

ELEVADOR EQUIPADO COM SISTEMA DE CONTROLE P.I.D

Beatriz Rêgo Lima¹
Paulo Victor Galvão Simplicio²
Isaac Nunes de Oliveira³
Agnaldo Cardozo Filho⁴
Teófilo José Leite Alves⁵

Engenharia Mecatrônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777
ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

A presença de controle P.I.D na área da automação industrial e residencial vem crescendo cada vez mais devido a facilidade de implantação e controle do sistema. Este artigo tem o intuito de apresentar a relação entre a teoria e a prática de sistemas de controle, pois além de indicar seus conceitos, funções e comportamentos gráficos, exibe seu funcionamento em um protótipo de elevador elétrico. Para essa construção, foi necessário obter um conhecimento a respeito do tema, além de estudar e comparar respostas afim de obter um resultado mais próximo do real.

PALAVRAS-CHAVE

P.I.D. Sistema de Controle. Elevador Elétrico.

ABSTRACT

The presence of control P.I.D in the area of industrial and residential automation has been growing more and more due to the ease of implementation and control of the system. This article intends to present the relationship between the theory and practice of control systems, in addition to indicating its concepts, functions and graphic behaviors, shows its operation in an electric elevator prototype. For this construction, it was necessary to obtain knowledge about the subject, besides studying and comparing answers in order to obtain a result closer to the real.

KEYWORDS

P.I.D. Control System. Electric Lift.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje é possível perceber a presença de elevadores não apenas em edifícios com inúmeros andares, mas também em supermercados, shoppings, lojas em gerais e outros ambientes de pequeno e médio porte.

Segundo o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais (CREA-MG, 2013), elevador é um mecanismo de elevação ou decida, fechado para transporte de pessoas e cargas no sentido vertical. Dessa forma, é possível verificar que este tipo de transporte vem sendo bastante utilizados em diversos ambientes com características e funcionalidades diferentes, mas mantendo sua definição.

Apesar de todos os elevadores possuírem uma mesma movimentação, vertical, existem dois tipos quanto a sua estrutura:

Elevador Elétrico: Esse tipo de elevador tem por característica a presença de cabos em sua estrutura e ao ser comparado a elevadores hidráulicos torna-se mais ágil, além de não obter muitos ruídos no momento de movimentação e sua manutenção não é alta.

Elevador Hidráulico: Esse tipo de elevador tem sua estrutura baseada no Princípio de Pascal onde diz que a variação de pressão sofrida por um ponto de um líquido em equilíbrio é transmitida integralmente a todos os pontos do líquido e às paredes do recipiente onde está contido.

Ao aplicar esse princípio em um elevador hidráulico, a pressão exercida em uma de suas colunas, na mais estreita, é transmitida a todos os pontos do elevador, tornando possível a aplicação de uma força menor que a necessária para elevar a cabina.

Mesmo possuindo estruturas diferentes, ambos os tipos necessitam apresentar conforto e segurança seja para o transporte de carga ou passageiros. Para isso, é necessário realizar a implementação de um sistema de controle com uma determinada resposta coerente a esse tipo de sistema.

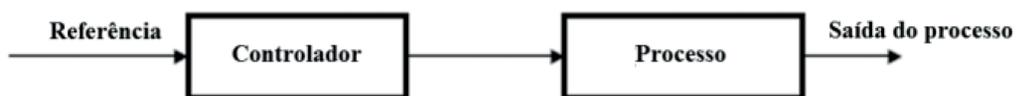
Atualmente para um melhor funcionamento do elevador, utiliza-se um controle proporcional integral derivativo para alcançar os resultados desejados.

2 SISTEMA DE CONTROLE

Nos dias atuais, apesar de não saber o real conceito e às vezes até sua existência, utilizamos diversos sistemas de controle em inúmeras atividades, desde um simples banho quente até um manipulador robótico em ação em uma indústria. Segundo Nise (2014), um sistema de controle consiste em subsistemas e processos construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada, com desempenho desejado para uma entrada especificada fornecida.

Em geral, um sistema de controle pode ser manual ou automático. Além disso, é necessário levar em consideração suas duas principais configurações: sistema de controle em malha aberta e em malha fechada. Uma configuração em malha aberta apresenta um funcionamento básico onde necessita de uma entrada com o valor desejado, um controlador desse sistema, um processado e por fim a saída com o valor real. Nesse tipo de configuração há algumas características marcantes como: a presença de distúrbios, uma imprecisão com relação ao valor da saída ao se comparar ao valor desejado e a necessidade de uma estimativa humana para analisar a saída deste sistema (FIGURA 1).

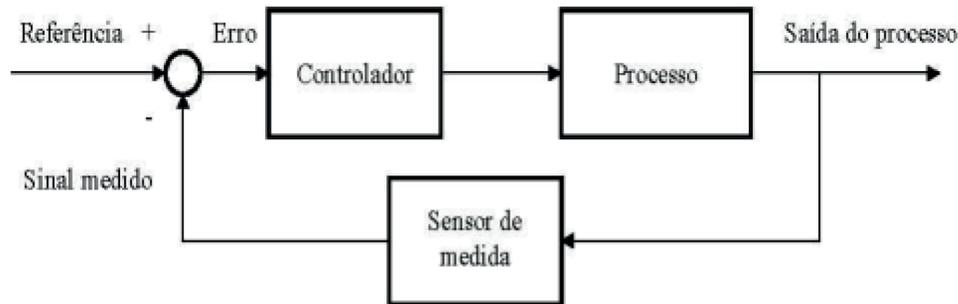
Figura 1 – Estrutura básica de um sistema em malha aberta



Fonte: Oliveira (1999)

Um sistema qualquer em malha fechada apresentará sempre uma maior precisão além de não necessitar de uma estimativa humana. Sua estrutura consiste de uma entrada onde deve apresentar um valor desejado, controlador, atuador, processador e saída (FIGURA 2).

Figura 2 – Estrutura básica de um sistema em malha fechada



Fonte: Oliveira (1999)

Diferentemente de um sistema em malha aberta, o sistema em malha fechada terá sempre um feedback do resultado encontrado, dando a precisão desejada ao sistema.

Esse tipo de sistema dá a possibilidade de ajustar sua saída por meio de uma relação entre o valor desejado, *set point*, e o último valor encontrado na saída. Essa relação é denominada erro.

O objetivo desse erro é tornar a resposta final do sistema o mais próximo possível da resposta desejada.

2.1 SISTEMA DE CONTROLE DE SEGUNDA ORDEM

Em geral, um sistema de controle pode ser de primeira ordem, segunda ou até de ordens superiores. Este trabalho tem o foco em sistemas de segunda ordem com entrada em degrau unitário.

A função de transferência desse tipo de sistema pode sofrer algumas mudanças até alcançar sua forma padrão onde se encontra em função de seu coeficiente de amortecimento e da frequência natural não amortecida. A Equação 1 abaixo apresenta a forma padrão do sistema de segunda ordem.

Equação 1 – Forma padrão do sistema de segunda ordem

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Fonte: Ogata (2010)

Onde:

ζ : Coeficiente de amortecimento do sistema;

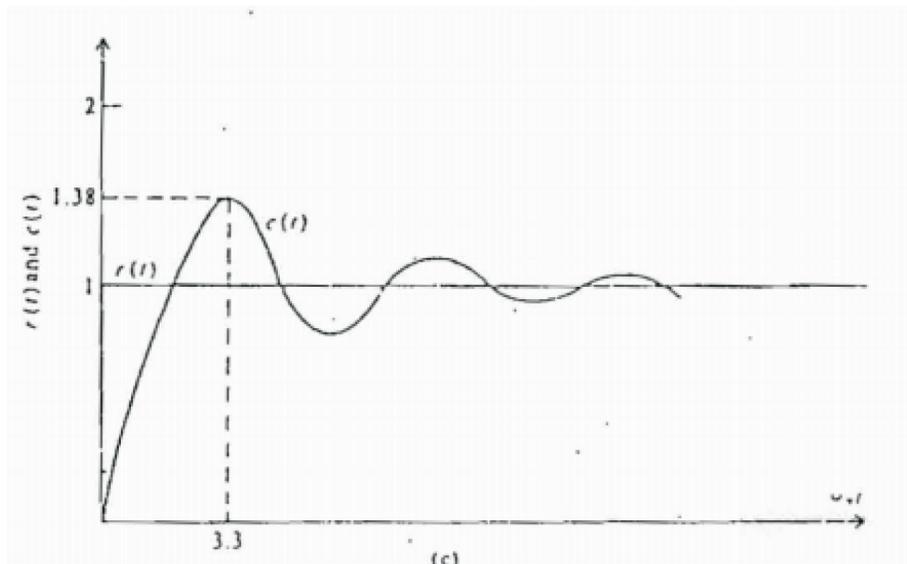
ω_n : Frequência natural não amortecida.

Como foi possível analisar nas estruturas de um sistema de controle, seja ele em malha fechada ou aberta, em sua composição haverá sempre uma entrada e uma saída. Esta saída é denominada de resposta de um sistema de controle.

2.1.1 Resposta Subamortecida

Tem por característica principal a presença do coeficiente de amortecimento em um intervalo entre zero e um tornando possível a presença de uma oscilação na resposta por determinada faixa de tempo. Essa oscilação tenderá a uma estabilidade próxima ao valor de set point inserido no sistema (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Representação gráfica de uma resposta subamortecida



Fonte: Shinnars (1992).

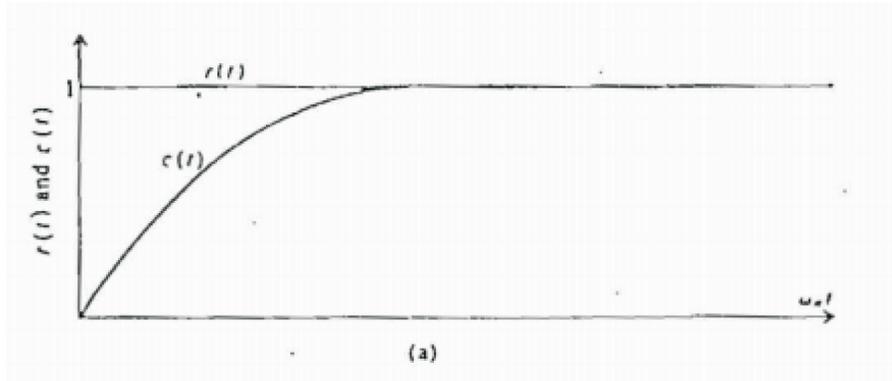
Esse tipo de resposta apresenta algumas especificações como: *Delay time* (t_d): tempo requerido para que a resposta alcance metade de seu valor final pela primeira vez; *Rise time* (t_r): tempo requerido para que a resposta passe de 0% para 100%; *Peak time* (t_p): tempo necessário para que a resposta atinja o primeiro pico de sobressinal; *Maximum overshoot* (M_p): valor máximo de pico da curva de resposta. Dessas especificações, apenas o *maximum overshoot* é encontrado somente em sistemas subamortecidos.

2.1.2 Resposta Criticamente Amortecida

Para um sistema apresentar uma resposta criticamente amortecida é necessário ter um coeficiente de amortecimento igual a um (Gráfico 2).

Ao se comparar com a resposta anterior, essa saída tem um comportamento sem oscilação em seu trajeto, tendendo a uma estabilidade próxima ao set point informado.

Gráfico 2 – Representação gráfica de uma resposta criticamente amortecida



Fonte: Shinnars (1992).

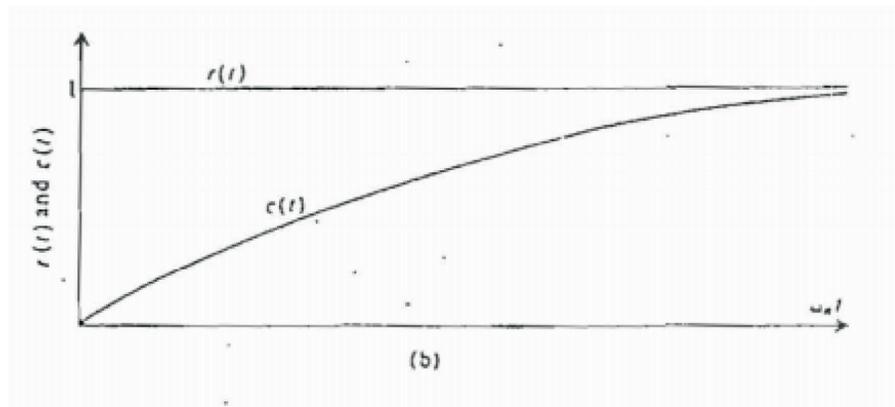
Dessa forma, pode-se perceber que uma resposta criticamente amortecida permite uma aproximação mais rápida de seu valor final, podendo se assemelhar a uma resposta de 1º grau.

2.1.3 Resposta Superamortecida

Nesse tipo de resposta, as duas raízes encontradas são reais e negativas, pois apresenta um coeficiente de amortecimento maior que um.

O Gráfico 3 apresenta essa resposta onde ao comparar-se a saída criticamente amortecida, percebe-se um alcance de sua estabilidade próxima ao *set point* em um tempo maior.

Gráfico 3 – Representação gráfica de uma resposta superamortecida



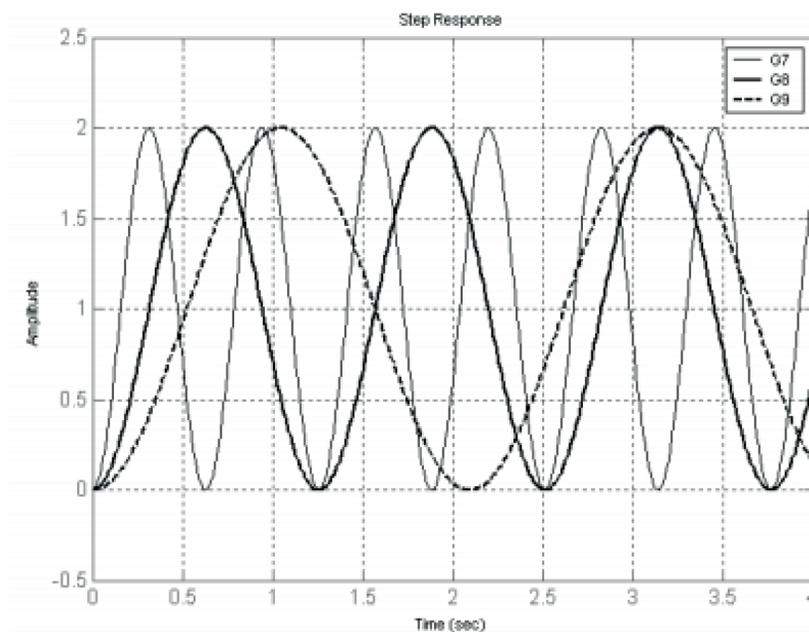
Fonte: Shinnars (1992).

2.1.4 Resposta Criticamente Estável

Segundo Ogata (2010), a resposta de um sistema será sempre criticamente estável se existir um polo simples em $z=1$ ou se houver um conjunto de polos conjugados (GRÁFICO 4).

Esse tipo de resposta é conhecido, também, como resposta marginalmente estável.

Gráfico 4 – Representação gráfica de uma resposta criticamente estável



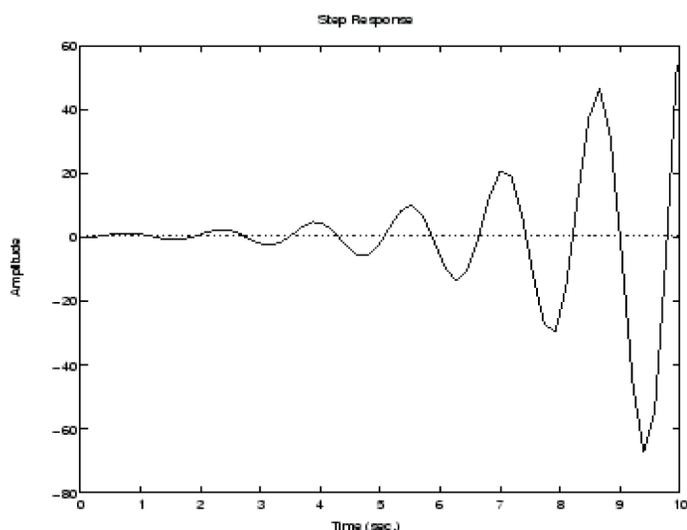
Fonte: Souza (2007).

Nesse caso, analisando graficamente essa resposta, um sistema que apresentar uma saída criticamente estável terá a presença de oscilações constantes e de mesma amplitude por tempo indefinido.

2.1.5 Resposta Instável

Por fim, é possível encontrar também uma resposta instável ao sistema dado. Segundo Reach e Beltrame (2012), esse tipo de resposta tem por característica a saída de seu estado de equilíbrio, tendendo a realizar oscilações com amplitudes diferentes (GRÁFICO 5).

Gráfico 5 – Representação gráfica de uma resposta instável



Fonte: Souza (2007).

Ao contrário de uma resposta criticamente estável, a saída instável apresentará sempre um polo fora do círculo unitário.

3 CONTROLE P.I.D

Controle P.I.D é um algoritmo muito utilizado em automação industrial devido a sua simplicidade de funcionamento e robustez. Como o próprio nome já diz, esse tipo de controle apresenta três coeficientes: proporcional, integral e derivativo, onde com suas respectivas atuações tornará a resposta do sistema com determinadas características presentes apenas com esse tipo de controle.

De forma prática, um sistema com controle P.I.D apresenta os seguintes procedimentos: fazer a leitura de um sensor, calcular a resposta da saída do atuador por

meio do cálculo proporcional, integral e derivativo. Por fim, será necessário juntar as três respostas encontradas, podendo assim calcular a saída desejada de um determinado sistema.

A seguir será analisado cada um dos três coeficientes e o comportamento do sistema.

3.1 RESPOSTA PROPORCIONAL

Esse tipo de resposta depende apenas da diferença entre o ponto de ajuste e a variável de processo. Essa resposta pode ser ajustada a partir da constante de ganho K_p . A relação entre essa constante e o sistema é a seguinte: quanto maior o valor de K_p , maior o ganho do erro e por consequência, o sistema será mais instável, porém, com um K_p menor, seu tempo de resposta também será menor.

A relação entre a saída do controlador e o erro atuante, utilizando a transformada de Laplace é a seguinte:

Equação 2 – Controlador proporcional

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Fonte: Ogata (2010)

3.2 RESPOSTA INTEGRAL

Nessa resposta é apresentado o somatório dos erros e multiplicando-o pela constante K_i . Dessa forma percebe-se que mesmo que o erro seja muito pequeno, o coeficiente integral irá aumentar lentamente. Para que não haja esse aumento, a resposta integradora deve comandar o erro para zero. Quando não há essa tendência do erro ir para zero, geralmente ocorre um fenômeno denominado overshoot. Este ocorre quando o valor encontrado ultrapassa o valor desejado.

Equação 3 – Controlador integral

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Fonte: Ogata (2010)

A função de transferência acima é o resultado de uma aplicação da transformada de Laplace em um valor da saída do controlador modificado a uma taxa de variação proporcional ao sinal de erro que atua no sistema.

3.3 RESPOSTA DERIVATIVA

O coeficiente derivativo tem por finalidade diminuir um possível *overshoot* no sistema além de melhorar a estabilidade do controlador. Essa resposta é proporcional à taxa de variação da variável de processo.

Uma derivada de resposta é muito sensível a ruídos e caso venha a aumentar, pode acarretar uma instabilidade no controlador até de forma descontrolada.

A função de transferência é definida para uma ação de controle proporcional derivativo como mostra a Figura abaixo.

Equação 4 – Controlador proporcional derivativo

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d S)$$

Fonte: Ogata (2010)

Dessa forma, pode-se dizer que é interessante realizar a implementação dos três coeficientes citados para alcançar uma melhor estabilidade do sistema. Juntando os três coeficientes, a equação de um controlador P.I.D é a seguinte:

Equação 5 – Representação matemática de um controlador P.I.D

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Fonte: Ogata (2010)

Onde:

$u(t)$: saída em relação ao tempo;

$e(t)$: entrada menos o erro em relação ao tempo;

K_p : constante proporcional;

T_i : tempo integrativo;

T_d : tempo derivativo.

4 METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica da leitura existente, buscando-se compreender o que vem a ser um sistema de controle, controle proporcional integral derivativo e os sub tópicos referentes a esses assuntos.

Foi possível prosseguir com as atividades práticas, tendo uma base dessa bibliografia. Estas foram subdivididas em três áreas: mecânica, eletrônica e programação, onde no final realizou-se a junção das três, tendo como resultado o protótipo desejado.

Primeiramente criou-se um desenho técnico de toda a estrutura do protótipo, utilizando o software *SolidWorks*. Em seguida foi possível discutir todo o seu desenvolvimento, incluindo a localização de cada componente e definir as funcionalidades desejadas.

Dessa forma, os materiais necessários para realizar o desenvolvimento das três áreas definidas foram: madeira de 9mm, madeira de 3mm, adesivo instantâneo, polia, cabo de aço, parafuso, fita isolante, para área mecânica do protótipo, resistor de 10k e 330 ohms, chaves sem trava, leds de alto brilho, display de sete segmentos, display LCD, motor DC, relé de 12v e uln2003, sensor ultrassônico, conector de duas vias, jumper e por fim, placa de desenvolvimento da Mecatrônica Brasil para realizar toda a comunicação entre os circuitos e o código desenvolvido. Para o desenvolvimento desse código foram utilizados softwares como Siow, Mplab e CCS.

Para realização desse projeto foi utilizado o site *Team Work* para gerenciamento de projetos. Nesse ambiente foram definidas todas as atividades que deveriam ser realizadas com seus respectivos prazos, orçamento além dos arquivos criados como listas de componentes necessários, imagens do desenho técnico.

Por fim, o protótipo ficou definido com três andares, onde a movimentação da cabina baseia-se no acionamento do botão localizado no andar desejado, realizando seu movimento com a presença de um controle P.I.D e uma resposta criticamente amortecida para tal sistema. Além disso, o elevador tem a presença de displays de sete segmentos em cada um dos andares, indicando o andar em que a cabina está localizada e um display LCD com a mesma função, porém localizado na placa de desenvolvimento. Há também a presença de dois leds em cada um dos andares com o intuito de indicar a presença da cabina no respectivo andar.

Em se tratando do código desenvolvimento, para o funcionamento do protótipo foi implementada a função de transferência de um controlador P.I.D com os seguintes parâmetros: $K_p = 15$, $T_i = 2$ e $T_d = 1.86$.

Figura 3 – Protótipo finalizado



Fonte: Autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o protótipo desenvolvido, foi possível alcançar o objetivo inicial de encontrar a relação entre a teoria e a prática referente ao assunto de sistemas de controle, fazendo uma análise do seu funcionamento.

A presença de um controle P.I.D foi de extrema importância para alcançar o conforto desejado na construção do protótipo, pois tornou o sistema mais estável.

As diferenças descritas referentes a cada tipo de resposta também tiveram sua importância nesse protótipo, pois era desejado algo amortecido, porém sem oscilação ou com um tempo para resposta muito grande e desta forma tornou-se presente a resposta criticamente amortecida no protótipo.

REFERÊNCIAS

CREA-MG – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais.
Cartilha do elevador, 2013;

NISE, Norman S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 745p.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5.ed. São Paulo: Pearson, 2010. 808p.

OLIVEIRA, A.L.; LIMA. **Instrumentação – fundamentos de controle de processo.** SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Espírito Santo, 1999.

REACH, Cassiano; BELTRAME, Rafael. **Representação em domínio da frequência para sinais contínuos:** Transformada de Laplace. Sinais e Sistemas – Unidade – 5. Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

SHINNERS, S.M. **Modern control system theory and design.** New York: John Wiley & Sons, 1992.

SOUZA, P.J.A. **Sistemas de primeira ordem:** resposta ao degrau – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

Data do recebimento: 15 de Dezembro de 2016

Data da avaliação: 17 de janeiro de 2017

Data de aceite: 13 de fevereiro de 2017

-
1. Discente do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: beatriz.rego@souunit.com.br
 2. Discente do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: paulo.galvao@souunit.com.br
 3. Docente Professor do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes -- UNIT. E-mail: isaacnunesdeoliveira@gmail.com
 4. Docente do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: eng.agnaldofilho@gmail.com
 5. Docente do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: teofiloalves@yahoo.com.br