



**Universidade Federal de Minas Gerais**  
Escola de Engenharia

# Relatório

## Trabalho Prático 2

Luiz Gabriel Aragão Oliveira  
Pedro Ian Mota Moraes

2014086480  
2013024716

<b>Abstrato</b>	<b>3</b>
<b>Introdução</b>	<b>4</b>
<b>Metodologia</b>	<b>6</b>
Modelo em Espaço de Estados da Planta	6
Aplicação do Controle	6
Aplicação do Observador	9
<b>Conclusão</b>	<b>9</b>
<b>Referências</b>	<b>10</b>

# Abstrato

No contexto da pandemia de COVID-19, na vida de trabalhadores tornou-se comum o regime remoto de atuação, onde a principal ferramenta de trabalho é o computador pessoal. Com isso, surge a demanda de adaptar ambientes às condições específicas de ergonomia de cada pessoa em suas respectivas moradias. Neste trabalho será tratada a aplicação de conhecimentos relativos ao projeto e especificação de um controlador digital para bases de monitores de computador com o objetivo de facilitar o posicionamento correto de telas no ambiente de trabalho remoto. Além da aplicação, o entendimento prático das metodologias de controle e simulação de um modelo fictício são também explorados, tomando como base modelos construídos a partir de ensaios reais.

# Introdução

O curso de Controle Digital, pertencente à grade curricular do curso de Engenharia de Controle e Automação, possui uma ampla abrangência em áreas de projeto para as quais controladores discretos para sistemas lineares e invariantes no tempo (*SLIT*) podem ser implementados. Sendo assim, é possível que aplicações das mais diversas áreas sejam atravessadas pela base teórica de formação no projeto de sistemas de controle digital.

A pandemia causada pela COVID-19 implicou em uma maior carga de trabalho em casa (*home office*), com isso, há uma necessidade de dar atenção à ergonomia durante a realização dessas atividades. Segundo a norma regulamentadora N°17 (NR 17), para realizar trabalho na posição sentada, o monitor de vídeo deve estar apoiado em superfície com mecanismo de regulação independente e deve proporcionar corretos ângulos de visão ao ser posicionados frontalmente ao operador.



Figura 1: Ilustração de postura correta e incorreta de trabalho com monitor.

Nesse contexto, decidiu-se por desenvolver uma aplicação para realizar o posicionamento vertical de monitores de computador de forma automática, a partir de dados de entrada do usuário do computador/monitor, de forma que o posicionamento seja o mais adequado para aquele trabalhador. O suporte proposto é formado por uma base com regulagem de altura (Figura 2), ao qual será acoplado um atuador capaz de elevar ou abaixar o monitor segundo a posição recomendada.



Figura 2: Base de altura regulável para monitor utilizada como modelo.

# Metodologia

Com base no modelo já definido da planta em análise, tem-se que a função de transferência da planta é dada por:

$$C(s)/R(s) = 1/(0.3s^2 + s)$$

Tem-se como objetivo projetar um controlador e observador discretos utilizando a representação no Espaço de Estados (EE) da planta em análise. Para tal, foi seguido os seguintes passos para a realização do projeto:

- Representação da função de transferência em Espaço de Estados;
- Implementação da lei de controle para o modelo em espaço de estados;
- Realização de ajustes do controlador encontrado.

## Modelo em Espaço de Estados da Planta

Por possuir uma equação característica de segundo grau, era esperado encontrar uma representação no Espaço de Estados do tipo:

$$\begin{aligned} \dot{X}_{2 \times 1} &= A_{2 \times 2} X_{2 \times 1} + B_{2 \times 1} u_{(s)} \\ Y &= C_{1 \times 2} X_{2 \times 1} \end{aligned}$$

Após aplicar uma multiplicação à função de transferência discretizada para obter o valor unitário no elemento de maior grau, com taxa de amostragem de 0.1 segundo, pois é considerado que o motor responsável pela elevação do aparelho possui frequência de atuação de 60Hz. Assim, utilizando um período de amostragem menor do que o que será aplicado como controle no motor, foi encontrado:

$$H_{(s)} = 0.015 * (z + 0.89) / (z - 1)(z - 0.72)$$

Dessa forma, a matriz 'A' pode ser definida a partir dos pólos da função de transferência, ou seja, as raízes da equação característica. Assim, foi definido:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.71 & 1.71 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0.013 & 0.015 \end{bmatrix}$$

Foi também utilizado a função '*tf2ss*' do *Matlab* na função de transferência do sistema, confirmando o resultado supracitado.

## Aplicação do Controle

Para realizar o controle efetivo da planta é necessário transformar o sistema que está em instabilidade para estável, além de tornar o sistema com uma resposta mais rápida para respostas em degrau. Para tal objetivo, foi necessário o deslocamento negativo do pólo mais lento a fim de melhorar o tempo de resposta. Sendo assim, foi utilizado a função '*lqr*' do *Matlab*,

necessária para encontrar a matriz de ganho do controlador, onde foi encontrado a seguinte representação no espaço de estados do sistema final:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1.23 & -2.23 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0.013 & 0.015 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

Para análise do sistema final em malha aberta, foi utilizado a ferramenta de geração de diagrama de *Bode* do sistema, representado na Figura 3, a seguir:

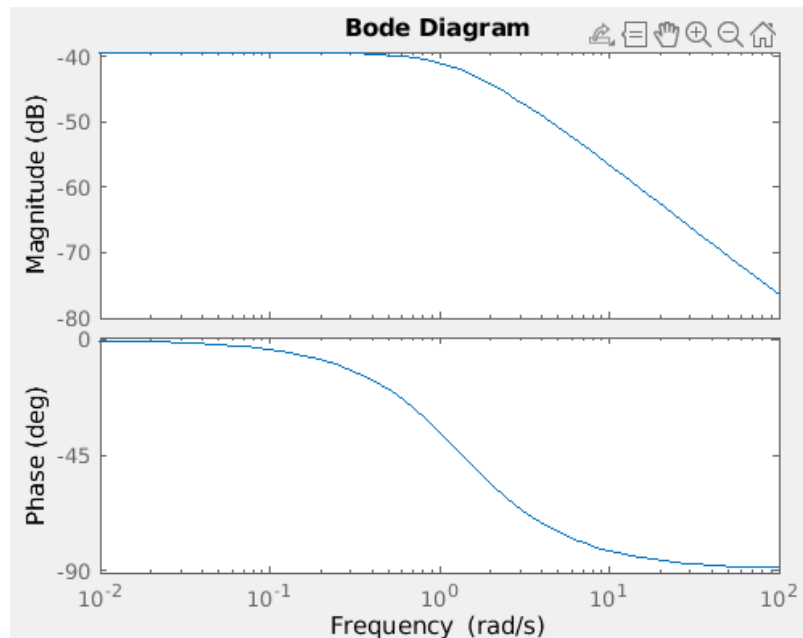


Figura 3: Diagrama de Bode da Planta em malha aberta

Após analisar a resposta em frequência acima, foi observado o grande impacto na fase do sistema mas não no ganho, sendo necessário a manipulação das constantes de entrada para a função '*lqr*' utilizada. Dessa forma, foi obtido o novo resultado:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1.11 & -3.82 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 3.33 & 0 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

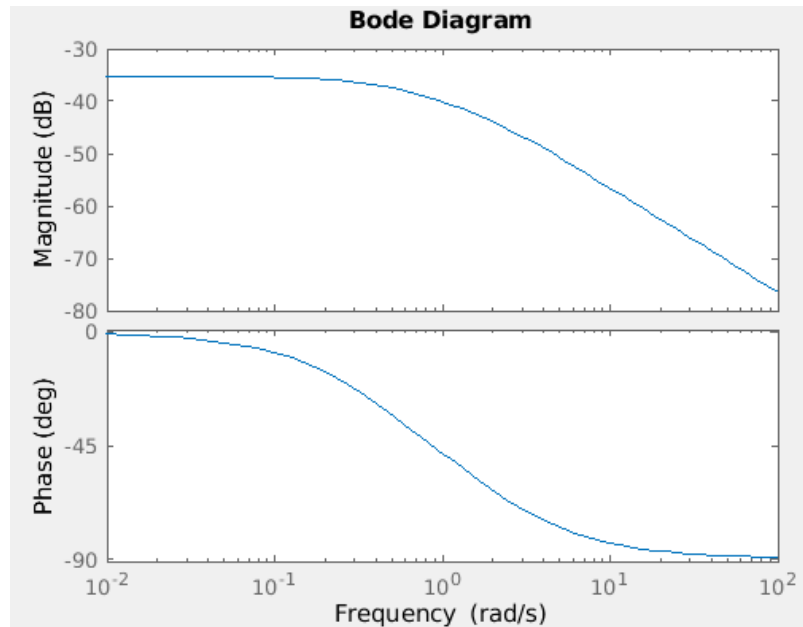


Figura 5: Diagrama de Bode do Sistema final (Planta + Controle) em malha fechada

Mesmo com a definição de controle acima, o sistema final possui uma resposta não limitada à uma entrada do tipo degrau, ou seja, instável. A afirmação pode ser comprovada com o gráfico da saída 'y':

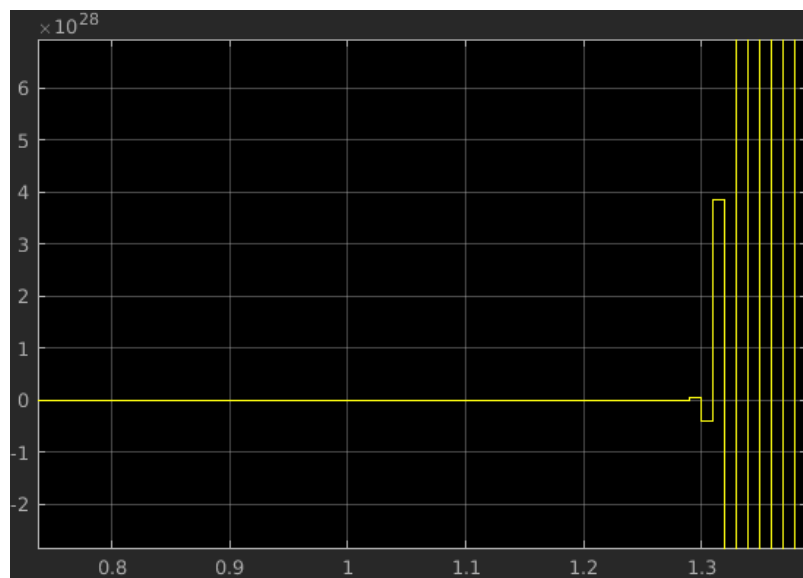


Figura 6: Resposta do modelo em espaço de estados para uma entrada em degrau.

Para tornar o sistema estável, optou-se pelo método de síntese direta, através do qual buscou-se um controlador capaz de estabilizar a resposta apresentada. Uma vez que existe um zero no semiplano positivo de valor 0.98 é necessário realizar um cancelamento através da adição de um pólo no semiplano direito. Dessa forma, um controlador composto por um pólo no semiplano direito, em 0.9, foi utilizado para obter as respostas abaixo:



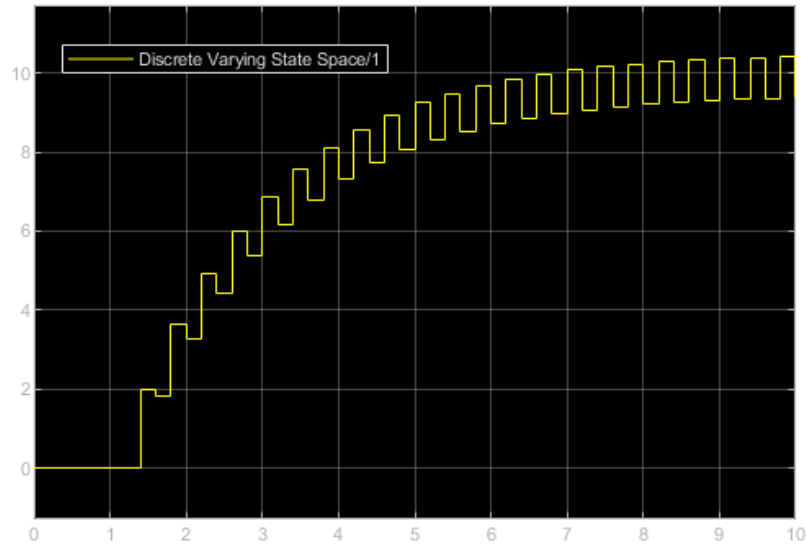


Figura 7: Resposta do modelo em espaço de estados para uma entrada em degrau com pólos  $[+0.9, -1.0]$ .

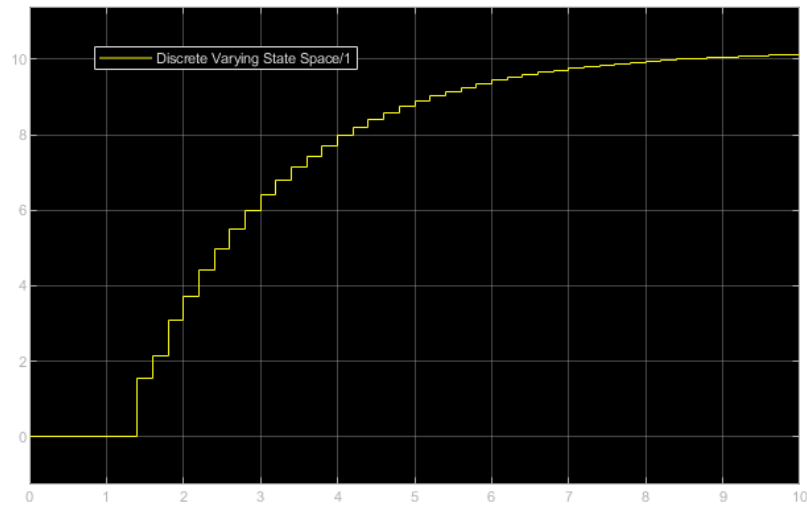


Figura 8: Resposta do modelo em espaço de estados para uma entrada em degrau  $[+0.9, -0.5]$ .

Como foi observado nas Figuras 7 e 8, a resposta ao degrau atinge um erro nulo em regime estacionário e, além disso, é estável. Para o polo de valor  $-0.5$  observa-se uma resposta mais rápida. Para avaliar essa diferença na saída do sistema, foi utilizado a ferramenta *Simulink* do *Matlab* para a representação em diagrama de blocos do modelo testado neste trabalho, sendo obtido o seguinte diagrama:

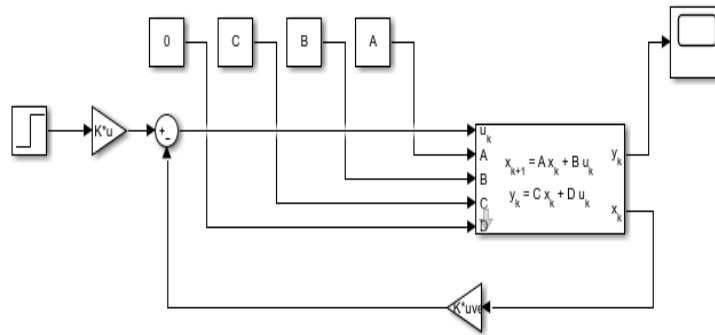


Figura 9: Diagrama de Blocos do Sistema Controlado no *Simulink Matlab*

Na Figura 9 estão representadas as matrizes A, B, C e D, que caracterizam o modelo em espaço de estados, o ganho de realimentação de estados, que realiza o controle de estabilidade da planta, e o ganho de entrada, necessário para ajustar o erro em regime estacionário.

## Aplicação do Observador

Um observador tem como objetivo estimar os estados do sistema que não podem ser analisados, sendo possível utilizar esta informação para atuar no controle da planta, de forma que a saída seja de acordo com o esperado. Para encontrar o observador ideal para o sistema definido, foi necessário utilizar a equação de *Luenberger* abaixo para obter os parâmetros necessários para o projeto:

$$x_{obs(k+1)} = Ax_{obs(k)} + Bu_k + L(y_k - y_{obs(k)})$$

Onde a variável  $L$  é a matriz de ganho do observador, representado no diagrama abaixo:

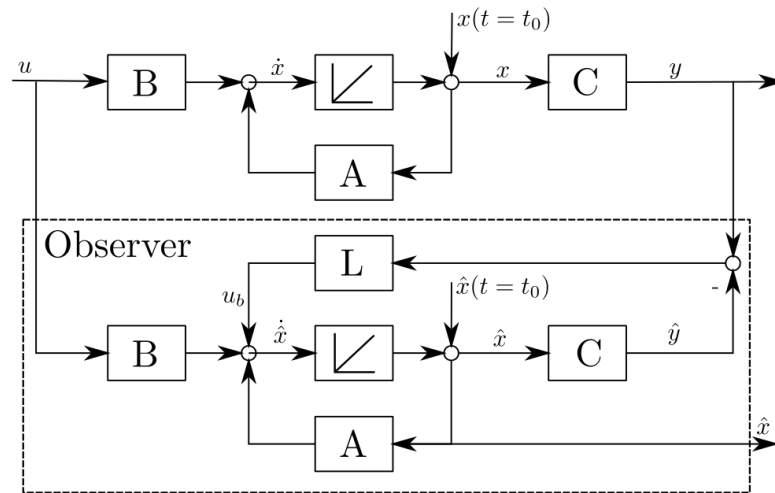


Diagrama 1: Estrutura do Observador de *Luenberger* na representação de Espaço de Estados [4]

Para encontrar a matriz de ganhos do observador, foi utilizado a função '*place*' do *Matlab*, permitindo que fosse aplicado, sobre as matrizes do sistema, a alocação de pólos em -3 e -2, por serem os mais próximos e mais rápidos do que os pólos atuais, obtendo:

$$L = [0.76 \quad 2.76]$$

Dessa forma, partindo do modelo utilizando para realizar o controle em espaço de estados, obteve-se a seguinte estrutura do observador na ferramenta *Simulink* do *Matlab*:

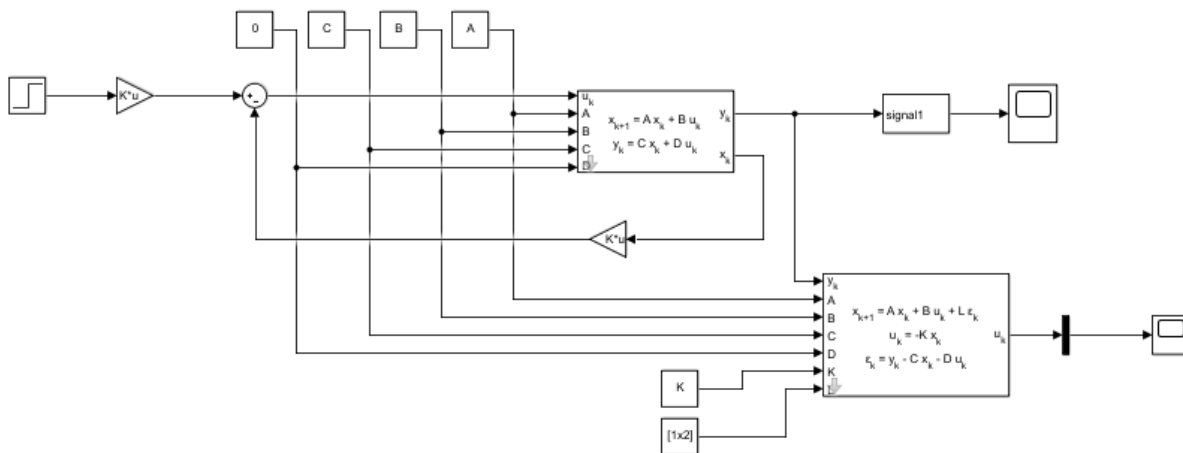


Figura 10: Sistema final com controlador e observador

Em seguida a seguinte resposta ao degrau foi obtida para o estado do modelo segundo o observador:

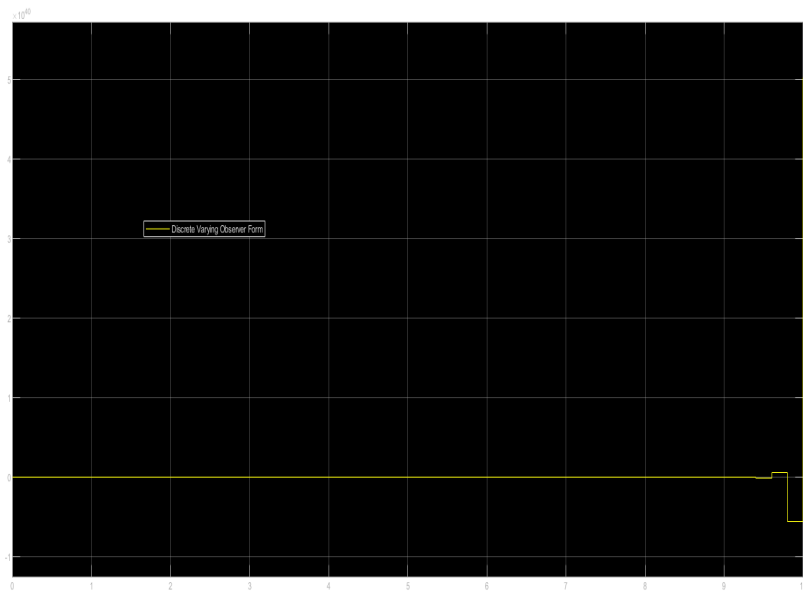


Figura 11: Saída do observador

A resposta obtida acima descreve como, para um degrau, o sistema modelado neste trabalho se comportaria **sem a presença de um controlador**, ou seja, devido a sua natureza instável, foi encontrada uma resposta ilimitada para um degrau, como era esperado.

# Conclusão

Com base nos resultados apresentados e discutidos, conclui-se que a dupla responsável pela confecção deste trabalho alcançou o objetivo proposto de realizar um controle de uma planta por meio da representação no Espaço de Estados. Vale ressaltar que, apesar da melhoria no tempo de resposta do sistema, além de torná-lo estável, não foram encontrados os melhores valores de constantes utilizados. Os valores aplicados apenas atendem as especificações de velocidade e sobre-elevação de sinal determinados.

O observador encontrado possui um comportamento esperado, de estimativa dos estados atuais do sistema. Não foi encontrado um observador que permitisse estimar os estados do sistema controlado, somente do sistema em malha aberta.

# Referências

1. RABELO, Marcos e FERNANDES, Flávia (2020). SISTEMA PARA CONTROLE DE POSICIONAMENTO DO ELEVADOR. Intercursos Revista Científica. Recuperado de <https://revista.uemg.br/index.php/intercursosrevistacientifica/article/view/5241>
2. NIH (2010), Leg Length, Body Proportion, and Health: A Review with a Note on Beauty. Recuperado de [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2872302/#:~:text=3.5.-,Sitting%20Height%20Ratio%20\(SHR\),the%20length%20of%20the%20legs](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2872302/#:~:text=3.5.-,Sitting%20Height%20Ratio%20(SHR),the%20length%20of%20the%20legs).
3. NR 17 (2018), Norma Regulamentadora nº 17 - Ergonomia. Recuperado de <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17.pdf/view>
4. By Simon Iynen - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22783441>