



Ajuste de Parâmetros de um Controlador PID Utilizando Método de Ziegler e Nichols para Controle de Posicionamento Angular de um Motor DC

Cruz FE*

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo.*

Resumo. Com a necessidade de atendimentos das demandas de um mercado exigente e competitivo, os processos industriais cada vez mais se aperfeiçoam, buscando alta produtividade, um aumento na confiabilidade nos sistemas de produção a redução de desperdícios garantindo repetibilidade dos produtos finais e a exigências de qualidade. Devido essa grande exigência do mercado globalizado, os processos industriais necessitam de sistemas de controle de processos eficientes, rápidos, e que atendam a planta industrial de forma satisfatória. Nesse contexto ao controladores PID (Proporcional, Integral e Derivativo) se fazem de ferramenta para a obtenção do controle das plantas industriais com maior eficiência. Este presente trabalho tem como objetivo o ajuste dos ganhos do controlador proporcional, integral e derivativo para o posicionamento angular de um motor de corrente contínua de um laboratório remoto utilizando o método de ajuste de ganhos PID desenvolvido por Ziegler e Nichols, mostrando sua atuação na planta de controle. Utilizando o Software Matlab, foi criado a planta virtualmente onde foi simulado sinais de entradas com a planta em malha aberta obtendo uma curva de resposta, e a partir dessa respectiva resposta obtemos valores para ajustar os parâmetros dos ganhos do controlador. Com os valores de ganhos obtidos foi testada a planta em malha fechada com objetivo de analisar dentro das curvas geradas qual possui os valores de respostas otimizados como baixo sobressinal e uma estabilização da resposta em um tempo menor, analisando essas condições obteve-se uma curva e os valores de ganho PID que melhor atenderiam a necessidade da planta virtual.

Palavras chaves: Controlador PID, Laboratório Remoto, Método Ziegler & Nichols, Processos Industriais, Ganho PID.

Introdução. O estudo de sistemas de controle são uma parte constituinte da sociedade moderna. Diversos segmentos e aplicações, desde aplicações criadas pelo homem como lançamentos de foguetes e satélites, veículos e aeronaves autônomas, produção de medicamentos até aplicações que foram criadas pela própria natureza, como sistema de pâncreas que regula o açúcar do corpo.

Nise descreve que todo comportamento de um sistema depende de ações que provém de fora do sistema, situações essas que são denominadas de entradas, tais entradas têm como sua consequência uma saída, causada pelo estímulo da entrada no sistema de controle, a figura 1 a seguir mostra um simplificado sistema de controle (2).

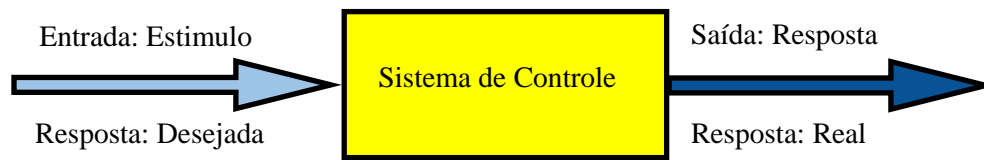


Figura 1. Descrição simplificada de um sistema de controle.

Segundo Ogata, para obter uma resposta desejada na saída de um sistema é necessário por sua vez que o sistema seja controlado, possua um controlador configurado de acordo com arquitetura interna do sistema. O sistema poderá ser apresentado de duas formas ou em uma configuração de malha aberta ou em uma configuração de malha fechada. (1).

A característica principal de um sistema de malha aberta é que o mesmo não poderá gerar nenhuma compensação em relação ao sinal de acionamento do controlador, logo, o sistema não poderá corrigir nenhuma perturbação como ruídos, ou qualquer outro sinal somado ao controlador.

Já a característica principal de um sistema de malha fechada é a compensação que é feita no sinal de entrada do controlador, um transdutor de saída mede a resposta e a converte na forma utilizada pelo controlador.

As ilustrações abaixo mostram em forma de diagramas de blocos os dois tipos de sistema, fig. 2 e 3:

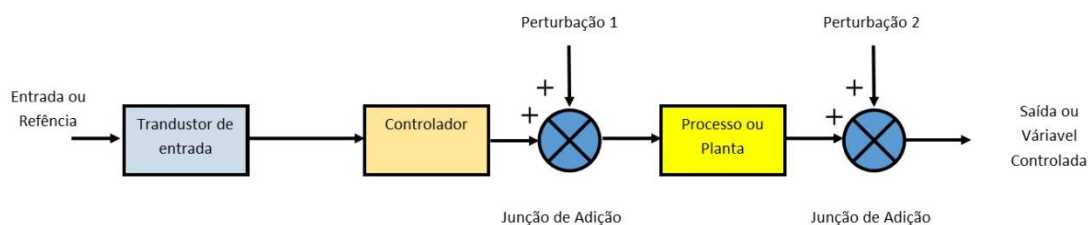


Figura 2. Diagramas de blocos de um sistema de malha aberta adaptado (2).

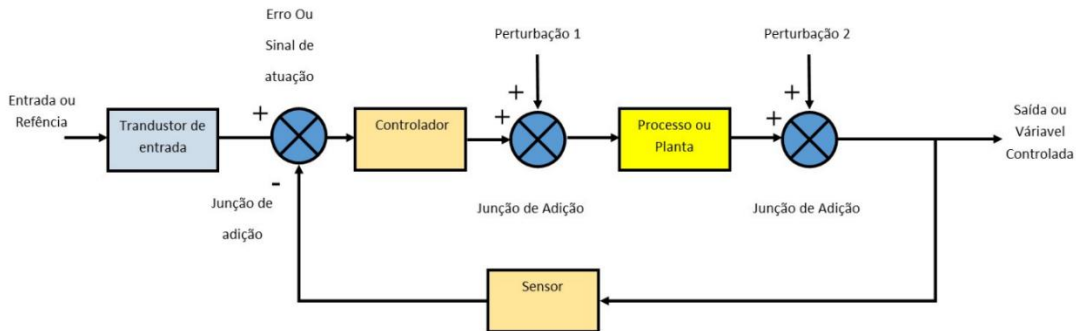


Figura 3. Diagramas de blocos de um sistema de malha fechada adaptado (2).

Neste momento, o mercado, por sua vez, se torna cada vez mais competitivo e é obrigado a sempre investir em melhorias nas plantas industriais. Uma das áreas de grande importância para se investir aumentando a rentabilidade e flexibilidade dos processos são as melhorias em controle de processos industriais (3).

Melhorias essas como:

- Aumento do nível de qualidade dos produtos;
- Diminuição da quantidade de retrabalho ou retrabalho zero;
- Aumento da confiabilidade de sistemas;
- Aumento no nível de segurança das plantas industriais;
- Liberação do operador de operações repetitivas;

Para projetar um sistema de controle adequado a planta, deve-se estabelecer alguns requisitos gerais, que possibilitem a estabilidade do sistema, ou seja, não deverá possuir respostas oscilatórias. O sistema deverá ter uma estrutura de controle que minimize as perturbações, um sistema robusto que tenda a reduzir essas perturbações a zero ao longo do tempo.

Controladores PID. Os controladores PID (Proporcional, Integral e Derivativo) são largamente utilizados na indústria em um contexto geral, em sua grande maioria utilizado em processos de controle de vazão, pressão, temperatura, velocidade de rotação de motores e em máquinas elétricas de um modo geral, os controladores PID (4).

Os controladores PID são projetados para inúmeros tipos de sistema. Possuem baixo custo e relativamente são fáceis de se manipular. Os parâmetros de PID, também chamados de ganhos podem ser encontrados através de métodos diferentes como Ziegler & Nichols, método CHR, método CC, método da integral do erro, dentre diversos outros métodos.

Método de sintonia de Controladores Ziegler e Nichols. Ziegler e Nichols foram os primeiros a desenvolver um trabalho propondo um método de sintonia simples e também objetivo. Segundo Faccin (5), o artigo que eles escreveram teve uma grande importância na disseminação do algoritmo de controle nas plantas industriais. Ziegler, que trabalhava no departamento de vendas precisava na época de um procedimento de ajuste dos ganhos para impulsionar as vendas, para alcançar o objetivo se juntou a Nichols do departamento de pesquisa e juntos desenvolveram o método.

Ziegler e Nichols desenvolveram dois métodos para a obtenção do modelo da dinâmica de um processo de uma entrada e uma saída (*SISO – Single Input Single Output*). Em uma das regras foi baseada em um sistema de malha fechada onde o elevasse o ganho proporcional do controlador até que a resposta oscile com amplitude constante, com esse cenário é possível determinar o último ganho (K_u) juntamente com o período de oscilação da resposta, com esses dados em mãos é possível calcular os outros ganhos do controlador (3).

O outro modo baseia-se em um sistema de malha aberta com uma entrada degrau. A ideia é que identifique o tempo morto e a constante de tempo do sistema, com esses valores é possível calcular os outros parâmetros do controlador, conforme os cálculos e a figura 4 apresentados abaixo (3):

Tabela 1. Tabela de método de Sintonia Ziegler e Nichols.

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{\tau}{(Kx\theta)}$	-----	-----
PI	$\frac{0.9x\tau}{(Kx\theta)}$	$3.33x\theta$	-----
PID	$\frac{1.2x\tau}{(Kx\theta)}$	$2x\theta$	$0.5x\theta$

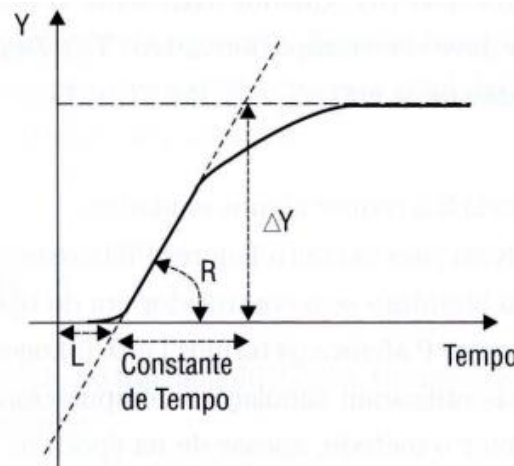


Figura 4. Respostas do processo de primeira ordem em malha aberta (3).

Materiais e Métodos.

Laboratório Remoto. A observação remota é valorizável se ela ocorre no modo *real time* (tempo real), isto é, coletado no experimento é transmitido para o site remoto ou no modo de armazenamento enviando os arquivos dos dados coletados de forma assíncrona para o pesquisador.

O modo vários é particularmente útil ao coordenar visualizadores remotos em vários fusos horários com um site de coleta. No entanto, certos tipos de dados, experiências sobre o suporte científico específico, são mais significativos quando visualizados em tempo real, de modo que um sistema de aquisição de dados de armazenamento e encaminhamento deve suportar um modo de reprodução, no qual os observadores remotos podem recarregar os dados originais coletados.

Independentemente do modo utilizado, a aquisição distribuída de dados possibilita a coleta de dados de ambientes extremos, como exploração marinha e espacial, e também pode melhorar a colaboração entre comunidades científicas dispersas geograficamente, distribuindo resultados científicos de forma mais rápida e menos dispendiosa do que a maioria dos outros métodos.

Automatic Control Telelab. O Departamento de Engenharia da Informação da Universidade de Siena na Itália, criou o Automatic Control Telelab, um laboratório remoto, que permite à cientistas de todo mundo utilizarem seu laboratório remotamente, o mesmo suporta configuração em tempo real bem como a reprodução dos dados adquiridos de um computador remoto ligado a um servidor na internet.

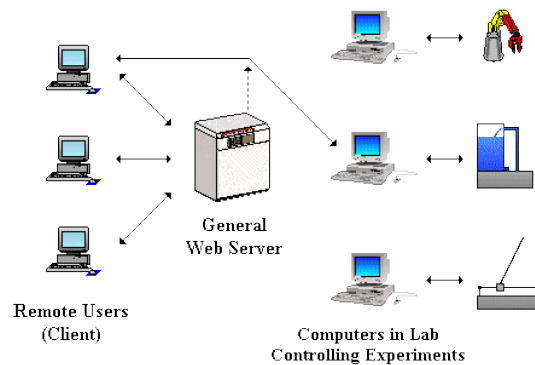


Figura 5. Arquitetura do laboratório virtual - *Automatic Control Telelab.*

Experimento. Dentre os diversos experimentos que o laboratório virtual possui, foi escolhido um experimento de posicionamento angular utilizando um motor de corrente contínua, uma unidade de redução de 50:1, um potenciômetro, a extremidade do resistor potenciométrico está ligada a uma tensão de referência de +/- 8V (Volts). O motor de corrente contínua gera o sinal de atuação para o controle de posição angular. A redução condiz com o ponteiro na escala graduada do painel de visualização. A seguir as figuras 6,7 e 8 ilustrarão a planta de controle:

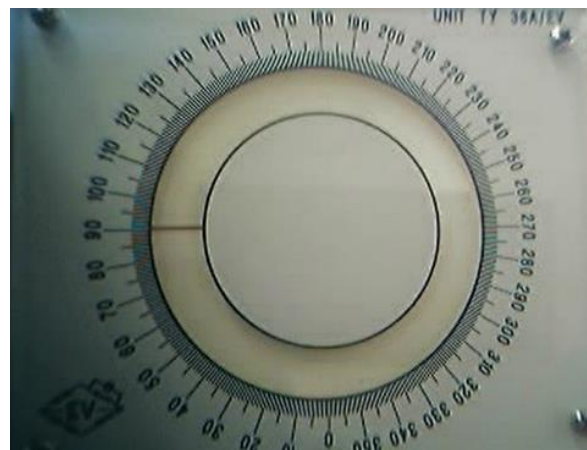


Figura 6. Posição angular do motor de corrente contínua em tempo real no *Automatic Control Telelab.*

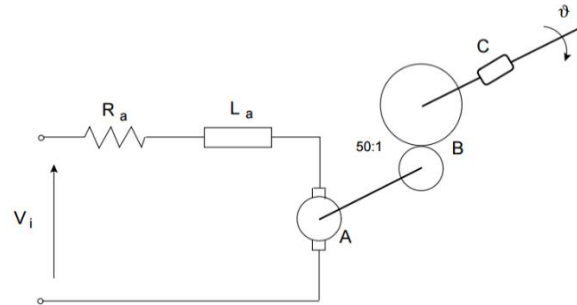


Figura 7. Modelo da planta de controle

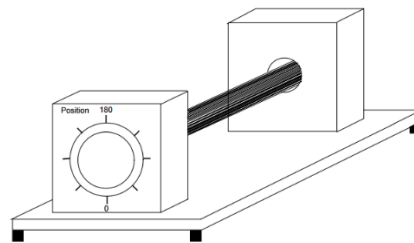


Figura 8. Planta de controle

Abaixo a tabela 2 como os parâmetros do motor:

Tabela 2. Tabela dos dados do motor

Tensão Nominal	24V
Indutância de Armadura	2.8mH
Resistência de Armadura	5.5 ohms
Torque constante no motor	0,046 Nm/A
Velocidade Nominal	4000 RPM
Máxima tensão no motor	+/- 2.3V
Máxima aplicação de tensão	+/- 5V

Modelo Matemático. A função de transferência aproximada do processo em malha aberta é representada na Eq. 1, a seguir, enquanto a Equação de ganho é representada na Eq.2:

$$G(s) = \frac{K}{s(1+T_f s)(1+T_m s)} \quad (1)$$

Considerando:

$$K = \frac{k_g k_m}{R_f} \quad (2)$$

Por sua vez, a tabela 3, relaciona as constantes gerais do motor.

Tabela 3. Tabela de constantes

Km	Constante geral do motor (rad/V.s)
Kg	Constante do motor (V/A)
Rf	Resistência do circuito de campo (Ω)
Tf	Constante de campo do gerador(s)
Tm	Constante mecânica do motor (s)

Devido a um limite presente dentro do processo a dinâmica total pode ser escrita conforme a Eq. 3:

$$\theta(s) = \begin{cases} 0 & \text{se o valor de } Vi \in [0, 2.3] \\ \frac{20}{s \left(1 + \frac{1}{2000} s\right) \left(1 + \frac{1}{10} s\right)} \cdot Vi(s) & \text{se o valor de } Vi \in [2.3, 5] \end{cases} \quad (3)$$

A tensão aplicada ao motor V_i resulta no ângulo medido pelo potenciômetro em graus como mostra a fig.9:

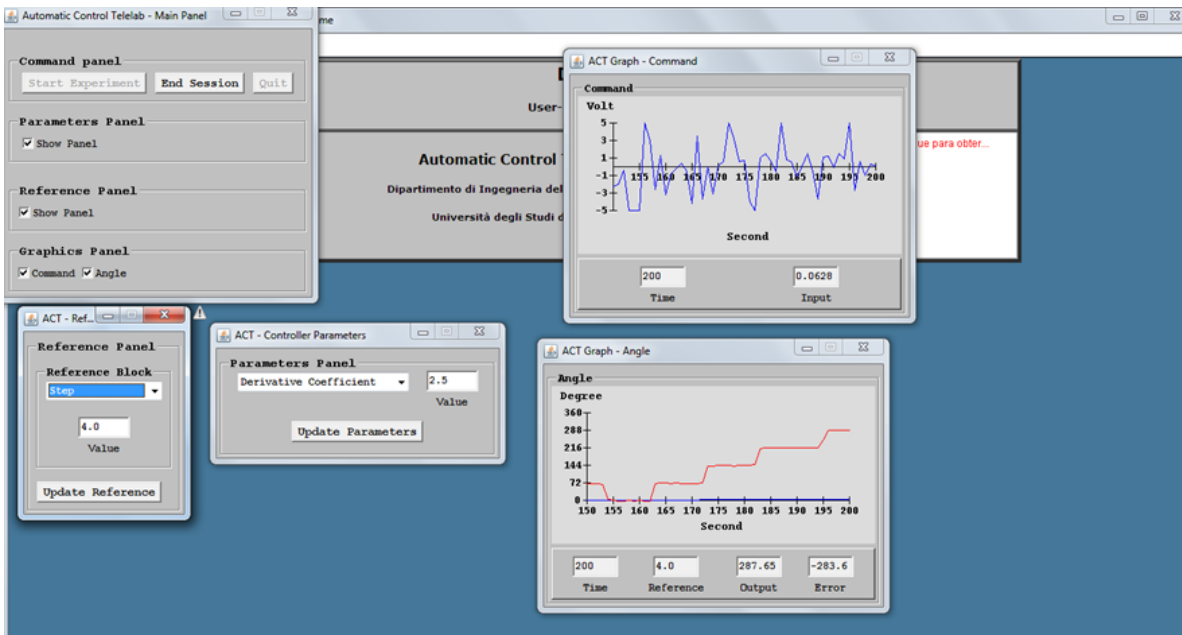


Figura 9. Ângulo variando conforme a tensão aplicada.

Foi utilizado a função de transferência dada pelo Laboratório virtual e montamos no software MatLab®, utilizando a ferramenta Simulink®, a função de transferência de malha aberta, aplicando uma entrada degrau no valor 3, dentro do campo valido da função, gera-se uma saída degrau e que através da mesma podemos encontrar valores de calcular valores de taxa de variação e o tempo morto, traçando uma reta tangente a função, a seguir a figura 10 representando o sistema em malha aberta e a fig.11 representando a saída da função propriamente dita .

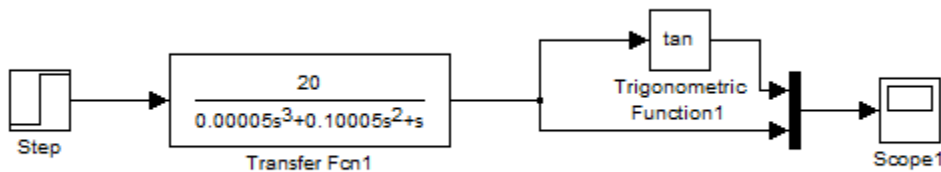


Figura 10. Função de Transferência de malha aberta da planta virtual.

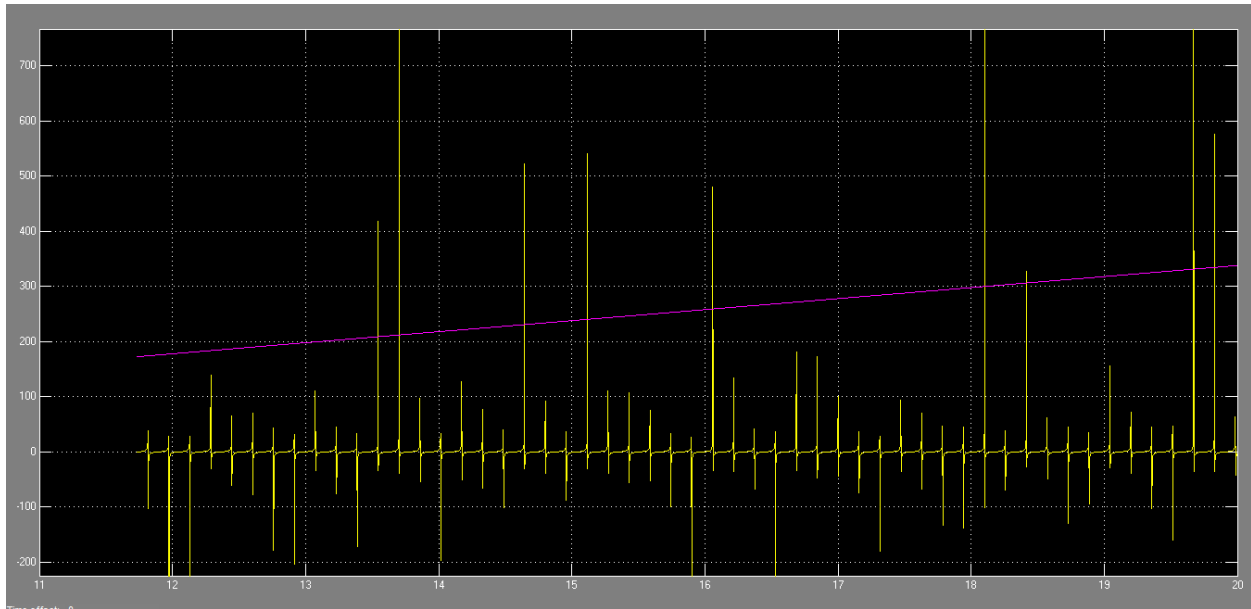


Figura 11. Resposta do sistema em malha aberta.

Com o Gráfico acima percebemos que o sistema é um sistema integrativo, logo devemos pegar os valores de tempo morto e os valores de ganho como se mostra no sistema representado por Campos (6) na fig. 12.

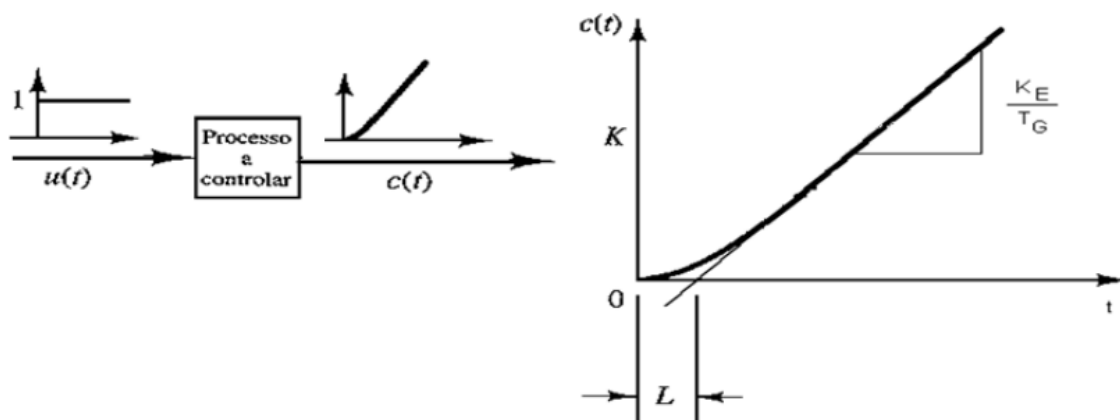


Figura 12. Resposta para um sistema integrativo

Aplicando uma entrada degrau unitário na função de transferência obtemos o gráfico abaixo, fig.13, onde podemos obter os valores da constante de tempo e do ganho K segundo o método Ziegler e Nichols, como foi citado acima.

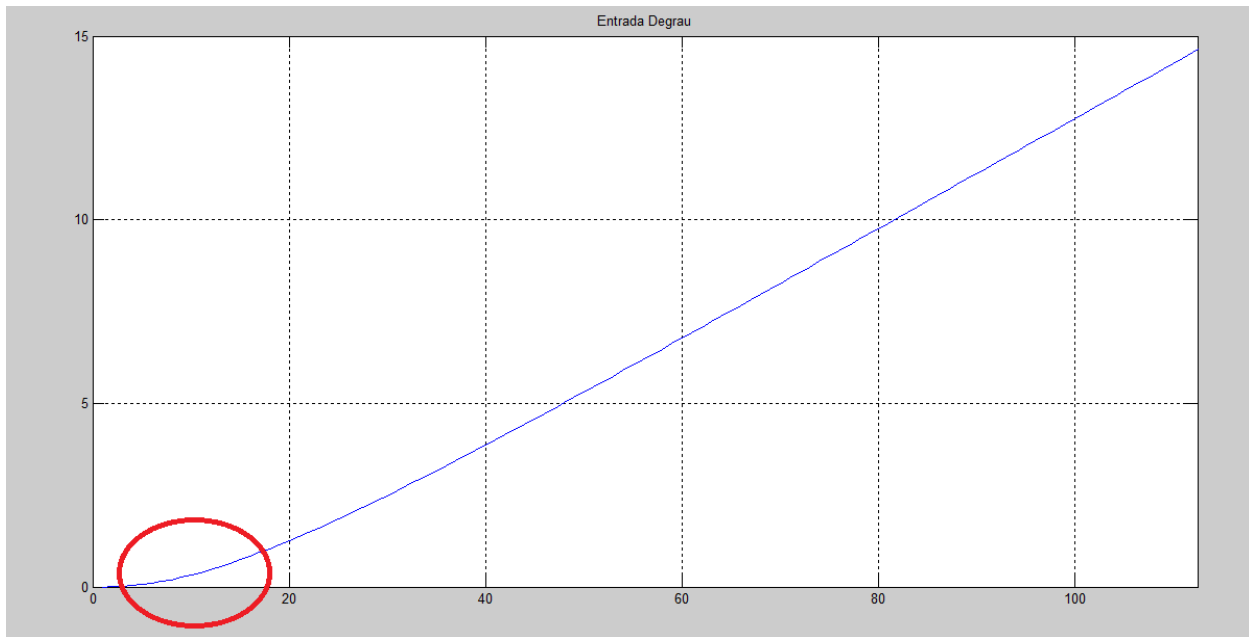


Figura 13. Entrada Degrado em função de malha aberta

Com o gráfico da função acima obtemos dois valores, um deles é o ganho K onde obtemos um valor igual a 20, o outro é o tempo morto que obtemos um valor de 6,41 com a reta tangente a curva.

Como falado por Ziegler e Nichols em seu artigo, na prática, essas fórmulas não garantem nem um desempenho específico, nem a estabilidade em malha fechada, logo, elaboraremos uma tabela com constantes de tempo variáveis, testando qual é a melhor resposta em malha fechada.

Tabela 4. Tabela dos ganhos do controlador PID obtidos pelo método Ziegler & Nichols

Tempo morto	Constante de Tempo	Kp	Ki	Kd
6,41	0.01	38.46	0.002	0.005
6,41	0.02	19.26	0.004	0.001
6,41	0.005	77.04	0.01589	0.0025

Abaixo as figuras 14, 15 e 16 mostrando o tempo de resposta e a estabilização do sinal para cada ganho:

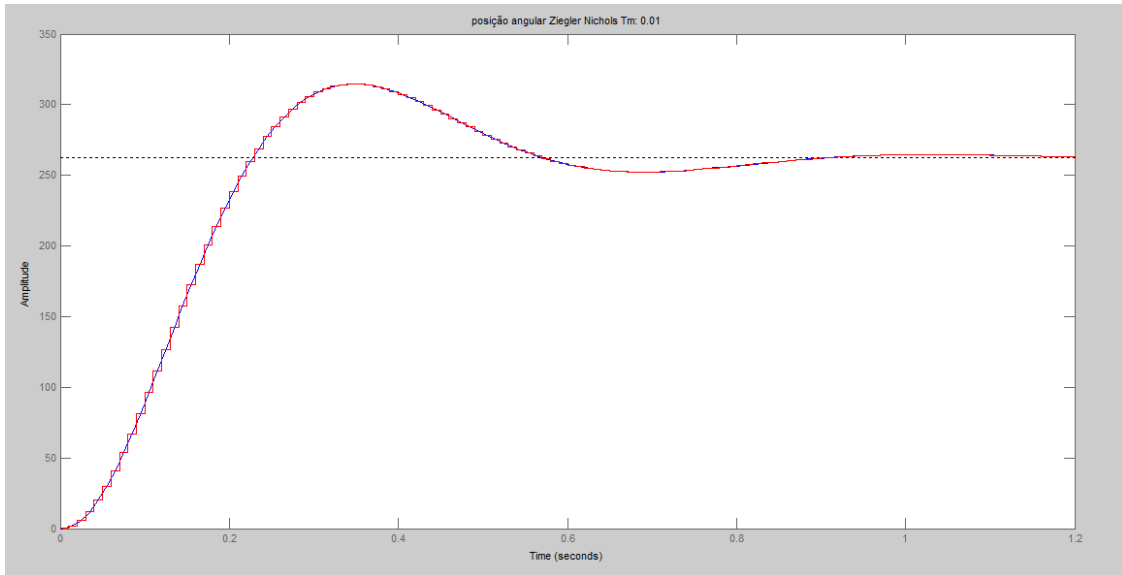


Figura 14. Estabilização com Constante de Tempo de 0.01

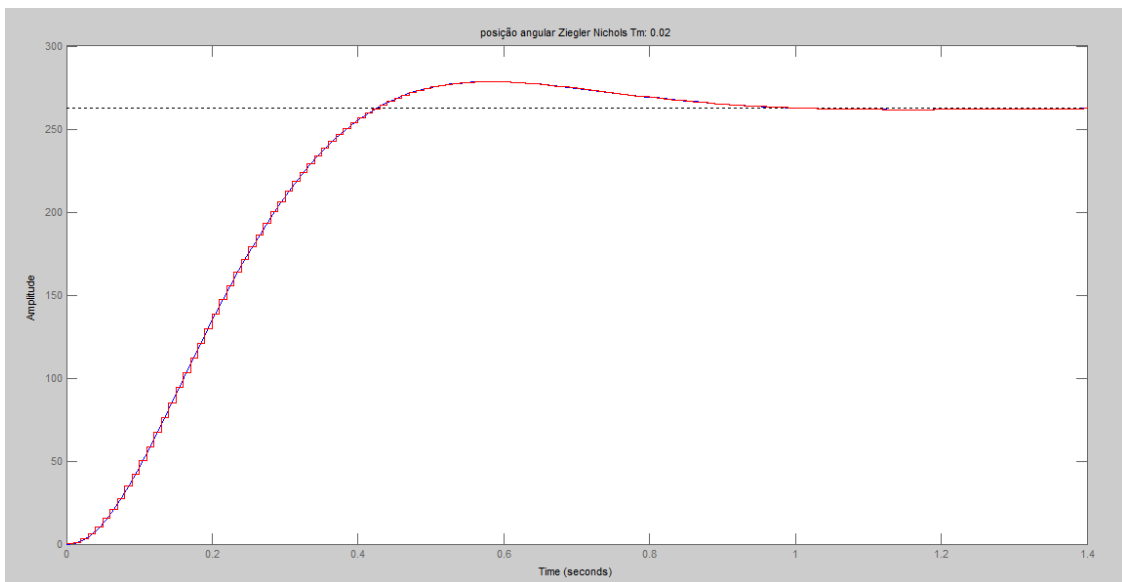


Figura 15. Estabilização com Constante de Tempo de 0.02

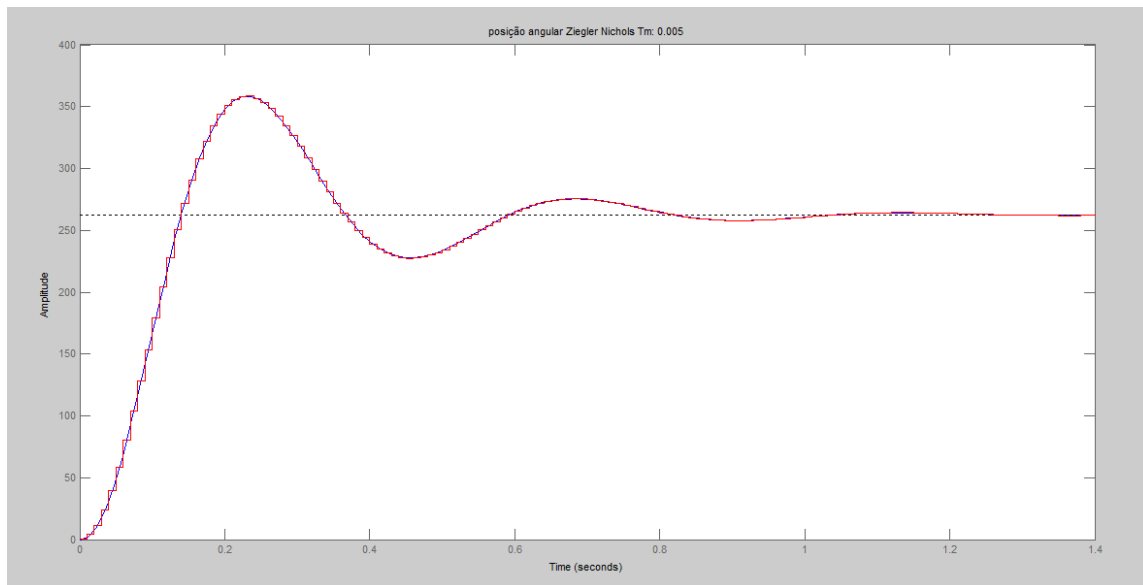


Figura 16. Estabilização com Constante de Tempo de 0.005

Conclusão. Dos valores experimentados a constante de tempo de 0,02 foi a que apresentou uma melhor reposta, obtendo um menor sobressinal, estabilizando com uma maior rapidez. Verificou-se através dos gráficos obtidos que por ser um sistema integrativo obter-se os ganhos através do método de Ziegler Nichols torna-se um método impreciso, para obter ganhos satisfatórios deve-se trabalhar como um sistema não integrativo, ou, alocando o polo na origem discretizando o sistema. Como possíveis trabalhos futuros pode-se apontar a comparação do método Ziegler e Nichols com outros métodos de ajuste de ganho PID como os métodos CHR, método Heurístico de Cohen e Coon CC, Método da Integral do Erro, Método do Modelo Interno IMC e Método dos Relés em Malha Fechada e verificar qual obtém a melhor resposta dentre os métodos;

Agradecimentos. Agradeço ao Departamento de Engenharia da Informática da Universidade de Siena pela criação do laboratório remoto, tal ação é um grande incentivo a pesquisa em um âmbito acadêmico global e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo pelo apoio aos pesquisadores.

Referências Bibliográficas.

- (1) Ogata, Katsuhiro; Engenharia de Controle Moderno; Editora Pearson, 5ª Edição, 2013;
 - (2) Nise, Norman S; Engenharia de Sistemas de Controle; Editora LTC; 5ª Edição, 2011;
 - (3) Campos, M. C.; Teixeira, H. C.; Controles Típicos de equipamentos e processos industriais; 2. Ed; São Paulo: Blucher, 2010;
 - (4) Maitelli, A.; Carvalho, F. Programa Computacional Interativo para Simulação e Otimização de Controladores PID;
 - (5) Faccin, F; Abordagem Inovadora no Projeto de Controladores PID; Dissertação de mestrado; DEQ/UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2004;
 - (6) Campos, P; Sintonia do Compensador PID [Internet]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR.
 - (7) Ziegler, J; Nichols, N; Optimum Settings for Automatic Control, Rochester N.Y, 1942;
 - (8) TeleLAB[Internet]:Universidade de Siena, departamento de engenharia da informação.
-

Abstract. With the need to meet the demands of a demanding and competitive market, industrial processes are increasingly improving, seeking high productivity, an increase in reliability in production systems, reducing waste, ensuring repeatability of final products and quality requirements. Due to this great demand of the globalized market, the industrial processes need efficient, fast process control systems that meet the industrial plant satisfactorily. In this context, the PID controllers (Proportional, Integral and Derivative) become a tool to obtain the control of industrial plants with greater efficiency. This paper aims at adjusting the proportional integral and derivative controller gains for the angular positioning of a DC motor of a remote laboratory using the PID gain adjustment method developed by Ziegler and Nichols, showing its performance in the plant of control. Using the Matlab Software, the plant was created virtually where simulated input signals were created with the open loop plant obtaining a response curve, and from this respective response we obtain values to adjust the parameters of the controller gains. With the values of gains obtained the closed-loop plant was tested with the purpose of analyzing within the generated curves which has the values of optimized responses as low overestimation and a stabilization of the response in a shorter time, analyzing these conditions a curve was obtained and The PID gain values that would best meet the need of the virtual plant.

Keywords. *PID Controller, Remote Laboratory, Method Ziegler & Nichols, Industrial Process, PID Gain.*