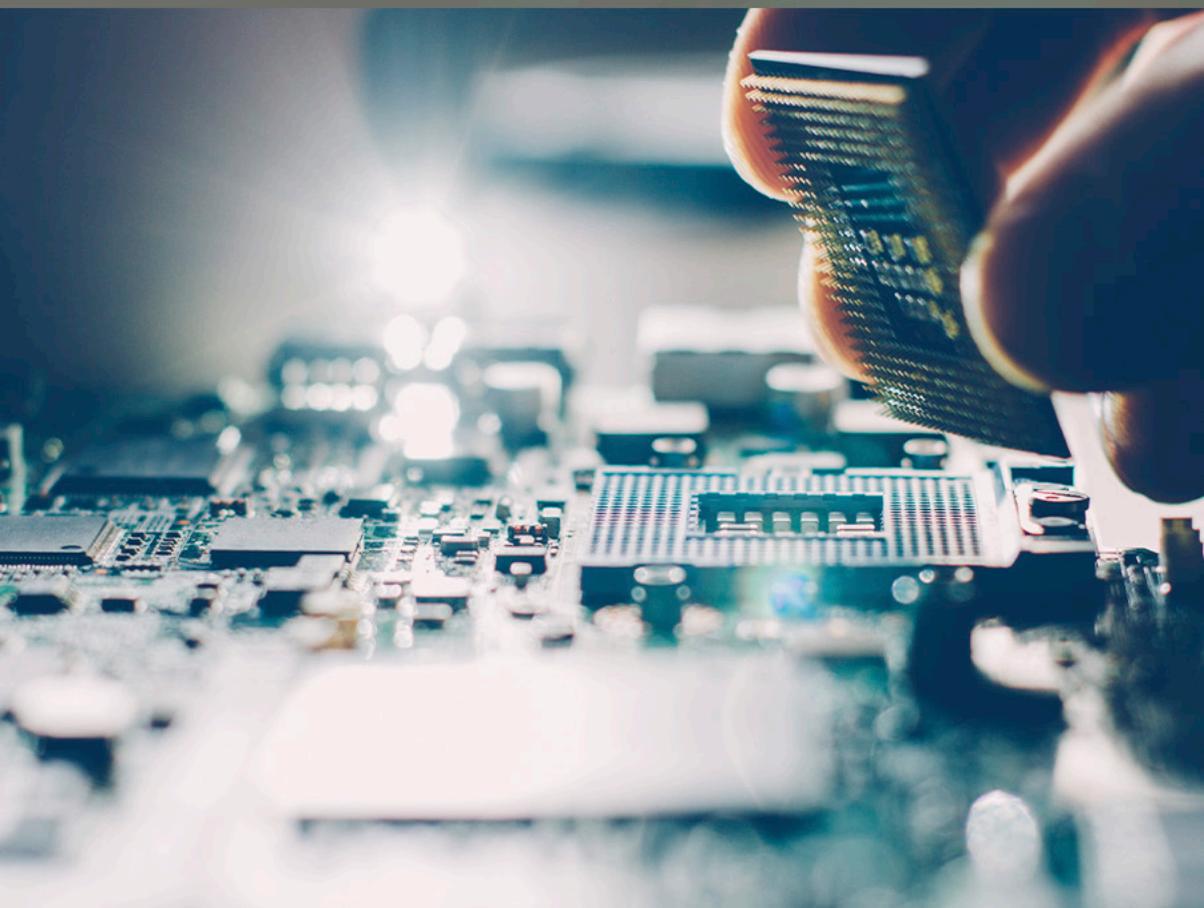


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4

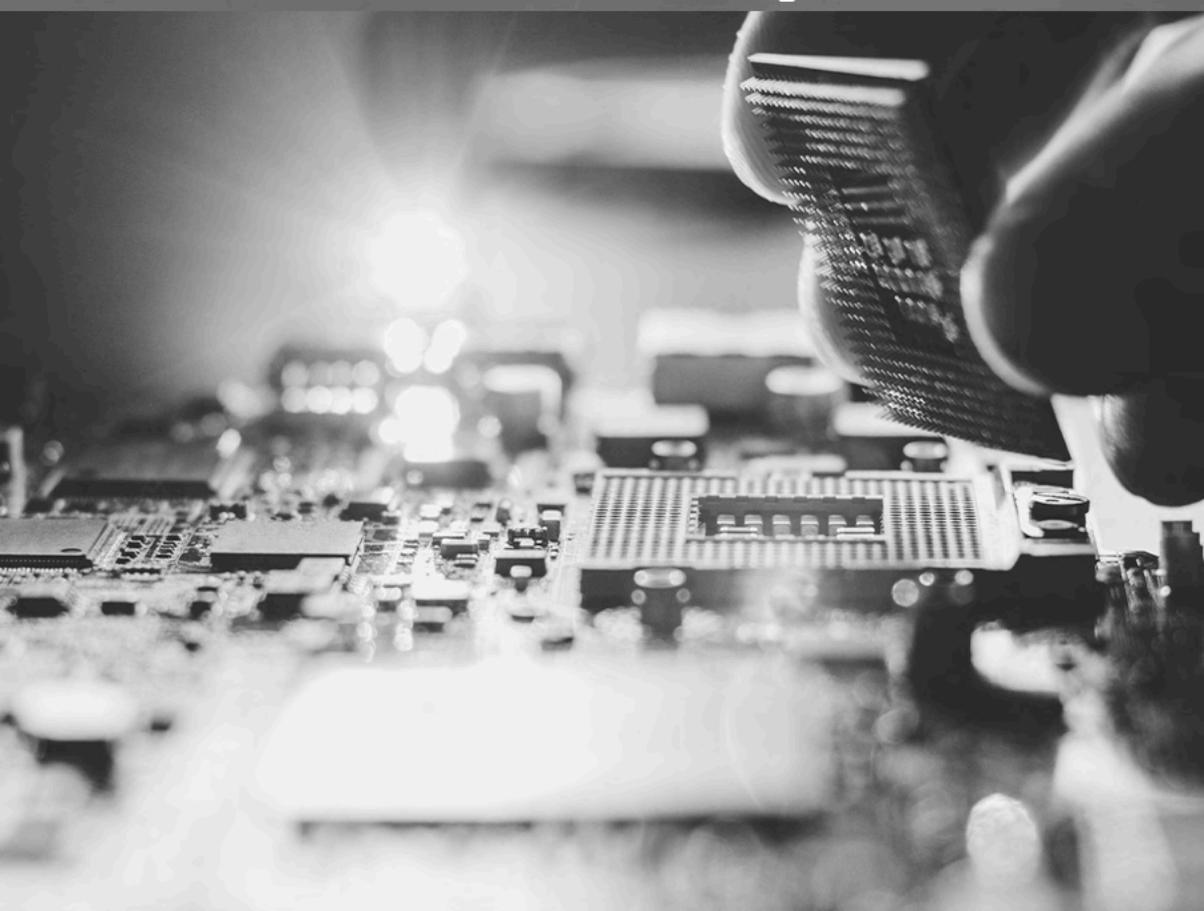


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)


Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 4

Diagramação: Gabriel Motomu Teshima
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 4 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-752-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.526211012>

1. Engenharia de computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A Atena Editora tem a honra de presentear o público em geral com a série de *e-books* intitulada “*Coleção desafios das engenharias: Engenharia de computação 4*”. Em seu quarto volume, esta obra apresenta várias aplicações tecnológicas da Engenharia de Computação na automação industrial, na agricultura, no setor de energias renováveis, e no mercado financeiro.

Organizado em 07 capítulos, este volume objetiva facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção deste trabalho.

Boa leitura.

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

RED NEURAL ARTIFICIAL PARA EL SEGUIMIENTO DE PLANTACIONES DE ARROZ A ALTAS TEMPERATURAS

Silvia Soledad Moreno Gutiérrez

Mónica García Munguía

Yesica Zamudio Briseño

Carlos Pérez Núñez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110121>

CAPÍTULO 2..... 10

REDES NEURAIAS USADAS NA PREVISÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Gabriel Mancini

Jose Airton Azevedo dos Santos

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Gloria Patricia Lopez Sepúlveda

Cristiane Lionço Zeferino

Leandro Antonio Pasa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110122>

CAPÍTULO 3..... 23

UMA APLICAÇÃO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA BASEADO EM SENSORES DE BAIXO CUSTO

Ana Carolina Mariath Magalhães Corrêa e Castro

Mário Mestría

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110123>

CAPÍTULO 4..... 35

SISTEMA ELETRÔNICO DE RECOMENDAÇÃO AGNÓSTICO E ONLINE DE APLICAÇÃO EM FUNDOS DE INVESTIMENTOS

Antonio Newton Licciardi Junior

Paulo Henrique Barros de Moura

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110124>

CAPÍTULO 5..... 57

CONTROLE ADAPTATIVO PID USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE três GRAUS DE LIBERDADE

José Antonio Riul

Paulo Henrique de Miranda Montenegro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110125>

CAPÍTULO 6..... 69

PROCESAMIENTO Y GRAFICACIÓN DE SEÑALES ELETROMIOGRÁFICAS CON

RASPBERRY-PI 2 PARA LA REHABILITACIÓN DE MUÑECA

Mario Alberto García Martínez
Daniel Ivann Arias Guevara
Ingrid Lizette Sánchez Carmona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110126>

CAPÍTULO 7..... 80

COMPARAÇÃO DE APIS DE OCR PARA RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MOSTRADOR DE SETE SEGMENTOS

Jonathan Ribeiro da Silva
Leandro Colombi Resendo
Jefferson Oliveira Andrade
Karin Satie Komati

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110127>

SOBRE A ORGANIZADORA 93

ÍNDICE REMISSIVO..... 94

CONTROLE ADAPTATIVO PID USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE

Data de aceite: 01/12/2021

Data da submissão: 31/08/2021

José Antonio Riul

Universidade Federal da Paraíba, Centro de
Tecnologia, Departamento de Engenharia
Mecânica
João Pessoa – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1577115832986997>

Paulo Henrique de Miranda Montenegro

Universidade Federal da Paraíba, Centro de
Tecnologia, Departamento de Engenharia
Mecânica
João Pessoa – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/6068304104229234>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo o projeto de controladores adaptativos para controle de posição de dois elos de um robô de três graus de liberdade. O controle é realizado através de simulação, usando modelos dos elos obtidos com dados reais do sistema, através de estimação de parâmetros com o algoritmo dos mínimos quadrados recursivo. São projetados e implementados controladores adaptativos PID de Dahlin para o controle de posição dos dois elos. A estratégia de controle a ser usada, baseia-se em um modelo explícito do sistema. Os controladores são implementados através de um programa computacional. São mostrados como resultados as curvas de saída dos modelos dos dois elos e as curvas de saída dos elos sob ação dos controladores adaptativos.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica, Identificação de sistemas, Controle Adaptativo.

ADAPTIVE PID CONTROL USED IN TWO LINKS OF A THREE DEGREES OF FREEDOM ROBOT

ABSTRACT: This work aims to design adaptive controllers to control the position of two links of a robot with three degrees of freedom. The control is performed through simulation, using models of the links obtained with real system data, through parameter estimation with the recursive least squares algorithm. Adaptive Dahlin PID controllers are designed and implemented to control the position of the two links. The control strategy to be used is based on an explicit model of the system. The controllers are implemented through a computer program. The output curves of the models of the two links and the output curves of the links under the action of the adaptive controllers are shown as results.

KEYWORDS: Robotics, Systems Identification, Adaptive Control.

1 | INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo o modelamento linear de dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL) e o projeto de controladores adaptativos para os dois elos. Os elos 1 e 3 a serem controlados são mostrados na Figura 1. O modelo matemático de um sistema pode ser obtido através de leis físicas, conhecido como modelo caixa branca ou

por técnica de identificação paramétrica, conhecida como modelo caixa preta, que depende de dados reais do sistema.

Modelos caixa branca de robôs manipuladores são não lineares (Spong e Vidyasagar, 1989), (Craig, 1989), enquanto que a identificação caixa preta, gera modelos lineares e não lineares (Aguirre, 2000), que podem ser usados para projeto e implementação de controladores adaptativos. Os modelos caixa branca, quando utilizados em projetos de controladores, exigem uma quantidade elevada de cálculos, o que torna necessário o uso de máquinas de grande porte, tendo em vista o esforço computacional requerido (Koivo e Guo, 1983), (Shih e Tseng, 1995).

Na utilização de modelos caixa preta, suas estruturas são definidas a priori, e com isto, a escolha de modelos de primeira ou segunda ordem, que representam bem os sistemas reais, e que requerem baixo esforço computacional, são empregados.

As ações de controle adaptativo serão realizadas por dois controladores auto-ajustáveis PID de Dahlin. Os controladores da família PID constituem cerca de 90% dos instalados atualmente na indústria (Behar e Iranzo, 2003). Como resultados deste trabalho, são apresentadas curvas das respostas estimadas, obtidas com o modelamento dos dois elos do robo e curvas das respostas dos elos sobre ação dos controladores adaptativos projetados, obtidas por simulação.

2 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O Robô Manipulador de 3 GDL mostrado na Figura 1 é composto de duas juntas rotacionais e uma prismática.



Figura 1. Robô manipulador de três gdl

A junta 1 rotacional é acionada por um moto-redutor alimentado por um inversor de frequência e movimenta o elo 1 do robô. Este elo é uma coluna cilíndrica e tem um deslocamento angular máximo de 160° medido através de um potenciômetro. O movimento da junta 1 é transmitido para o elo 1 através de duas polias e uma correia dentada. A junta 2 rotacional é acionada por um sistema eletropneumático composto por uma válvula eletropneumática e um cilindro pneumático e movimenta o elo 2 do robô. Este elo é um perfil U e tem um deslocamento angular máximo de 45° medido através de um potenciômetro. O movimento da junta 2 é transmitido para o elo 2 através do deslocamento do pistão do cilindro pneumático. A junta 3 prismática é acionada por uma válvula eletropneumática e movimenta o elo 3 do robô que é a haste de um pistão de 500 mm de curso, de um cilindro pneumático fixado no interior do perfil U (elo 2). O deslocamento linear da haste do pistão é medido através de uma régua potenciométrica. Um computador PC é utilizado para enviar comando de acionamento ao moto-redutor através do inversor de frequência e para as duas válvulas eletropneumáticas e para receber os sinais dos sensores potenciométricos. A comunicação do robô com o computador é realizada através de duas placas de entrada e saída de dados NI USB-6009, utilizando um programa computacional nas plataformas LabView e Matlab. Considerando as características de tensão e capacidade máxima de

corrente das placas de entrada e saída de dados foi inserido um amplificador de potência para servir como fonte de suprimento aos elementos de acionamento do robô manipulador.

3 I CONTROLADOR AUTO-AJUSTÁVEL (STR)

O controlador auto-ajustável (STR) é um tipo de controlador adaptativo, que automatiza as tarefas de modelagem matemática, projeto e implementação da lei de controle. O STR é explícito quando as tarefas de modelagem matemática, projeto e implementação da lei de controle são realizadas a partir dos parâmetros estimados da planta. No STR, os parâmetros estimados do sistema são determinados e atualizados, à cada período de amostragem, através do MQR. O diagrama de blocos de um STR explícito é apresentado na Figura 2. No diagrama de blocos destacam-se duas malhas fechadas. A malha inferior composta pelo sistema e pela realimentação de saída, e a superior composta pelo estimador de parâmetros, pelo projeto da lei de controle e pelo controlador ajustável. No STR os parâmetros estimados são considerados como se fossem os parâmetros reais do sistema. Esta abordagem é baseada no princípio da equivalência à certeza (Hemerly, 1996).

Controladores como: Proporcional Integral Derivativo (PID), Proporcional Integral (PI), Proporcional Derivativo (PD), de Variância Mínima (MV), de Variância Mínima Generalizado (GMV), Linear Quadrático Gaussiano (LQG) e Controlador Preditivo Generalizado (GPC), podem ser utilizados para o projeto da lei de controle.

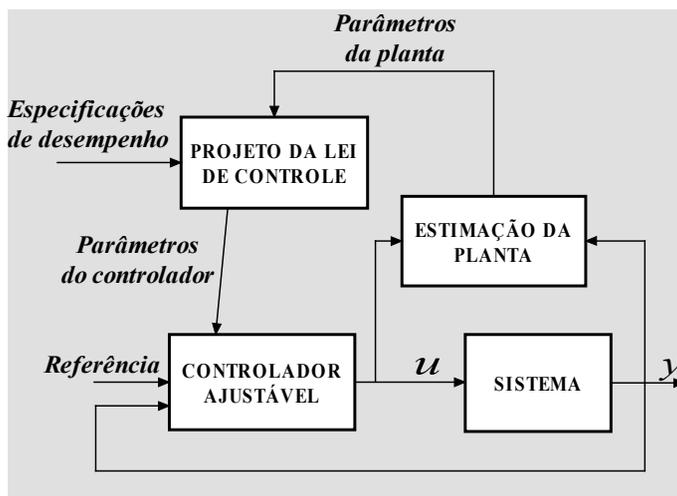


Figura 2. Diagrama de blocos do STR explícito

A estimação dos parâmetros do sistema é a essência do STR. Dentre os algoritmos aplicáveis à esta tarefa cita-se o dos mínimos quadrados recursivo (MQR) com fator de

esquecimento (Aguirre, 2000), (Ljung, 1987), (Hemerly, 1996), (Rúbio e Sánchez, 1996) e (Coelho e Coelho, 2004). Os algoritmos recursivos usam as estimativas do vetor $\theta(t)$, prevista a partir dos instantes anteriores ao instante de tempo t , para obtenção das estimativas $\theta(t + 1)$, conforme indica a Equação (1).

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + \Delta\hat{\theta}(t+1) \quad (1)$$

Um modelo paramétrico quando utilizado para projeto de controladores não representa uma descrição complexa do sistema, mas deve descrever com grande precisão as características dinâmicas essenciais para o projeto do controlador. Diversos modelos paramétricos podem ser utilizados para representar os sistemas, entre eles, o linear do tipo ARMAX, dado pela Equação (2).

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})e(t) \quad (2)$$

onde:

z^{-1} - operador atraso, tal que $z^{-1}y(t) = y(t-1)$;

$u(t)$ e $y(t)$ - são respectivamente o sinal de controle e a saída do sistema;

$A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{n_a}z^{-n_a}$; denominador da função de transferência do sistema;

$B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_{n_b}z^{-n_b}$; numerador da função de transferência do sistema;

$C(z^{-1}) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{n_c}z^{-n_c}$; numerador da função de transferência do filtro auto regressivo;

$e(t)$ - ruído branco de média nula;

d - atraso de transporte do sistema;

n_a, n_b, n_c - ordem dos polinômios A, B e C.

Com $C(z^{-1}) = 1$, o modelo ARMAX, resulta no modelo ARX, que pode ser escrito conforme o modelo de regressão linear mostrado na Equação (3).

$$y(t) = \phi^T(t-1)\theta + e(t) \quad (3)$$

onde:

$$\phi^T(t-1) = [-y(t-1), -y(t-2), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-1-n_b)] \quad (3.a)$$

$$\theta^T = [a_1, a_2, \dots, a_{n_a}, b_0, b_1, \dots, b_{n_b}] \quad (3.b)$$

A estimação recursiva do vetor de parâmetros θ^T é regida pelas seguintes equações:

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t)[y(t) - \phi^T(t)\theta(t-1)] \quad (4)$$

$$K(t) = P(t-1)\phi(t)[I - \phi^T(t)P(t-1)\phi(t)]^{-1} \quad (5)$$

$$P(t) = \frac{P(t-1)}{\lambda e} [I - K(t)\phi^T(t)] \quad (6)$$

onde :

$K(t)$ - ganho do estimador;

$P(t)$ - matriz de covariância dos parâmetros estimados;

λe - fator de esquecimento;

I - matriz identidade.

No projeto do controlador PID de Dahlin, adota-se o o modelo ARX , obtido a partir da Equação (3), e mostrado na Equação (7).

$$y(t) = y_u(t) + n(t) = \frac{z^{-d} B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u(t-1) + \frac{1}{A(z^{-1})} e(t) \quad (7)$$

onde:

$y_u(t)$ – modelo do sistema;

$n(t)$ – modelo da perturbação.

4 I CONTROLADOR PID DE DAHLIN

A Equação (8) mostra a representação da ação de controle do controlador PID (Coelho et al, 2019).

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1}{G_p(z)} \frac{[y(t)/y_r(t)]}{[1-y(t)/y_r(t)]} \quad (8)$$

onde: $G_p(z)$ é a função de transferência do sistema, $G_c(z)$ é a função de transferência do controlador, $y(t)$ é a saída do sistema, $y_r(t)$ é a referência, $U(z)$ é a variável de controle e $E(z)$ é o erro de saída do sistema.

A proposta de projeto do controlador Dahlin, considera que o sistema em malha fechada, se comporta como de primeira ordem e com atraso de transporte, conforme Equação (9).

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1}{G_p(z)} \frac{[(1-p_1)z^{-(d+1)}]}{[1-p_1z^{-1} - (1-p_1)z^{-(d+1)}]} \quad (9)$$

onde: d é o atraso de transporte.

Cada elo do robô é representado pela função de transferência discreta de segunda ordem dada pela Equação (10).

$$G_p(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{z^{-(d+1)}(b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2})}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (10)$$

Substituindo Equação (10) na Equação (9), obtém-se a Equação (11) do controlador.

$$G_c(z) = \frac{(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2})}{(b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2})} \frac{(1 - p_1)}{[1 - p_1 z^{-1} - (1 - p_1) z^{-(d+1)}]} \quad (11)$$

Dahlin considera o controlador PID na forma ideal conforme Equação (12).

$$(z) = k_c \left[\frac{(1 + T_s / T_i + T_d / T_s) - (1 + 2T_d / T_s) z^{-1} + (T_d / T_s) z^{-2}}{(1 - z^{-1})} \right] \quad (12)$$

Na Equação (11) e na Equação (12), tem-se os parâmetros conforme Equações (13) à (17).

$$k_c = -\bar{k} (a_1 + 2a_2) \quad (13)$$

$$\bar{k} = \frac{(1 - p_1)}{(b_0 + b_1 + b_2)[1 + d(1 - p_1)]} \quad (14)$$

$$p_1 = e^{\frac{-T_s}{\tau_{MF}}} \quad (15)$$

$$T_i = \frac{-(a_1 + 2a_2)T_s}{(1 + a_1 + 2a_2)} \quad (16)$$

$$T_d = \frac{-a_2 T_s}{(a_1 + 2a_2)} \quad (17)$$

onde:

T_s - tempo de amostragem;

τ_{MF} - constante de tempo desejada em malha fechada.

A Equação (12) representa o controle PID na forma discreta, e a equação a diferença que descreve o comportamento da variável de controle do sistema $u(t)$ é dada pela Equação (18).

$$u(t) = q_0 e(t) + q_1 e(t-1) + q_2 e(t-2) \quad (18)$$

onde:

$$q_0 = k_c (1 + T_s / T_i + T_d / T_s) \quad (19)$$

$$q_1 = -k_c(1 + 2T_d / T_s) \quad (20)$$

$$q_2 = k_c(T_d / T_s) \quad (21)$$

5 | RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ELOS DO ROBÔ

Os resultados a seguir foram obtidos considerando um conjunto de dados de 1359 amostras coletadas dos dois elos do robô. As Figuras 3 e 4 mostram os sinais de entrada e saída dos elos 1 e 3 do robô, usados para o modelamento. Com o sistema em malha aberta, e utilizando o MQR considerando atraso de transporte $d = 1$ para os dois elos, foram obtidos os modelos dados pelas Equações (22) e (23), para a amostra de número 1040.

$$y_1(t) = 0,5732*y_1(t-1) + 0,4272*y_1(t-2) + 0,0177*u_1(t-1) - 0,0065*u_1(t-2) \quad (22)$$

$$y_3(t) = 1,7111*y_3(t-1) - 0,7249*y_3(t-2) - 0,0012*u_3(t-1) + 0,0540*u_3(t-2) \quad (23)$$

As Figuras 5 e 6 mostram as saídas reais e as saídas estimadas dos elos 1 e 3 do robô considerando todas amostras dos sinais reais.

As Figuras 7 e 8 mostram as saídas simuladas dos elos com os controladores adaptativos PID de Dahlin projetados, considerando-se 1300 amostras. As respostas são em malhas fechadas, para as referências sequências de pulsos. Na determinação das saídas os parâmetros dos controladores foram determinados para cada amostra. Os modelos dos elos dados pelas Equações (22) e (23), representaram o sistema real nesta fase de controle.

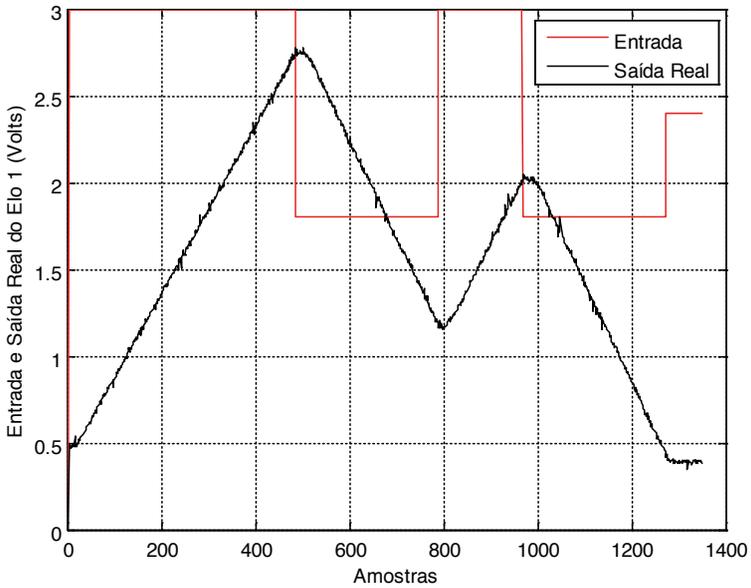


Figura 3. Sinais de entrada e saída do elo 1 do robô.

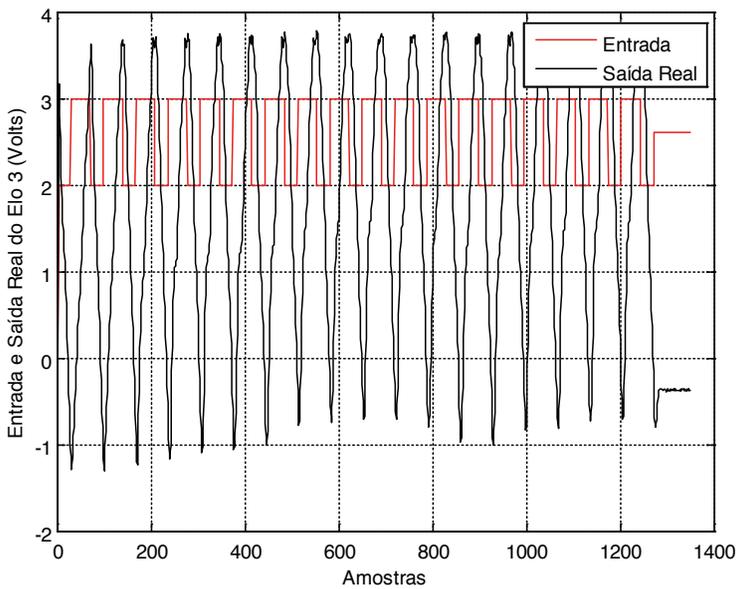


Figura 4. Sinais de entrada e saída do elo 3 do robô.

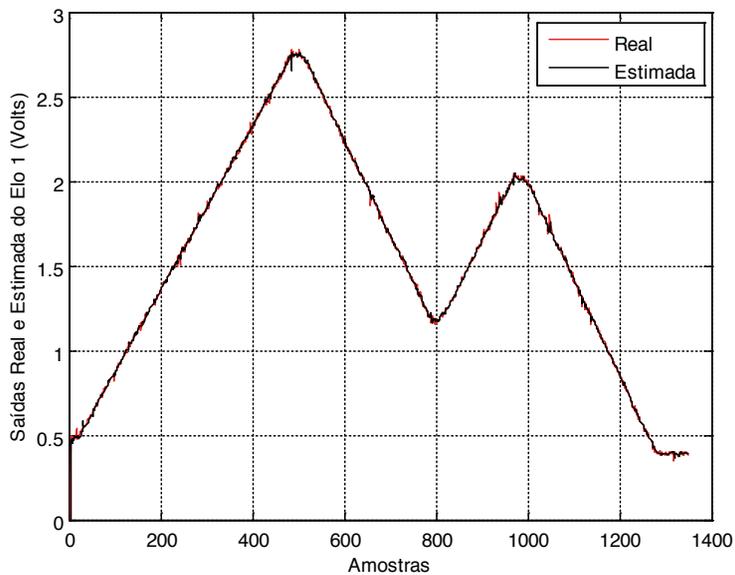


Figura 5. Saídas real e estimada do elo 1 do robô.

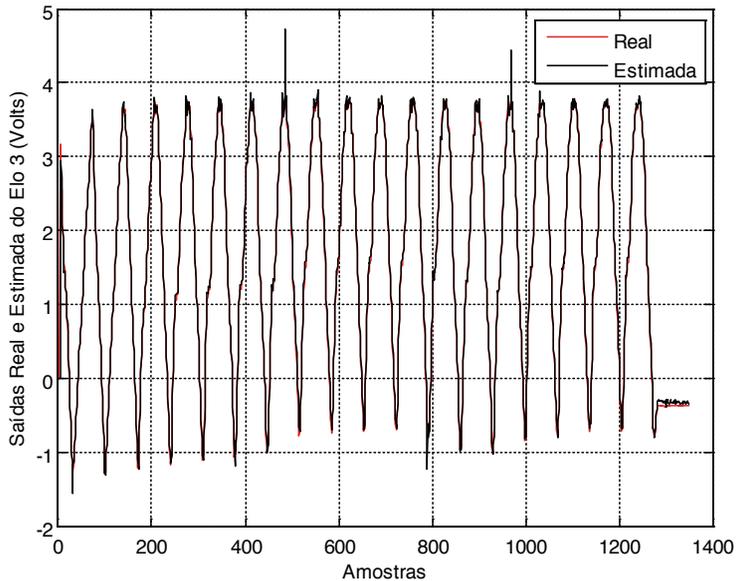


Figura 6. Saídas real e estimada do elo 3 do robô.

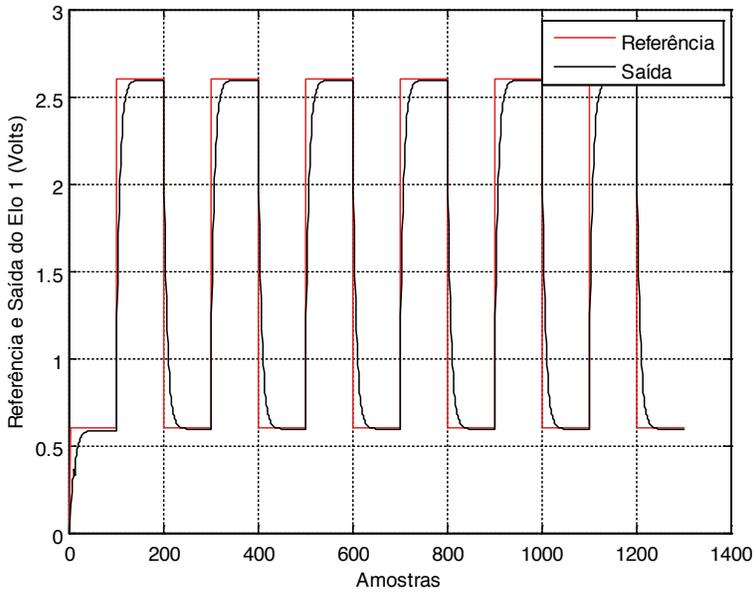


Figura 7. Saída simulada do elo 1 do robô sob ação do controlador.

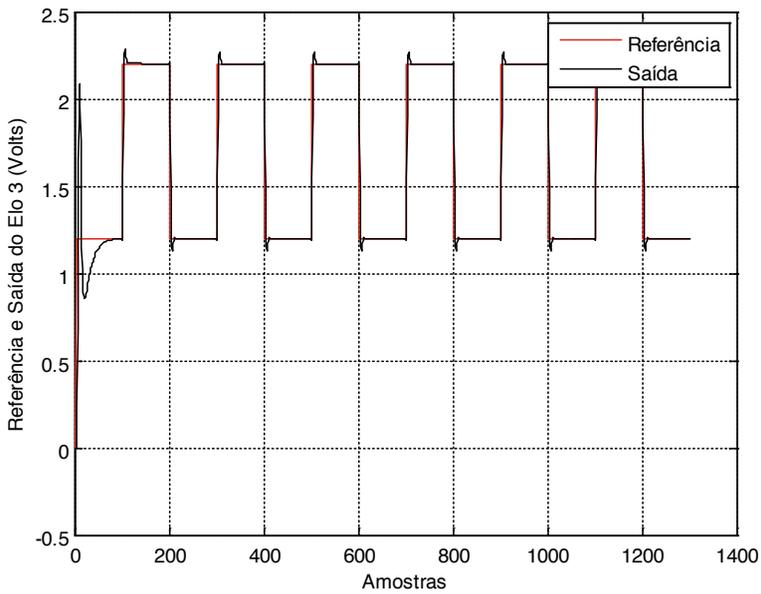


Figura 8. Saída simulada do elo 3 do robô sob ação do controlador.

6 | CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a técnica de identificação linear e o projeto e implementação de controladores PID adaptativos de Dahlin, para dois elos de um robô de três graus de liberdade. A identificação dos modelos foi realizada por meio do algoritmo MQR, considerando a dinâmica dos dois elos do robô acoplada. Os projetos dos controladores adaptativos foram realizados por meio de simulação, utilizando os modelos obtidos para os elos. A saída do elo 1 sob a ação do controlador implementado apresentou um sobre-sinal 0,2% e a do elo 3 de 4%, mostrando que os modelos obtidos foram satisfatórios na representação dos modelos dos elos do robô.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. 2ª edição. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2000.

Behar, A. A. e Iranzo, M.M. **Identificación y Control Adaptativo**. 1ª edição. Madri: Prentice Hall, 2003.

Coelho, A. A. R.; Coelho, L. S. **Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares**. 1ª edição. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

Coelho, A. A. R.; Jeronymo, D. D.; Araújo, R. B.. **Sistemas Dinâmicos: Controle Clássico e Preditivo Discreto**. 1ª edição. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

Craig, J. J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. 2ª edição. Addison-Wesley, 1989.

Hemerly, E. M. **Controle por Computador de Sistemas Dinâmicos**. S. Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1996.

Koivo, A. J. e Guo, T. *Adaptive Linear Controller for Robotic Manipulator*. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. AC-28, pp. 162-171, 1983.

Ljung, L. **System Identification: Theory for the User**. New Jersey: Editora Prentice – Hall Inc, 1987.

Rúbio, F.R e Sánchez, M. J. L. **Control Adaptativo y Robusto**. Espanha: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1996.

Shih, M. C. e Tseng, S. I. Identification and Position Control of a Servo Pneumático Cylinder. **Control Engineering Practice**, v. 3, n. 9, pp. 1285-1290, 1995.

Spong, M. W. e Vidyasagar, M. **Robot Dynamics and Control**. John Wiley & Sons, 1989.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aplicativo 23, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 82, 91
Arduino 23, 25, 26, 27, 28, 32, 34, 69, 70, 71, 72, 77
Azure cognitive services 80, 81, 84

C

Cambio climático 1, 2
Cereal básico 1, 2, 3, 4
Cloudmersive 80, 81, 82, 84, 85, 88, 89, 90, 91
Comunicação sem fio 23, 24, 25
Controle Adaptativo 3, 57, 58
Controle de temperatura 3, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33

D

Daño a cultivo 1

E

Energia Solar Fotovoltaica 10

F

Fontes Alternativas de Energia 10
Fundos de investimento 35, 36, 37, 38, 39, 48, 54, 55

G

Google Cloud 45, 80, 81, 83, 85, 88, 89, 90, 91

I

Identificação de sistemas 57, 68
Inovação 23, 25, 32, 33

M

Modelo Computacional 10, 11, 13, 14, 16, 19, 20

O

OCR 82, 92
OCRSspace 80, 81, 82, 85, 88, 89, 90, 91

P

Perfil de investidor 35, 40, 45, 46

Placa de desenvolvimento 23, 26

Processamento de imagens 80, 82, 85, 91

R

Raspberry-Pi 4, 69, 70, 72, 74, 77, 78

Reconhecimento de texto 80, 83, 85

Redes Neurais Artificiais 2, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21

Rehabilitación de muñeca 4, 69, 70, 77

Rekognition 80, 81, 82, 84, 91

Robótica 57, 84

S

Sistema eletrônico agnóstico 35, 54

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br