

Engenharias, Ciência e Tecnologia 4

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2019

Luís Fernando Paulista Cotian

(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

4

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

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)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 4 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-087-2

DOI 10.22533/at.ed.872193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

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

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume IV apresenta, em seus 29 capítulos, conhecimentos relacionados a Modelagem, Análise e Simulação relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Programação Matemática, Decisão Multicriterial e Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos.

A área temática de Modelagem, Análise e Simulação trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na tomada de decisão, desde a modelagem e simulação até a análise dos resultados envolvendo assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Modelagem, Análise e Simulação e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA	
<i>Douglas Freitas Augusto dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931011	
CAPÍTULO 2	11
ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO OFF-LINE DE UM MAPA COGNITIVO FUZZY DE UM MISTURADOR INDUSTRIAL	
<i>Márcio Mendonça</i>	
<i>Edson Hideki Koroishi</i>	
<i>Lillyane Rodrigues Cintra</i>	
<i>Lucas Botoni de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931012	
CAPÍTULO 3	19
APLICAÇÕES MATEMÁTICAS EM MEDIDAS AGRÁRIAS: UM CONHECIMENTO ETNOMATEMÁTICO DO HOMEM DO CAMPO CONTEXTUALIZADO COM O CONTEÚDO ESCOLAR	
<i>Deonísio Hul</i>	
<i>Silton José Dziadzio</i>	
<i>Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931013	
CAPÍTULO 4	34
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA CONEXÃO DE UMA UNIDADE GERADORA DISTRIBUÍDA A UM ALIMENTADOR DE 13,8 KV UTILIZANDO O ATP	
<i>Jaqueline Oliveira Rezende</i>	
<i>Larissa Marques Peres</i>	
<i>Geraldo Caixeta Guimarães</i>	
<i>Marcelo Lynce Ribeiro Chaves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931014	
CAPÍTULO 5	46
CÁLCULO FRACIONÁRIO APLICADO À GENERALIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE BAGAÇO DE UVA	
<i>Amanda Peruzzo da Motta</i>	
<i>Bruna de Souza Nascimento</i>	
<i>Fernanda Batista de Souza</i>	
<i>Douglas Junior Nicolin</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931015	
CAPÍTULO 6	57
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA	
<i>Edvan Vinícius Gonçalves</i>	
<i>Wardleison Martins Moreira</i>	
<i>Emanuel Souza Barros</i>	
<i>Sérgio Inácio Gomes</i>	
<i>Marcos de Souza</i>	
<i>Luiz Mario de Matos Jorge</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931016	

CAPÍTULO 7 67

CONTAGEM AUTOMÁTICA DE OVOS DO Aedes Aegypti em palhetas de ovitrampas: um sistema para aquisição e processamento de imagens

Carlos Diego Franco da Rocha
Ayla Márcia Cordeiro Bizerra
Demétrios Araújo Magalhães Coutinho
Luiz Fernando Virginio da Silva
Michel Santana de Deus
Phablo Márcio de Paiva Souto

DOI 10.22533/at.ed.8721931017

CAPÍTULO 8 75

Controlador fuzzy Mamdani aplicado à navegação autônoma em ambiente desconhecido variante no tempo

Eduardo Vilela Pierangeli
Jordann Alessandro Rosa Almeida
Marcelo Vilela Pierangeli

DOI 10.22533/at.ed.8721931018

CAPÍTULO 9 82

Controle robusto aplicado em uma viga de material compósito visando atenuação de vibrações

Camila Albertin Xavier da Silva
Daniel Almeida Colombo
Edson Hideki Koroishi
Albert Willian Faria

DOI 10.22533/at.ed.8721931019

CAPÍTULO 10 96

Estratégias heurísticas para posicionamento de unidades de medição fasorial

Marcio André Ribeiro Guimaraens
Julio Cesar Stacchini de Souza
Milton Brown Do Coutto Filho
Breno Crespo Zeba

DOI 10.22533/at.ed.87219310110

CAPÍTULO 11 109

Estudo de caracterização e desenvolvimento da urbanização do município de Sousa-PB no período de 1984 a 2016

Márcia de Lacerda Santos
Thayse Bezerra da Silva
Maria Raiana Almeida Silva
Danielle Leal Barros Gomes

DOI 10.22533/at.ed.87219310111

CAPÍTULO 12 116

Flambagem linear e não-linear utilizando uma análise numérica pelo método dos elementos finitos

Rodrigo Villaca Santos
Leticia Barizon Col Debella

DOI 10.22533/at.ed.87219310112

CAPÍTULO 13..... 121

GEOLOGIA DA SERRA DO CARAÇA: PERFIS REAIS

Carolina Cristiano Barbosa
Ariadne Duarte Libutti Nuñez
Adriane Abreu Cadar
Alexandre Motta Tunes
Bárbara Alves Oliveira
Ulisses Cyrino Penha

DOI 10.22533/at.ed.87219310113

CAPÍTULO 14..... 132

GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO: PREVISÃO DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Josué Domingos da Silva Neto
Débora Cristina Almeida de Assis
Nayra Vicente Sousa da Silva
Zenilda Vieira Batista

DOI 10.22533/at.ed.87219310114

CAPÍTULO 15..... 143

INFLUÊNCIA DA INÉRCIA A TORÇÃO NO MOMENTO FLETOR DE PLACAS MACIÇAS DE CONCRETO

Leticia Barizon Col Debella
Rodrigo Villaca Santos

DOI 10.22533/at.ed.87219310115

CAPÍTULO 16..... 149

METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

Ubiratan Holanda Bezerra
João Paulo Abreu Vieira
Werboston Douglas de Oliveira
Daniel Augusto Martins
Dione José Abreu Vieira
Bernard Carvalho Bernardes
Benedito das Graças Duarte Rodrigues
Vilson Castro

DOI 10.22533/at.ed.87219310116

CAPÍTULO 17 166

O WATSON DA IBM

Eduardo Bruno de Almeida Donato
Amanda Moura Camilo

DOI 10.22533/at.ed.87219310117

CAPÍTULO 18..... 173

PROTÓTIPO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE A PARTIR DA LEI DE DARCY

Guilherme Medina Cameu
Victor Araujo Figueredo Fischer
Wataru Iwamoto
Rômulo Henrique Batista de Farias

DOI 10.22533/at.ed.87219310118

CAPÍTULO 19 178

SIMULADOS ELETRÔNICOS DO PROCESSO SELETIVO DO IFPR: INSTRUMENTO DE DIVULGAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO

João Henrique Berssanette
Antonio Carlos de Francisco
Fabiane Ferreira
Maria Fernanda Müller Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.87219310119

CAPÍTULO 20 188

SOLARIZAÇÃO DO SOLO E BIOFUMIGAÇÃO NA VIABILIDADE DE SCLEROTIUM ROLFSSII

João Luiz Lopes Monteiro Neto
Roberto Tadashi Sakazaki
Raphael Henrique da Silva Siqueira
Carlos Abanto-Rodríguez
Sonicley da Silva Maia
Rannyonara Oliveira Rodrigues
Lucas Aristeu Anghinoni dos Santos
Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.87219310120

CAPÍTULO 21 194

SYNOPTERO: RECONSTRUINDO O MUNDO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DO BIDIMENSIONAL

Lucas Maquedano da Silva
Marcos Cesar Danhoni Neves
Fernanda Tiemi Karia
Gabriel Francischini de Oliveira
Leandro Moraes Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.87219310121

CAPÍTULO 22 202

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

Lucas Rosa de Almeida
Marcelo Vieira-Filho
Sílvia Yanagi
Marcelo Ribeiro Viola

DOI 10.22533/at.ed.87219310122

CAPÍTULO 23 217

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

Murilo Miceno Frigo
Paulo Irineu Koltermann

DOI 10.22533/at.ed.87219310123

CAPÍTULO 24 229

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

Robson Vieira de Oliveira
Matheus Correia Teixeira
Marco Antonio Bonelli Junior

DOI 10.22533/at.ed.87219310124

CAPÍTULO 25 242

USO DE IMAGENS SENTINEL - 2A E O ALGORITMO SVM PARA MONITORAR AS APP DE NASCENTES E CURSOS D'AGUA DO RIBEIRÃO MARANHÃO, LAVRAS, MG

Ester Afonso
Katyanne Conceição
Beatriz Campos
Franklin Inácio
Margarete Volpato
Helena Alves

DOI 10.22533/at.ed.87219310125

CAPÍTULO 26 249

UTILIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIFERENCIAL EM PROBLEMAS INVERSOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UMA VIGA EULER-BERNOULLI

Rennan Otavio Kanashiro
Edson Hideki Koroishi
Fabian Andres Lara-Molina

DOI 10.22533/at.ed.87219310126

CAPÍTULO 27 258

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

Eduardo Hélio de Novais Miranda
Rodrigo Allan Pereira
Francisco Carlos Gomes
Roberto Alves Braga Junior
Fernando Pujaico Rivera
Lucas Henrique Pedrozo Abreu

DOI 10.22533/at.ed.87219310127

CAPÍTULO 28 264

UTILIZAÇÃO DO SENSOR PT100 NO ARDUINO PARA CAPTAÇÃO DA TMR

Mariana Espíndola Vieira
Helena Dufau
Christian Muller
Anderson Ferrugem
Antonio Silva
Rafael Soares

DOI 10.22533/at.ed.87219310128

CAPÍTULO 29 269

DINÂMICA DE ESCOAMENTOS PARTICULADOS EM DUTOS VERTICAIS

Diego Nei Venturi
Francisco José De Souza

DOI 10.22533/at.ed.87219310129

SOBRE O ORGANIZADOR 280

ESTRATÉGICAS HEURÍSTICAS PARA POSICIONAMENTO DE UNIDADES DE MEDIÇÃO FASORIAL

Marcio André Ribeiro Guimaraens

Departamento de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal Fluminense
Niterói – Rio de Janeiro

Julio Cesar Stacchini de Souza

Departamento de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal Fluminense
Niterói – Rio de Janeiro

Milton Brown Do Coutto Filho

Instituto de Computação, Universidade
Federal Fluminense
Niterói – Rio de Janeiro, Brasil

Breno Crespo Zeba

Instituto de Computação, Universidade
Federal Fluminense
Niterói – Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO: A função estimação de estado (EE) responde pela obtenção do valor mais provável de grandezas que caracterizam o estado de operação de um sistema. Dados obtidos em subestações equipadas com unidades de medição são processados de forma centralizada, usualmente através de algoritmos baseados no método dos mínimos quadrados ponderados. Atualmente, avanços tecnológicos têm permitido o aperfeiçoamento do processo de estimação, com destaque para o uso de dados disponíveis em unidades de medição fasorial, em complementação àqueles obtidos

por unidades do sistema de aquisição de dados convencional (SCADA). Com isto, aumenta-se significativamente a capacidade de depuração de dados do processo de estimação, por meio de uma abordagem conhecida por estimação de estado auxiliada por fasores. Este artigo propõe um método heurístico de alocação estratégica de unidades de medição fasorial (UMFs), de modo a maximizar a capacidade da EE em lidar com medidas portadoras de erros grosseiros. Estudos realizados nos sistemas-teste do IEEE – com a variação de cenários topológicos, assim como do número de UMFs disponíveis para instalação – são apresentados e discutidos.

PALAVRAS-CHAVE: alocação de medidores, análise residual, erro grosseiro, estimação de estado, sincrofasores.

ABSTRACT: State estimation (SE) provides the most likely estimate of the system operating state, for a given network configuration. It processes the available data commonly obtained at the substations equipped with remote measurement units. Centralized single-scan weighted least squares (WLS) estimation has become a well-established application program of energy management systems. Regardless, SE can still be considered as a function under construction. Many issues involving marked improvements in the estimation process are in the research

agenda of the field. Among them, the use of all data available for processing has been pointed out recurrently. Having this in mind, phasor measurements have been indicated as an important complement of the conventional SCADA measurements, in view of enhancing data debugging. Adopting a phasor-aided state estimation (PHASE) approach, this paper proposes a heuristic method of strategically placing PMUs, in view of enhancing SE capability to deal with gross measurement errors (bad data). Simulation results obtained on IEEE benchmark systems with different topologies are presented and discussed.

KEYWORDS: meter placement, residual analysis, bad data, state estimation.

1 | INTRODUÇÃO

Medidas convencionais de um sistema de potência, obtidas pelo sistema SCADA (supervisory control and data acquisition), são observações do estado operativo do sistema que usualmente correspondem a (ABUR, & EXPÓSITO, 2004): fluxo e injeção de potência ativa/reactiva; magnitude de tensão das barras. Estas podem ser complementadas por medidas sincrofasoriais, disponíveis em subestações selecionadas da rede (PHADKE, & THORP, 2008), como, por exemplo: tensões complexas das barras (magnitudes e ângulo de fase); correntes (componentes real e imaginária). Como em qualquer processo de medição, as grandezas adquiridas podem conter erros, alguns destes estatisticamente de magnitude elevada, conhecidos por erros grosseiros (EGs).

A função estimação de estado (EE) em sistemas de potência desempenha um papel primordial no processo de monitoramento em tempo real do estado atual de operação do sistema, sendo responsável pela validação dos dados de entrada de diversas funções integrantes dos sistemas modernos de gerenciamento de energia. Com a EE, realiza-se a difícil tarefa de detectar, identificar e substituir medidas portadoras de EGs (MONTICELLI, 1999). A ampliação recente do uso de unidades de medição fasorial (UMFs) tem despertado o interesse de sua agregação ao processo de EE, notadamente visando o tratamento de EGs.

Uma das primeiras tarefas para a implementação da EE diz respeito à seleção dos melhores locais onde devem estar as unidades de medição de acordo com alguns requisitos, tais como: evitar medidas críticas; favorecer o processamento de EGs; minimizar custos de instalação; etc.

Estimadores que adotam o método tradicional dos mínimos quadrados ponderados (MQP) são extensamente utilizados por serem computacionalmente eficientes, porém muitas vezes não são capazes de processar de forma confiável medidas espúrias. O que torna difícil a validação dos dados por tais estimadores é a interdependência existente entre as variáveis de estado estimadas e as medidas estimadas correspondentes. Na presença de EGs, algumas componentes do estado estimado são corrompidas

e, conseqüentemente, as medidas estimadas associadas a tais erros. Assim, muitos dos resíduos que excedem a um limite especificado (sensibilidade de detecção) correspondem a medidas válidas que são erroneamente indicadas como medidas suspeitas. Este espalhamento de EGs compromete a eliminação em bloco de dados espúrios e sobrecarrega o processo de validação de dados.

Inegavelmente, os dados fornecidos por UMFs contribuem para o aumento da redundância de medidas usadas na EE. Entretanto, torna-se necessário criar estratégias de estimação que possibilitem a agregação de tais dados aos obtidos convencionalmente pelo sistema SCADA. Neste sentido, processos de estimação cooperativos que tratam separadamente cada conjunto de medidas (convencional e fasorial) têm sido propostos (COSTA, ALBUQUERQUE, & BENS, 2013).

Medidas fasoriais podem ser submetidas a um processo de estimação independente, para produzir estimativas do estado. Isto significa que, a partir desta estimativa obtida para o estado apenas com medidas fasoriais, também estimativas para as medidas convencionais podem ser obtidas. Conseqüentemente, os resíduos de medições convencionais oriundos do estimador fasorial não serão correlacionados, ou seja, não são afetados pelo espalhamento do EGs.

A construção de planos de medição para EE representa um problema de otimização combinatória, muitas vezes resolvido por meio de meta-heurísticas.

O presente artigo apresenta um método heurístico, simples e de fácil implementação, para a alocação otimizada de UMFs, voltada para a facilitação do processamento de EGs através da análise residual da estimação de estado auxiliada por fasores, conhecido como PHASE (phasor-aided state estimation) (GUIMARAENS, DO COUTTO FILHO, & SOUZA, 2014). Resultados numéricos de estudos de simulação, realizados com sistemas- teste do IEEE, evidenciam o benefício alcançado no processamento de EGs através da alocação estratégica de UMFs. Assume-se que exista uma limitação em termos do número de UMFs disponíveis para a EE e também que diferentes cenários topológicos de interesse devam ser considerados.

2 | ESTIMAÇÃO DE ESTADOS: FUNDAMENTOS

Esta seção apresenta de forma resumida os principais fundamentos da EE, especialmente aqueles relacionados ao tratamento de EGs pelo enfoque PHASE e também estabelece a terminologia e notação aqui adotadas.

O papel que a EE exerce na supervisão de redes elétricas de potência encontra-se principalmente na sua capacidade em detectar, identificar e eliminar EGs. Tal capacidade está intimamente ligada à disponibilidade de medidas, em quantidade, diversidade e localização na rede elétrica. Neste contexto, o termo redundância define o excedente de medidas disponíveis levando-se em conta a quantidade necessária para estimar todas as variáveis de estado. Quando há escassez de medidas, situação

verificada pela análise de criticidade e observabilidade, a EE convencional torna-se incapaz de detectar, identificar e eliminar EGs adequadamente (AUGUSTO, DO COUTTO FILHO, & SOUZA, 2016).

Muitos dos algoritmos dedicados ao processamento de EGs têm lugar após a etapa de estimação propriamente dita (filtragem) e executam uma análise estatística dos resíduos da estimação, como será visto a seguir.

ETAPA DE FILTRAGEM: O modelo não-linear que descreve a relação estado e sua observação (medidas) caracteriza-se pela seguinte equação:

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{x}) + \mathbf{v} \quad (1)$$

onde: \mathbf{x} — vetor de estado ($n \times 1$), composto pelos ângulos de fase e magnitudes das tensões nodais; \mathbf{z} — vetor das medidas ($m \times 1$); \mathbf{h} — vetor das equações de fluxo de potência ($m \times 1$), para a configuração atual da rede; \mathbf{v} — vetor dos erros de medição ($m \times 1$), para o qual admite-se a distribuição Normal de média zero e matriz de covariância \mathbf{R} .

A função-objetivo para processo de filtragem do estado através do método MQP é dada por:

$$J(\mathbf{x}) = [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x})]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x})] \quad (2)$$

O estado estimado $\hat{\mathbf{x}}$ que minimiza $J(\mathbf{x})$ em (2) pode ser obtido iterativamente através de:

$$\begin{aligned} \mathbf{G}\Delta\mathbf{x} &= \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x}^{(\ell)})] \\ \mathbf{x}^{(\ell+1)} &= \mathbf{x}^{(\ell)} + \Delta\mathbf{x} \end{aligned} \quad (3)$$

onde: $\mathbf{G} = \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}$ — matriz de ganho ($n \times n$); $\mathbf{H} = \partial \mathbf{h} / \partial \mathbf{x}$ — matriz Jacobiano ($m \times n$), calculada em $\mathbf{x} = \mathbf{x}^{(\ell)}$; ℓ — contador de iterações.

A matriz \mathbf{S} , que representa a covariância do erro na estimação do estado, é dada por:

$$\mathbf{S} = (\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \quad (4)$$

E a matriz \mathbf{T} , covariância do erro na estimação das medidas, é obtida a partir de por:

$$\mathbf{T} = \mathbf{H} \mathbf{S} \mathbf{H}^T \quad (5)$$

sendo: $\mathbf{H} = \partial \mathbf{h} / \partial \mathbf{x}$, avaliado em $\mathbf{x} = \hat{\mathbf{x}}$.

ANÁLISE DE RESÍDUOS CORRELACIONADOS: Representando por $r(i)$ a $i^{\text{ésima}}$ componente do vetor de resíduos da estimação, aquela que contém a diferença entre o valor da medida (componente do vetor \mathbf{z}) e o correspondente valor estimado extraído de $\hat{\mathbf{z}} = \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}})$, vem:

$$\mathbf{r}(i) = \mathbf{z}(i) - \hat{\mathbf{z}}(i) \quad (6)$$

Admite-se que o processo estabelecido em (6) seja Gaussiano branco com média zero e matriz de covariância U dado por:

$$U = R - T \quad (7)$$

Usualmente, normaliza-se r para submetê-lo à seguinte validação estatística (teste r_N):

$$r_N(i) = |r(i)| / \sigma_U(i) \leq \text{limiar de detecção} \quad (8)$$

onde $\sigma_U(i) = \sqrt{U(i,i)}$ — desvio padrão da $i^{\text{ésima}}$ componente do vetor r ; $U(i,i)$ — elemento da $i^{\text{ésima}}$ linha e $i^{\text{ésima}}$ coluna da matriz U . Se houver violação do limiar pré-estabelecido (usualmente, igual a 3), as medidas correspondentes são colocadas sob suspeita de contaminação por EGs.

Na estimação, EGs podem ocorrer envolvendo apenas uma medida (erro simples) ou várias medidas (erros múltiplos). Quando um EG simples está presente, a componente de maior valor corresponde à medida espúria, desde que esta não seja crítica ou pertença a conjunto crítico (ABUR, & EXPÓSITO, 2004). Deste modo, em um sistema bem provido de medições (com redundância adequada) o único EG será detectado/identificado, com custo computacional baixo. Já em casos de ocorrência de EGs múltiplos, sua identificação envolve um problema combinatorial difícil. Isto se dá pelo efeito de espalhamento de EGs, que resulta em aplicações sucessivas do teste r_N .

ANÁLISE DE RESÍDUOS NÃO CORRELACIONADOS: Condições favoráveis para a depuração de dados podem ser criadas, se dados adicionais estiverem disponíveis para o processo de EE. Por exemplo, ao adotar um processo de estimação de estado auxiliado por previsões (FASE – forecasting-aided state estimation) (DO COUTTO FILHO, & SOUZA, 2009), estimativas obtidas a priori (previsões) tornam-se disponíveis e podem ser úteis no processamento de EGs. Com o enfoque FASE, previsões são obtidas através de um sistema linear discreto que descreve a evolução temporal do estado de operação. Algoritmos FASE são capazes de prever o estado/quantidades medidas, o que permite o cálculo de inovações (diferenças entre valores previstos e medidos). Em consequência, um eficiente esquema de processamento de EGs para a tripla tarefa de detecção, identificação e substituição de medições pode ser construído. Isto ocorre porque o espalhamento de EGs não está presente nas inovações, já que as medidas previstas um passo-a-frente são independentemente computadas e confrontadas com as medidas recém-recebidas.

Medidas de sincrofasores podem ser consideradas como dados adicionais a serem submetidos a um processo de estimação independente, isto é, aquele criado pelo estimador de sincrofasores, aqui denominado Sync. Isto significa que não apenas as medidas de sincrofasores podem ser estimadas, mas também aquelas vindas do sistema SCADA (medidas convencionais).

Os resíduos de medidas convencionais originados no estimador Sync carregam

observações não presentes nos valores obtidos via sistema SCADA (à semelhança das inovações obtidas pelo FASE), uma vez que o estado estimado por Sync foi obtido pelo processamento de apenas medidas de UMFs.

Assim, as medidas convencionais e a sua estimação realizada pelo estimador Sync não são correlacionadas, implicando que a diferença entre esses valores (residuais) não são afetados pelo espalhamento de EGs.

Sendo $r(i)$ a $i^{\text{ésima}}$ componente do vetor definido pela diferença entre a medida convencional z recebida e a medida estimada em Sync independentemente \tilde{z} :

$$\mathbf{r}(i) = \mathbf{z}(i) - \tilde{\mathbf{z}}(i) \quad (9)$$

onde $\tilde{\mathbf{z}} = \mathbf{h}(\tilde{\mathbf{x}})$; $\tilde{\mathbf{x}}$ — vetor de estado estimado em Sync.

Seja $r(i)$ um processo Gaussiano branco com média zero e matriz de covariância V dado por:

$$V = R + M \quad (10)$$

onde $M = \mathbf{H}\mathbf{L}\mathbf{H}^t$ — matriz covariância de erro do vetor $\tilde{\mathbf{z}}$; $\mathbf{H} = \partial\mathbf{h}/\partial\mathbf{x}$, computado em $\mathbf{x} = \tilde{\mathbf{x}}$; \mathbf{L} — matriz de covariância de erro de $\tilde{\mathbf{x}}$, obtida pelo estimador Sync.

As componentes do vetor r são normalizadas e submetidas à seguinte validação estatística:

$$\mathbf{r}_N(i) = |\mathbf{r}(i)| / \sigma_V(i) \leq \lambda \quad (11)$$

onde $\sigma_V(i) = \sqrt{V(i,i)}$ — desvio padrão da $i^{\text{ésima}}$ componente do vetor r e λ limite de detecção.

Deve-se enfatizar que (6) e (9), bem como (7) e (10), se referem a resíduos distintos: o primeiro corresponde aos casos em que os valores estimados (\hat{x} e \hat{z}) são obtidos de um conjunto de medidas z (SCADA); o segundo envolve valores estimados independentemente em Sync (\tilde{x} e \tilde{z}), livres da influência das medidas convencionais z .

Na próxima seção, propõe-se um método heurístico para a alocação de UMFs, visando facilitar o processamento de EGs, quando realizado por PHASE, tomando-se um número limitado de UMFs disponíveis e diferentes topologias de interesse.

3 | METODOLOGIA PROPOSTA

O planejamento de um sistema de medição para a EE requer a execução de tarefas árduas, nas quais condições de redundância devem ser verificadas, visando: garantir a observabilidade completa da rede sob supervisão; avaliar condições de criticalidade de medidas; garantir a confiabilidade do processo de detecção, identificação e supressão de medidas espúrias (simples ou múltiplas).

Apesar de desejável, sistemas de medição com elevada redundância nem sempre são obtidos, consideradas restrições financeiras.

Como mencionado anteriormente, os sistemas SCADA adquirem remotamente medidas convencionais destinadas à função de EE. Recentemente, com o estabelecimento de sistemas de posicionamento global (GPS), medidas de sincrofasores tornaram-se disponíveis, inicialmente fornecidas por um número limitado de UMFs. Assim sendo, surge a questão sobre onde devem ser posicionadas UMFs para que se tenha um melhor desempenho da EE, em relação ao processamento de EGs.

FORMULAÇÃO DO PORBLEMA : O método aqui proposto, emprega um algoritmo genético (AG) para a otimização da alocação de um número limitado de UMFs em uma rede elétrica, observável completamente por medidas convencionais (SCADA). O objetivo é alocar UMFs de tal modo que a área da rede observada por estas UMFs seja maximizada em termos de quantidades disponíveis de medidas convencionais cobertas por esta área. As barras observadas por medidas de UMFs podem ser determinadas por:

$$\mathbf{b} = \mathbf{Y} \times \mathbf{x} \quad (12)$$

onde \mathbf{Y} é a matriz de conectividade da rede; \mathbf{x} é um vetor binário cujas entradas são definidas como segue:

$$\mathbf{Y}(i, k) = \begin{cases} 1 & i = k \\ 1 & \text{barras } i \text{ e } k \text{ são conectadas} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (13)$$

$$\mathbf{x}(i) = \begin{cases} 1 & \text{UMF instalada na barra } i \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (14)$$

Assume-se que a UMF alocada em determinada barra fornece medidas do módulo e ângulo da tensão desta barra, bem como as correntes complexas dos ramos da rede a ela conectados.

Sabe-se que as medidas de fluxo de potência podem ser estimadas a partir do conhecimento do estado de suas barras terminais. As estimativas de medidas de injeção de potência por sua vez dependem do estado da própria barra e das barras adjacentes a ela conectadas.

As barras cujos estados podem ser determinados processando-se apenas medidas de UMFs são aquelas cujos correspondentes elementos no vetor \mathbf{b} são não nulos.

Deste modo, para um dado vetor \mathbf{x} (distribuição de UMFs) e vetor \mathbf{b} associado (indicação das barras cujo estado é conhecido), pode-se identificar quais as medidas SCADA são estimadas processando-se apenas medidas de UMFs.

Formula-se então o seguinte problema de otimização:

$$\text{Max} \sum_{k=1}^{NI} m_k \quad (15)$$

onde NI é o número de ilhas na rede que são observáveis usando apenas medidas de UMFs, aqui denotadas como ilhas UMF. O número de medidas convencionais contidas na $k^{\text{ésima}}$ ilha UMF é representado por m_k .

$$n_{UMF} = N \quad (16)$$

As soluções devem levar em consideração a existência de uma quantidade pré-definida de UMFs a instalar, como indica a expressão a seguir:

A solução do problema de otimização estabelecido em (15) e (16) deve indicar as N barras em que as UMFs devem ser alocadas, de forma que as ilhas de UMFs formadas contenham o máximo possível de medidas convencionais. Note que neste caso o número de medidas SCADA portadoras de eventuais EGs que podem ser detectadas e identificadas com sucesso pelo PHASE também será maximizado, conforme comentado na Seção II.C. Em (GUIMARAENS, DO COUTTO FILHO, & SOUZA, 2014), encontra-se exemplos dos benefícios alcançados pelo PHASE no processamento de EGs, quando se tem uma única área completamente coberta pelas UMFs.

A função-objetivo definida em (15) pode ser modificada de forma que se considere também não apenas uma única configuração de rede, mas todos os cenários topológicos de interesse para a sua operação. Esses cenários são usualmente conhecidos através de dados históricos da operação do sistema.

Assim, a função-objetivo para o problema de otimização passa a ser definida por:

$$\text{Max} \sum_{t=1}^{NT} \left(\sum_{k=1}^{NI} m_{tk} \right) \quad (17)$$

onde: NT é o número de topologias da rede que devem ser levadas em conta, quando se for alocar as N UMFs disponíveis; m_{pk} é o número de medidas convencionais contidas na $k^{\text{ésima}}$ ilha UMF no cenário topológico $t^{\text{ésimo}}$.

ALGORITMO GENÉTICO: Dada a natureza combinatória e a complexidade do problema de otimização definido na Seção III.A, adota-se aqui um AG destinado a maximizar a seguinte função aptidão:

$$FA = \sum_{t=1}^{NT} \left(\sum_{k=1}^{NI} m_{tk} \right) \quad (18)$$

Observe que a função aptidão definida em (18) corresponde exatamente à função objetivo estabelecida em (17). Se somente uma topologia de rede for considerada, então $NT = 1$ e a função de aptidão em (18) corresponde à função objetivo definida em (15). Vale notar que a restrição (16) não é representada em (18), já que as N UMFs a serem alocadas (N), em termos numéricos, estão previamente definidas e também todos os vetores-solução (cromossomos) de uma dada população do AG empregado propõem a alocação das N UMFs.

O candidato a solução de qualquer uma dada população é codificado em um cromossomo representado por um vetor binário de dimensão nb (número de barras do sistema que podem ser selecionadas para a instalação de UMFs). Se todas as barras puderem ser selecionadas, nb iguala-se ao número de barras no sistema. Neste caso, o cromossomo está em correspondência com o vetor \mathbf{x} em (12), sendo cada gene definido por: $\mathbf{a}(i) = 1$, se for proposta a instalação de uma UMF na barra i ; $\mathbf{a}(i) = 0$, caso contrário.

O processo evolutivo realizado pelo AG emprega operadores de mutação e crossover como descrito em (HOLLAND, 1975). Uma estratégia elitista também é adotada. Os parâmetros empregados no AG são apresentados a seguir.

AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS: As soluções obtidas pelo AG empregado na abordagem proposta serão avaliadas em termos de um índice que representa a porcentagem média de medidas convencionais que podem ser depuradas pelo PHASE, sendo expressa por \bar{M}_{UTR} (%), como se define em (19). Tais índices levam em conta a proporção de medidas convencionais (M_t) que podem ser depuradas pelo PHASE em cada cenário de topologia NT . Em (20), mostra-se como M_t é computado para um dado cenário topológico t , sendo a razão entre o número de medidas que podem ser depuradas pelo PHASE e o número total de medidas convencionais disponíveis neste cenário (Nm_t).

$$\bar{M}_{UTR} = \frac{\sum_{t=1}^{NT} M_t}{NT} \times 100 \quad (19)$$

onde:

$$M_t = \frac{\sum_{k=1}^{NI} m_{tk}}{Nm_t} \quad (20)$$

4 | RESULTADOS

Diversas simulações foram realizadas usando os sistemas- teste IEEE 14, 30, 57 e 118 barras, usualmente adotados na literatura para problemas que envolvem a EE. Em todos os casos simulados, planos de medições pré-existentes foram adotados, com medidas convencionais capazes de observar totalmente a rede elétrica. A metodologia proposta foi testada considerando a alocação estratégica de quantidades pré-especificadas de UMFs em adição às medidas SCADA.

DESCRIÇÃO DA SIMULAÇÃO: Em cada simulação realizada, o AG adotado foi executado 50 vezes, em cada uma delas com 50 indivíduos e 10 gerações. Durante o processo evolucionário, o operador de elitismo foi usado, preservando-se os três melhores indivíduos de uma geração para outra. Os operadores de mutação e

crossover foram implementados conforme indicado em (HOLLAND, 1975). A população inicial é formada da seguinte maneira: em metade dos indivíduos, a UMF é alocada aleatoriamente, e na outra metade alocada heurísticamente, assumindo-se que a chance de cada UMF selecionada para instalação em dada barra seja diretamente proporcional ao número de ramos conectados a esta barra (DO COUTTO FILHO, SOUZA, & TAFUR, 2013), (ROCHA, DO COUTTO FILHO, & SOUZA, 2013).

Em adição ao caso-base (rede com todos os ramos disponíveis), topologias diferentes foram consideradas usando-se o critério ($n-1$), ou seja, cada ramo da rede se tornou indisponível, desde que não ocorresse o isolamento de barras.

SISTEMA IEEE 14-BARRAS: O plano de medição para este caso é composto de 39 medidas convencionais: 5 pares de injeção de potência (ativa e reativa), 14 pares de fluxo de potência (ativa e reativa) e 1 de magnitude de tensão.

A Tabela I mostra os resultados obtidos depois de se efetuar 50 vezes o AG.

No. de UMFs	BARRAS	MELHOR \bar{M}_{UTR}	MÉDIA \bar{M}_{UTR}	DESVIO PADRÃO (%)
1	4	32,0	32,0	0,0
2	4, 6	62,8	62,7	0,5
3	2, 6, 9	92,9	92,9	0,0
4	2, 6, 7, 9	98,9	98,9	0,0
8	2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13	100	99,9	0,1

TABELA I. SISTEMA IEEE 14 BARRAS - 20 CENÁRIOS TOPOLÓGICOS

A primeira coluna da tabela indica o número de UMFs pré-especificado, enquanto a segunda coluna mostra em que barras tais UMFs foram alocadas. A terceira coluna apresenta o percentual de medidas convencionais em que o processamento de EGs são depurados adequadamente pelo PHASE (melhor solução encontrada em todas as execuções do AG). Na quarta coluna, indica-se o percentual médio de medidas convencionais cobertas pelo PHASE, considerando todas as execuções realizadas. A última coluna mostra o desvio padrão correspondente à distribuição de resultados. As melhores soluções encontradas são aquelas que maximizam a função-aptidão de (18). O percentual de medidas convencionais cobertas pela depuração de dados com o PHASE é computado usando-se (19). O índice \bar{M}_{UTR} corresponde à média das 50 execuções obtidas com o AG.

A Figura 1 ilustra a alocação de duas UMFs no sistema IEEE 14 barras. A medidas convencionais que podem ser depuradas pelo PHASE se encontram dentro das áreas circuladas.

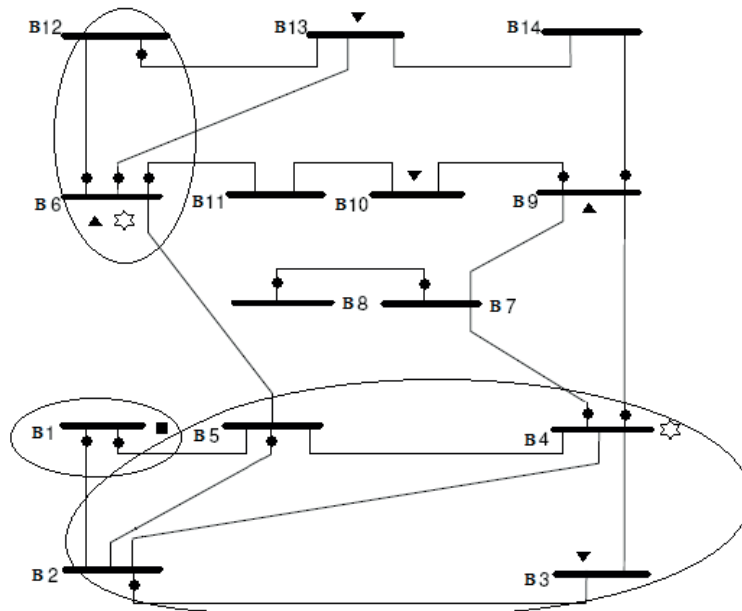


Figura 1. UMFs alocadas nas barras 4 e 6 – IEEE 14 barras. (●) Medidas de fluxo de potência; (■) Medida de magnitude de tensão; (▼) Medidas de injeção de potência; (⊛) Unidade de Medição Fasorial (medidas de fasores de tensão nodal e correntes de ramos)

SISTEMA IEEE 30-BARRAS: Agora o plano de medição é composto por 81 medidas convencionais: 8 pares de injeção de potência (ativa-reativa); 30 pares de fluxo de potência (ativa-reativa) e 3 de magnitudes de tensão. A Tabela II apresenta os resultados das simulações realizadas no sistema.

No. de UMFs	BARRAS	MELHOR \bar{M}_{UTR}	MÉDIA \bar{M}_{UTR}	DESVIO PADRÃO (%)
4	6, 10, 15, 27	69,2	68,3	1,2
6	2, 6, 12, 19, 24, 27	89,0	84,6	2,7
8	2, 4, 6, 10, 12, 18, 24, 27	97,1	96,0	1,4
10	1, 2, 6, 10, 12, 15, 19, 24, 25, 27	99,9	99,3	1,0
15	2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 19, 22, 24, 25, 27, 28	100	100	0,0

TABELA II. SISTEMA IEEE 30 BARRAS - 39 CENÁRIOS TOPOLÓGICOS

SISTEMA IEEE 57-BARRAS: O plano de medição é composto por 173 medidas convencionais: 5 pares de injeção de potência (ativa e reativa); 78 pares de fluxo de potência (ativa e reativa) e 7 de magnitude de tensão. Os resultados estão mostrados na Tabela III.

No. de UMFs	BARRAS	MELHOR \bar{M}_{UTR}	MÉDIA \bar{M}_{UTR}	DESVIO PADRÃO (%)
10	1, 6, 10, 11, 15, 19, 24, 29, 38, 56	74,2	66,3	3,3
15	1, 4, 6, 13, 15, 24, 29, 32, 36, 38, 41, 47, 51, 55, 57	90,2	84,2	2,8
19	1, 4, 7, 9, 10, 13, 20, 22, 26, 29, 30, 33, 36, 37, 41, 44, 47, 53, 56	98,5	93,3	2,5
30	1, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 29, 30, 32, 36, 38, 39, 41, 43, 44, 48, 49, 53, 54, 56	100	100	0,0

TABELA III. SISTEMA IEEE 57 BARRAS - 80 CENÁRIOS TOPOLÓGICOS

SISTEMA IEEE 118-BARRAS: O plano de medição adotado é composto por 352 medidas convencionais: 176 pares de fluxo de potência. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela IV.

No. de UMFs	BARRAS	MELHOR \bar{M}_{UTR}	MÉDIA \bar{M}_{UTR}	DESVIO PADRÃO (%)
5	12, 37, 49, 80, 92	27,3	25,5	0,9
20	8, 12, 15, 17, 32, 34, 37, 49, 54, 56, 59, 68, 70, 77, 80, 85, 92, 100, 105, 110	74,3	67,4	3,6
40	5, 8, 11, 12, 15, 17, 19, 21, 23, 27, 32, 34, 40, 42, 46, 49, 51, 54, 56, 59, 61, 62, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 75, 77, 80, 85, 89, 92, 94, 96, 100, 103, 105, 110	96,5	94,3	2,2

TABELA IV. IEEE 118 BARRAS - 180 CENÁRIOS TOPOLÓGICOS

COMENTÁRIOS: Os resultados obtidos mostram que a metodologia proposta aloca UMFs de modo que a capacidade de depurar EGs através do PHASE é maximizada. Observa-se que em diversos casos a instalação de poucas UMFs foi suficiente para gerar benefícios significativos, tornando possível a depuração de dados em um número ampliado de medidas. Vale mencionar que a métrica proposta permitiu avaliar adequadamente os benefícios da alocação de UMFs, fornecendo ao planejador do sistema de medição informação de apoio à decisão, quanto a alocar diferentes quantidades de UMFs. Veja como exemplo que na Tabela I mostrou-se que a alocação de duas UMFs nas barras 4 e 6 do sistema permitiu depurar 64% dos EGs de medidas convencionais. E que a alocação de mais uma UMF apenas, instalada na barra 9, permitiria que PHASE depurasse os dados de 94,9% das medidas convencionais. Situações similares podem ser observadas nos resultados presentes em outras tabelas, relacionadas a alocação de UMFs em outros sistemas testes. Finalmente, deve-se destacar a possibilidade de alocar UMFs que podem prover o máximo de depuração de dados com o PHASE para diferentes topologias de interesse. Essa é uma importante consideração de planejamento, que pode indicar (até mesmo sem investimento adicional) que simplesmente com a realocação de poucas UMFs chega-se a um bom desempenho da depuração de dados pelo PHASE em cenários correspondentes às diferentes topologias que o sistema possa experimentar durante a operação.

5 | CONCLUSÕES

Considerando o aperfeiçoamento da árdua tarefa de detectar, identificar e suprimir erros grosseiros, realizado através da análise de resíduos do processo de estimação de estado auxiliado por fasores, neste artigo foi proposta uma metodologia capaz de otimizar a alocação de unidades de medição fasorial. O método proposto é simples

e de fácil implementação. Resultados numéricos de estudos de simulação, revelados através de testes realizados em redes elétricas típicas para a estimação de estado, mostraram que a capacidade de depuração de dados pode ser maximizada com o posicionamento estratégico de unidades de medição fasorial. A alocação otimizada foi obtida considerando um número limitado de UMFs disponíveis e a necessidade de se monitorar cenários topológicos de interesse para operação da rede elétrica sob supervisão.

Por fim, vale ressaltar que a independência entre as estimativas obtidas com medidas SCADA e de UMFs permite também que sejam depurados erros em medidas fasoriais, conforme indicado em (GUIMARAENS, DO COUTTO FILHO, & SOUZA, 2014).

REFERÊNCIAS

- Abur, A., Expósito, A. G. (2004), **Power system state estimation: theory and implementation**. New York, NY: Marcel Decker.
- Augusto, A. A., Do Coutto Filho, M. B., Souza, J. C. S. (2016), **Probabilistic assessment of state estimation capabilities for grid observation**, IET Anais Geração Transmissão e Distribuição, vol. 10, no. 12, pp. 2933-2941.
- Costa, A. J. A. S., Albuquerque, A., Bez, D. (2013), **An estimation fusion method for including phasor measurements into power system real-time modeling**, IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 2, pp. 1910–1920.
- Do Coutto Filho, M. B., Souza, J. C. S. (2009) **Forecasting-aided state estimation-part I: panorama**, IEEE Trans. Power Syst., vol. 24, no. 4, pp. 1667–1677.
- Do Coutto Filho, M. B., Souza, J. C. S., Tafur, J. E. V. (2013) **Quantifying observability in state estimation**, IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 3, pp. 2897-2906.
- Guimaraens, M. A. R., Do Coutto Filho, M. B., Souza, J. C. S. (2014), **Enhanced Bad Data Processing by Phasor-Aided State Estimation**, IEEE Trans. Power Syst., vol. 29, no. 5, pp. 2200-2209.
- Holland, J. H. (1975), **Adaptation in Natural and Artificial Systems**, Ann Arbor MI, University of Michigan.
- Monticelli, A. (1999), **State estimation in electric power systems: a generalized approach**. Norwel, MA: Kluwer.
- Phadke, A. G., Thorp, J. S. (2008), **Synchronized phasor measurements and their applications**. New York, NY: Springer.
- Rocha, H. R. O., Do Coutto Filho, M. B., Souza, J. C. S. (2013), **Planning high quality metering systems for state estimation through a constructive heuristic**, Electrical Power and Energy Systems, vol 52, pp. 34-41.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-087-2

