua entrada, sendo à entrada de um sistema de malha fechada o sinal de erro, todos em função do tempo. A saída do controlador proporcional é mostrada na Equação (1).

$$Saída(t) = K_p \cdot e(t) \quad (1)$$

Onde K_p é uma constante chamada de ganho proporcional.

A saída desse tipo de controlador depende apenas da magnitude do erro num instante de tempo. Ele é apenas um amplificador com um ganho constante. Um valor grande de erro num determinado instante de tempo na entrada do controlador pode gerar um valor alto na saída ou resposta do sistema no mesmo instante de tempo, o que não é aconselhável.

No controlador do tipo integral, a saída do controlador é proporcional a integral do sinal de erro do sistema em um determinado instante de tempo. A saída do controlador integral é expressa na Equação (2).

$$Saída(t) = K_i \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt \quad (2)$$

Onde K_i é uma constante chamada de ganho integral.

A integral definida entre “0” e “t” trata-se da área sobre a curva do erro nesse intervalo de tempo. Assim quando aparece o sinal de erro, a saída aumenta em uma razão regular, e essa saída em qualquer instante de tempo é proporcional ao acúmulo dos efeitos de erro anteriores, ou seja, a soma dos erros anteriores.

O tipo derivativo tem sua saída proporcional à derivada do erro, em outras palavras, à taxa de variação do erro com o tempo. Seu sinal de saída é apresentado na Equação (3).

$$Saída(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

Onde K_d é uma constante chamada de ganho derivativo.

Nesse tipo de controlador, a resposta ao sinal de erro é muito rápida, e sua saída pode tornar-se grande, devido ao fato da saída ser diretamente proporcional a taxa de variação do erro em função do tempo, e não do tempo em si. Esse efeito pode corrigir o sinal de saída rapidamente, antes que um grande sinal de erro seja detectado no sistema. Porém, em casos em que o erro é constante ou varia muito lentamente, esse controle não terá ação alguma sobre o sistema, por esse motivo ele sempre é aplicado em conjunto com outro tipo de controlador.

Já no controle PID, ocorre à combinação de todos os controladores apresentados em conjunto, combinando as vantagens do controlador PI e do PD. A ação integral está diretamente ligada à precisão do sistema, sendo responsável pelo erro nulo em regime permanente. “O efeito desestabilizador do controlador PI é contrabalanceado pela ação derivativa que tende a aumentar a estabilidade relativa do sistema ao mesmo tempo em que torna a resposta do sistema mais rápida devido ao seu efeito antecipatório” (CEIDE, 2006, p. 42). A Equação (4) demonstra a expressão utilizada para controladores PID.

$$Saída(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Aplicando o método das Transformadas de Laplace a Equação (4), podemos deduzir a equação que representa a função de transferência de um controlador PID, apresentada na Equação (5).

$$G(s) = K_p + K_d \cdot s + K_i/s = (K_d \cdot s^2 + K_p \cdot s + K_i)/s \quad (5)$$

2.3. Motores CC

Neste trabalho, iremos definir o motor de corrente contínua como sendo o nosso processo a controlar. Segundo Dorf (2001 apud SANTOS, H., 2009, p. 27) “o motor CC é um dispositivo atuador de potência que entrega energia a uma carga”. Por exemplo, se necessarmos de um processo para abrir uma válvula de fluído ou movimentar um braço robótico para alguma ação desejada, haverá um motor com aplicações específicas capazes de controlar a sua velocidade e/ou a posição angular. O motor CC converte a energia elétrica de corrente contínua (CC) em energia mecânica rotativa. Onde temos que uma fração importante do torque gerado no rotor (armadura) está disponível para acionar uma carga externa.

A função de transferência do motor, tendo como sua variável de saída a posição do seu eixo é apresentada na Equação (6).

$$\frac{\theta(s)}{Ea(s)} = \frac{k}{s \cdot (Ra \cdot J \cdot s + Ra \cdot f + K \cdot Kb)} \quad (6)$$

Onde: $\theta(s)$ é a posição do eixo; Ra é a resistência da armadura; La é a Indutância da armadura; Kb é a constante de f_{cem} ; J é o momento de inércia; K é a constante de torque; F é o coeficiente de atrito e $Ea(s)$ a tensão de armadura.

Observamos na literatura que o motor CC pode ser controlado através da corrente de armadura (I_a) ou através da corrente de campo (I_f) do motor. Por ser o método mais simples e o mais utilizado, o controle da corrente de armadura é o que será levado em consideração. O controle da velocidade do motor é obtido através da aplicação de uma tensão a armadura (E_a) do motor, já o controle da direção é feito pela inversão da polaridade da tensão aplicada, que determina o sentido de giro e o torque (T_m) a ser aplicado.

A formulação matemática da tensão aplicada ao circuito da armadura é apresentada na Equação (7).

$$Ea = La \cdot (dI_a/dt) + Ra \cdot I_a + Vf_{cem} \quad (7)$$

Quando a corrente de campo é constante, podemos supor que o fluxo produzido pela bobina de campo também será constante, e nesse caso o conjugado ou torque (T_m) desenvolvido pelo motor é proporcional a corrente de armadura (I_a). Ou seja, $T_m = Kt \cdot I_a$,

onde Kt é uma constante que depende do meio magnético e do valor da corrente de campo. A Equação (8) relaciona os torques envolvidos no sistema.

$$T_m = T_j + T_b + T_c \quad (8)$$

Onde T_j é o torque inercial do sistema, T_b é o torque viscoso e T_c é o torque da carga.

2.4. Modulação por Largura de Pulso (PWM)

PWM (Pulse Width Modulation) ou Modulação por Largura de Pulso de uma fonte de energia ou de sinal envolve a modulação do seu ciclo de trabalho, tanto para transmitir informação através de um canal de comunicação ou controlar a quantidade de energia enviada para a carga. Ela utiliza uma onda quadrada, cuja largura do impulso é modulado, resultando na variação do valor médio da forma de onda. Para entender melhor o uso dessa tecnologia na eletrônica de potência, faremos uso de um circuito imaginário composto por um interruptor de acionamento rápido e de uma carga linear a ser controlada.

Desse modo observamos que quando o interruptor está aberto não há corrente aplicada a carga e a geração de potência é nula. No momento em que se fecha o interruptor, a carga recebe a tensão total da fonte e a geração de potência é máxima. Se quisermos que a potência aplicada à carga possua um valor intermediário, temos que acionar o interruptor de maneira muito rápida, ou seja, abrir e fechar os contatos rapidamente. Caso quiséssemos utilizar 50% da potência, o interruptor teria que estar 50% do tempo aberto e 50% do tempo fechado, como mostrado na Figura 3.

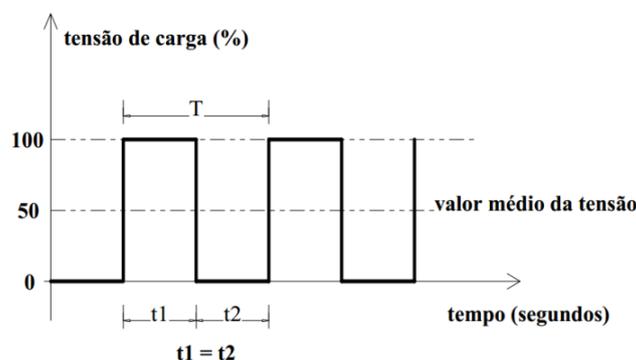


Figura 3 – Forma de onda de tensão do circuito.

Fonte – Ceide (2006).

Podemos observar na Figura (3) que a soma dos tempos $t1$ e $t2$ define o período ou frequência de chaveamento, que é definida como: $F_{chaveamento} = 1/T = 1/(t1 + t2)$.

Variando-se a largura de pulso e o intervalo de modo a termos ciclos ativos diferentes, podemos controlar a potência média aplicada à carga. Assim, quando a largura de pulso varia de zero até o máximo, a potência também varia na mesma proporção.

A maneira mais simples de gerar um sinal PWM é através do método da interseção, que requer apenas uma onda em forma de dente de serra ou triangular que podem ser facilmente geradas, e um comparador. Quando o valor do sinal de referência (o sinal do seno

em verde) na Figura 4 é mais do que a forma de onda de modulação (em azul), o sinal PWM (magenta) está no estado alto, caso contrário, está no estado baixo.

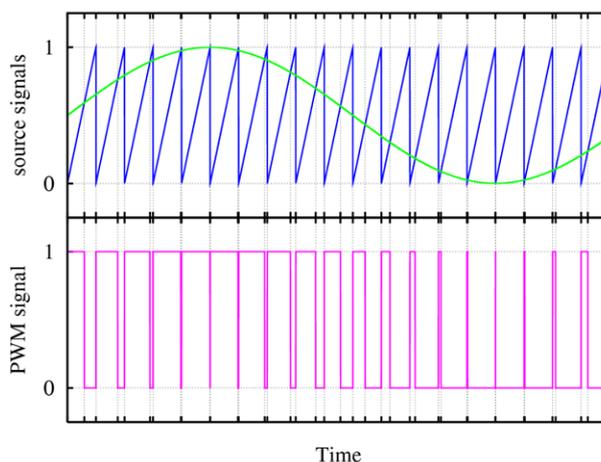


Figura 4 – Geração de Pulso PWM em comparação com o sinal do seno e com o dente de serra.
 Fonte – Faruq (2008).

3. METODOLOGIA

Foi desenvolvida uma pesquisa de referências, que se resumiu a uma busca em determinados sites como os Periódicos Capes, Google Acadêmicos e Google, com a utilização de palavras chave e selecionando-se 29 arquivos, sendo 14 em língua estrangeira e 15 na língua nativa, ou seja, em português. Esse sistema é apresentado no fluxograma da Figura 5, onde se analisou primeiramente o título dos trabalhos, seguidos do resumo, das conclusões e das referências do texto. A fim de selecionar apenas 10 arquivos, 5 em cada língua, que melhor se encaixassem na proposta do título elaborado, para formar este trabalho.

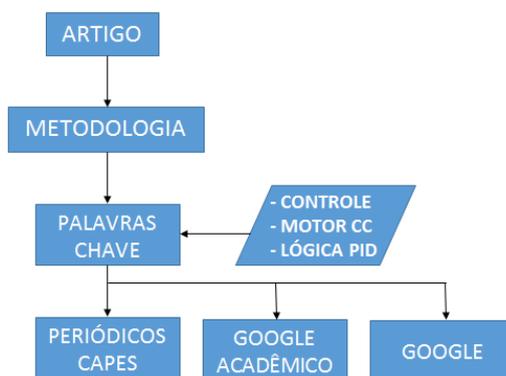


Figura 5 – Fluxograma da metodologia utilizada.
 Fonte – Autoria própria (2014).

Toda a pesquisa foi motivada pela solicitação do professor responsável pela disciplina de Metodologia Científica do Trabalho, ministrada pelo Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para aprovação na mesma.

4. RESULTADOS

Foi observada que a principal dificuldade na utilização dos controladores PID é a sintonia de seus parâmetros (K_i , K_p e K_d), de modo a reduzir ao máximo o tempo de resposta do atuador e seu *overshoot* (que é o tempo necessário para estabilização da curva para um valor predeterminado de velocidade ou de posição). Durante a pesquisa percebeu-se que existem diversos métodos de sintonização para se determinar o valor ótimo das variáveis do controlador.

O método mais simples consiste em um esquema de tentativa e erro. Primeiramente plota-se a curva de resposta do sistema utilizando as suas respectivas funções de transferência, e em seguida altera-se o valor dos parâmetros do controlador a fim de determinar qual são os valores ótimos para cada variável. Sempre se observando o comportamento da curva gerada pela resposta do sistema, com a intenção de se obter a menor variação possível da resposta.

A Figura 6, apresentada no *Control Tutorials for MATLAB and Simulink* (2014, p. 7) mostra a resposta de um sistema de controle PID aplicado a um motor CC, utilizando o método de tentativa e erro, através de um algoritmo de controle implementado no próprio programa para testar uma faixa de valores que produzissem a melhor resposta.

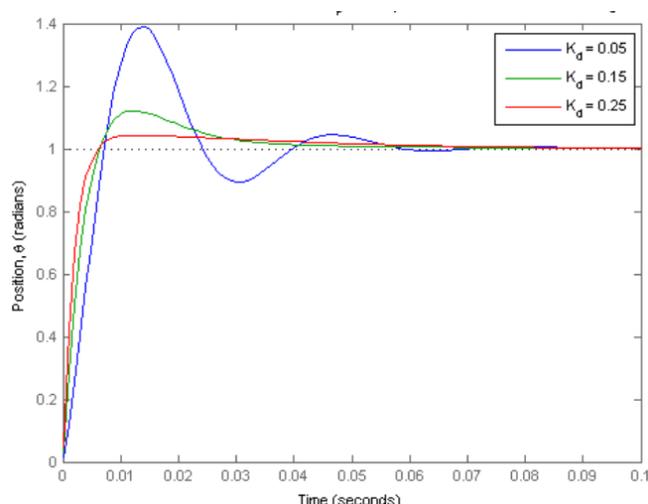


Figura 6 – Resposta a um sinal de referência do tipo degrau com $K_p = 21$, $K_i = 500$ e diferentes valores de K_d .

Fonte – *Control Tutorials for MATLAB and Simulink* (2014).

Um dos métodos mais conhecidos e que hoje é considerado clássico é conhecido como o método de Ziegler-Nichols (ZN). Esse método continua a ser amplamente aplicado até hoje, mesmo em sua forma tradicional, mais, mas comumente em alguma forma modificada em “cruzamento” com outros métodos. O método ZN pode ser classificado em dois tipos básicos de ajuste, o método da Resposta ao Salto e o método do Período Crítico, onde ambos visam obter uma resposta pré-especificada para o sistema em malha fechada, e diferem no que diz

respeito à natureza da informação sobre a dinâmica do processo que é exigida por cada um deles.

Uma vez obtidas essas informações, basta recorrer a fórmulas extremamente simples para calcular os ganhos do controlador. As fórmulas originalmente propostas por ZN fornecem uma resposta que foi posteriormente considerada insatisfatória, então diferentes fórmulas foram desenvolvidas, obtendo-se melhor desempenho.

Uma das técnicas da Inteligência da Computação, que vem sendo largamente empregada na sintonia dos parâmetros do controlador PID é a lógica Fuzzy. A lógica difusa ou Fuzzy é uma extensão da lógica Booleana que admite valores lógicos intermediários entre o “falso” (0) e o “verdadeiro” (1), por exemplo, o valor médio “talvez” (0,5). Isso significa que um valor lógico difuso é qualquer valor entre zero e um. Esse tipo de lógica engloba de certa forma conceitos estatísticos principalmente na área de inferência.

A adaptação do sistema de inferência Fuzzy ocorre na escolha da disposição dos conjuntos de saída do sistema, quando há uma redução no número de conjuntos, visando obter uma melhor resposta da planta do sistema. Lima et. al. (2013) realizou algumas simulações que comparam diferentes estruturas PID sintonizados por ZN e pela lógica Fuzzy, onde o resultado demonstra os ganhos obtidos pela variação da estrutura PID Fuzzy aplicado em seu trabalho. A Figura 7 exibe a resposta de operação (*setpoint* em 100 e 130 rad/s) de um motor CC, objetivando mostrar o comportamento dos controladores PID sintonizados por ZN e o PID Fuzzy.

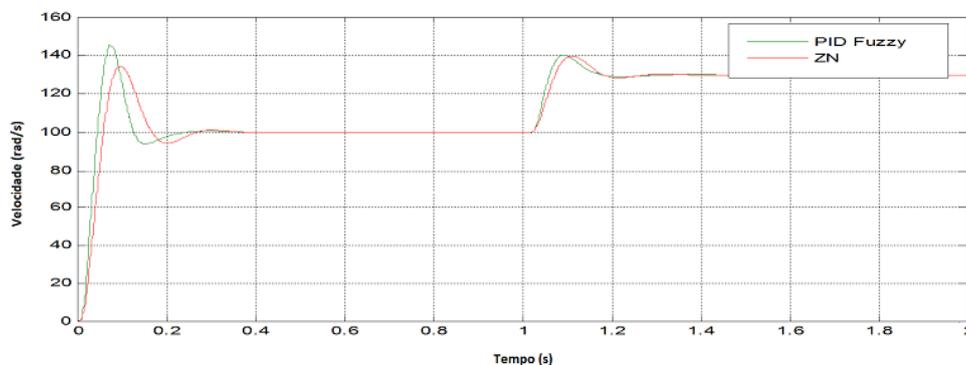


Figura 7 – Resposta do motor CC com o controlador PID sintonizado por ZN e pela lógica Fuzzy.

Fonte – Lima et. al. (2013).

Temos também outro método designado de Algoritmo Genético (GA), que se trata de um método estocástico baseado na seleção natural e na genética. É definido como um método de pesquisa aleatória global que é semelhante ao processo de seleção natural. O GA consiste basicamente em três etapas principais, que são a seleção, o cruzamento e a mutação. A aplicação dessas três etapas permite o surgimento de novos indivíduos (parâmetros) que podem ser melhores que seus pais, sendo esse processo repetido por diversas gerações, e finalmente para, quando se atinge indivíduos que representem a melhor solução para o problema.

Thomas e Poongodi (2009, p. 3) afirmam que a utilização dos Algoritmos Genéticos para sintonizar os ganhos do controlador PID, irá resultar no controle ótimo que será avaliado pelo sistema a cada momento. Segundo seus experimentos na Figura 8, mostrando a

comparação entre as respostas do controlador PID com a resposta original do sistema, pelo método clássico (ZN) e por Algoritmo Genético (GA), todos aplicados a um motor CC.

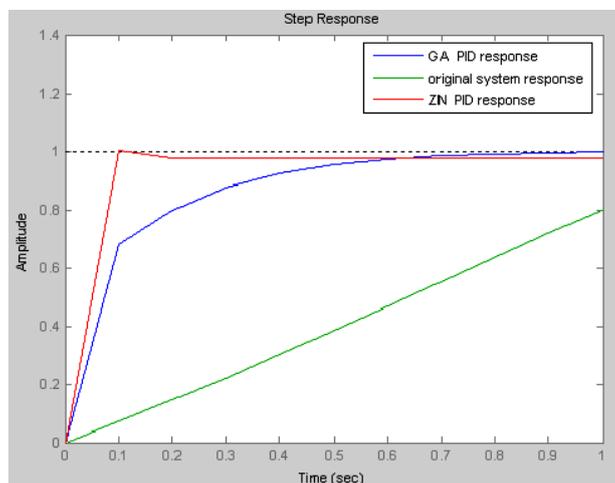


Figura 8 – Comparação das respostas.
 Fonte – Thomas e Poongodi (2009).

Já as redes neurais são modelos de sistemas neurais humanos utilizados através de um algoritmo computadorizado, trabalhando como o mecanismo do cérebro humano em estratégias de resolução de problemas. Eles são capazes de tarefas paralelas e armazenamento distributivo de informações como o cérebro humano e estão em ascensão para uso em muitos mecanismos de controle altamente sensíveis. A Rede Neural Artificial (ANN) trabalha com o aprendizado supervisionado onde um conjunto de dados é utilizado para treinar a rede antes de a simulação ser executada.

O treinamento do controlador se inicia de acordo com os parâmetros dados. No entanto, ele é feito depois, ou seja, é necessário se conhecer a resposta da planta de trabalho. Podendo o treinamento a que o controlador é submetido levar bastante tempo, dependendo dos parâmetros dados e velocidade de processamento.

A precisão de controle da ANN não pode ser muito alta, mesmo assim ainda é comparável com o controle PID, como Ziegler-Nichols, com resultados aceitáveis. O comportamento do controle a dinâmicas desconhecidas é relativamente melhor do que o controle PID. Como a ANN aprende com as experiências anteriores, torna-se mais adequado para aplicações de controle industrial em sistemas com incertezas e efeitos variáveis no tempo. A Figura 9 mostra o comportamento de motor CC utilizado em braços robóticos quando aplicado um controle do tipo ANN.

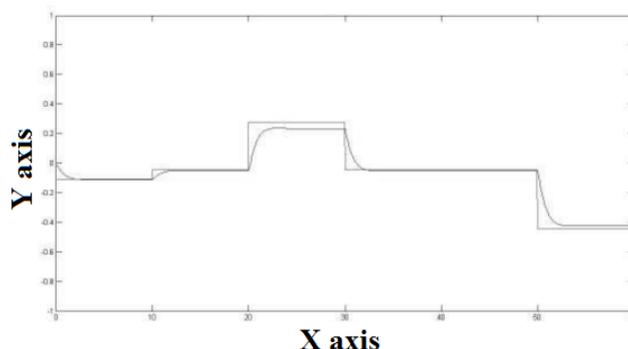


Figura 9 – Resposta de um controle ANN para o controle de posição de um motor CC.
Fonte – Muhammad (2013).

5. CONCLUSÕES

Pudemos observar quais são as equações matemáticas e as funções de transferência que regem o processo em uma abordagem simples e direta, exaltando o funcionamento dos motores CC e os parâmetros que se desejam determinar na especificação de um controlador PID.

Vemos que existem diversos métodos diferentes de sintonia do controlador PID, na determinação de suas variáveis ou parâmetros de controle. Foram apresentados cinco diferentes métodos, são eles: o método empírico; o método de Ziegler-Nichols (ZN); a lógica difusa, ou Fuzzy; o método do Algoritmo Genético (GA) e a Rede Neural Artificial (ANN). Todos se mostraram eficazes e capazes de nos dar a resposta desejada em um menor tempo em comparação com o método empírico, o que também reduz a probabilidade de erro e o tempo gasto com tentativas muitas vezes distantes do ponto ótimo de atuação.

Vale ressaltar que foram omitidas algumas informações pertinentes a sintonização dos controladores PID, por se tratar de um trabalho que não tem por finalidade um estudo aprofundado do tema. Podendo haver divergências entre os parâmetros iniciais adotados aos sistemas pelos diferentes métodos abordados. Caso o leitor deseje verificar tais valores e se aprofundar no assunto, é recomendada a consulta às referências deste texto.

Sendo assim é possível afirmar que o presente texto cumpriu seu objetivo em relação à proposta inicial oferecida na disciplina.

6. REFERÊNCIAS

AHMAD, W. R. B. W. **A DC Motor Controller Using PID Algorithm Implementation On PIC**. Malaysia: UMP, 2008. Thesis of Bachelor of Electrical Engineering.

CEIDE, R. P. **Controlador PID Digital para Posicionamento de Servomotor CC**. Bauru: UNESP, 2006. Monografia Para Especialização em Engenharia Mecatrônica. 59 p.

DC MOTOR POSITION: PID Controller Design. **Control Tutorials for MATLAB and Simulink**. Disponível em:
 <<http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorPosition§ion=ControlPID>>. Acesso em: 29 abr. 2014. 8 p.



FARUQ, M. F. B. M. **PID Controller Design For Controlling DC Motor Speed Using Matlab Application**. Malaysia: UMP, 2008. Thesis of Bachelor of Electrical Engineering.

LIMA, M. O. et al. P. **Controle Com Estrutura PID Fuzzy Aplicado a Plantas Industriais**. Fortaleza: UFC, 2013. 7 p.

MUHAMMAD, A. On replacing PID controller with ANN controller for DC motor position control. **International Journal of Research Studies in Computing**. Karachi, v. 2, n. 1, p. 21-29, Apr. 2013.

SANTANA, D. D. S.; SILVA, P. A.; OLIVEIRA, A. L. Sistema de Controle de Velocidade e Posição Para Mesa Coordenada Cartesiana Utilizada em Máquinas Ferramenta. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 7-25, 8 dez. 2008.

SANTOS, E. C.; RODRIGUES, L. B. C.; FERREIRA, A. M. D.; **Implementação de controlador PID fuzzy para otimização do controle de posição de um servomotor DC**. In: CONGRESSO NORTE E NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7, 2012, Palmas. Anais... Palmas, 2009.

SANTOS, H. S. **Ajuste de Controle PID Utilizando Algoritmo Genético**. Brasília, DF: UNICEUB, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia da Computação, 2009.

THOMAS, N.; POONGODI, P. **Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PIC Controller**. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING, 2009, London. Proceedings... London, 2009.

THEORETICAL APPROACH OF PID CONTROL APPLIED TO ENGINES DIRECT CURRENT (DC)

Abstract: *This study aim to perform a literature review on the use of the PID control applied to DC motors, comparing and showing differences between different methods for determination of its parameters, as motivation for the discipline of the Methodology of Scientific Work Program Graduate in Mechanical Engineering from the Federal University of Campina Grande. The method used consisted in searching for files and documents in search sites of different entities like Google and Google Academic, beyond Periodic Capes. Were observed only search results in the first three pages of the sites, with the introduction of keywords, which was later made a filtering through the title, abstract and results, and were chosen ten files that gave rise to this article. We could then drill satisfactorily the application of PID control in DC motors, with the presentation of the transfer functions of both the controller and motor, obtained by the method of Laplace transforms and the theory of control systems. At the end of the study, we compared the different ways to obtain the constant adjustment of the PID control algorithm, showing the most effective ways to determine this, quickly and accurately.*

Keywords: *DC Motor, PID control, Transfer functions, Control systems.*