

A Produção do Conhecimento na Engenharia Biomédica

Nayara Araújo Cardoso
Renan Rhonalty Rocha
Maria Vitória Laurindo
(Organizadores)

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Nayara Araújo Cardoso
Renan Rhonalty Rocha
Maria Vitória Laurindo
(Organizadores)

A Produção do Conhecimento na Engenharia Biomédica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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
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
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P964	A produção do conhecimento na engenharia biomédica [recurso eletrônico] / Organizadores Nayara Araújo Cardoso, Renan Rhonalty Rocha, Maria Vitória Laurindo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-382-8 DOI 10.22533/at.ed.828190106 1. Biomedicina – Pesquisa – Brasil. 2. Robótica. I. Cardoso, Nayara Araújo. II. Rocha, Renan Rhonalty. III. Laurindo, Maria Vitória. CDD 610
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “A Produção do Conhecimento na Engenharia Biomédica” consiste em um livro de publicação da Atena Editora, com 21 capítulos em volume único, nos quais apresentam estratégias para as técnicas e tecnologias na produção de trabalho em saúde.

As Tecnologias em Saúde é um processo abrangente, por meio do qual são avaliados os impactos clínicos, sociais e econômicos das tecnologias em saúde, levando-se em consideração aspectos como eficácia, efetividade, segurança, custos, custo-efetividade, entre outros, a mesma deve ser compreendida como conjunto de ferramentas, entre elas as ações de trabalho, que põem em movimento uma ação transformadora da natureza. Desse modo, além dos equipamentos, devem ser incluídos os conhecimentos e ações necessárias para operá-los: o saber e seus procedimentos.

Entretanto, o sentido contemporâneo de tecnologia, portanto, diz respeito aos recursos materiais e imateriais dos atos técnicos e dos processos de trabalho, sem, contudo, fundir estas duas dimensões. Além disso, dado o grande desenvolvimento do saber técnico-científico dos dias atuais, este componente saber da tecnologia ganha qualidade estatuto social adicionais. Assim, novas tecnologias são lançadas no mercado todos os dias e com isso as demandas pela incorporação pelo sistema de saúde geradas pelas indústrias, pacientes e profissionais de saúde, têm crescido e continuará crescendo.

Com o intuito de colaborar com os dados já existentes na literatura, este volume traz atualizações sobre novas tecnologias que implementam melhores estratégias terapêuticas, que podem inovar o tratamento dos pacientes de um modo mais prático e resolutivo, assim esta obra é dedicada tanto à população de forma geral, quanto aos profissionais e estudantes da área da saúde. Dessa forma, os artigos apresentados neste volume abordam: aplicabilidade da robótica em terapia para reabilitação de pacientes com perdas de membros; jogo educativo para avaliação cognitivo-motor de deficientes intelectuais, avaliação da resposta da frequência cardíaca de adultos durante teste cardiopulmonar; tecnologias aplicadas à oftálmica como forma de melhorar a qualidade de vida; exposição à radiação ionizante em cirurgias ortopédicas; considerações sobre o espectro luminoso da descarga eletrocirúrgica; desenvolvimento de hidrogéis de quitosana associados a Ibuprofeno para liberação controlada; sistema de identificação de alimentos baseado em imagens de porções alimentares; a hemólise como fator interferente em parâmetros bioquímicos; planejamento em área estética de implante instalado tardiamente pós exodontia - relato de caso clínico e epidemiologia do Alzheimer.

Sendo assim, almejamos que este livro possa colaborar com informações relevantes aos estudantes e profissionais de saúde sobre diferentes tecnologias e técnicas aplicada à saúde, que podem ser usadas para aprimorar a prática profissional, e também para a população de forma geral, apresentando informações atuais sobre

técnicas e tecnologias aplicadas á saúde.

Nayara Araújo Cardoso

Renan Rhonalty Rocha

Maria Vitória Laurindo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1 **APLICABILIDADE DA TERAPIA ROBÓTICA NA REABILITAÇÃO EM PÓS-OPERATÓRIO DE ESOFAGECTOMIA**

Daniela Santana Polati da Silveira
Jéssica Peixoto de Araújo
Maria Lúcia Pedroso Lourenço
Pedro Melhado Trovo
Renata Carvalho Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.8281901061

CAPÍTULO 2 5 **ADAPTAÇÃO DE UM PROJETO DE ROBÔ HUMANOIDE IMPRESSO EM 3D EM UMA PRÓTESE SENSORIAL DE MEMBRO SUPERIOR**

Gustavo Pasqua de Oliveira Celani
Roberto Luiz Assad Pinheiro
Mariana Brandão Silvério
Rani Sousa Alves
Elisa Rennó Carneiro Dester
Fabiano Valias de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.8281901062

CAPÍTULO 3 14 **MAO3D - PROTETIZAÇÃO E REABILITAÇÃO DE MEMBRO SUPERIOR ADULTO COM A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D**

Maria Elizete Kunkel
Patrícia Bettiol Abe
Marcelo Pasqua
Israel Toledo Gonçalves
Lucas de Macedo Pinheiro
Sandra Maria Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.8281901063

CAPÍTULO 4 30 **SISTEMA COMPUTADORIZADO PARA APRESENTAR AS VARIAÇÕES NO CENTRO DE MASSA NO DISCO PROPRIOCEPTIVO DE FREEMAN**

André Roberto Fernandes da Silva
Antônio Vinícius de Moraes
Leandro Lazzareschi
Silvia Regina Matos da Silva Boschi
Terigi Augusto Scardovelli
Alessandro Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8281901064

CAPÍTULO 5 40 **ESPECTROSCOPIA RAMAN APLICADA NA OBSERVAÇÃO DE PRINCÍPIO ATIVO DE REPELENTE DE INSETOS NA PELE**

Michele Marin da Costa
Landulfo Silveira Jr.
Renato Amaro Zângaro
Marcos Tadeu Tavares Pacheco
João Dias da Costa

DOI 10.22533/at.ed.8281901065

CAPÍTULO 6	54
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO COGNITIVO-MOTOR DE DEFICIENTES INTELLECTUAIS COM JOGO EDUCATIVO	
Letícia Gonçalves Segatto Mariana Cardoso Melo	
DOI 10.22533/at.ed.8281901066	
CAPÍTULO 7	68
UM NOVO ALGORITMO DE EVOLUÇÃO DIFERENCIAL BASEADO EM SIMULATED ANNEALING PARA RECONSTRUÇÃO DE IMAGENS DE TOMOGRAFIA POR IMPEDÂNCIA ELÉTRICA	
Reiga Ramalho Ribeiro Priscila Dias Mendonça	
DOI 10.22533/at.ed.8281901067	
CAPÍTULO 8	79
SISTEMA BASEADO NA WEB DE ESPECIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS APLICADO EM RAIOS-X	
Walter Lima Ramirez Filho Lourdes Mattos Brasil	
DOI 10.22533/at.ed.8281901068	
CAPÍTULO 9	87
A NEW MEASURE TO EVALUATE SUBTHRESHOLD RESONANCE IN NEURONS	
Rodrigo Felipe de Oliveira Pena Vinicius Lima Cordeiro Cesar Augusto Celis Ceballos Renan Oliveira Shimoura Antônio Carlos Roque da Silva Filho	
DOI 10.22533/at.ed.8281901069	
CAPÍTULO 10	94
REPEATABILITY OF GAIT RANGES OF MOTION IN THE PRESENCE OF STROKE	
Vanessa Lucas dos Santos Gisele Francini Devetak Elisangela Ferretti Manffra	
DOI 10.22533/at.ed.82819010610	
CAPÍTULO 11	107
AVALIAÇÃO DA RESPOSTA DA FREQUÊNCIA CARDÍACA DE ADULTOS DURANTE TESTE CARDIOPULMONAR	
Elisângela de Andrade Aoyama Vera Regina Fernandes da Silva Paz Marília Miranda Forte Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.82819010611	
CAPÍTULO 12	113
ASSISTIVE TECHNOLOGY OF OPHTHALMIC MEMBRANE OCCLUSIVE FROM NATURAL LATEX	
Jaqueline Alves Ribeiro Suéilia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa	
DOI 10.22533/at.ed.82819010612	

CAPÍTULO 13	121
VALORES DE EXTINÇÃO TOPOLÓGICOS PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DE IMAGENS DE FUNDO DE OLHO	
Alexandre Gonçalves Silva Marina Silva Fouto Angélica Moises Arthur Rangel Arthur	
DOI 10.22533/at.ed.82819010613	
CAPÍTULO 14	131
EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE EM CIRURGIAS ORTOPÉDICAS	
Celso Júnio Aguiar Mendonça Frieda Saicla Barros Bertoldo Schneider Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.82819010614	
CAPÍTULO 15	141
CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESPECTRO LUMINOSO DA DESCARGA ELETROCIRÚRGICA	
Elton Dias Junior Evaldo Ribeiro Bertoldo Schneider Junior	
DOI 10.22533/at.ed.82819010615	
CAPÍTULO 16	149
DESENVOLVIMENTO DE HIDROGÉIS DE QUITOSANA ASSOCIADOS A IBUPROFENO PARA LIBERAÇÃO CONTROLADA	
Amanda de Castro Juraski Sônia Maria Malmonge Nasser Ali Daghasanli Juliana Kelmy Macário Barboza Daguano	
DOI 10.22533/at.ed.82819010616	
CAPÍTULO 17	159
SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE ALIMENTOS BASEADO EM IMAGENS DE PORÇÕES ALIMENTARES	
Yuri Malinowsky Shiga Kristy Soraya Coelho Joao da Silva Dias Giselle Lopes Ferrari Ronque	
DOI 10.22533/at.ed.82819010617	
CAPÍTULO 18	169
A HEMÓLISE COMO FATOR INTERFERENTE EM PARÂMETROS BIOQUÍMICOS	
Luma Carolina Santos da Silva Graziéli Ferreira Carmargo Camilla Lazzaretti	
DOI 10.22533/at.ed.82819010618	

CAPÍTULO 19	177
DOENÇA DE ALZHEIMER: ESTIMATIVAS EM USUÁRIOS DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE DO MUNICÍPIO DE OSÓRIO/RS	
Cristiano Serrano Tubelo Filho	
Gabriel Corteze Netto	
Camilla Lazzaretti	
DOI 10.22533/at.ed.82819010619	
CAPÍTULO 20	187
UPPER LIMB EXOSKELETON BY PNEUMATIC MUSCLES	
Filipe Loyola Lopes	
Larissa Guimarães Veríssimo	
Elton Silva de Moraes	
Raphael Sander de Souza Pereira	
Rani de Souza Alves	
DOI 10.22533/at.ed.82819010620	
CAPÍTULO 21	190
PLANEJAMENTO EM ÁREA ESTÉTICA DE IMPLANTE INSTALADO TARDIAMENTE PÓS EXODONTIA – RELATO DE CASO CLINICO	
Edith Umasi Ramos	
Luan Pier Benetti	
Luiz Gustavo Cavalcanti Bastos	
André Carlos de Freitas	
Tainara Tejada Camacho	
Ana Paula farnezi Bassi	
DOI 10.22533/at.ed.82819010621	
SOBRE OS ORGANIZADORES	203

UM NOVO ALGORITMO DE EVOLUÇÃO DIFERENCIAL BASEADO EM SIMULATED ANNEALING PARA RECONSTRUÇÃO DE IMAGENS DE TOMOGRAFIA POR IMPEDÂNCIA ELÉTRICA

Reiga Ramalho Ribeiro

Universidade Federal de Pernambuco
Recife – Pernambuco

Priscila Dias Mendonça

Universidade Federal de Pernambuco
Recife – Pernambuco

RESUMO: A reconstrução de imagem de Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) consiste na resolução de um problema inverso e mal-posto governado pela Equação de Poisson, isto é, não existem soluções matemáticas únicas para resolver esta equação. Neste trabalho foi proposto uma nova técnica baseada na hibridização de duas técnicas de otimização comuns de reconstrução de TIE, visando minimizar a função objetivo: Simulated Annealing (SA) e Evolução Diferencial (ED). Nossa abordagem, trata-se em comparar os resultados obtidos pela técnica aqui proposta e a ED, como forma de encontrar a melhor técnica para reconstrução de imagens de TIE. Os resultados foram quantitativamente avaliados, com relação ao custo computacional dos algoritmos, mostrando que a técnica híbrida proposta obteve maior eficiência computacional na reconstrução de imagens de TIE comparada à técnica ED. Quanto à avaliação qualitativa, indicou que os resultados foram anatomicamente consistentes e conclusivos

para todas as técnicas estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Tomografia por impedância elétrica, reconstrução de imagem, hibridização, evolução diferencial, simulated annealing.

ABSTRACT: Electrical Impedance Tomography (EIT) reconstruction consists of solving an inverse problem and mismatch governed by the Poisson equation, that is, there are no unique mathematical solutions to solve this equation. In this work, a new technique based on the hybridization of two common optimization techniques of EIT reconstruction was proposed, aiming at minimizing the objective function: Simulated Annealing (SA) and Differential Evolution (DE). Our approach is to compare the results obtained by the proposed technique and DE as a way to find the best technique for reconstructing EIT images. The results were quantitatively evaluated with respect to the computational cost of the algorithms, showing that the proposed hybrid technique obtained higher computational efficiency in the reconstruction of EIT images compared to the DE technique. Regarding the qualitative evaluation, indicated that the results were anatomically consistent and conclusive for all techniques studied.

KEYWORDS: Electrical impedance tomography, image reconstruction, hybridization, differential

evolution, simulated annealing.

1 | INTRODUÇÃO

A Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) é uma técnica de imagem não-invasiva que busca reconstruir o mapa de condutividade ou resistividade elétrica no interior de um volume, utilizando informações de injeção e medição de correntes e voltagens em eletrodos posicionados na fronteira do volume sob estudo (BORCEA, 2002). Como a TIE é uma técnica recente com grande potencial na obtenção de imagens para monitoração biológica, principalmente por ser não invasiva e não utilizar de radiação ionizante, mostra-se grande necessidade de mais estudos sobre este assunto, principalmente voltados para o desenvolvimento e melhoria de algoritmos que sejam capazes de reconstruir imagens de TIE com melhor qualidade e alta velocidade de obtenção. Atualmente são observados métodos de reconstrução de TIE híbridos, ou seja, utilizando algoritmos iterativos e não iterativos para resolução do problema inverso (GROSAN & ABRAHAM, 2007). O estado da arte dessa resolução caminha em direção ao uso de técnicas híbridas baseadas na Inteligência Computacional onde podem ser citados os métodos da Computação Evolucionária, tal como a Evolução Diferencial (DAS & SUGANTHAN, 2011). Por este motivo, o presente trabalho vem contribuir como mais um estudo dos métodos híbridos para reconstrução de imagens de TIE.

Neste trabalho foram apresentados dois métodos de reconstrução de TIE baseados em duas técnicas de busca e otimização: Simulated Annealing (SA) e Evolução Diferencial (ED). O Simulated Annealing é uma meta-heurística de otimização por busca local de escalada do monte, ou seja, ele pode pular mínimos locais permitindo a exploração do espaço em direções que levam a um aumento local sobre a função objetivo (KIRKPATRICK et. al., 1983). A Evolução Diferencial é um algoritmo evolucionário de otimização baseado na teoria da evolução e seleção natural, possuindo os operadores básicos de cruzamento e mutação, neste processo a seleção natural é modelada pela substituição de agentes menos aptos por seu descendente, caso seja mais apto (DAS & SUGANTHAN, 2011). O uso de algoritmos evolucionários, tais como Evolução Diferencial e Algoritmos Genéticos, pode fornecer métodos iterativos de reconstrução de imagens de TIE nos quais não há necessidade de se calcular derivadas, como necessário nos métodos baseados em Gauss-Newton comumente utilizados em TIE (VAUHKONEN et. al., 2001).

Como a ED possui mais forte o caráter de busca global, isto mostra que poucas iterações é suficiente para encontrar uma solução próxima da ideal. No entanto, de acordo com seu algoritmo, cada iteração requer a realização de seleção, cruzamento e mutação dos agentes da população corrente, desta forma exigindo alto custo computacional, neste trabalho, corresponde ao número total de cálculo da função

objetivo. Já a técnica SA, é caracterizada por ser um algoritmo de busca local com alta velocidade de convergência e baixo custo computacional. Sendo assim, esperamos que uma hibridização bem sucedida entre estas duas técnicas, consistindo numa busca global através da ED seguida por uma busca local através do SA, resultará no aumento da velocidade de convergência com redução do custo computacional da ED. Desta forma, neste trabalho foram realizadas simulações computacionais a fim de se obter a melhor técnica para reconstrução de imagens de TIE e avaliar a eficiência computacional da nova técnica proposta para reconstrução de imagens de TIE baseada na hibridização de dois métodos de busca e otimização, sendo eles: Evolução Diferencial (ED) e Simulated Annealing (SA).

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção “Materiais e Métodos” apresentamos brevemente revisões bibliográficas e também a metodologia dos experimentos propostos; na seção “Resultados” são apresentados os resultados dos experimentos; e na seção “Discussão e Conclusão” são feitos comentários sobre os resultados com uma breve conclusão do trabalho.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A. Tomografia por Impedância Elétrica

As equações governantes de um problema de Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) são a Equação de Poisson e as expressões seguintes (BORCEA, 2002):

$$\nabla \cdot [\sigma(\vec{u})\nabla\phi(\vec{u})] = 0, \quad \forall \vec{u} \in \Omega, \quad (1)$$

$$\phi_{\text{ext}}(\vec{u}) = \phi(\vec{u}), \quad \forall \vec{u} \in \partial\Omega, \quad (2)$$

$$I(\vec{u}) = -\sigma(\vec{u})\nabla\phi(\vec{u}) \cdot \hat{n}(\vec{u}), \quad \forall \vec{u} \in \partial\Omega, \quad (3)$$

onde $\vec{u} = (x, y, z)$ é a posição do voxel, $\phi(\vec{u})$ é a distribuição de potenciais elétricos, $\phi_{\text{ext}}(\vec{u})$ é a distribuição de potenciais elétricos nos eletrodos de superfície, $I(\vec{u})$ é a corrente elétrica, periódica com frequência ω_0 para evitar efeitos elétricos de superfície, $\sigma(\vec{u})$ é a distribuição de condutividades elétricas (imagem de interesse), Ω é o volume de interesse, também conhecido como domínio, e $\partial\Omega$ é a borda do domínio (superfície). $\hat{n}(\vec{u})$ é o vetor normal de superfície na posição $\vec{u} \in \partial\Omega$.

O problema de determinação dos potenciais elétricos dos eletrodos de superfície $\phi_{\text{ext}}(\vec{u})$ quando dados: corrente $I(\vec{u})$ e distribuição de condutividade $\sigma(\vec{u})$ é chamado problema direto da TIE e modelado pela seguinte relação:

$$\phi_{\text{ext}}(\vec{v}) = f(I(\vec{v}), \sigma(\vec{u})), \quad \forall \vec{v} \in \partial\Omega \wedge \vec{u} \in \Omega \quad (4)$$

enquanto o problema de determinação da distribuição de condutividade $\sigma(\vec{u})$ (imagem tomográfica) dado $I(\vec{u})$ e $\phi_{\text{ext}}(\vec{u})$ é conhecido como problema inverso da TIE, modelado como a seguir:

$$\sigma(\vec{u}) = \vec{f}^{-1}(I(\vec{v}), \phi_{\text{ext}}(\vec{v})), \quad \forall \vec{v} \in \partial\Omega \wedge \vec{u} \in \Omega \quad (5)$$

B. Evolução Diferencial

Evolução Diferencial (ED) consiste em um algoritmo evolucionário de otimização e busca, composta pelos operadores básicos de cruzamento e mutação, num processo em que a seleção natural é modelada pela substituição de agentes por seu descendente mais adaptado (DAS & SUGANTHAN, 2011). Basicamente, um conjunto de candidatos à solução, nomeados agentes, é inicializado com posições aleatórias dentro do espaço de busca. Em seguida, esses agentes são mutados e, por fim, cruzados e, no caso da versão mutada e cruzada obtém uma aptidão melhor que os agentes originais, eles são substituídos pelas suas novas versões. Este processo encontra-se detalhado no algoritmo seguinte, concebida para a minimização de uma função objetivo $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, onde P_{CR} é a probabilidade de cruzamento:

Algoritmo ED

1) Gerar a população inicial de $n = 100$ agentes (S) com dimensão d , cada um representado por um vetor $\mathbf{x}_{j,i,G}$, onde $j = 1, 2, \dots, d$, $i = 1, 2, \dots, n$ e G corresponde a geração corrente;

2) Repetir até que seja atingido o critério de parada:

a) Para $i = 1, 2, \dots, n$ faça

i) Gerar agente mutado $\mathbf{v}_{j,i,G+1}$;

ii) Gerar agente cruzado $\tilde{\mathbf{x}}_{j,i,G+1}$;

iii) Se $f(\mathbf{x}_{j,i,G+1}) < f(\mathbf{x}_{j,i,G})$ então (minimização);

A versão da evolução diferencial (ED) usada neste trabalho contém, o i -ésimo agente mutado, comumente conhecido como *trial vector*, definido como se segue:

$$\mathbf{v}_{j,i,G+1} = \mathbf{x}_{j,i,G} + \eta(\mathbf{x}_{j,i_{\text{best}},G} - \mathbf{x}_{j,i,G}) + \eta(\mathbf{x}_{j,i_1,G} - \mathbf{x}_{j,i_2,G}) \quad (6)$$

onde $\eta \sim U(0,2]$, $i_1 \neq i_2 \neq i$ e i_{best} corresponde ao agente mais apto na geração corrente. Enquanto que, o i -ésimo agente cruzado, é definido como se segue:

$$\tilde{\mathbf{x}}_{j,i,G+1} = \begin{cases} \mathbf{v}_{j,i,G+1}, & \text{se } (\text{rand}_{(j)} \leq P_{CR}) \text{ ou } j = \text{rnbr}(i) \\ \mathbf{x}_{j,i,G}, & \text{se } (\text{rand}_{(j)} > P_{CR}) \text{ ou } j \neq \text{rnbr}(i) \end{cases} \quad (7)$$

onde, $\text{rand}_{(j)}$ é o j -ésimo avaliação de um gerador de número aleatório uniforme com resultado $[0,1]$, $\text{rnbr}(i) \in \{1, 2, \dots, d\}$ é um índice escolhido aleatoriamente, o que assegura que $\tilde{\mathbf{x}}_{j,i,G+1}$ recebe pelo menos um parâmetro de $\mathbf{v}_{i,G+1}$.

C. Técnica Híbrida Proposta

Esta nova técnica (EDSA) proposta neste trabalho, consistiu na implementação da ED, como detalhado em “Algoritmo ED”, no entanto adicionando o Simulated Annealing dentro do operador de seleção para melhorar a capacidade de busca global da ED. Esta nova técnica encontra-se detalhada no algoritmo seguinte, concebida para a minimização da função objetivo ($f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$):

Algoritmo EDSA

1) Inicialização:

Gerar a população inicial de $n = 100$ D (D agentes aleatórios, cada um representado por um vetor $x_{j,i,G} = \text{rand}_{j,i}(0, 2)$, onde $j = 1, 2, 3, \dots, D$; $i = 1, 2, \dots, n$; G é a geração corrente; $t_{G=0} = 200.000$ ($t_{G=0}$ é a temperatura ambiente inicializada); $F_i = \text{rand}_i(0, 2]$ é fator de escala de mutação para cada indivíduo; $Cr = 0,9$ é a taxa de cruzamento.

2) A avaliação da aptidão dos agentes da população

3) Mutação da População:

A mutação da população é baseada na estratégia ED/rand-to-best/2/bin. Como mostrada pela Eq. (6):

$$v_{j,i,G} = x_{j,i,G} + F_i(x_{j,\text{best},G} - x_{j,i,G}) + F_i(x_{j,i_1,G} - x_{j,i_2,G}) \quad (8)$$

onde $i_1 \neq i_2 \neq i$ e $x_{j,\text{best},G}$ corresponde ao agente mais apto na geração corrente.

4) Cruzamento da População:

O cruzamento da população é baseada na operação de cruzamento da ED:

$$\check{x}_{j,i,G} = \begin{cases} v_{j,i,G}, & \text{se } (\text{rand}_{j,i}(0,1) \leq Cr \text{ ou } j = j_{\text{rand}}) \\ x_{j,i,G}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (9)$$

5) Avaliar a aptidão:

Calcular a aptidão dos agentes $\check{x}_{j,i,G}$ da população, de acordo com a função objetivo.

6) Seleção da população:

A seleção da população é processada comparando o vetor alvo $x_{j,i,G}$ com o vetor de julgamento $\check{x}_{j,i,G}$ da população. Além disso, Simulated Annealing é adicionado dentro do operador de seleção para melhorar a capacidade de busca global, t_G representa temperatura ambiente da geração corrente.

$$t_{G+1} = t_G / (1 + G * \sqrt[2]{t_G}) \quad (10)$$

$$x_{j,i,G+1} = \begin{cases} \check{x}_{j,i,G}, & \text{se } f(\check{x}_{j,i,G}) \leq f(x_{j,i,G}) \\ \check{x}_{j,i,G}, & \text{se } f(\check{x}_{j,i,G}) > f(x_{j,i,G}) \text{ e } \text{resto}(G/4) = 0 \\ & \text{e } f(x_{j,\text{best},G}) = f(x_{j,\text{best},G-1}) \\ & \text{e } f(x_{j,\text{best},G}) = f(x_{j,\text{best},G-2}) \\ & \text{e } \exp\left(-\frac{(f(\check{x}_{j,i,G}) - f(x_{j,i,G}))}{t_G}\right) > \text{rand}(0,1) \\ x_{j,i,G}, & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (11)$$

onde $\check{x}_{j,\text{best},G}$ é o agente mais apto da geração corrente, $x_{j,\text{best},G-1}$ é o agente mais apto da geração ($G - 1$) e $x_{j,\text{best},G-2}$ é o agente mais apto da geração ($G - 2$).

7) Parar se o critério de parada for satisfeito; caso contrário, voltar a Etapa 3.

D. Função Objetivo para Reconstrução-TIE

Apartir da seguinte função foi possível tratar o problema da TIE como um problema de otimização e, desta forma, utilizar uma técnica híbrida (RIBEIRO et. al., 2014):

$$\begin{aligned} f(S) &= \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (U_i(S) - V_i)^2}{\sum_{i=1}^{n_p} (V_i)^2} \right]^{1/2}, \\ V &= (V_1, V_2, \dots, V_{n_p})^T, \\ U(S) &= (U_1(S), U_2(S), \dots, U_{n_p}(S))^T, \end{aligned} \quad (12)$$

onde V é a distribuição de potenciais elétricos medidos na borda, e $U(S)$ é a distribuição de potenciais elétricos calculados na borda. Sendo n_p o número de eletrodos na borda e $f(S)$ o erro médio quadrático relativo.

E. Reconstrução de Imagem usando EIDORS

EIDORS é uma ferramenta desenvolvida em código livre para MATLAB/Octave utilizado para resolver os problemas direto e inverso de Tomografia por Impedância Elétrica (TIE) e Tomografia Óptica baseada em Difusão a fim de compartilhar dados e promover a colaboração entre grupos de trabalho nestes campos (ADLER & LIONHEART, 2005). Esta ferramenta simula uma malha de elementos finitos que representa computacionalmente uma secção transversal de um corpo bem como sua distribuição de condutividade interna na forma de cores.

F. Métodos e Experimentos Propostos

A fim de avaliar a nossa proposta, projetamos experimentos para 16 eletrodos, 415 elementos da malha da grade circular 2D com nível de densidade 'b' e nível de refinamento '2' (parâmetros do EIDORS). Os problemas estudados consistem em detectar objetos irregulares isolados em três configurações: (a) no centro, (b) entre o centro e a borda e (c) perto da borda do domínio. Utilizou-se o erro relativo entre as distribuições de potenciais elétricos medidos e calculados na borda como a função objetivo para todos os métodos de otimização que usamos neste trabalho. Candidatos a solução são vetores reais usados como abstrações teóricas para distribuições de condutividade possíveis, onde cada dimensão corresponde a um determinado elemento finito da grade.

Tanto para o método de Evolução Diferencial (ED) quanto para a técnica híbrida (EDSA) foi utilizado $P_{CR} = 0,9$ (probabilidade de cruzamento), trabalhamos com $n = 100$ (número de agentes da população), ou seja, candidatos a solução, e fizemos experimentos para critério de parada como 500 iterações.

É importante enfatizar que, todas as técnicas aqui mencionadas foram implementadas no software MATLAB versão R2008a. Sendo usado o software EIDORS versão 3.7.1 para resolução do problema direto da TIE.

Os dados qualitativos foram analisados através de quão próximas as imagens de condutividade reconstruídas (Figuras 2 e 3) estão das imagens de condutividade dos

objetos de estudo (Figura 1). Já os dados quantitativos correspondem a quantidade de cálculos da função *objetivo*, isto é, a quantidade de resolução do problema direto da TIE (associada ao custo computacional de reconstrução).

3 | RESULTADOS

A Figura 1 mostra as distribuições de condutividade simuladas, em três configurações, para objetos isolados eletricamente colocados no centro (a), entre centro e borda (b), e perto da borda (c) do domínio circular. Figuras 2 e 3 mostram os resultados da reconstrução obtidos a partir das técnicas estudadas neste trabalho EDSA e ED, respectivamente, para objetos colocados no centro (a1, a2 e a3), entre centro e borda (b1, b2 e b3) e perto da borda (c1, c2 e c3) do domínio circular para 50, 300 e 500 iterações como critério de parada, respectivamente. As Figuras 4-6 apresentam o comportamento do erro quadrático relativo (ver Eq. 12) com relação ao número de cálculos da função objetivo para as três configurações do domínio circular. Todos os resultados aqui mencionados foram gerados a partir de um computador HP com processador Intel(R) Core(TM) i7 e memória RAM de 8,00 GB.

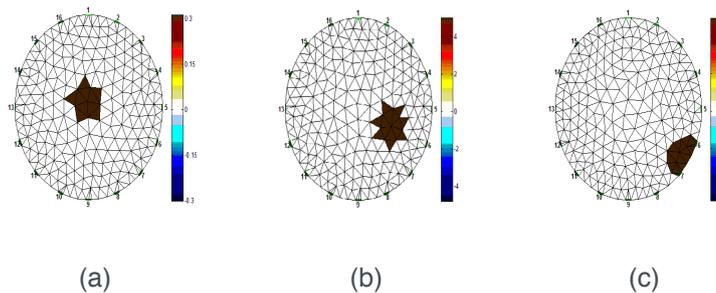
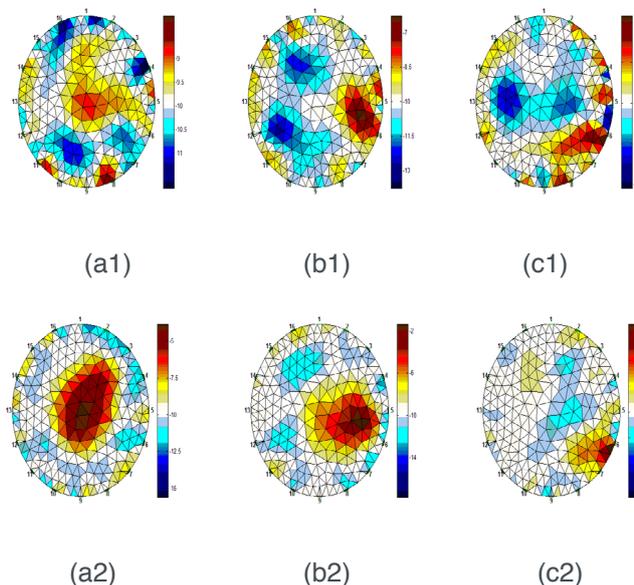


Figura 1. Objetos de estudo criados no EIDORS para isolante no centro (a), entre centro e borda (b), e perto da borda (c).



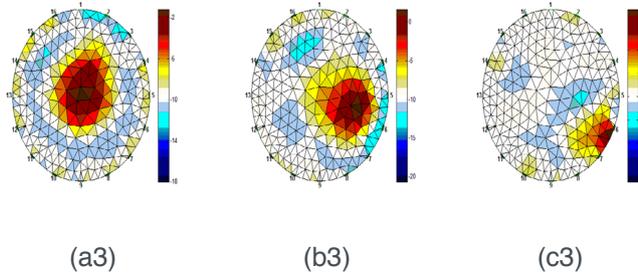


Figura 2. Resultados de reconstrução para objetos colocados no centro (a1, a2 e a3), entre centro e borda (b1, b2 e b3), e perto da borda (c1, c2 e c3) do domínio circular para 50, 300 e 500 iterações usando ED, respectivamente.

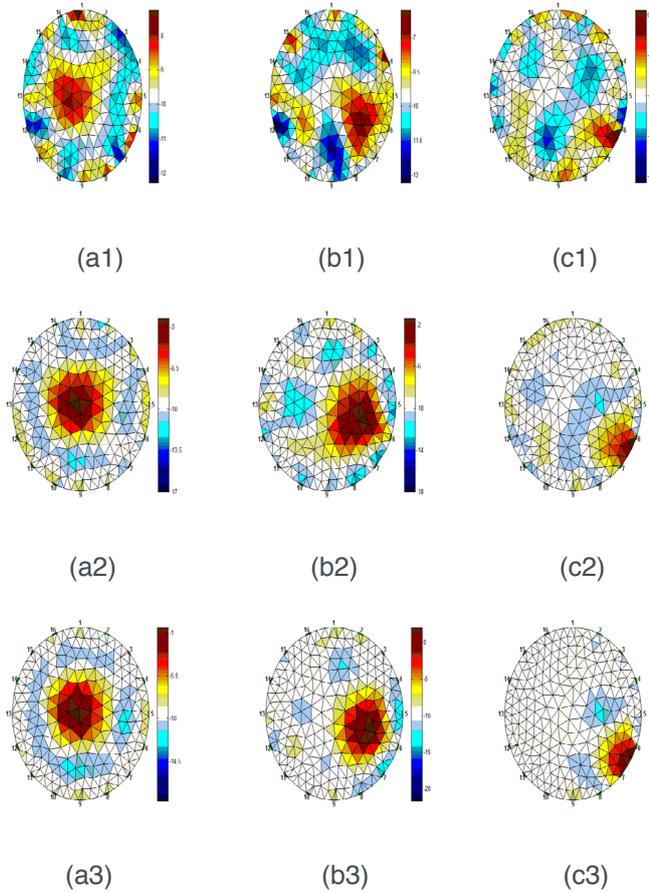


Figura 3. Resultados de reconstrução para objetos colocados no centro (a1, a2 e a3), entre centro e borda (b1, b2 e b3), e perto da borda (c1, c2 e c3) do domínio circular para 50, 300 e 500 iterações usando EDSA, respectivamente.

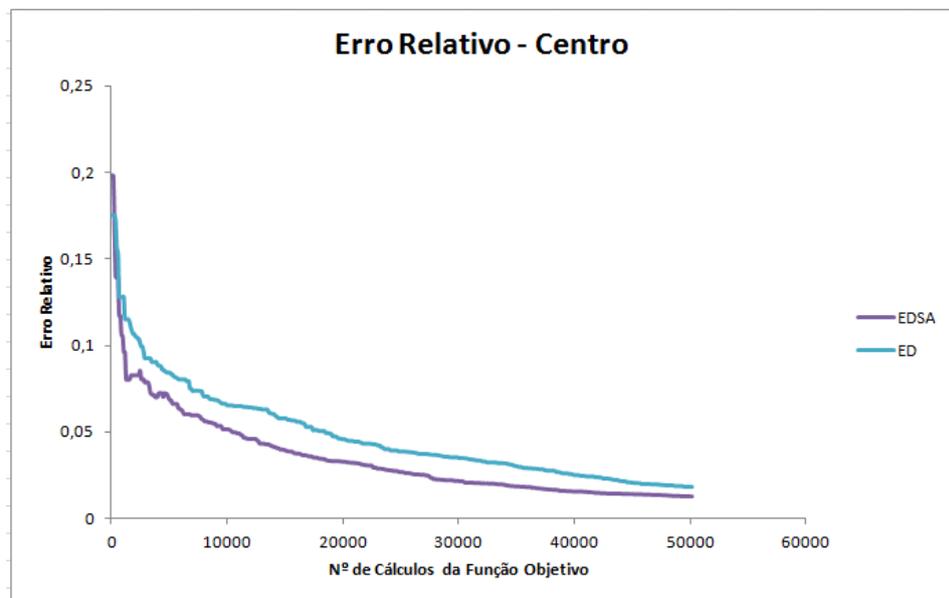


Figura 4. Erro decrescente de acordo com o número de cálculos da função objetivo para objeto isolante no centro do domínio.

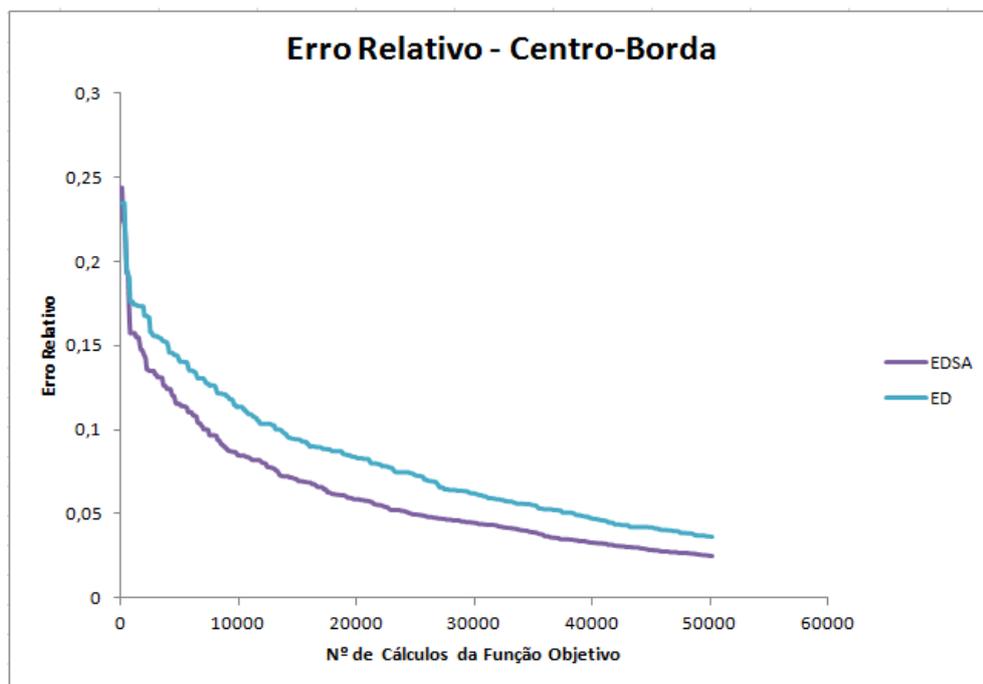


Figura 5. Erro decrescente de acordo com o número de cálculos da função objetivo para objeto isolante entre centro e borda do domínio.

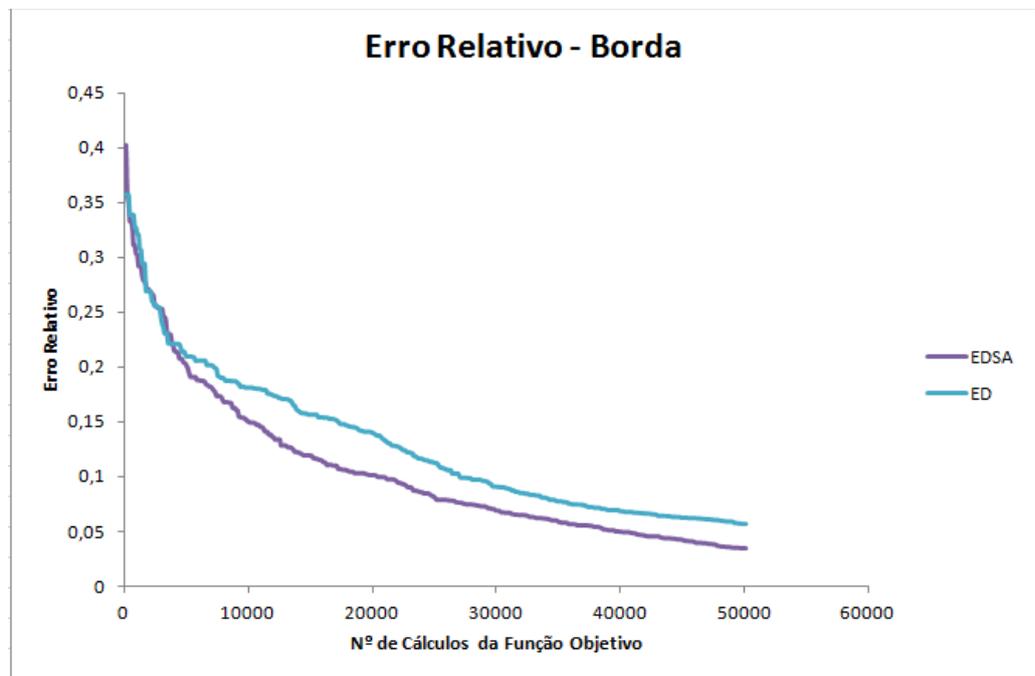


Figura 6. Erro decrescente de acordo com o número de cálculos da função objetivo para objeto isolante próximo da borda do domínio.

4 | DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

Qualitativamente, o comportamento dos algoritmos de reconstrução pode ser investigado pela análise comparativa dos resultados visuais mostrados pelas imagens das Figuras 2 e 3 com as imagens dos domínios de estudo (ver Figura 1). Para estes experimentos, todos os algoritmos de reconstrução, inclusive a técnica híbrida proposta, mostraram bom desempenho para reconstruir os objetos de estudo, em todas as configurações, obtendo imagens anatomicamente consistentes e conclusivas a partir de 300 iterações dos algoritmos. Como vemos, merece destaque a técnica híbrida EDSA por reconstruir as imagens de TIE com melhores delimitações de borda (contraste).

A partir das Figuras 4-6, é possível perceber que a técnica híbrida, como esperado, adquiriu as melhores características das técnicas de busca e otimização ED e SA, sendo elas:

1 - alta diversidade da população de soluções candidatas obtida possivelmente pela técnica ED, isto conseqüentemente gera baixos valores do erro relativo (função objetivo) nas primeiras iterações;

2 – capacidade de evitar mínimos locais do espaço de busca da solução através da busca local da técnica SA, isto conseqüentemente gera uma queda rápida do erro relativo (função objetivo) ao longo do processo de convergência.

É possível observar que, a partir destes resultados, a hibridização das técnicas é uma forma eficiente de melhorar o rendimento do algoritmo de ED, em termos de custo computacional para reconstrução de imagens de TIE, principalmente quando o

elemento isolante elétrico encontra-se no centro do domínio circular.

Enfim, estes experimentos computacionais mostraram que a técnica híbrida proposta provou ser o melhor Método de Busca e Otimização para reconstrução de imagens de TIE, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, quando comparado com o algoritmo de Evolução Diferencial. Além disso, observa-se que a hibridização com técnica de busca local, em particular a técnica SA, mostrou ser uma ferramenta poderosa para melhorar o rendimento computacional da técnica de Evolução Diferencial na reconstruir imagens de TIE.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento à pesquisa CAPES pelo financiamento parcial desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ADLER, Andy; LIONHEART, William RB. **EIDORS: towards a community-based extensible software base for EIT**. In: 6th Conf. on Biomedical Applications of Electrical Impedance Tomography. 2005. p. 1-4.
- BORCEA, Liliana. **Electrical impedance tomography**. Inverse problems, v. 18, n. 6, p. R99, 2002.
- DAS, Swagatam; SUGANTHAN, Ponnuthurai Nagaratnam. **Differential evolution: A survey of the state-of-the-art**. IEEE transactions on evolutionary computation, v. 15, n. 1, p. 4-31, 2011.
- GROSAN, Crina; ABRAHAM, Ajith. **Hybrid evolutionary algorithms: methodologies, architectures, and reviews**. In: Hybrid evolutionary algorithms. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. p. 1-17.
- KIRKPATRICK, Scott; GELATT, C. Daniel; VECCHI, Mario P. **Optimization by simulated annealing**. science, v. 220, n. 4598, p. 671-680, 1983.
- RIBEIRO, Reiga R. et al. **Reconstruction of electrical impedance tomography images using genetic algorithms and non-blind search**. In: 2014 IEEE 11th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI). IEEE, 2014. p. 153-156.
- VAUHKONEN, Marko et al. **A MATLAB package for the EIDORS project to reconstruct two-dimensional EIT images**. Physiological measurement, v. 22, n. 1, p. 107, 2001.

SOBRE OS ORGANIZADORES

NAYARA ARAÚJO CARDOSO - Graduada com titulação de Bacharel em Farmácia com formação generalista pelo Instituto Superior de Teologia Aplicada – INTA. Especialista em Farmácia Clínica e Cuidados Farmacêuticos pela Escola Superior da Amazônia – ESAMAZ. Mestre em Biotecnologia pela Universidade Federal do Ceará – *Campus* Sobral. Membro do Laboratório de Fisiologia e Neurociência, da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Sobral, no qual desenvolve pesquisas na área de neurofarmacologia, com ênfase em modelos animais de depressão, ansiedade e convulsão. Atualmente é Farmacêutica Assistente Técnica na empresa Farmácia São João, Sobral – Ceará e Farmacêutica Supervisora no Hospital Regional Norte, Sobral – Ceará.

RENAN RHONALTY ROCHA - Graduado com titulação de Bacharel em Farmácia com formação generalista pelo Instituto Superior de Teologia Aplicada - INTA. Especialista em Gestão da Assistência Farmacêutica e Gestão de Farmácia Hospitalar pela Universidade Cândido Mendes. Especialista em Análises Clínicas e Toxicológicas pela Faculdade Farias Brito. Especialista em Farmácia Clínica e Cuidados Farmacêuticos pela Escola Superior da Amazônia - ESAMAZ. Especialista em Micropolítica da Gestão e Trabalho em Saúde do Sistema Único de Saúde pela Universidade Federal Fluminense. Farmacêutico da Farmácia Satélite da Emergência da Santa Casa de Sobral/CE, possuindo experiência também em Farmácia Satélite do Centro Cirúrgico. Membro integrante da Comissão de Farmacovigilância do referido hospital. Foi coordenador da assistência farmacêutica de Morrinhos/CE por dois anos. Mestrando em Biotecnologia pela Universidade Federal do Ceará - UFC.

MARIA VITÓRIA LAURINDO - Graduada com titulação de Bacharel em Enfermagem pelo Centro Universitário INTA – UNINTA. Foi bolsista no hospital da Santa Casa de Misericórdia de Sobral (SCMS) no setor de Quimioterapia, participei do programa de monitoria na disciplina de Patologia Humana e fui integrante do Projeto de Extensão Humanização Hospitalar. Assim como, desenvolvi ações em educação e saúde como extensionista para pacientes parturientes no hospital Santa Casa de Sobral (SCMS). Pós-Graduada em Urgência e Emergência pela Universidade Cândido Mendes – UCAM.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-382-8

