

# Uma metodologia experimental didática para análise de desequilíbrios de tensão e corrente em um motor de indução protegido por relé numérico

H. C. Barbosa, T. Pereira, M. J. J. Junior, A. L. M. Coelho

*Instituto de Ciências Tecnológicas, Universidade Federal de Itajubá – Campus de Itabira*

*Itabira – Brasil*

*hugocampelo7@gmail.com, thainarap@outlook.com, malaquiasjacobsen@gmail.com, aurelio.coelho@unifei.edu.br*

**Abstract:** This work aims to verify the behavior of the motor protection numeric relay in the event of current unbalance, ANSI 46 function, making a comparison with corresponding voltage unbalance. The importance of this analysis arises from the absence of power quality indicators directly related to current unbalance. This follows from the fact that such a phenomenon depends on the type of load analyzed. To this end, a test bench was created to analyze such data.

**Resumo:** Este trabalho tem por objetivo averiguar o comportamento de um relé numérico de proteção de motor perante desequilíbrio de corrente, função ANSI 46, fazendo um comparativo com desequilíbrio de tensão correspondente. A importância desta análise surge da ausência de indicadores de qualidade de energia diretamente relacionados ao desbalanço de corrente. Isso decorre do fato que tal fenômeno depende do tipo da carga analisada. Para tanto, uma bancada de testes foi criada para analisar tais dados.

**Keywords:** ANSI 46; Unbalance current; Unbalance voltage; Unbalance factor; Induction motor; Protective relay

**Palavras-chaves:** ANSI 46; Desequilíbrio de corrente; Desequilíbrio de tensão; Fator de desequilíbrio; Motor de indução; Relé de proteção de motor.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos as empresas têm prezado pelo aumento da sua produtividade, investindo cada vez mais na confiabilidade dos ativos utilizados nos processos industriais, a exemplo dos motores de indução trifásicos (MIT) amplamente empregados para tal finalidade. A disponibilidade destes equipamentos garante o bom funcionamento da planta e a normalidade das atividades. Todavia, para tal, é necessário que seja empregado não só manutenções, como também dispositivos que protejam a máquina a fim de inibir qualquer anomalia que prejudique o bom funcionamento do sistema.

Uma das principais causas de problemas em MIT estão associadas ao fato de os mesmos serem submetidos a tensões desequilibradas, as quais podem provocar modificações nas características térmicas, elétricas e mecânicas dos MITs, afetando o seu desempenho e diminuindo a sua vida útil (Paulilo, 2019).

É conhecido da literatura (Fonseca et al, 2017) que são admissíveis desequilíbrios de tensão na ordem de 2 %, sem que o MIT esteja sujeito a efeitos nocivos a seu adequado funcionamento. Tais desequilíbrios de tensão são mensurados através do fator de desequilíbrio de tensão (*Voltage Unbalance Factor – VUF*) que são definidos por órgãos internacionais como o *Institute of Electrotechnical Commission (IEC)*, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, *National Electrical Manufacturers*

*Association (NEMA)* e *International Council on Large Electric Systems (CIGRÉ)*. Entretanto, tais desequilíbrios de tensão podem provocar desequilíbrios de corrente de ordem superior, mas que não são comumente quantificados na literatura como os desequilíbrios de tensão.

Por essa razão, faz-se necessário o emprego de dispositivos de proteção para evitar que os MITs sejam submetidos a longos períodos sob desequilíbrios de corrente na sua alimentação. Dentre os dispositivos de proteção para este tipo de problema, destaca-se o relé que tem evoluído ao longo dos anos de uma operação eletromecânica para uma tecnologia baseada em microprocessadores, conhecidos como dispositivos eletrônicos inteligentes (do inglês *IEDs – Intelligent Electronic Devices*). Os relés microprocessados, também conhecidos como relés numéricos, incorporam o conceito de processamento digital de sinais, elementos de *software*, multifuncionalidade e comunicação de dados (ANEEL, 2015). Tais relés, possibilitam ainda a programação das funções de proteção e os controles complementares a fim de otimizar a operação e maximizar a utilização de carga.

Desta forma, devido a relevância de um IED de proteção para a manutenção e aumento da produtividade industrial, que possui como um dos ativos principais o MIT, este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia didática experimental para avaliar o desempenho de um MIT perante desequilíbrio de corrente, obtido a partir de uma alimentação com sinal de tensão desequilibrada, assim

como analisar o comportamento da proteção contra desequilíbrio de corrente (função ANSI 46) de um relé de proteção numérico comercial, comparando-o com os conhecidos fatores de desequilíbrio de tensão.

## 2. CÁLCULO DO DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO E CORRENTE

Neste trabalho são comparados os desequilíbrios de tensão definidos pela norma IEC, NEMA, CIGRÉ e IEEE, com o desequilíbrio de corrente calculado pela função ANSI 46 do relé.

A seguir são apresentados brevemente os conceitos de cada um desses métodos, os quais serão necessários para ajudar na compreensão da análise apresentada na seção de resultados.

### 2.1 Cálculo de $V_{uf}$ segundo a IEC

Segundo a IEC, o cálculo do desequilíbrio de tensão percentual ( $V_{uf}$ ) leva em consideração as componentes de sequência positiva ( $V+$ ) e negativa ( $V-$ ) como em (1) que, segundo Fortescue (1918) modelam as características de um sistema equilibrado e desequilibrado, respectivamente.

$$V_{uf}(\%) = 100 \cdot \frac{|V-|}{|V+|} \quad (1)$$

### 2.2 Cálculo de $V_{uf}$ segundo a NEMA

Segundo a NEMA, estabelece-se como critério de cálculo do desequilíbrio de tensão percentual ( $V_{uf}$ ), uma proporção da diferença entre o módulo da tensão máxima ( $V_{m\acute{a}x}$ ) e da tensão média de linha ( $V_{m\acute{e}dio}$ ) do sistema, como dado em (2).

$$V_{uf}(\%) = 100 \cdot \frac{|V_{m\acute{a}x}| - |V_{m\acute{e}dio}|}{|V_{m\acute{e}dio}|} \quad (2)$$

### 2.3 Cálculo de $V_{uf}$ segundo o CIGRÉ

De acordo com o CIGRÉ, a metodologia de cálculo do desequilíbrio de tensão percentual ( $V_{uf}$ ) baseia-se na relação normalizada entre as tensões de linha ( $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  e  $V_{ca}$ ), como em (3).

$$V_{uf}(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}{1 + \sqrt{3 - 6 \cdot \beta}}} \quad (3)$$

sendo:

$$\beta = \frac{|V_{ab}|^4 + |V_{bc}|^4 + |V_{ca}|^4}{(|V_{ab}|^2 + |V_{bc}|^2 + |V_{ca}|^2)^2} \quad (4)$$

### 2.4 Cálculo de $V_{uf}$ segundo o IEEE

A norma IEEE recomenda uma forma de cálculo do fator de desequilíbrio de tensão percentual ( $V_{uf}$ ), no qual considera valores modulares máximo ( $V_{m\acute{a}x}$ ) e mínimo ( $V_{m\acute{i}n}$ ) das tensões de fase, conforme (5).

$$V_{uf}(\%) = 100 \cdot \frac{3 \cdot (|V_{m\acute{a}x}| - |V_{m\acute{i}n}|)}{|V_{an}| + |V_{bn}| + |V_{cn}|} \quad (5)$$

### 2.5 Cálculo do desequilíbrio de corrente ( $I_{uf}$ )

O cálculo de desequilíbrio de corrente percentual ( $I_{uf}$ ) adotado neste estudo é baseado em (6), cuja equação encontra-se disponível no manual do relé numérico de proteção de motor (SEL, 2011).

$$I_{uf \text{ Relé}}(\%) = 100 \cdot \frac{|I_m - I_{av}|}{FLA} \quad (6)$$

Sendo:

$I_{av}$ : Média das magnitudes das correntes;

$I_m$ : Magnitude da fase da corrente que possui o maior desvio em relação ao  $I_{av}$ ;

$FLA$ : Corrente nominal do motor (*full load amperage*).

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Materiais Utilizados

Neste artigo, é analisado um desequilíbrio monofásico e bifásico do módulo da tensão, de um dado sistema elétrico, a fim de gerar indiretamente um desequilíbrio de corrente, de modo a avaliar a resposta da função ANSI 46 (ANSI, 2019) do relé de proteção analisado (SEL, 2011).

A montagem da bancada foi realizada no Laboratório de Proteção de Sistemas Elétricos da Universidade Federal de Itajubá - campus de Itabira, e consistiu na utilização dos equipamentos explicitados nos itens 3.1.1 a 3.1.10.

#### 3.1.1 Motor de indução trifásico (MIT)

O MIT utilizado durante os ensaios possui uma potência de 0,37 kW, frequência de 60 Hz, tensão de 220-380 V (delta-estrela), e corrente de 2,04-1,18A (delta-estrela).

#### 3.1.2 Contator

O contator, é um dispositivo eletromecânico, que permite realizar o controle da energização ou desenergização de cargas, no circuito de potência, a partir do seu circuito de comando. Tal equipamento foi utilizado para interromper o fluxo de energia para o motor quando o relé de proteção desse o sinal de atuação (*trip*). Desta forma, esse dispositivo foi inserido em série com o motor de indução.

#### 3.1.3 Módulo relé

Tal módulo tem por finalidade facilitar o acionamento eletrônico de relés, fazendo uso de placas microcontroladores, como Arduino ou Pic, sem a necessidade de montar circuitos. Este módulo foi

empregado para adequar o nível de tensão de 5 Vdc, inserido no contato normal aberto do *trip* do relé, ao nível de tensão de operação da bobina do contator (220 Vac). Tal dispositivo pode ser omitido da bancada, visto que, segundo manual do relé utilizado, a entrada de *trip* é capaz de suportar tensão da ordem de 250 Vac com corrente de até 8 A.

#### 3.1.4 Relé numérico comercial de proteção de motor (IED)

O relé utilizado, foi ajustado para a proteção de MITs de médio porte, oferecendo as seguintes funções básicas de proteção: rotor bloqueado, sobrecarga, desequilíbrio e curto-circuito.

Neste trabalho, utilizou-se apenas a função de proteção de desequilíbrio de corrente, função ANSI 46.

#### 3.1.5 Banco de resistências

Os bancos de resistências foram empregados para simular um desequilíbrio de tensão no sistema. Para tanto, foram empregados dois bancos de resistências, com cinco unidades cada, cujo valor ôhmico está disposto na Tabela 1. No primeiro ensaio, como era de interesse simular um desequilíbrio de módulo em apenas uma das fases, foi utilizado apenas um banco de resistências, em série com uma das fases do sistema. Primeiramente, as resistências do banco foram conectadas em paralelo entre si, a fim de se obter o menor nível de desequilíbrio, e em série com uma das fases do sistema. No decorrer do ensaio, foi-se removendo as conexões de forma a aumentar a resistência série do circuito, e assim, obter níveis maiores de desequilíbrio.

Já no segundo ensaio, como era de interesse gerar desequilíbrio do módulo da tensão em duas fases, foram empregados dois bancos de resistência em série com o circuito de potência do MIT. Da mesma forma, inicialmente as resistências foram dispostas em paralelo, e no decorrer do ensaio, foi-se removendo as conexões, a fim de diminuir o número de resistências em paralelo e assim obter maior resistência série e, conseqüentemente, maior nível de desequilíbrio de tensão.

**Tabela 1. Número de resistência em paralelo e respectivo valor de resistência série equivalente.**

Medição	Número de resistências em paralelo	Resistência equivalente [ $\Omega$ ]
1	6	3,33
2	4	5,00
3	3	6,67
4	2	10,00
5	1	20,00

#### 3.1.6 Placa de aquisição de dados

Foi utilizada uma placa que consiste em um módulo de aquisição de dados, possuindo entradas analógicas e digitais, modelo NI USB 6210 (*National Instrument*, 2019) com objetivo de adquirir os valores de tensão e corrente por fase nos terminais do MIT. A vantagem oferecida por esta placa para a proposta deste trabalho é a integração com o software LabVIEW®, em que foi possível implementar as rotinas de cálculo de desequilíbrios descritas na seção 2.

#### 3.1.7 Transformador de corrente (TC) e transformador de potencial (TP)

Foram empregados TCs e TPs para adequar o nível de corrente e tensão, respectivamente, do terminal do motor para as entradas analógicas da placa de aquisição de dados. Esta etapa é de suma importância, uma vez que a placa admite entradas analógicas de até  $\pm 10,4$  V e  $\pm 20$  mA (*National Instrument*, 2019).

#### 3.1.8 Célula de carga

A célula de carga foi empregada para controlar a intensidade do freio magnético utilizado como carga do motor. Tal freio consiste em um disco ferromagnético acoplado ao eixo do motor e duas bobinas que direcionam o fluxo magnético para o disco. Assim, por controle da célula de carga, aumenta-se o fluxo magnético sobre o disco e, por consequência do surgimento de correntes parasitas e pelo princípio de Lenz-Faraday, surge uma força magnética na tentativa de freia-lo. Desta forma, foi possível realizar os ensaios na condição nominal de operação da máquina, ou seja, 2.04 [A] por fase.

#### 3.1.9 Fonte de tensão dc

Foi utilizada uma fonte de tensão dc – 5V para energizar o contato normal aberto do *trip* do relé de proteção. Foi empregado o contato normal aberto visto o fato do módulo relé (descrito na seção 3.1.3) possuir lógica de atuação inversa, ou seja, este é desativado quando recebe nível lógico alto em sua entrada.

#### 3.1.10 Alicata amperímetro

Tal instrumento de medida foi empregado para se avaliar a condição nominal de operação do motor. Assim, por meio da célula de carga e do amperímetro, acoplado a uma das fases do MIT, foi possível ajustá-lo para condições nominais de operação, antes da aplicação dos desequilíbrios.

### 3.2 Métodos

#### 3.2.1 Montagem da bancada de testes

Foi montada uma bancada didática de testes para gerar o desequilíbrio de tensão, e obter, de forma indireta, o desequilíbrio de corrente. Tal desequilíbrio de corrente é consequência direta da alimentação desequilibrada do motor, visto o fato da impedância de sequência negativa das máquinas rotativas serem bem inferiores à de sequência positiva, fato este facilmente comprovado pela análise do modelo do MIT para sequência negativa (Henrique e Itsuo, 2013). Este fato faz com que pequenos desequilíbrios de

tensão culminem em elevados desequilíbrios de corrente no sistema.

Primeiramente, foi gerado um desequilíbrio monofásico do módulo da tensão, de acordo com esquema ilustrado na Fig. 1. Tal desequilíbrio consistiu na inserção de um banco de resistências em série com uma das fases do sistema.

Posteriormente, fez-se o desequilíbrio bifásico, de acordo com esquema ilustrado na Fig. 2. Tal desequilíbrio foi obtido a partir da inserção de dois bancos de resistência em série com a alimentação do motor. A bancada de realização dos ensaios pode ser visualizada na Fig. 3.

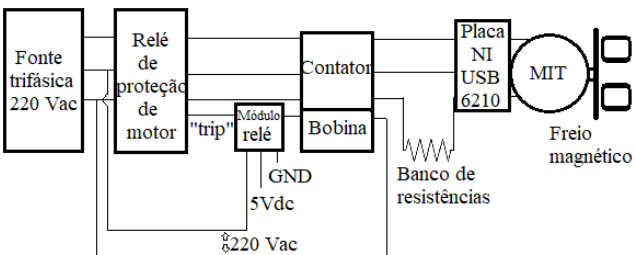


Fig. 1. Desequilíbrio monofásico do módulo da tensão.

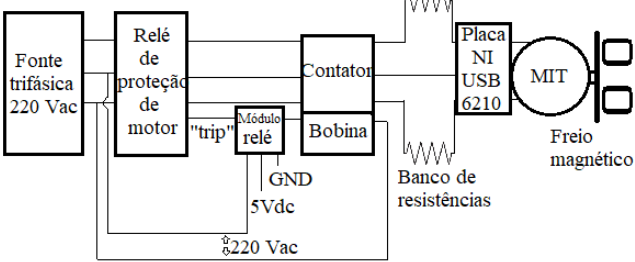


Fig. 2. Desequilíbrio bifásico do módulo da tensão.

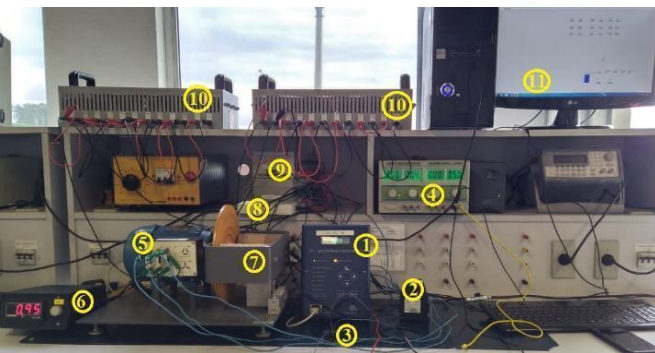


Fig. 3. Bancada de realização dos testes. Fonte: próprios autores.

Os itens (1) a (11) ilustrados na Fig. 3, os quais tiveram sua aplicabilidade comentadas na subseção 3.1, correspondem a:

1. Relé numérico de proteção de motores;
2. Contator;
3. Módulo relé;
4. Fonte dc – 5V;

5. Motor de indução trifásico;
6. Célula de carga;
7. Freio magnético;
8. Placa de aquisição de dados;
9. TC e TP;
10. Banco de resistências;
11. Computador;

### 3.2.2 Procedimento para aquisição de dados

Após a montagem da bancada, Fig. 3, foi realizado o procedimento para a aquisição de dados. Primeiramente, ligou-se o motor de indução e ajustou-se a célula de carga para que obtivesse corrente nominal no motor. Em seguida, requisitou-se a partir do TC e TP dispostos como representados nas Fig. 1 e 2, os sinais de corrente e tensão em cada fase do motor pela placa NI USB 6210 da *National Instrument*.

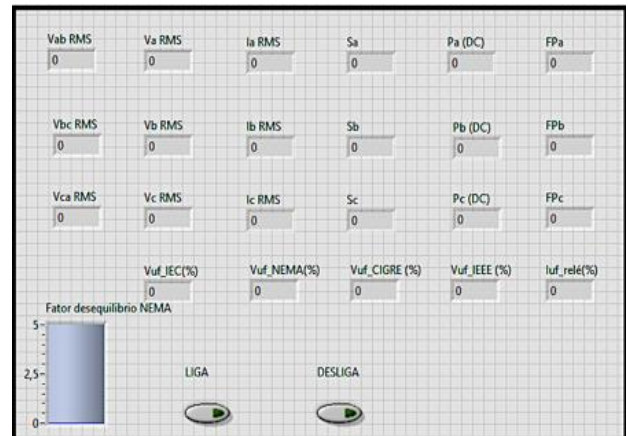


Fig. 4. Interface da rotina implementada no *software* LabVIEW® Fonte: próprios autores.

Posteriormente, foi desenvolvido uma rotina no *software* LabVIEW®, Fig. 4, de tal forma que esta rotina calculasse os fatores de desequilíbrio de tensão, assim como o desequilíbrio de corrente, ambos definidos nas equações expostas na seção 2.

### 3.2.2 Parametrização do relé numérico de proteção de motores

Após a aquisição de dados, foi realizada a parametrização do relé numérico utilizados para proteção do motor, especificamente a função ANSI 46 (desequilíbrio de corrente), para *trip* em 15 [%] de desequilíbrio, conforme recomendação do manual do fabricante (SEL, 2011). Primeiramente, configurou-se a corrente nominal do motor, na aba “*Thermal Model Elements*” e preencheu-se o campo *FLA (Full load ampers)* com a corrente nominal do motor. Em seguida, preencheu-se os parâmetros relacionados a função ANSI 46 “*Current UB Elements*”. Nesta, configurou-se o *trip* para 15% de desequilíbrio e um tempo de atraso na atuação de 10 segundos. Posteriormente, configurou-se as saídas do relé, no campo “*Output logic*”,

onde inseriu-se equações lógicas de *trip*: 46UBA+50P1T. O comando 46UBA faz referência à função 46, enquanto o comando 50P1T é uma *word bit* do relé que comuta os contatos de *trip*, caso os parâmetros definidos na função de proteção que está ativa sejam ultrapassados.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos critérios de cálculo de desequilíbrio dispostos na seção 2, que foram implementadas no *software* LabVIEW®, obteve-se os dados de desequilíbrio para subtensão monofásica e bifásica, vide Tabelas 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 2. Cálculo do desequilíbrio por diferentes normas para subtensão monofásica.**

$R_{total}$ [ $\Omega$ ]	Vuf IEC (%)	Vuf NEMA (%)	Vuf IEEE (%)	Vuf CIGRÉ (%)	Iuf RELÉ (%)
3,33	2,07	2,92	5,64	2,45	7,6
5,00	2,26	3,19	5,78	2,64	8,9
6,67	2,81	3,50	6,33	2,94	10,4
10,00	3,50	4,03	7,45	3,49	13,2
20,00	4,77	4,84	9,84	4,68	16,5

**Tabela 3. Cálculo do desequilíbrio por diferentes normas para subtensão bifásica.**

$R_{total}$ [ $\Omega$ ]	Vuf IEC (%)	Vuf NEMA (%)	Vuf IEEE (%)	Vuf CIGRÉ (%)	Iuf RELÉ (%)
3,33	1,14	1,88	2,74	1,703	7
5,00	1,60	2,22	3,42	2,021	8,3
6,67	2,12	2,85	4,20	2,452	10
10,00	3,28	3,93	5,77	3,345	14
20,00	5,67	6,48	9,31	5,313	20

Como os dados de tensão de fase e de linha, módulo e ângulo, assim como os valores das potências ativa, reativa e aparente foram coletados do *software* LabVIEW®, adicionalmente implementou-se uma rotina no *software* Matlab®, de tal forma a analisar a evolução dos indicadores de desequilíbrio de tensão com o aumento da resistência série, assim como facilitar a análise do comportamento do desequilíbrio de corrente correspondente.

#### 4.1 Análise dos indicadores de desequilíbrio de corrente e tensão em sistema equilibrado

Primeiramente, com o sistema equilibrado, ou seja, sem haver inserção de resistências série, coletou-se os dados dos indicadores conforme Fig. 5.

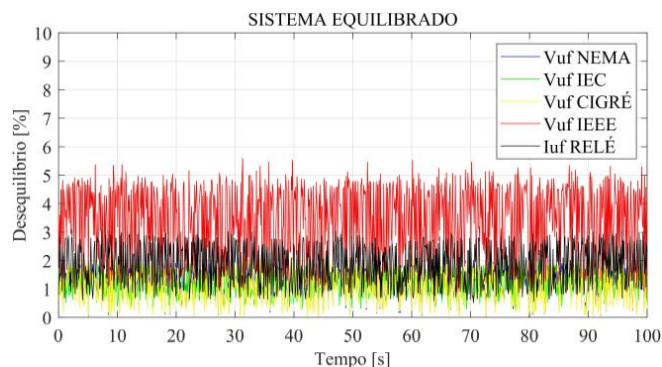


Fig. 5. Análise dos indicadores de desequilíbrio de corrente e tensão em sistema equilibrado.

Da Fig. 5 é possível verificar que os indicadores de desequilíbrio não estão exatamente em 0%. Isso se deve ao fato que, segundo definição do módulo 8 do PRODIST (2018), é aceitável níveis de desequilíbrio de tensão de até 3%, em sistemas com tensão inferior a 1kV. Outro ponto a se destacar na Fig. 5 é o fato da metodologia de cálculo estipulado pelo IEEE de estar em relação às demais metodologias, indicando ser um indicador mais sensível às variações.

#### 4.2 Análise dos valores dos indicadores de desequilíbrio de tensão e corrente em sistema com subtensão monofásica

Neste ensaio, inseriu-se um conjunto de cinco resistências em paralelo entre si e em série com uma das fases do motor, conforme esquema ilustrado na Fig. 1. Durante o decorrer do ensaio, as resistências foram sendo removidas, de tal forma a se aumentar a resistência série do sistema e, por consequência direta, aumento do desequilíbrio de tensão e, de forma indireta, aumento do desequilíbrio de corrente, conforme ilustrado na Fig. 6.

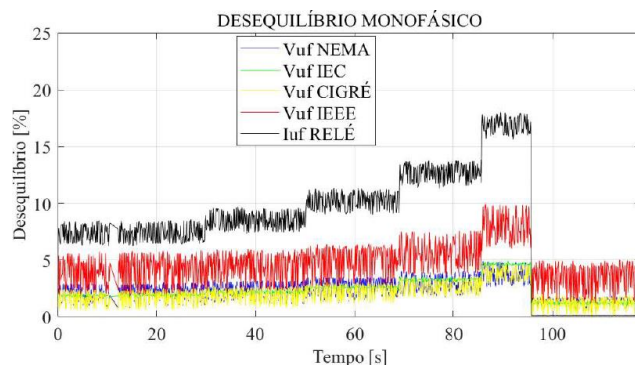


Fig. 6. Análise dos valores dos indicadores de desequilíbrio de tensão e corrente em sistema com subtensão em uma das fases.

Da Fig. 6, é possível notar que a medida que se aumenta a resistência série, há um aumento correspondente no desequilíbrio de tensão e também de corrente. Ademais, observa-se que o aumento do desequilíbrio de corrente é bem mais acentuado que o desequilíbrio de tensão. Isso se deve ao fato da baixa impedância de sequência negativa das máquinas rotativas.

#### 4.3 Análise dos valores dos indicadores de desequilíbrio de tensão e corrente em sistema com subtensão bifásica.

Neste ensaio inseriu-se dois bancos de resistências, um em cada fase do sistema, conforme esquema ilustrado na Fig. 2. O desenvolvimento do desequilíbrio com a remoção das resistências no decorrer do ensaio pode ser verificado na Fig. 7.

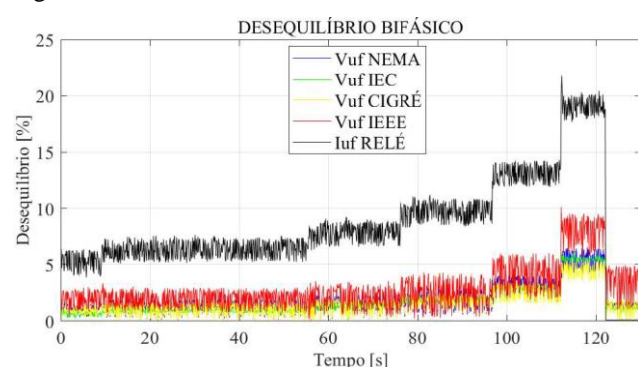


Fig. 7. Análise dos valores dos indicadores de desequilíbrio de tensão e corrente em sistema com subtensão em duas fases.

Da Fig. 7 é possível notar que o nível do desequilíbrio de corrente chegou a patamares bem superiores ao do desequilíbrio monofásico, antes de ocorrer o *trip* do relé de proteção. Tal fato possibilita afirmar que o desequilíbrio bifásico do módulo da tensão é mais perturbador para o motor. Outro ponto a se destacar, foi a correta atuação do sistema de proteção. Isso se deve ao fato que este atuou conforme programado, ou seja, 15% de desequilíbrio de corrente com tempo de atraso de 10 segundos. Tal fato pode ser comprovado a partir do decaimento dos fatores de desequilíbrio em torno de 125 s após o início do ensaio. Diante dos gráficos ilustrados nas Figs. 6 e 7, é possível notar também que, conforme estabelecido nas normas, um desequilíbrio de tensão inferior à 2 [%] não culmina em valores significativos de desequilíbrio de corrente.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, pode-se observar a sensibilidade dos índices IEC, NEMA, CIGRÉ e IEEE quanto aos desequilíbrios de tensão. Nota-se, dos resultados, que a metodologia de cálculo segundo a IEEE é o (a) mais sensível dentre os indicadores. Ademais, foi possível observar a evolução do desequilíbrio de corrente correspondente, comprovando sua rápida ascensão em detrimento aos indicadores de desequilíbrio de tensão.

Além disso, os resultados obtidos para os testes realizados mostraram uma atuação precisa do relé numérico para eventos de desequilíbrio de corrente, nesse caso para a função ANSI 46 do IED utilizado nos ensaios

Por fim, destaca-se a importância da utilização do cálculo de desequilíbrio, tanto de tensão quanto de corrente, como uma das ferramentas para averiguar o bom funcionamento de máquinas elétricas. Dispondo dos níveis de desequilíbrio, é possível estabelecer condições ou realizar manobras para evitar possíveis danos.

## REFERÊNCIAS

- Aneel. Ministério de Minas e Energia. Geração Distribuída: Micro e Minigeração Distribuídas. 2015. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 27 out. 2019.
- American National Standards Institute. Proteção de relés: Tabela ANSI. Disponível em: <<https://selinc.com/pt/products/tables/ansi/>>. Acesso em: 08 dez. 2019.
- Fonseca, A. C. et al. Metodologia para Análise de Desequilíbrios de Tensão: Comparativos entre os Índices do IEEE, IEC, CIGRÉ e NEMA. In: Congresso Brasileiro de Qualidade de Energia Elétrica (CBQEE), 2017, Curitiba, p. 1 - 6.
- Fortescue, C. L. (1918). Method of symmetrical coordinates applied to the solution of polyphase networks. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, volume 37, n. 2, p. 1027-1140.
- National Instrument. User guide: NI USB-6008/6009. 26 p. Disponível em: <<https://www.ni.com/pdf/manuals/375194d.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2019.
- Paulilo, Gilson. Capítulo III Desequilíbrios de tensão. Revista O Setor Elétrico, São Paulo, n. 86, p. 42-48, 2013. Disponível em: <[http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed86\\_fasc\\_qualidade\\_cap3.pdf](http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed86_fasc_qualidade_cap3.pdf)>. Acesso em: 01 dez. 2019.
- Henrique, P. e Itsuo, M., 2013. Efeitos Dos Desequilíbrios De Tensão De Suprimento Nos Motores De Indução Trifásico. [online] Horizonte Científico Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/4473/11857>> Acesso em: 26 março 2020.
- Prodinst - Módulo 8. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional: Qualidade da Energia Elétrica. 2018. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo\\_8Revis%C3%A3o\\_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9](https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9)>. Acesso em: 01 dez. 2019.
- SEL – Schweitzer Engineering Laboratories Inc, SEL-701 Motor Protection Relay – Instruction Manual, Pullman, Washington, 2011.