

# DETECÇÃO E DESCARTE DE ERROS GROSSEIROS OBTIDOS NA ESTIMAÇÃO DE ESTADO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

<sup>1</sup>Higor Oliveira da Cunha (CEFET/RJ) E-mail: higor.cunha@aluno.cefet-rj.br

<sup>2</sup>Felipe da Rocha Henriques (CEFET/RJ) E-mail: felipe.henriques@cefet-rj.br

<sup>3</sup>Ana Lucia Ferreira de Barros (CEFET/RJ) E-mail: ana.barros@cefet-rj.br

**Resumo:** O objetivo deste trabalho consistiu na detecção e descarte de erros grosseiros obtidos na estimação de estado dos sistemas IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos): 14, 30, 57 e 118 barras. Por mais que o medidor fasorial seja sofisticado, a coleta de informações de equipamentos antigos e de diversos fatores exógenos produzem erros. Então, mesmo com o uso do sistema de posicionamento global (GPS – *Global Positioning System*) e sendo sincronizado no tempo, ele está sujeito a imprecisões, como por exemplo: erros na topologia assumida à rede elétrica; erros devido à má calibração dos equipamentos de medida; medidas efetuadas durante fenômenos transitórios; erros devido às assimetrias no sistema; ruído do equipamento de medida e de transmissão da informação; erros nos valores assumidos para os parâmetros da rede; ausência de medidas devido à avaria do sistema de telemedida; não simultaneidade de medidas e etc. Com a utilização do método por Resíduos Normalizados e Índice  $J(x)$ , verificou-se em todas as simulações que as medidas foram corretamente identificadas e descartadas, tornando a estimação de estado das barras dos sistemas mais confiável.

**Palavras-chave:** Estimação de estado, Erros grosseiros, Linhas de transmissão, Medidor fasorial.

## DETECTION AND DISPOSAL OF GROSS ERRORS OBTAINED IN THE ESTIMATION OF STATUS IN TRANSMISSION LINES

**Abstract:** The objective of this work was to detect and discard gross errors obtained in the state estimation of the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) systems: 14, 30, 57 and 118 bus. As sophisticated as the phasor meter is, collecting information from old equipment and from various exogenous factors produces errors. So, even with the use of the global positioning system (GPS) and being synchronized in time, it is subject to inaccuracies, such as: errors in the assumed topology of the electrical network; errors due to bad calibration of measuring equipment; measurements taken during transient phenomena; errors due to asymmetries in the system; noise from measurement and information transmission equipment; errors in the assumed values for the network parameters; absence of measures due to the malfunction of the telemeasurement system; non-simultaneity of measurements, etc. Using the method by Normalized Residuals and  $J(x)$  Index, it was verified in all the simulations that the measurements were correctly identified and discarded, making the estimation of the state of the system buses more reliable.

**Keywords:** State estimation, Gross errors, Transmission lines, Phasor meter.

### 1. Introdução

Os sistemas elétricos de potência (SEP) são grandes sistemas de energia que englobam geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo constituídos por centrais elétricas, subestações de transformação e de interligação, linhas e receptores (FRITZEN; KURITZA, 2021). Os sistemas de energia elétrica em todo o mundo estão enfrentando mudanças radicais estimuladas pela necessidade urgente de descarbonizar o setor da eletricidade, substituir ativos antigos e tornar eficiente o uso de tecnologias de informação e comunicação (TICs) em rápido desenvolvimento. Estes objetivos todos convergem na rede elétrica inteligente (JAFARI et al., 2021). O termo rede elétrica inteligente (*smart*

*grid*) refere-se a um sistema de energia elétrica que se utiliza da tecnologia da informação de modo que ele seja mais eficiente (energeticamente e economicamente), confiável e sustentável; ou seja, o *smart grid* utiliza informações e comunicações avançadas para controle desse novo sistema de energia de maneira confiável e eficiente. Embora ainda não haja uma definição consolidada sobre as redes elétricas inteligentes, podemos enquadrá-las nos seguintes aspectos: sistemas de transmissão e distribuição controláveis; fontes de energia renovável, geração distribuída e armazenamento de energia nos dois lados do medidor; e capacidade para resposta à demanda e controle da demanda (JUDGE et al., 2022).

A metodologia que faz o processamento de informações de medidas em tempo real, pseudo-medidas e medidas em tempo quase real é chamada de estimação de estado (BHUSAL et al., 2021). Esta por sua vez, é imprescindível no controle das redes elétricas inteligentes. As ações de controle só terão sucesso se houver a cada instante, um conhecimento preciso de cada ponto de operação do sistema, ou seja, conhecer o verdadeiro estado da rede. Monitorar as grandezas elétricas no sistema elétrico de potência é de elevada importância à avaliação do estado real da rede que possibilite uma atuação correta do centro de controle, podendo-se realizar as intervenções necessárias e que causem menos impacto ao sistema, garantindo as margens de segurança estabelecidas, continuidade e qualidade de fornecimento (FRITZEN; KURITZA, 2021). Todavia, não se têm medições em todos os pontos do sistema, muitas vezes por questões ligadas às tecnologias vigentes e também por questões econômicas, pois a implementação de dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) no sistema é algo dispendioso (JAFARI et al., 2021). De modo indireto, as grandezas elétricas são obtidas por meio dos instrumentos de medição de corrente (TC) e potencial (TP). Estes dispositivos, por sua vez, produzem erros nas medições quando a medida se encontra dentro da faixa de exatidão estabelecida. Estes elementos podem introduzir erros nas medições não toleráveis em casos de medidas em estado transitório do sistema e fora da sua faixa de exatidão, pois estes equipamentos possuem características não lineares. Além disso, como agravante, não se pode realizar a troca de todos os transformadores de corrente e potencial do sistema porque isso também demandaria um custo elevado. A Figura 1 mostra como é o processo de medição e aquisição de dados com a conexão das Unidades de Medição Fasorial Sincronizadas (UMFs).

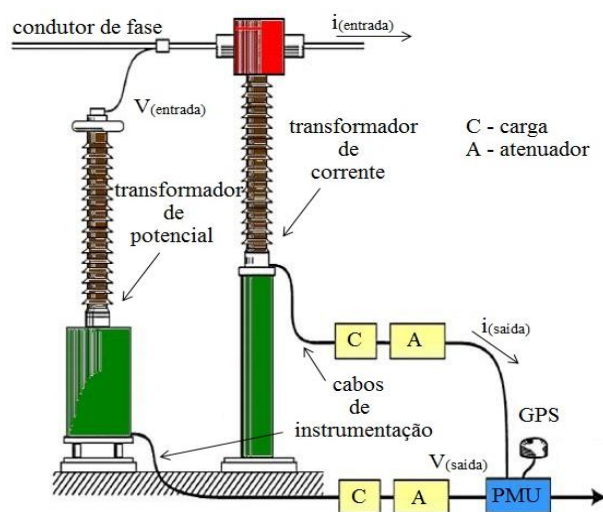


Figura 1 – Medição e aquisição de dados (conexão das UMFs)

Ou seja, não importa quão rebuscado seja o medidor fasorial, ele colherá informações de equipamentos antigos e de fatores externos que produzem erros. Sendo assim, embora se tenha o GPS sincronizado no tempo, ele está sujeito a imprecisões, como por exemplo: erros na topologia assumida à rede; erros devido à má calibração dos equipamentos de medida; medidas efetuadas durante fenômenos transitórios; erros devido a assimetrias no sistema; ruído do equipamento de medida e de transmissão da informação; erros nos valores assumidos para os parâmetros da rede; ausência de medidas devido à avaria do sistema de telemedida; não simultaneidade de medidas e etc (ABUR; EXPOSITO, 2004).

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo tornar a estimação de estado das barras dos sistemas IEEE 14, 30, 57 e 118 barras mais confiável. Para tal, foram realizadas avaliações à detecção e eliminação de erros grosseiros presentes nas medidas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) e PMU (*Phasor Measurement Unit*), utilizando os métodos: índice  $J(x)$  e resíduos normalizados.

Ao longo deste artigo, tem-se a abordagem sobre as medições SCADA e PMU, esclarecendo a importância da acurácia destas medidas nas redes elétricas. Em seguida, descreve-se a metodologia utilizada, apresentando as técnicas e os parâmetros que foram levados em consideração neste trabalho. Por fim, para a conclusão do estudo realizado, são apresentados e discutidos os resultados obtidos das análises realizadas em cada sistema elétrico.

## 2. Medições SCADA e PMU

Quando os estudos de expansão do sistema são realizados, faz-se necessário a estimação do estado das barras para observar violações de índices de qualidade ou superação dos valores nominais dos equipamentos e linhas de transmissão. Em geral, estes estudos são feitos com base em modelos e funções oriundas dos estudos de fluxo de potência. A Figura 2 apresenta os elementos de rede que são considerados nos estudos de estimação de estado.

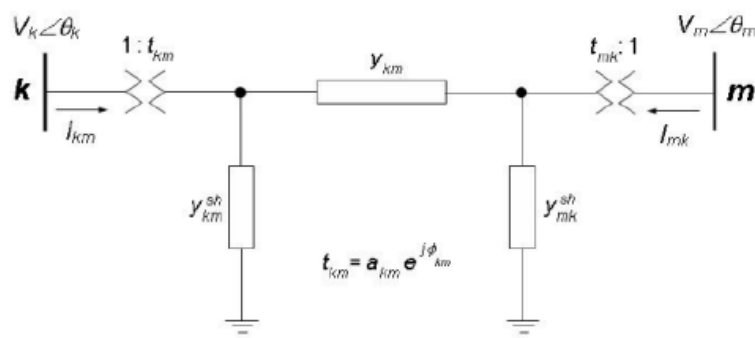


Figura 2 – Elementos de rede da estimação de estado (ABUR; EXPOSITO, 2004)

As medições provenientes do sistema de supervisão e aquisição de dados SCADA consideradas neste trabalho seguem listadas abaixo:

- Módulos de tensões nodais;
- Fluxos de potência ativa e reativa;
- Injeções nodais de potência ativa e reativa.

Com relação à vulnerabilidade destas medidas aos ruídos e defeitos em dispositivos de

medição, a aquisição de dados redundantes se torna necessária para a obtenção de uma correta estimação de estado que possibilite validar os parâmetros utilizados nos estudos e descartar medições que contenham erros grosseiros. Isto só é possível em situações cujo número de medições ( $m$ ) seja maior que o número de variáveis de estado ( $n$ ); caso contrário, a estimação poderá não representar a realidade.

A localização, tipo e quantidade dos dispositivos de medição são requisitos importantes para a análise da observabilidade da rede. Mudanças na topologia, erros de comunicação e falha nos medidores podem levar um sistema de observável a não observável.

Mesmo o sistema sendo não observável, é válido saber as partes que o estado ainda pode ser estimado. Estas partes, denominada ilhas observáveis, possuem sua própria referência angular. Além das medidas convencionais provenientes dos dispositivos existentes de medição, estão sendo adquiridas do sistema medidas de Unidades de Medição Fasorial, mais conhecido como PMU, conforme visto na Figura 1. Este tipo de medição consegue captar os valores, em módulo e ângulo, das tensões e correntes medidas associadas ao tempo em que foram coletadas por meio de GPS. Desta forma, é possível avaliar as variáveis de estado com o uso de fasores.

As medições provenientes do PMU consideradas neste trabalho seguem listadas abaixo:

- Módulos das tensões nodais;
- Ângulos de fase das tensões nodais;
- Parte real e imaginária das correntes.

### 3. Metodologia

Para realizar a detecção e descarte dos erros grosseiros obtidos na estimação de estado dos sistemas IEEE 14, 30, 57 e 118 barras foi implementado um algoritmo no Matlab para a estimação de estado. Os métodos estatísticos utilizados foram:

- Resíduos normalizados;
- Índice  $J(x)$ .

#### 3.1 Erros grosseiros

Os erros grosseiros são essencialmente causados pelo mau funcionamento dos aparelhos de medida, dos canais de comunicação, ou ainda quando as medidas são efetuadas durante a ocorrência de fenômenos transitórios. A maior parte deste tipo de erro, normalmente de grande amplitude, é detectada na fase de pré-processamento da informação. No entanto, alguns deles poderão chegar à fase de estimação, além de serem totalmente imprevisíveis (COSTA; GIRALDO; CASTRO, 2022).

O vetor das medidas é normalmente modelado da seguinte forma, quando contém erros grosseiros:

$$z = h(x) + v + b \quad (1)$$

Onde:

$z$ : vetor das variáveis de medida ( $m \times 1$ );

$h$ : função vetorial não linear relacionando  $z$  e  $x$ ;

$x$ : vetor das variáveis de estado ( $n \times 1$ );

$v$ : representa o ruído de medida normal ( $v \sim N(0, R)$ );

$b$ : representa os erros grosseiros (vetor cujas únicas componentes não nulas são as que simulam os erros grosseiros).

Ao contrário de  $v$ , o vetor  $b$  não pode ser modelado como uma variável aleatória, pois não se dispõe de informação que permita estabelecer a sua caracterização estatística. Efetivamente, em funcionamento normal, a ocorrência de um erro grosseiro numa dada medida não está associada à precisão do respectivo aparelho de medida. Assim, o vetor  $b$  é considerado como uma grandeza determinística de valor desconhecido e pode ser interpretado como um enviesamento do ruído de medida. Deste modo, os erros grosseiros afetam apenas o valor médio do ruído de medida e de um valor igual a  $b$ , não modificando nem a respectiva densidade de probabilidade que se mantém gaussiana, nem alterando a correspondente matriz de covariância  $R$  (KUMAR; KHERDIKAR, 2021). Assim temos:

- Na ausência de erros grosseiros:

$$e = v \sim N(0, R) \quad (2)$$

- Na presença de erros grosseiros:

$$e = v + b \quad (3)$$

$$e = N(b, R) \quad (4)$$

O processamento de erros grosseiros consiste em duas fases:

- Detecção: na qual o objetivo é detectar a presença de erros grosseiros no conjunto de medidas, através da influência desse tipo de erro na estimativa do estado;
- Identificação: consiste na identificação e remoção dos erros grosseiros e a re-estimação do estado.

### 3.2 Teste do índice $J(x)$

Este método é utilizado para a detecção de medidas portadoras de erros grosseiros, e baseia-se na análise da função objetivo  $J(x)$ , sendo esta definida de acordo com o modelo de estimação de estado considerado. Na ausência de erros grosseiros, o índice de desempenho  $J(x)$ , definido na equação abaixo, é uma variável aleatória que pode ser aproximada por uma distribuição  $\chi^2$  (Qui-Quadrada), com  $m-n$  graus de liberdade (AKDAG; ATES; YEROGLU, 2021). Na prática, a distribuição Qui-Quadrada pode ser aproximada pela Distribuição Normal. O teste de hipóteses da função objetivo é assim definido por:

$$J(x) > X_{nm}^2 - ne, \alpha \quad (5)$$

Onde:

$\alpha$ : probabilidade de falso alarme; ou seja, é a probabilidade de indicar que existe erro grosseiro quando na realidade não existe;

$ne$ : número de variáveis de estados do sistema;

$nm$ : número de medidas.

A diferença  $nm:ne$  define o grau de liberdade da distribuição  $\chi^2$ . Para realizar o teste  $J(x)$  as seguintes hipóteses são formuladas (AKDAG; ATES; YEROGLU, 2021):

- Se  $E\{J(x)\} = nm - ne$ , então, não existem medidas com erros grosseiros;
- Se  $E\{J(x)\} > nm - ne$ , então, existem medidas com erros grosseiros.

Foi realizado o teste do índice  $J(x)$  proposto anteriormente para que se verifique a detecção ou não de erros. Caso não se suspeite da existência de erros grosseiros, consideram-se confiáveis os resultados obtidos pelo estimador de estado. Caso contrário, suspeita-se que exista algum erro de grosseiro em medida, ou, até mesmo, que o modelo assumido esteja inapropriado.

No caso em que as medidas portadoras de erros grosseiros sejam críticas, o método do índice  $J(x)$  não permite detectar erros grosseiros, já que os resíduos das medidas críticas são nulos e, desse modo, não contribuem no valor do índice  $J(x)$ . Além disso, esse método não possibilita realizar a identificação das medidas portadoras de erros grosseiros e, ainda, pode falhar em sistemas de grande porte, ou em sistemas cujo nível de ruído em medidas seja elevado.

### 3.3 Teste dos resíduos normalizados

A técnica dos resíduos normalizados utilizada, principalmente, para a identificação de medidas portadoras de erros grosseiros é definida pela equação abaixo. O resíduo normalizado é definido para medidas não críticas (ABUR; EXPOSITO, 2004), como sendo:

$$r_i^N = \left| \frac{r_i}{\sqrt{\Omega_{ii}}} \right|, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Vale ressaltar que na expressão acima, o termo  $\Omega_{ii}$  representa a diagonal de  $\Omega$ . As expressões abaixo mostram como se calculam os termos da equação acima.

$$r_i = z_i - h_i(x), i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\Omega = SR \quad (8)$$

$$S = I - H(\hat{x})G^{-1}(\hat{x})H^T(\hat{x})R^{-1} \quad (9)$$

Onde:

$I$ : matriz identidade;

$H$ : matriz Jacobiana do problema de estimação de estado;

$G$ : matriz de Ganho;

$R$ : matriz de covariância dos erros de medição;

$S$ : matriz de sensibilidade dos resíduos, com dimensão  $nm \times nm$ .

Em um conjunto de medidas, a medida portadora de erro grosseiro é aquela que apresenta o maior resíduo normalizado. Pode-se verificar que os resíduos normalizados são variáveis aleatórias com distribuição normal de probabilidades, valor esperado nulo e desvio padrão unitário (ABUR; EXPOSITO, 2004). A Figura 3 ilustra as variáveis aleatórias com distribuição normal de probabilidades.



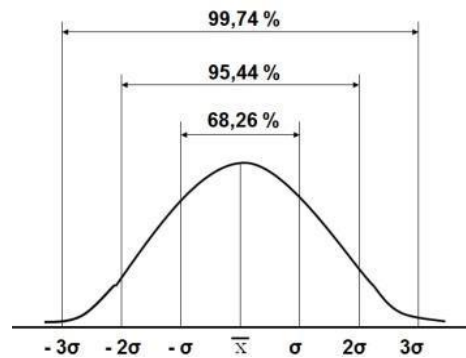


Figura 3 – Variáveis aleatórias com distribuição normal de probabilidades

Neste caso, a identificação pode ser realizada através da aplicação sucessiva do critério ( $r_i^N > 3,5 \mid J(x) > \chi^2$ ), removendo um erro grosseiro em cada etapa do processo (CARVALHO; BRETAS, 2011). Este é um método que exige algum esforço computacional, resultante do cálculo dos resíduos normalizados. O tempo gasto no processamento é um dos aspectos mais importantes em qualquer processo de estimação, pois pode inviabilizar o seu uso na análise de sistemas em tempo real.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Sistema IEEE 14 barras

A Figura 4 apresenta o diagrama do sistema de 14 barras (ICSEG, 2021) analisado neste trabalho. Neste caso, foram obtidas 54 medições pelo SCADA e 10 medições PMU, e as variáveis de estado analisadas são tensões e ângulos de cada barra do sistema.

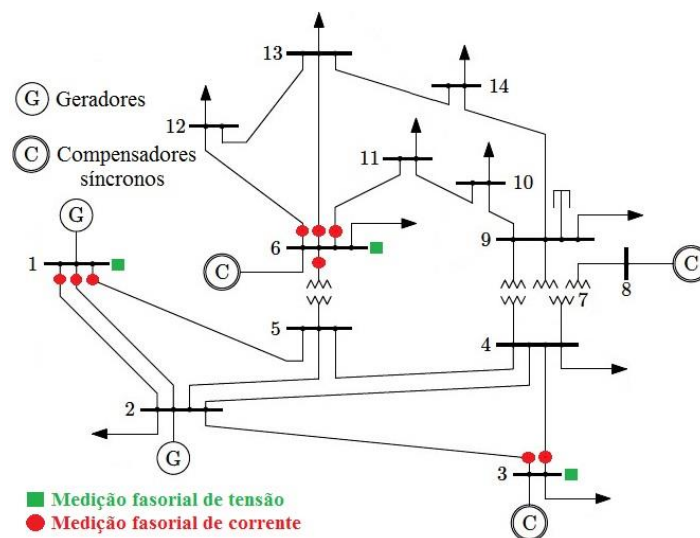


Figura 4 – Sistema IEEE 14 barras

A área do diagrama com as marcações em verde e vermelho refere-se à região observável do sistema. Nesta área estão instalados 3 medidores fasoriais de tensão e 9 medidores fasoriais de corrente.

Foram obtidas pelo SCADA 14 medidas de injeção de fluxo e 40 medições de fluxos nas linhas. Deste total foi descartada uma medição por conter erro grosseiro. Vale ressaltar

que neste trabalho não foi feito a inserção de pseudo-medidas nos locais das medições contendo erros grosseiros.

Realizaram-se 10 medições oriundas do PMU sendo 5 medições de tensão e 5 medições de ângulo. Deste total foram descartadas 6 medições (sendo 3 medições de tensão e 3 de ângulo de tensão) por conterem erros grosseiros. O estimador convencional do algoritmo implementado fornece também como resultado o erro relativo e o erro médio quadrático.

Efetuuou-se a apuração das medições considerando os dois métodos avaliados neste trabalho que tratam dos erros grosseiros, sendo eles: o índice  $J(x)$  e o resíduo normalizado. No caso do resíduo normalizado foi considerado o valor de 3,5 para comparação com os resíduos obtidos nas medições (CARVALHO; BRETAS, 2011).

A partir de então, criou-se uma rotina que retira uma medição por vez que contenha erro grosseiro (resíduo normalizado  $> 3,5$  ou índice  $J(x) >$  distribuição qui-quadrada) partindo sempre da medida que apresentou o maior resíduo normalizado. Após o descarte da medição é feito novamente a estimação de estado e, por conseguinte é verificada novamente a presença de erros grosseiros. Este ciclo se repete até o momento em que todas as medidas com presença de erros grosseiros sejam excluídas.

As medições descartadas seguem detalhadas na Tabela 1.

Temos que:

VV: valor verdadeiro, VM: valor medido, DP: desvio padrão.

A coluna “Resíduo” se refere ao resíduo ponderado da medida.

TM: tipo de medição (1: ângulo da tensão; 2: módulo da tensão; 3: injeção ativa; 4: injeção reativa; 5: fluxo ativo; 6: fluxo reativo; 7: ângulo da corrente; e 8: módulo da corrente).

Tabela 1 – Medições descartadas (IEEE 14 barras)

Medições Descartadas						
Barra de	Barra para	VV	VM	DP	Resíduo	TM
6	13	0,119290	0,119290	1,00E-06	72,855451	8
6	13	-0,150695	-0,150695	1,00E-06	37,992688	7
6	12	-0,067963	-0,067963	1,00E-06	41,144076	7
6	11	-0,060789	-0,060789	1,00E-06	34,619626	7
6	11	0,054813	0,054813	1,00E-06	25,681105	8
6	12	0,045907	0,045907	1,00E-06	37,579698	8
1	0	2,349497	2,346425	0,001	3,096289	3

Observa-se que erros grosseiros referentes ao módulo da corrente, ângulo da corrente e de injeção ativa foram identificados e descartados por meio do algoritmo implementado.

#### 4.2 Sistema IEEE 30 barras

De forma análoga foi feita a avaliação do sistema para trinta barras (ICSEG, 2021). O diagrama deste sistema está apresentado na Figura 5.



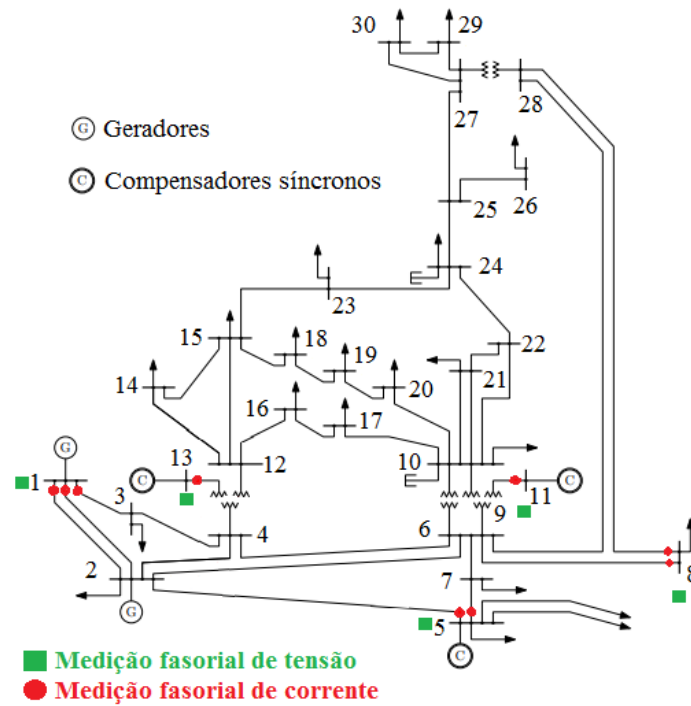


Figura 5 – Sistema IEEE 30 barras

A Tabela 2 apresenta as medidas descartadas pelo método dos resíduos normalizados e índice  $J(x)$ .

Tabela 2 – Medições descartadas (IEEE 30 barras)

Medições Descartadas						
Barra de	Barra para	VV	VM	DP	Resíduo	TM
15	12	-0,102526	-0,102526	1,00E-06	238,314	8
15	18	0,028454	0,028454	1,00E-06	153,404	8
6	8	-0,407403	-0,407403	1,00E-06	69,818	7
6	8	-0,405396	-0,405397	1,00E-06	71,416	8
6	7	-0,009290	-0,009290	1,00E-06	40,738	8
6	4	0,272072	0,272072	1,00E-06	67,246	8
6	4	0,809493	0,809493	1,00E-06	99,108	7
6	28	0,013735	0,013735	1,00E-06	60,100	8
6	28	-0,197378	-0,197378	1,00E-06	50,082	7
15	14	-0,007370	-0,007370	1,00E-06	36,040	8
6	7	-0,390081	-0,390082	1,00E-06	31,966	7
15	18	-0,054295	-0,054295	1,00E-06	25,172	7
15	12	0,153012	0,153011	1,00E-06	26,254	7
6	2	0,611923	0,611922	1,00E-06	10,286	7
6	2	0,017887	0,017887	1,00E-06	17,293	8
5	0	-0,942000	-0,945371	0,001	3,105	3

Percebe-se que erros grosseiros referentes ao módulo da corrente, ângulo da corrente e de injeção ativa foram identificados e descartados por meio do algoritmo implementado.

4.3 Sistema IEEE 57 barras

O diagrama do sistema de 57 barras (ICSEG, 2021) avaliado neste trabalho está identificado na Figura 6.

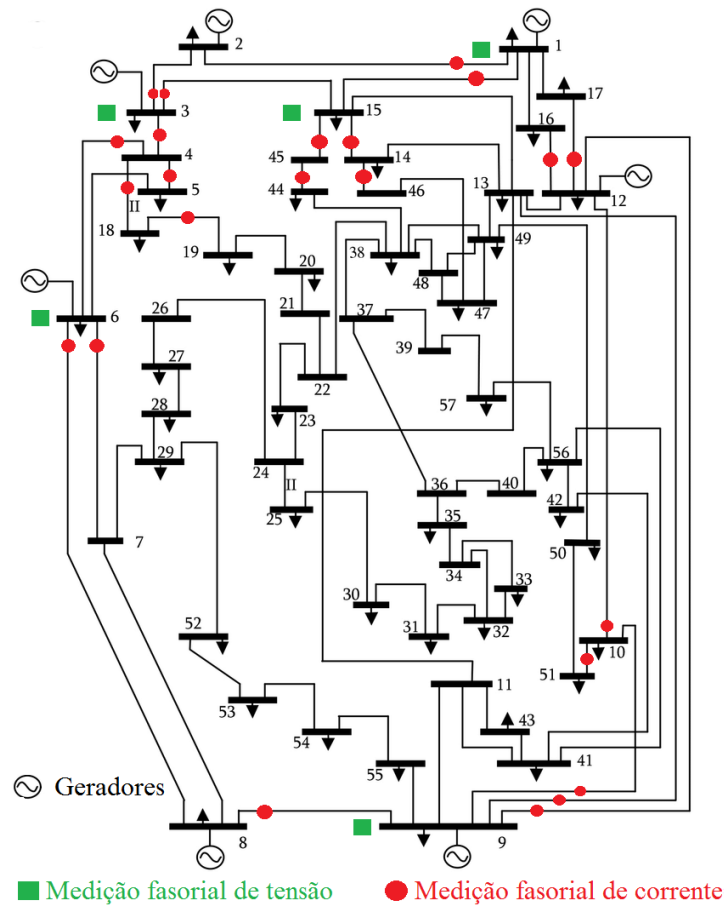


Figura 6 – Sistema IEEE 57 barras

Nesta rede foram coletadas 218 medições SCADA e não foi diagnosticada nenhuma medida que contenha erros grosseiros.

De um total de 26 medições PMU, apenas uma medida foi eliminada por conter o resíduo normalizado maior que 3,5. Esta medida está identificada na Tabela 3.

Tabela 3 – Medições descartadas (IEEE 57 barras)

Medições Descartadas						
Barra de	Barra para	VV	VM	DP	Resíduo	TM
15	14	0,196434	0,196434	1,00E-06	7,002232	8

### 4.4 Sistema IEEE 118 barras

O sistema de 118 barras (ICSEG, 2021) pode ser observado na Figura 7.

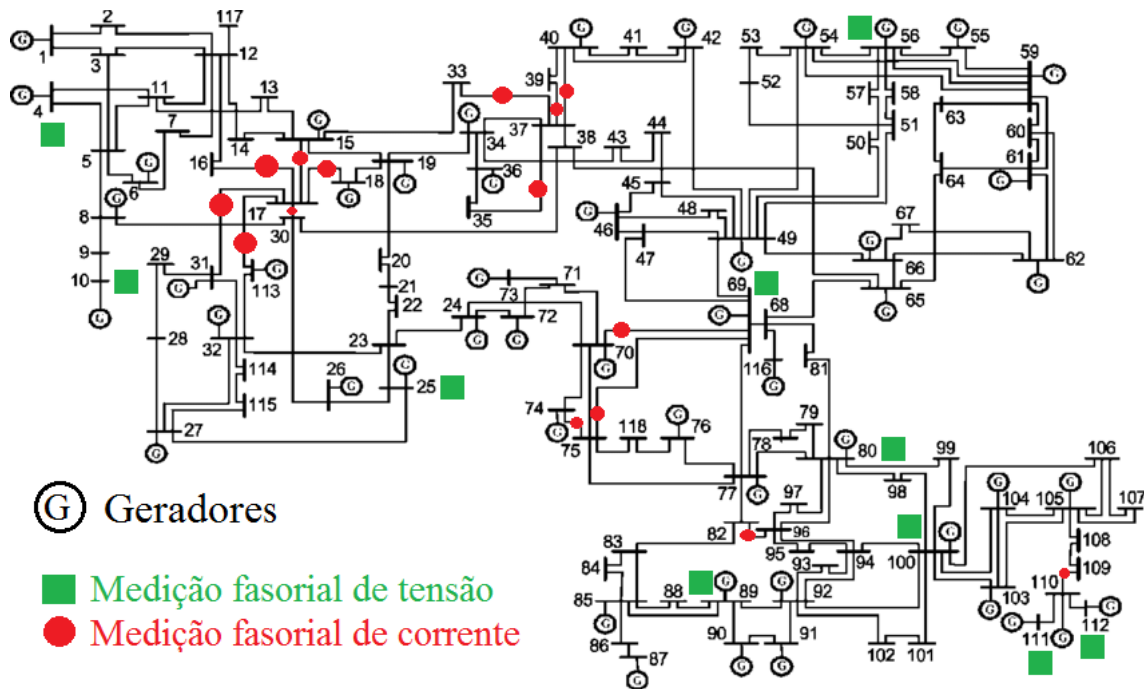


Figura 7 – Sistema IEEE 118 barras

Para esta rede foram coletadas 544 medições SCADA e 50 medidas PMU. Ao simular a estimação de estados considerando apenas as medições SCADA foram descartadas 2 medidas que continham erros grosseiros que estão expostas na Tabela 4.

Tabela 4 – Medições descartadas (IEEE 118 barras)

Medições Descartadas						
Barra de	Barra para	VV	VM	DP	Resíduo	TM
9	10	-4,447	-4,442	0,001	4,288575	5
19	0	1,000	1,003	0,001	3,490284	2

### 5. Conclusão

Conforme detalhado neste trabalho, a função do estimador de estado é disponibilizar uma base de dados confiável em tempo real a partir de telemidas redundantes obtidas via sistema SCADA e corrompidas por erros de medição. O estimador processa essas medidas de forma a fornecer valores de magnitude e ângulo das tensões em todas as barras. A partir dessas variáveis de estado é possível determinar todas as demais quantidades necessárias para a análise e monitoração da segurança do sistema. Embora não utilizado neste trabalho, a inclusão de pseudo-medidas é um artifício praticado para garantir a observabilidade da rede e propiciar uma estimação de estado confiável. O

processamento de erros grosseiros trata da verificação da presença de medidas incoerentes no conjunto de medições realizadas e, se este for o caso, da identificação e eliminação dessas medidas. Neste trabalho foram feitas avaliações de erros grosseiros presentes nas medidas SCADA e PMU dos sistemas IEEE 14, 30, 57 e 118 barras com o uso dos métodos de detecção e eliminação de erros grosseiros índice  $J(x)$  e resíduos normalizados. Através da implementação do algoritmo, observou-se em todas as simulações que as medidas foram corretamente identificadas e descartadas, tornando a estimação de estado das barras do sistema mais confiável.

### Referências

- ABUR, A.; EXPOSITO, A. G.** *Power system state estimation: theory and implementation*. CRC press, 2004.
- AKDAG, O.; ATES, A.; YEROGLU, C.** *Modification of Harris hawks optimization algorithm with random distribution functions for optimum power flow problem*. Neural Computing and Applications, v. 33, n. 6, p. 1959-1985, 2021.
- BHUSAL, Narayan et al.** *Deep ensemble learning-based approach to real-time power system state estimation*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 129, p. 106806, 2021.
- CARVALHO, B. E. B.; BRETAS, N. G.** *Análise da Robustez do Teste do Máximo Resíduo Normalizado para Processamento de Erros Grosseiros em Medidas no Estimador de Estado WLS*, 2011.
- COSTA, L. F.; GIRALDO, J. S.; CASTRO, C. A.** *Identification and correction of transmission line parameter errors using SCADA and synchrophasor measurements*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 135, p. 107509, 2022.
- FRITZEN, P. C.; KURITZA, M. H.** *Simulação capaz de estimar o local ou a secção em falta dos sistemas elétricos de potência (SEP)*. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5, p. 47498-47504, 2021.
- Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG)**. Disponível em <<https://icseg.iti.illinois.edu/ieee-14-bus-system/>. 2021>. Acessado em 5 de maio de 2021.
- Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG)**. Disponível em <<https://icseg.iti.illinois.edu/ieee-30-bus-system/>. 2021>. Acessado em 6 de maio de 2021.
- Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG)**. Disponível em <<https://icseg.iti.illinois.edu/ieee-57-bus-system/>. 2021>. Acessado em 9 de maio de 2021.
- Illinois Center for a Smarter Electric Grid (ICSEG)**. Disponível em <<https://icseg.iti.illinois.edu/ieee-118-bus-system/>. 2021>. Acessado em 12 de maio de 2021.
- JAFARI, Mina et al.** *Stochastic synergies of urban transportation system and smart grid in smart cities considering V2G and V2S concepts*. Energy, v. 215, p. 119054, 2021.
- JUDGE, Malik Ali et al.** *Overview of smart grid implementation: Frameworks, impact, performance and challenges*. Journal of Energy Storage, v. 49, p. 104056, 2022.
- KUMAR, L.; KHERDIKAR, P. K.** *An overview of different static state estimation techniques with bad data detection, identification and elimination in power system*. International Journal of Ambient Energy, p. 1-5, 2021.