



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 2

Atena  
Editora  
Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na**  
**Engenharia Mecânica**  
**2**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-247-0

DOI 10.22533/at.ed.470190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO UNIDIMENSIONAL COM SOLUÇÃO SUAVE UTILIZANDO MALHA ADAPTATIVA	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Hélio Ribeiro Neto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
USO DE MALHAS NÃO-ESTRUTURADAS NA RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DA DIFUSÃO	
<i>Gabriel Marcos Magalhães</i> <i>Alessandro Alves Santana</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
MÉTODOS NUMÉRICOS: DIFERENÇAS FINITAS E GUIA DE ONDAS DIGITAIS 1D E 2D - COMPARATIVO DE FREQUÊNCIAS	
<i>Brenno Lobo Netto Peixoto</i> <i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
INFLUÊNCIA DA DISCRETIZAÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL EM PROBLEMA PURAMENTE ADVECTIVO	
<i>Thiago Fernando Santiago de Freitas</i> <i>Andreia Aoyagui Nascimento</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
FRONTEIRA IMERSA PARA CORPOS ESBELTOS	
<i>João Rodrigo Andrade</i> <i>Aristeu Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
MATHEMATICAL AND NUMERICAL MODELLING OF GAS-SOLID TURBULENT FLOWS IN COMPLEX GEOMETRIES	
<i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>João Marcelo Vedovoto</i> <i>Aristeu da Silveira Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4701905046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>69</b>
ESTUDO NUMÉRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA TRANSIENTE EM PLACAS	
<i>William Denner Pires Fonseca</i>	

*Taísa Santos Machado  
Eduardo Mendonça Pinheiro  
José Felipe Lopes de Carvalho  
Sidney da Conceição Alves  
Thiago Santana de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905047**

**CAPÍTULO 8 ..... 83**

IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E PROJETO DE UM PID PARA UM SERVOMECANISMO

*Wesley Pereira Marcos  
Rodrigo Hiroshi Murofushi  
Bruno Luiz Pereira*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905048**

**CAPÍTULO 9 ..... 98**

MODELAGEM ESTOCÁSTICA DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS CONTENDO SHUNT RESISTIVO PARA O CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES

*Lorrane Pereira Ribeiro  
Antônio Marcos Gonçalves de Lima  
Victor Augusto da Costa Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.4701905049**

**CAPÍTULO 10 ..... 114**

PROJETO E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES POR ELEMENTOS FINITOS DE UM CHASSI TIPO SPACE FRAME MINI-BAJA

*Marcos Claudio Gondim  
Ellberlandyo Lima Grangeiro  
Antonio Eurick Soares Campelo  
Lucas Rodrigues Oliveira  
Bruno de Oliveira Carvalho*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050410**

**CAPÍTULO 11 ..... 126**

SIMULAÇÕES DOS ESFORÇOS VIBRACIONAIS DO CABO CAA 795 MCM (TERN) ATRAVÉS DE MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS DE VIBRAÇÃO

*Jhonattan Dias  
Rodrigo Canestraro Quadros  
Marcos Jose Mannala  
Marcio Tonetti*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050411**

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE FREIO APLICADO A UM VEÍCULO OFF-ROAD DO TIPO BAJA-SAE

*Felipe Alencar Motta  
Lucas Rocha Dias da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.47019050412**

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>146</b>
OTIMIZAÇÃO DA ESCOLHA DA RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA: O PROJETO BAJA SAE	
<i>Pedro Melo Biz</i> <i>Leonardo Gomes</i> <i>Antônio Brasil</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>157</b>
ANÁLISE CINEMÁTICA DE SUSPENSÃO TRAILING ARM COM CAMBER LINKS PARA VEÍCULO OFF-ROAD	
<i>Francisco José Rodrigues de Sousa Júnior</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gustavo Luis dos Santos Silva</i> <i>Antônio Ítalo Rodrigues Pedrosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
APLICAÇÃO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS DE 2ª ORDEM EM SUSPENSÃO VEICULAR	
<i>Alaí de Souza Machado</i> <i>Pedro Henrique Rodrigues Taveira</i> <i>Filipe Gomes Soares</i> <i>Domingos dos Santos Ponciano</i> <i>Marcus Victor de Brito Rodrigues</i> <i>João Lucas Jacob Araújo</i> <i>Gean Carlos Moura Mota</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>178</b>
ANÁLISE AERODINÂMICA: SIMULAÇÃO FLUIDO DINÂMICA DO PROTÓTIPO EC-05 DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA EQUIPE COYOTE	
<i>Paulo Henrique Pereira Araujo</i> <i>Josué Alves Rodrigues Junior</i> <i>Thaiane Mayara Marques Licar</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>190</b>
APLICAÇÃO DE SISTEMAS NEURO-FUZZY NA PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE SUSTENTAÇÃO DO AEROFÓLIO NACA 1412	
<i>Vitor Taha Sant'Ana</i> <i>Bruno Luiz Pereira</i> <i>Tobias Moraes</i> <i>Roberto Mendes Finzi Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050417</b>	

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>195</b>
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE CONTROLE ATIVO DE RUÍDO EM VENEZIANAS ACÚSTICAS COM CONFIGURAÇÕES DISTINTAS VIA ELEMENTOS FINITOS	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>203</b>
ABSORVEDORES ACÚSTICOS DE RUÍDO: MODELAGEM NUMÉRICA	
<i>Fabiana Alves Pereira</i>	
<i>Geisa Arruda Zuffi</i>	
<i>Israel Jorge Cárdenas Nuñez</i>	
<i>Marcus Antonio Viana Duarte</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>211</b>
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ESCOLHA DAS DIMENSÕES DO RECEPTOR NO MÉTODO DO TRAÇADO DE RAIOS ACÚSTICOS	
<i>Henrique Gebran Silva</i>	
<i>Marlipe Garcia Fagundes Neto</i>	
<i>Pollyana Alves Resende</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.47019050420</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>228</b>



## IDENTIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E PROJETO DE UM PID PARA UM SERVOMECANISMO

### Wesley Pereira Marcos

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia-MG

### Rodrigo Hiroshi Murofushi

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia-MG

### Bruno Luiz Pereira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia-MG

**RESUMO:** O trabalho propõe a obtenção da função de transferência de um sistema de servomecanismo por meio de 2 algoritmos de otimização: algoritmo genético e evolução diferencial, assim como a sintonia de um controlador PID para o mesmo utilizando também as duas técnicas. Verificou-se que a evolução diferencial obteve melhor resultado para a identificação da planta quando comparada a identificação realizada pelo MATLAB®. Para a identificação dos parâmetros do controlador ambos AG e ED obtiveram resultados semelhantes e satisfatórios, porém a ED foi mais eficiente computacionalmente. Os testes experimentais mostraram um comportamento fiel ao resultado teórico obtido, comprovando o poder e a eficácia dos métodos heurísticos de

otimização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Algoritmo Genético, Evolução diferencial, PID, Servomecanismo.

**ABSTRACT:** The work proposes to obtain the transfer function of a servomechanism system by means of 2 optimization algorithms: genetic algorithm and differential evolution, as well as the tuning of a PID controller to the same using also the two techniques. It was verified that the differential evolution obtained better result for the identification of the plant when compared to the identification done in MATLAB®. For the identification of the parameters of the controller both AG and ED obtained similar and satisfactory results, but the ED was more efficient computationally. The experimental tests showed a faithful behavior to the obtained theoretical result, proving the power and effectiveness of the heuristic optimization methods.

**KEYWORDS:** Genetic Algorithm, Differential Evolution, PID, Servomechanism.

## 1 | INTRODUÇÃO

A otimização de sistemas é uma área do conhecimento que desperta interesse tanto na área acadêmica quanto nas indústrias devido ao seu propósito de melhorar o que já existe, ou de estar diretamente envolvida no projeto de

novos sistemas que aliem alta eficiência e baixo custo.

É possível encontrar na literatura aplicações de métodos de otimização tanto em problemas diretos, em que são conhecidas a entrada do sistema, o modelo matemático e busca-se a saída do mesmo; em problemas inversos do tipo 1, quando dispõe-se da entrada, saída e busca-se o modelo matemático do sistema; e em problemas inversos do tipo 2, em que há o conhecimento do modelo, da saída e procura-se obter a entrada deste (Cezaro et al., 2008; Stryk, et al., 1992; Ramm, et al., 2005).

Dentre os tipos de algoritmos de otimização mais utilizados, pode-se citar os de otimização clássica e os evolutivos. Os algoritmos de otimização clássica são caracterizados por serem embasados pelas teorias do cálculo diferencial, sendo subdivididos em métodos de ordem zero – em que não são utilizadas as informações das derivadas da função objetivo (por exemplo, o método de Powell) – métodos de primeira ordem – em que é utilizada a informação do gradiente da função objetivo (por exemplo, os métodos da máxima descida, direções conjugadas e de métrica variável) – e por fim o método de Newton (de segunda ordem) – no qual leva-se em consideração tanto o gradiente quanto a hessiana da função objetivo (Vanderplaats, 1984).

Todos os métodos acima são caracterizados por fornecerem uma direção a partir da qual será realizada a busca de um ponto de mínimo, e essa busca é feita geralmente pelo método da seção áurea, o qual reduz o intervalo de busca do mínimo a cada iteração a uma razão fixa e aproximadamente igual a 0,618034. Esse método é extensamente utilizado haja vista que ele minimiza o número de avaliações da função objetivo, procedimento caro computacionalmente.

Os algoritmos evolutivos, ao contrário dos clássicos, não têm origem nas teorias do cálculo diferencial. São métodos de ordem zero, baseados na ideia darwiniana da sobrevivência do mais bem adaptado. Como exemplos de algoritmos evolutivos, pode-se citar o algoritmo genético e a evolução diferencial.

O algoritmo genético é um método heurístico, baseado na analogia com a biologia evolutiva. A cada iteração (geração), novo conjunto de criaturas artificiais é gerado, usando as melhores características dos indivíduos da geração anterior e, oportunamente, algumas inovações. Este método de otimização possui três operadores básicos, Fig. (1): seleção, em que se utiliza algum critério (ranking, roleta, torneio, dentre outros) para determinar quais indivíduos da população anterior permanecem, e quais são descartados da mesma; crossover (ou cruzamento), no qual 2 indivíduos são escolhidos aleatoriamente (pais) e são substituídos por outros 2 (filhos) cujas características são uma combinação das características desses; e por último a mutação, operador em que são introduzidas eventualmente inovações em alguma variável de alguns indivíduos da população (Haupt et al., 2004).

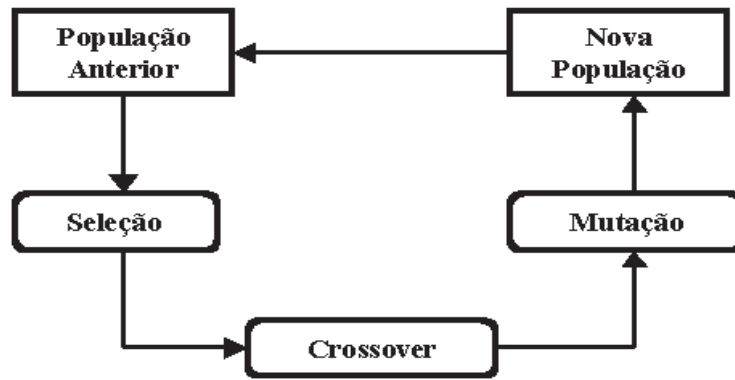


Figura 1: Representação esquemática de um algoritmo genético (UEM, 2016).

A evolução diferencial é um algoritmo que embora seja evolutivo, não apresenta inspiração em processos naturais. Este método possui um mecanismo de busca que se baseia no operador de mutação diferencial (soma vetorial), Eq. (1):

$$V = I_n + F(I_m - I_p) \quad (1)$$

em que  $V$  é um vetor que representa um indivíduo candidato a pertencer à população,  $I_n$ ,  $I_m$  e  $I_p$  são indivíduos escolhidos de forma aleatória dentro da mesma, e  $F$  é o fator denominado fator de perturbação (geralmente, apresenta valores dentro do intervalo  $[0,2]$ ). O esquema do algoritmo encontra-se na Fig. (2).

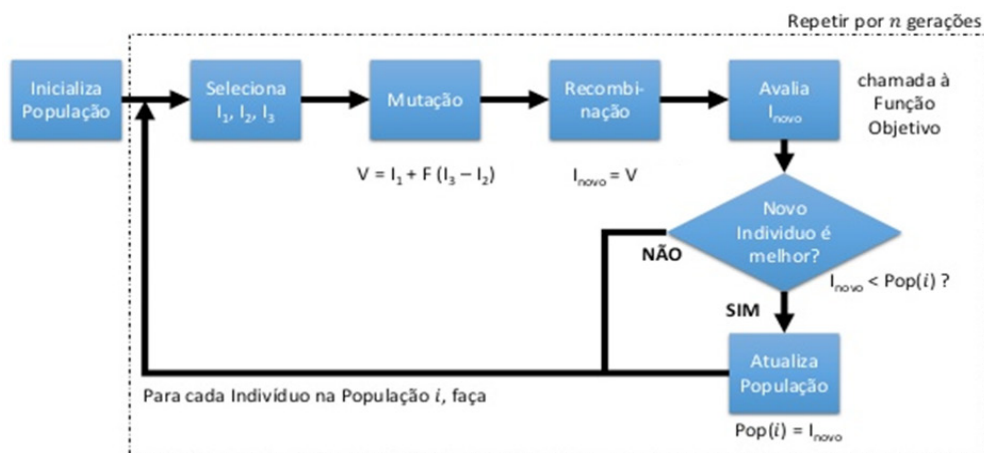


Figura 2: Representação esquemática da evolução diferencial (MÓR et al., 2016).

Para que haja o entendimento de como se realizará o estudo do servomecanismo após a obtenção do modelo matemático deste, é necessária a compreensão de que controle é o conjunto de técnicas desenvolvidas que objetivam fazer com que um processo evolua da forma requerida, sendo que essas técnicas são aplicadas geralmente em um controlador, implementado via hardware ou software. Em ambos os casos, as técnicas heurísticas são aplicadas a fim de se obter o melhor modelo representativo. A Figura (3) ilustra uma malha de controle, em que podem ser identificados o sinal de referência, o sinal de erro, o sinal de controle, a saída do sistema e a realimentação

deste.



Figura 3: Exemplo de malha de controle.

A planta ou processo, pode ser modelada matematicamente ou obtida através de um ensaio experimental. Para o estudo de caso em questão classifica-se como tipo 1, ou seja, possui-se o sistema físico instrumentado, ver ilustração na Fig.(4), porém não possuímos sua função de transferência e é de difícil equacionamento. Assim sendo, as técnicas de otimização citadas acima podem ser utilizadas para identificar o comportamento da planta em questão.

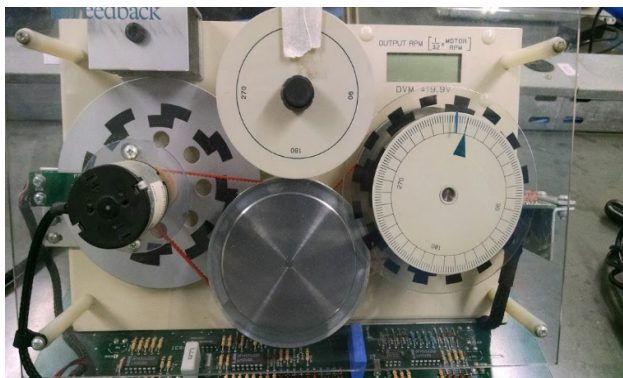


Figura 4: Servomecanismo ( do Autor)

Para o controlador do servomecanismo, podem ser utilizadas varias técnicas. O PID é uma técnica de controle bastante utilizada. Basicamente são três características a serem balanceadas: o proporcional, o integral e o derivativo. O proporcional amplifica o sinal do erro aproximando a resposta do sistema do sinal desejado. O integral trabalha com a integral do erro melhorando a resposta em regime permanente. O derivativo trabalha com a derivada do erro aliviando o *overshoot* do sistema. O PID é equacionado da seguinte maneira:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (2)$$

$$U(s) = \frac{(K_D s^2 + K_P s + K_I)}{s} E(s) \quad (3)$$

Os parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ , podem ser calibrados por diferentes técnicas de sintonia. Há diversos estudos de sintonia de controladores PID. Inclusive as técnicas de otimização citadas acima, as quais serão utilizadas para sintonizar o melhor

controlador que corresponda aos requisitos da planta em questão.

## 2 | OBJETIVOS

O trabalho objetiva obter, por meio de um algoritmo genético e evolução diferencial desenvolvidos, a função de transferência  $G(s)$  que melhor caracteriza o processo referente a um sistema de servomecanismo, e comparar o resultado destes dois métodos com o obtido pelo toolbox Ident do MATLAB®.

Além disso, deseja-se projetar um controlador do tipo PID que atenda aos requisitos de funcionamento do servomecanismo utilizando as mesmas técnicas apresentadas para a identificação da planta.

## 3 | METODOLOGIA

O trabalho compreende quatro etapas chave: A identificação da planta utilizando a toolbox do MATLAB®; Identificação da planta no Algoritmo Genético e na Evolução Diferencial; Identificação do Controlador com o Algoritmo Genético e com a Evolução Diferencial; Teste do controlador e da planta no sistema físico.

### a. Identificação MATLAB®

Para a identificação da planta utilizando o MATLAB® os seguintes passos são realizados:

1. Aquisição da informação referente à entrada-saída do sistema sob um protocolo experimental: O sistema foi excitado com um degrau e o tempo de amostragem de 0,01s com um tempo de aquisição de 10s.
2. Escolha da estrutura do modelo: A estrutura geral do modelo (quantidade de polos e zeros) é escolhida a fim de ser estimada. Para o caso, sendo o sistema cone

$$G(z) = \frac{K(z+a)}{(z-1)(z-b)} \quad (4)$$

3. Estimação dos parâmetros do modelo: De posse dos dados de entrada e saída colhidos, da estrutura geral do modelo, a função ident do MATLAB® calibra os valores dos parâmetros do modelo.

### b. Identificação Planta AG e ED

A mesma estrutura do modelo da planta sugerida para a identificação anterior, também foi utilizada para o AG. Os parâmetros tais como: Número máximo de

gerações, elitismo, crossover, mutação, número de indivíduos, foram variados de diversas formas a fim de se obter o melhor resultado para a planta. A tabela 1 a seguir lista uma das configurações que gerou um resultado superior aos demais para o AG.

Parâmetros	Valores
Número Máximo de Gerações	200
Número de Indivíduos	100
Elitismo	0,10
Probabilidade de Cruzamento	0,95
Probabilidade de Mutação	0,10
Limites de Busca	[ 0 0 0;2 2 1]
Tolerância Absoluta	$1 \times 10^{-5}$
Tolerância Relativa	$1 \times 10^{-3}$

Tabela 1: Valores dos Parâmetros Utilizados no Algoritmo Genético para a planta.

De maneira semelhante foi realizada a identificação, utilizando a Evolução diferencial. Para este, foram variados os parâmetros: número máximo de iterações, fator de perturbação, probabilidade de ocorrência de soma vetorial. A tabela 2 a seguir apresenta uma configuração que gerou resultado satisfatório para a evolução diferencial.

Parâmetros	Valores
Número Máximo de Iterações	300
Número de Indivíduos	200
Probabilidade de Ocorrência da Soma Vetorial	0,95
Fator de Perturbação F	0,4
Limites de Busca	[ 0 0 0;2 2 1]
Tolerância Absoluta	$1 \times 10^{-5}$
Tolerância Relativa	$1 \times 10^{-3}$

Tabela 2: Valores dos Parâmetros Utilizados na Evolução Diferencial para a planta.

### c. Identificação do controlador AG e ED

De posse do modelo da planta estimado e da equação do controlador, os parâmetros do algoritmo de otimização são setados e procura-se o melhor modelo. O processo de identificação foi semelhante ao utilizado para a obtenção do modelo da planta. A tabela 3 mostra uma configuração dos parâmetros que gerou resultado satisfatório para o AG.

Parâmetros	Valores
Número Máximo de Gerações	200
Número de Indivíduos	100
Elitismo	0,10
Probabilidade de Cruzamento	0,95

Probabilidade de Mutação	0,001
Limites de Busca	[[ 0 0 0;5 0.1 5]
Tolerância Absoluta	$1 \times 10^{-5}$
Tolerância Relativa	$1 \times 10^{-3}$

Tabela 3: Valores dos Parâmetros Utilizados no Algoritmo Genético para o controlador.

O mesmo pode se dizer para a evolução diferencial. A tabela 4 mostra uma configuração satisfatória dos parametros para a ED.

Parâmetros	Valores
Número Máximo de Iterações	100
Número de Indivíduos	100
Probabilidade de Ocorrência da Soma Vetorial	0,95
Fator de Perturbação F	0,4
Limites de Busca	[ 0 0 0;5 0.1 5]
Tolerância Absoluta	$1 \times 10^{-5}$
Tolerância Relativa	$1 \times 10^{-3}$

Tabela 4: Valores dos Parâmetros Utilizados na Evolução Diferencial para o controlador.

#### d. Teste do controlador

Obtidos os parametros para a planta e para o controlador, os mesmos foram testados no servomecanismo. A interface com o sistema fisico foi realizada através de um arduino uno, no qual foi programado o controle discreto para a planta e controlador especificados. O Arduino recebe o sinal de referência e a retroalimentação do sistema servomecanismo, devolvendo para este o sinal de controle correspondente conforme figura 5.

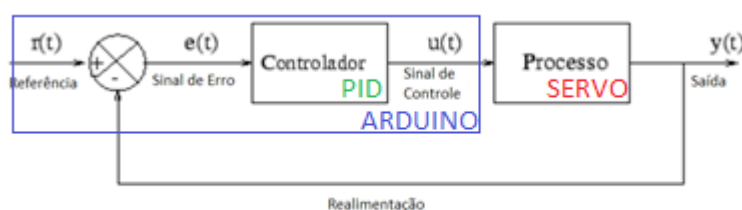


Figura 5: Sistema de controle empregado.

## 4 | RESULTADOS

### e. Identificação da planta Ident MATLAB®

Realizados os procedimentos para obtenção da planta, esta foi obtida conforme representado pela equação 5. A figura 6 ilustra os sinais de entrada e saída para tal

identificação.

$$G(z) = \frac{0,00041(z+0,9909)}{(z-1)(z-0,9729)} \quad (5)$$

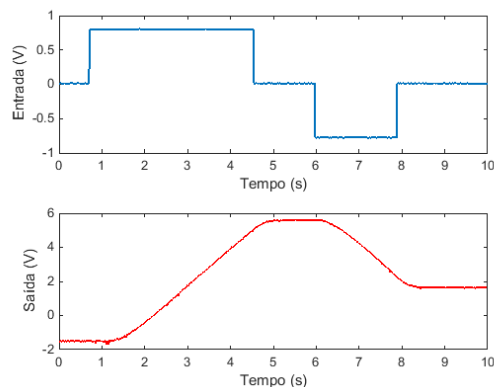


Figura 6: Sinais de entrada e saída utilizados para identificação da planta.

#### f. Identificação da planta AG

A identificação da planta utilizando algoritmo genético mostrou resultados com pouca representação do modelo experimental. Alguns resultados dos parâmetros encontrados após a realização de vários testes se encontram na tabela 5.

AG	a	B	k	Erro	Gerações
1	0,3773	0,3569	0,0126	0,948	200
2	0,0635	0,0118	0,025	0,9883	200
3	0,267	0,1283	0,0185	0,973	1000
4	0,0852	0,1198	0,0219	0,9807	2000
5	0,2596	0,0709	0,0199	0,977	5000
<b>Média</b>	0,2105	0,1375	0,0196	0,9734	1680
<b>Desvio Padrão</b>	0,1330	0,1311	0,0046	0,0153	1998

Tabela 5: Alguns resultados da identificação da planta pelo AG.

Um exemplo da função fitness para a planta identificada pelo AG esta representada na figura 7. E a comparação entre as curvas teorica experimental na figura 8.



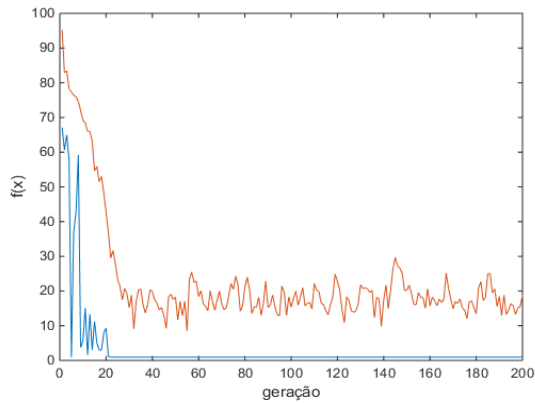


Figura 7: Função Fitness para planta com AG.

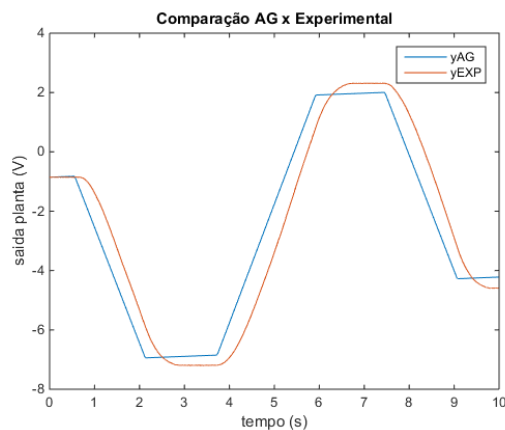


Figura 8: Comparação plantas teórica AG e experimental

Como se pode observar pela figura, o modelo teórico da planta encontrado pelo AG não correspondeu à planta experimental.

### g. Identificação da planta Evolução Diferencial

O modelo encontrado com a ED representou a planta experimental de maneira satisfatória. Alguns resultados dos parâmetros encontrados nas diversas simulações podem ser visualizados na tabela 6.

ED	a	B	k	Erro	Gerações
1	0,6356	0,9738	0,0005	0,0293	299
2	0,8482	0,9754	0,0004	0,0396	300
3	0,8083	0,9727	0,0004	0,0297	281
4	0,8607	0,9724	0,0005	0,0398	133
5	0,9496	0,9705	0,0004	0,0303	300
<b>Media</b>	0,8205	0,9730	0,0004	0,0337	263
<b>Desvio Padrão</b>	0,1155	0,0018	0,0001	0,0055	73

Tabela 6: Alguns resultados da identificação da planta pela ED.

Um exemplo da função fitness para a planta identificada pela ED esta representada na figura 9. E a comparação entre as curvas teorica experimental na figura 10.

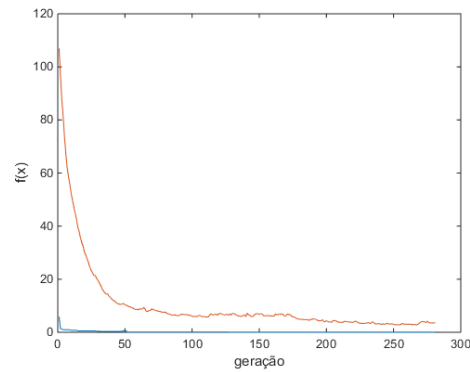


Figura 9: Função Fitness para planta com ED.

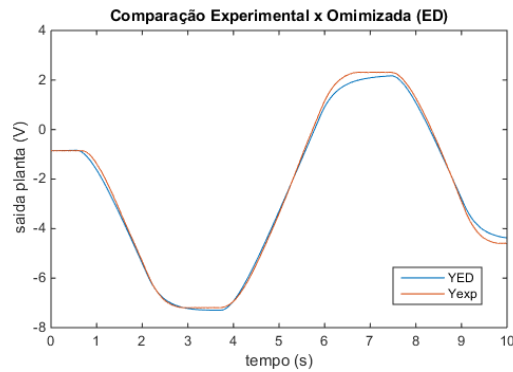


Figura 10: Comparação plantas teórica ED e experimental

A ED teve boa representação do modelo experimental da planta. Os parâmetros encontrados pelo ED se aproximaram dos parâmetros obtidos pela função *ident*, diferentemente do AG. As tabelas 7 e 8 mostram as comparações entre os parâmetros das plantas obtidas pelas diferentes abordagens.

Método	K	a	b
AG	0,0196	0,2105	0,1375
ED	0,0004	0,8205	0,9730
<i>Ident</i>	0,0004	0,9909	0,9729
<b>Média</b>	0,0068	0,6740	0,6945
<b>DP</b>	0,0111	0,4103	0,4823

Tabela 7: Comparação entre as diferentes abordagens para cada um dos parâmetros da planta

Método	K	a	b
<i>Ident</i>	0,0004	0,9909	0,9729
AG	0,0196	0,2105	0,1375
	4800%	79%	86%

ED	0,0004	0,8205	0,973
	0%	17%	0%

Tabela 8: Comparação entre cada um dos parâmetros obtidos pelos algoritmos heurísticos com o *Ident*

### h. Identificação do Controlador Algoritmo Genético

A identificação do controlador, apesar de apresentar comportamento oscilatório, também originou um modelo com boa representação. Alguns resultados dos parâmetros obtidos com o algoritmo podem ser visualizados na tabela 9.

ED	Kp	Kd	Ki	Erro	Gerações
1	4,0509	0,0005	3,8443	0,0481	468
2	3,9879	0,00051	3,6848	0,0481	107
3	3,9683	0,00051	3,6295	0,0481	106
4	4,0513	0,00054	3,8445	0,0481	248
5	4,0187	0,00052	3,7628	0,0481	117
<b>Média</b>	4,0154	0,00052	3,75318	0,0481	209
<b>DP</b>	0,0372	0,00002	0,095796	0	157

Tabela 9: Alguns resultados da identificação do controlador pelo AG.

A função fitness para esta identificação na figura 11 mostra tal oscilação.

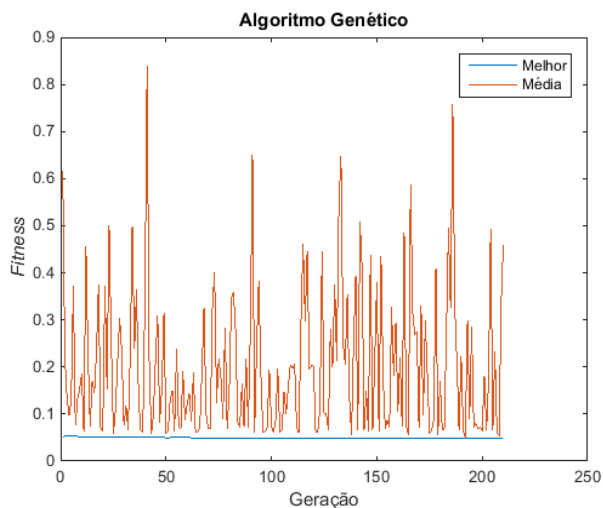


Figura 11: Função fitness para identificação do controlador com AG

A representação teórica da resposta do controlador projetado pode ser visualizada na figura 12. Ela mostra um tempo de resposta bom apesar de uma pequena oscilação na resposta.

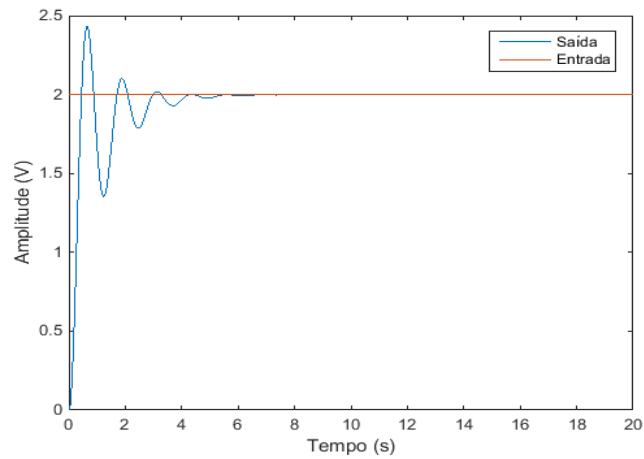


Figura 12: Resposta teórica do controlador obtido pelo AG

### i. Identificação do Controlador Evolução Diferencial

A identificação do controlador com a ED obteve uma planta satisfatória com um esforço computacional menor se comparado ao AG. A tabela 10 mostra alguns resultados obtidos com esta abordagem.

AG	Kp	Kd	Ki	Erro	Gerações
1	3,4849	0,00138	2,6690	0,0485	154
2	3,3543	0,00058	2,1610	0,0482	186
3	3,6120	0,00036	2,7301	0,0481	217
4	3,4619	0,00032	2,3561	0,0481	209
5	3,5100	0,00077	2,5906	0,0483	210
<b>Média</b>	3,4846	0,00068	2,5014	0,0482	195
<b>DP</b>	0,0927	0,00043	0,2373	0,0002	26

Tabela 10: Alguns resultados da identificação do controlador pelo AG.

A função fitness para esta abordagem pode ser visualizada na figura 13. Ela mostra uma rápida convergência do algoritmo (a partir da geração 15 a função fitness já adquire pequenos valores).

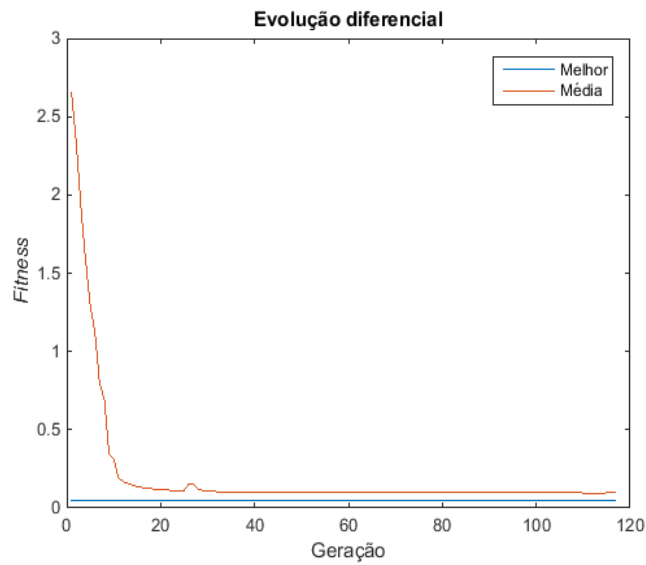


Figura 13: Função fitness para identificação do controlador com a ED

A resposta do sistema ao controlador apresenta comportamento semelhante a do AG, conforme ilustrado na figura 14.

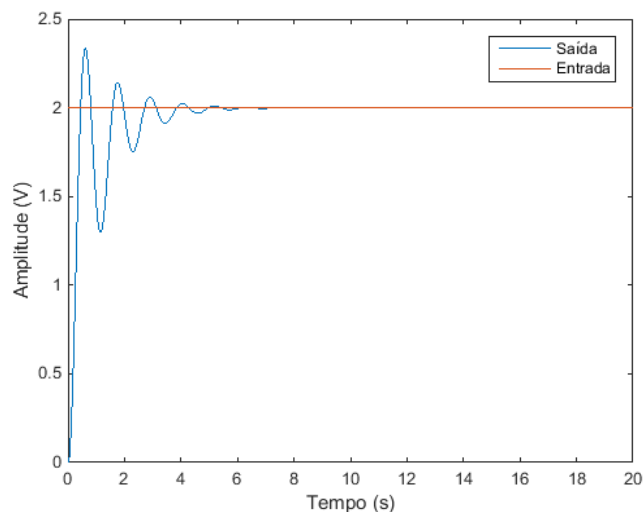


Figura 14: Resposta teórica do controlador obtido pela ED

#### j. Testes experimentais na bancada

Conforme visto anteriormente, ambos os controladores apresentaram respostas com semelhanças. Assim ambos foram aplicados ao servomecanismo. As respostas experimentais aos controladores obtidos pelo AG e pela ED podem ser visualizados respectivamente nas figuras 15 e 16.

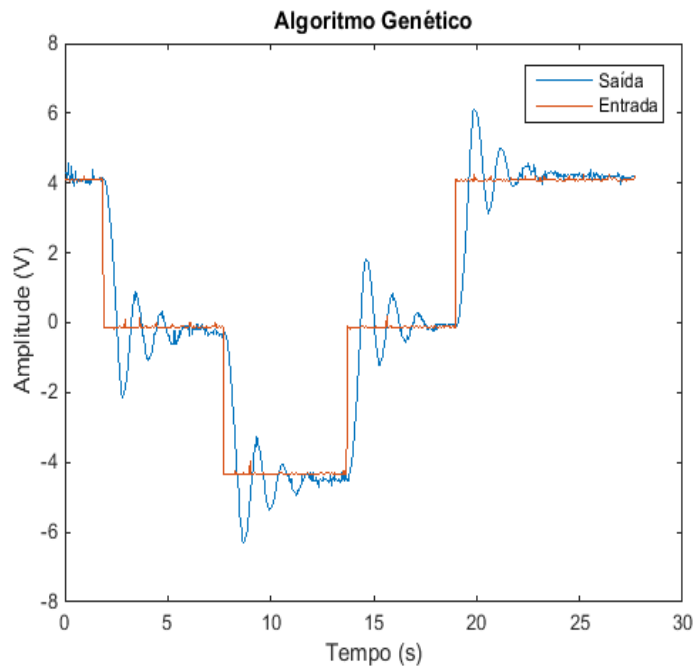


Figura 15: Resposta experimental do controlador obtido pelo AG

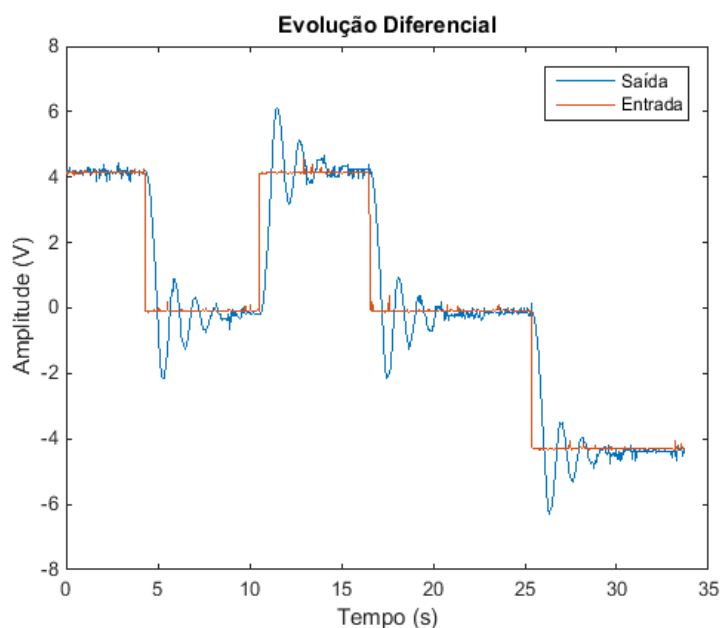


Figura 16: Resposta experimental do controlador obtido pela ED

## 5 | CONCLUSÃO

Apos a realização deste trabalho pode ser verificado que embora o Algoritmo Genético não tenha dado uma boa representação da planta, a Evolução diferencial conseguiu um modelo com boa representação e com parâmetros próximos à identificação obtida pela função *ident* do Mat Lab.

Quanto aos controladores ambas as abordagens resultaram em comportamentos teóricos semelhantes, com menos custo computacional e melhor eficiência para a

evolução diferencial. Esta obteve menor erro e com um numero menor de gerações consegui obter um modelo com comportamento similar ao obtido pelo AG.

O teste experimental foi condizente com o teorico, validando as técnicas de IA estudadas durante a disciplina em um caso prático. Como o criterio da função fitness utilizado foi o erro em relação à referência, parâmetros como Overshoot e Tempo de acomodação puderam ser observados na resposta de forma expressiva. Tais parâmetros podem ser futuramente incorporados com peso na função fitness afim de otimizar a resposta do sistema a tais requisitos. Também pode ser estimada uma função de transferência com outra estrutura.

## REFERÊNCIAS

Cezaro, A. “**Problemas Inversos: Uma Introdução**”. Universidade Federal do Rio Grande, 2008, 165 p.

Haupt, R. L. and Haupt, S. E. “**Practical Genetic Algorithms**”. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004, 272 p.

Mór, F. “**Uma Abordagem Paralela da Evolução Diferencial em GPU**”. 15 de setembro de 2016. <<http://pt.slideshare.net/TTYMan1/uma-abordagem-paralela-da-evolucao-diferencial-em-gpu>>.

Ramm, A. G., Gutman, S. “**Optimization Methods in Direct and Inverse Scattering**”, 2005, 60 p.

Stryk, O. V., Bulirsch, R. “**Direct and Indirect Methods for Trajectory Optimization**”. Annals of Operations Research, 1992, pp. 357-373.

Universidade estadual de maringá. “**Controle Autônomo de um Robô Móvel**”. 5 de setembro de 2016. <<http://www.din.uem.br/ia/control/ex4.html>>.

Vanderplaats, G. N. “**Numerical Optimization Techniques for Engineering Design**”. Ed. McGraw-Hill, New York, 1984, 394 p.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-247-0

