

## Aquisição de dados de uma carga eletrolítica trifásica utilizando programação em máquina de estados em ambiente LabView e resultados experimentais

### RESUMO

A aplicação de cargas elétricas em ensaios de geradores de energia elétrica é uma ferramenta essencial que oferece suporte em estudos do comportamento destes sistemas quando em operação. Neste sentido, este trabalho apresenta em linhas gerais o funcionamento de um protótipo de uma carga elétrica que pode ser utilizada para ensaios de geradores e a utilização de programação com máquinas de estado para a aquisição de dados da referida carga. Para a execução da máquina de estados, foi utilizada a plataforma LabView<sup>®</sup>. O protótipo, que é uma carga eletrolítica trifásica, foi projetado para ser empregado em ensaios de curta duração em equipamentos de geração de energia elétrica (geradores) que necessitem de uma carga elétrica acoplada. A dinâmica da carga eletrolítica em situações reais de trabalho foi avaliada usando a plataforma LabView juntamente com um sistema de aquisição de dados de alta resolução e a sua programação via máquina de estado. A aquisição dos dados permitiu visualizar quase que em tempo real, os valores de tensão e de corrente na carga. Deste modo, foi possível comprovar a natureza resistiva da carga eletrolítica, além de compreender as propriedades desta no que se refere a aplicações em ensaios de geradores, o que evidencia a possibilidade de aplicação da carga eletrolítica em ensaios de curta duração de equipamentos de geração de energia elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** aquisição de dados, ensaios de geradores, carga eletrolítica.

**Daniel Marcos Dal Pozzo**

[danielpozso@utfpr.edu.br](mailto:danielpozso@utfpr.edu.br)

<http://orcid.org/0000-0002-0995-0614>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Brasil.

**Giovano Mayer**

[giovano@utfpr.edu.br](mailto:giovano@utfpr.edu.br)

<http://orcid.org/0000-0003-0556-4502>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Brasil.

## INTRODUÇÃO

A energia é o principal fator determinante para o desenvolvimento econômico sustentável no mundo (KUMAR e SHARMA, 2016). Tanto o crescimento populacional quanto o desenvolvimento econômico de uma nação resultam em uma maior demanda energética. A demanda energética global aumentou em cerca de duas vezes nos últimos 40 anos (EIA, 2016), incentivando também o desenvolvimento do sistema elétrico como um todo (WEITZEL e GLOCK, 2017).

Dentro deste contexto, o uso de cargas elétricas é essencial em ensaios de equipamentos de geração de energia elétrica, servindo de suporte para o estudo do comportamento destes sistemas quando em operação. Entretanto, no que se refere a ensaios de geradores, um dos problemas normalmente observados é a dificuldade em realizar o acoplamento de cargas convencionais em tais equipamentos, pois estas ficam restritas as suas características intrínsecas tais como, potência, tensão e corrente nominal (BRAGA et al., 2015). Neste sentido, o aumento da potência da carga em um determinado ensaio de um gerador, é muitas vezes na prática, difícil de ser obtido. Outro aspecto importante é que cargas convencionais (equipamentos eletrodomésticos, por exemplo), não apresentam informações precisas e detalhadas que possibilitem visualizar as características elétricas dos mesmos, além de estarem sujeitos a avarias quando acoplados em geradores operando de forma não conectada ao sistema elétrico, pois variações de tensão, corrente e frequência podem ocorrer durante o ensaio, o que pode ocasionar a queima das cargas utilizadas.

Desta forma, para ensaios de geradores elétricos é necessário que a carga acoplada seja flexível quanto à potência, tensão e corrente, de tal forma que estas grandezas possam ser alteradas conforme a necessidade do ensaio a ser realizado (MAYER, 2012). Dentro deste contexto, o uso de uma carga elétrica obtida a partir da eletrólise em solução aquosa é uma alternativa interessante que apresenta boa aplicabilidade, pois um sistema desta natureza pode ser operado e submetido a diferentes valores de tensão e corrente elétrica, bem como suporta variações de frequência sem que seja observado qualquer dano ao mesmo (DAL POZZO, 2013).

A Carga Eletrolítica Trifásica avaliada neste trabalho, é um equipamento que foi idealizado do ponto de vista de ensaios de curta duração de geradores de energia elétrica que necessitem de uma carga elétrica acoplada. O uso de tal equipamento em ensaios de geradores é atrativo devido as diferentes condições operacionais a que este pode ser submetido, e devido a esta flexibilidade, pode ser utilizado para criar situações semelhantes as condições normais de trabalho as que o gerador ensaiado venha a ser submetido.

O objetivo deste trabalho foi é avaliar as características intrínsecas de um protótipo de uma carga eletrolítica trifásica por meio da aquisição de dados com o *software LabView*<sup>®</sup> mediante o uso de uma programação com máquinas de estado e um sistema de aquisição de dados da *National Instruments*, de modo a evidenciar as possibilidades de aplicação deste sistema em ensaios de curta duração em geradores de energia elétrica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DE CARGA ELETROLÍTICA TRIFÁSICA

A carga eletrolítica trifásica é um protótipo de carga elétrica constituído por um suporte de eletrodos, um recipiente não condutor (PVC) contendo uma solução aquosa eletrolítica, isoladores em epóxi, eletrodos de cobre e um sistema elétrico de inserção e retirada dos eletrodos de cobre na solução eletrolítica. A representação esquemática do princípio de funcionamento da carga eletrolítica trifásica é apresentada na Figura 1, onde é possível observar que os eletrodos, alimentados por uma fonte trifásica, estão fixados por um suporte de eletrodos e estão inseridos em uma solução aquosa contida em um recipiente de PVC. A configuração final da carga eletrolítica trifásica é apresentada na Figura 2.

Figura 1 - Representação esquemática do princípio de funcionamento da Carga Eletrolítica Trifásica.

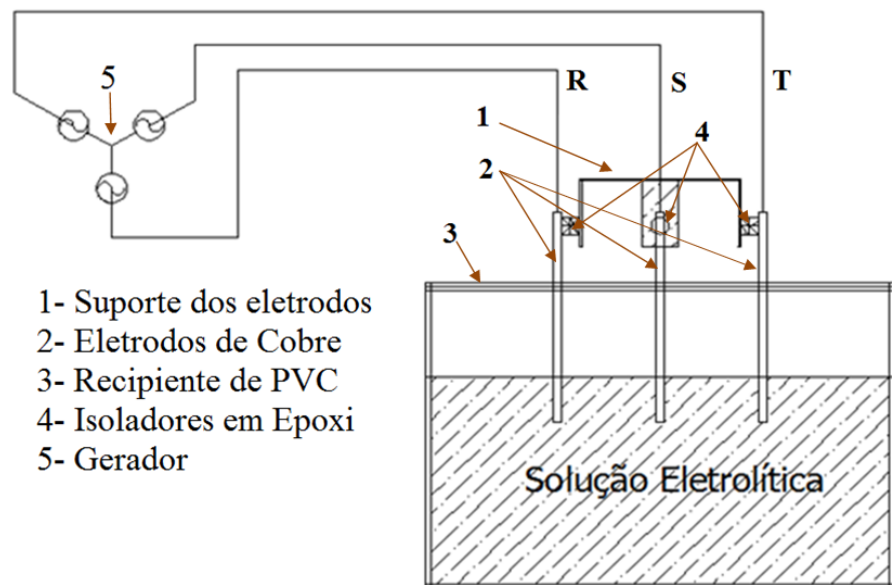


Figura 2 - Vista frontal da Carga Eletrolítica Trifásica.



A solução eletrolítica é composta por água e sal e quando os eletrodos que estão sob tensão elétrica são inseridos na solução, ocorre a circulação da corrente elétrica que é diretamente proporcional à concentração de eletrólito. Desta forma, quanto mais íons livres na solução, maior será a proporção de elétrons envolvidos na reação e maior será a corrente elétrica que circulará pelo sistema (DOBÓ e PALOTÁS, 2017). Assim verifica-se também o aumento da temperatura na mesma proporção (DAL POZZO, 2013; MAIA, 2010).

O controle da potência e, portanto, da corrente elétrica, é função da área de contato entre os eletrodos de cobre e a solução. A velocidade em que a eletrólise ocorre é proporcional à área em que os eletrodos estão imersos na solução (KAYA et al., 2017). Isso se deve ao fato de que mais íons se deslocam do cátodo ao ânodo (eletrodos de cobre) e mais elétrons resultarão da reação química na água (GONZALEZ e TICIANELLI, 2005).

Portanto, o aumento ou a redução da corrente elétrica se dá por meio da inserção ou da retirada dos eletrodos da solução com o auxílio do dispositivo elétrico de inserção e retirada dos eletrodos, que é constituído por um motor de corrente contínua e um fuso.

#### REQUISITOS PARA A AQUISIÇÃO E VISUALIZAÇÃO DOS DADOS DA CARGA ELETROLÍTICA TRIFÁSICA

A avaliação das características da carga eletrolítica foi realizada mediante a execução de ensaios, nos quais os valores de tensão e corrente na carga foram monitorados por sensores dispostos de forma a medir a corrente em cada uma das três fases e a tensão de fase para uma das fases. Estes sensores convertem os valores de corrente ou tensão em um sinal de corrente proporcional ao valor medido, dentro de uma faixa de 0 a 20 mA com *offset* de 10 mA DC, ou seja, os sensores replicam exatamente a forma de onda da grandeza medida, deste modo, o sinal de corrente proporcional apresenta um valor mínimo de 0 mA e máximo de 20 mA que excursiona em torno de 10 mA.

Os sinais fornecidos pelos sensores são recebidos pelo sistema de aquisição NI cDAQ-9178 da *National Instruments* que opera com o *LabView*<sup>®</sup>. Tal sistema de aquisição é modular e cada módulo pode ser especificado de acordo com o tipo de sinal a ser adquirido. Para a aquisição e monitoramento da tensão e da corrente, foi utilizado o módulo de entrada analógica NI 9203 que adquire sinais analógicos na faixa de 0 a 20 mA. Este módulo possui resolução de 16 bits, oito canais de entrada analógica e uma taxa de amostragem máxima por canal de 25 K amostras/s.

Com a programação desenvolvida no *LabView*<sup>®</sup> juntamente com o sistema de aquisição de dados citado, é possível converter os valores de tensão e corrente medidos nos sensores para valores RMS concomitantemente com a aquisição dos dados, além de permitir a visualização e a posterior gravação em arquivo próprio.

Os valores de tensão e corrente adquiridos são valores proporcionais e se encontram na faixa de 0 a 20 mA. A conversão destes valores para valores reais pode ser executada mediante o uso da Equação 1.

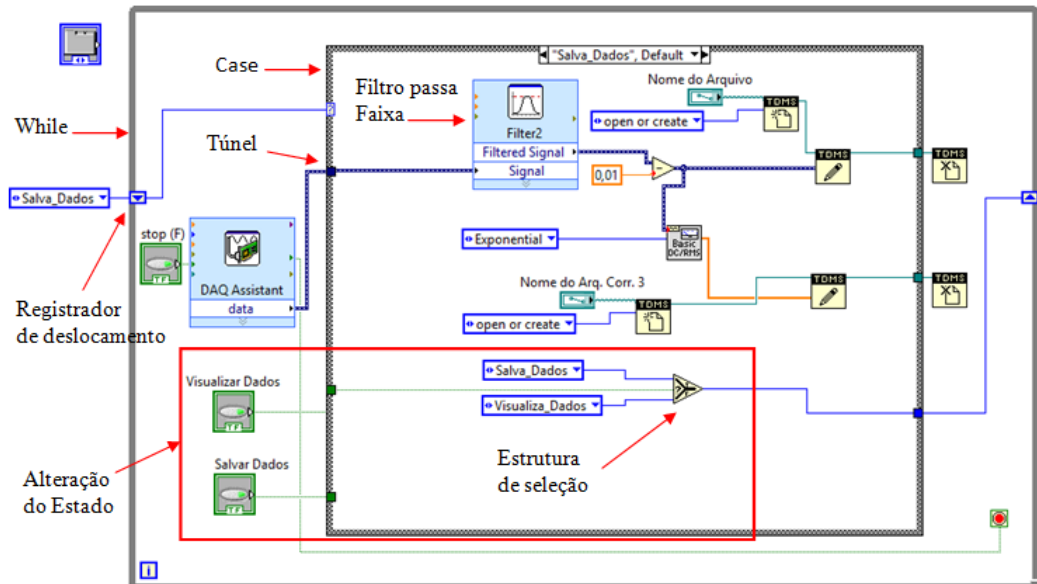
$$((V2n - 0,01) * As) / 0,01 \quad (01)$$

Na Equação 01 apresentada,  $V2n$  faz referência ao sinal proporcional medido e  $As$  é a faixa de atuação do sensor utilizado ( $As=350$  para o sensor de tensão e  $As=50$  para o sensor de corrente).

## PROGRAMAÇÃO NO LABVIEW<sup>®</sup> VIA MÁQUINA DE ESTADO PARA VISUALIZAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

O *LabView*<sup>®</sup> é um ambiente de programação utilizado em aplicações avançadas de monitoramento, aquisição e controle (PERZ, 2017). Tal ambiente utiliza uma linguagem de programação gráfica intuitiva e de fácil entendimento. Cada programa é chamado de VI (*virtual instruments*) que é composto basicamente de um painel frontal onde está disposta a IHM (interface homem máquina) e do diagrama de blocos com o código gráfico desenvolvido (JIMÉNEZ, 2017). Este *software* foi utilizado para o desenvolvimento de um programa via máquina de estado que permite a aquisição e a visualização dos dados das grandezas elétricas medidas quase que em tempo real. A programação via máquinas de estado utilizada para adquirir os dados da carga eletrolítica trifásica são apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Programação em LabView com Máquina de Estado para a aquisição de dados da carga eletrolítica trifásica (primeiro estado principal).



A programação via máquinas de estado pode ser utilizada quando existe, por exemplo, a interação entre um usuário com a programação propriamente dita. Um “estado” pode ser considerado como uma determinada situação momentânea da programação que em algum momento sofre uma alteração e passa para outra situação (estado), carregando consigo ou não, dados e parâmetros do estado anterior. A programação desenvolvida para o monitoramento e a aquisição dos dados da carga eletrolítica dividiu-se basicamente em dois estados principais, que são escolhidos pelo usuário do programa.

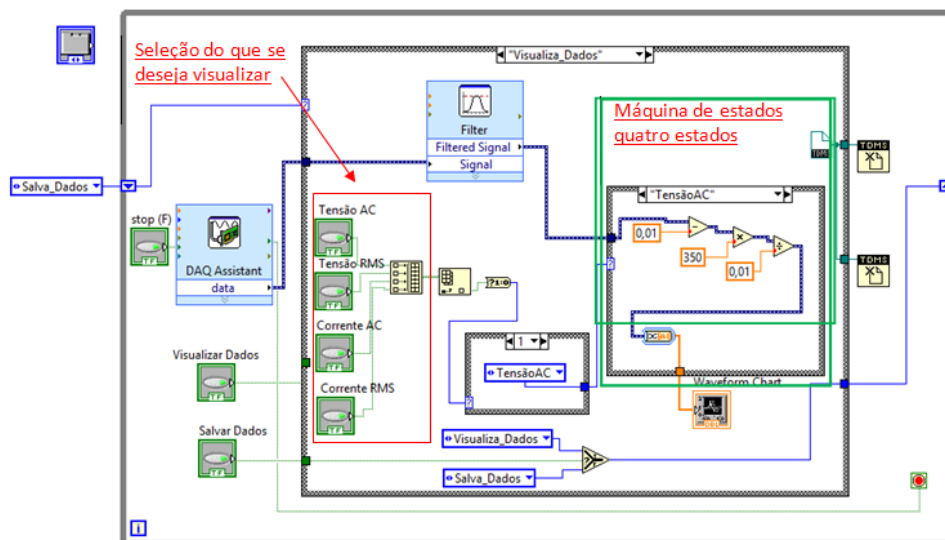
Conforme a programação apresentada na Figura 3, a estrutura mais externa de repetição, denominada “While” mantém o programa em loop até que o “Stop” seja acionado. A máquina de estados é implementada com um registrador de deslocamento situado a esquerda da estrutura “While”. O registrador pode receber dois estados, sendo eles: “Salvar Dados” ou “Visualizar Dados”. O primeiro estado é o que está apresentado na Figura 3, e para esta condição os dados são aqisitados pelo bloco DAQ Assistant e entram via “túnel”, na estrutura interna do primeiro estado, definido por um “case”. Dentro da estrutura case, os dados são filtrados por um filtro passa faixa (55 a 65 Hz) e na sequência é retirado o offset de 10 mA proveniente dos sensores e então os sinais aqisitados são salvos em dois arquivos do tipo TDMS cujos nomes são inseridos pelo usuário. O primeiro arquivo contém o sinal de tensão ou corrente (Sinal Proporcional), e conforme configurado no DAQ Assistant, os dados que seguem para o segundo arquivo, primeiramente são submetidos a um bloco que converte o sinal proporcional aqisitado para seu valor correspondente em RMS para que então ocorra a gravação dos valores em RMS no segundo arquivo TDMS. Os arquivos TDMS podem posteriormente ser exportados e trabalhados no Excel ou no Matlab, por exemplo.

O retângulo de cor vermelha na Figura 3 evidencia as duas possibilidades de operação do programa, ou seja, se o operador selecionar “Salvar\_Dados” o programa ficará executando a estrutura case da Figura 3, entretanto, caso seja selecionada a opção “Visualizar\_Dados”, a estrutura de seleção interna ao retângulo passa para o estado “Visualizar\_Dados” e a máquina de estado vai para o segundo estado, conforme pode ser observado na Figura 4.

Na estrutura interna do “case” deste estado, é possível observar quatro botões de seleção a esquerda, que estão circulados por um retângulo na cor vermelha. Ou seja, existe outra máquina de estado dentro do “Case” do segundo estado principal, com quatro estados, cada um para apresentar ao usuário a grandeza de interesse na forma desejada (sinais proporcionais ou os valores correspondentes em RMS).

Conforme o operador seleciona o tipo de dado a ser observado no gráfico, o primeiro “case” interno altera para 1, 2, 4 ou 8 conforme ocorre o número booleano correspondente ao fechamento das chaves o que altera o estado do segundo “case” delimitado pelo retângulo de cor verde.

Figura 4 - Detalhes da programação da máquina de estados do segundo estado principal.



Na Figura 4 é possível observar o caso da visualização da tensão alternada, denominado de estado “TensãoAC”. Dentro do case “TensãoAC”, o sinal de 10mA é retirado e é implementada a Equação (01) que transforma os valores obtidos pelo sensor, nas amplitudes reais dos sinais medidos.

Na Figura 5 é apresentada a tela do usuário para salvar os dados (primeiro estado principal) e na Figura 6 observa-se a tela de visualização das grandezas medidas, disponível no segundo estado principal.

Figura 5 - Tela do operador para salvar os dados em arquivos.

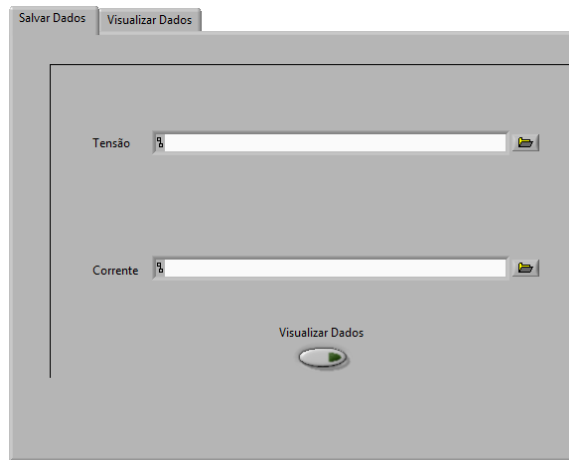
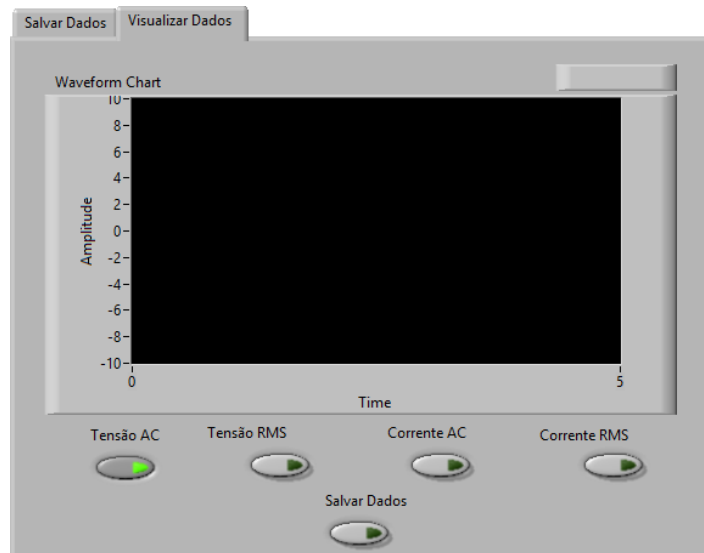


Figura 6 - Tela de visualização das grandezas medidas.

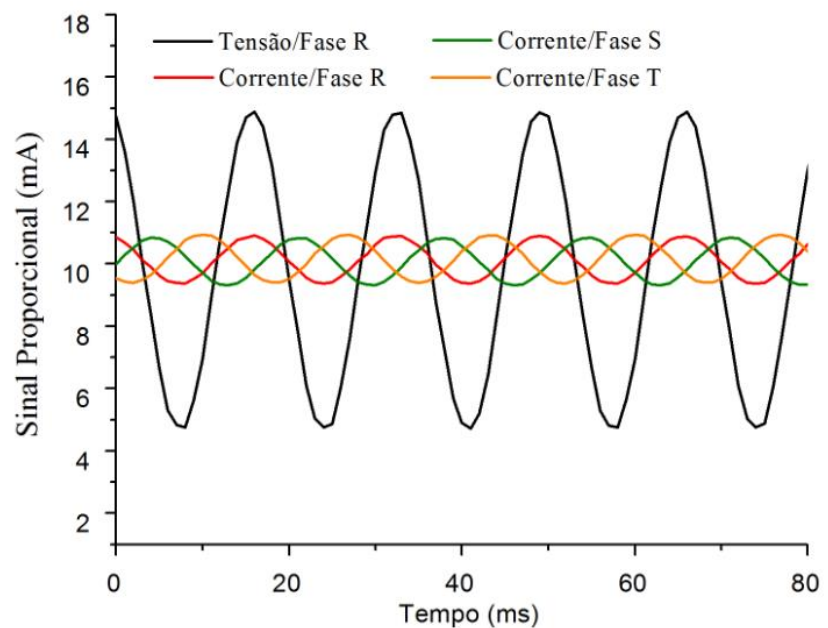




## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante o uso do sistema de aquisição de dados e da programação desenvolvida no LabView®, foi possível adquirir dados da tensão na fase R e corrente nas três fases da carga. Os valores proporcionais podem ser observados na Figura 7.

Figura 7 - Equilíbrio e natureza carga eletrolítica trifásica. Sinal proporcional de tensão para a Fase R e sinal proporcional de corrente para as três fases. Ambos para a faixa de 0 a 20 mA.



Observa-se na Figura 7, que a tensão na fase R (identificada pelo sinal de cor preta) está em fase em relação a corrente da respectiva fase (sinal de cor vermelha), tal fato evidencia que a carga obtida por meio da eletrólise em solução aquosa eletrolítica é de comportamento puramente resistivo, sendo seu fator de potência igual a 1. Como os valores de pico para a corrente nas três fases da carga são iguais, observa-se que a carga eletrolítica é equilibrada.

No ensaio de acionamento da carga, o resultado da aquisição de dados para um período de 100 ms pode ser verificado na Figura 8. No momento do fechamento do disjuntor de força, que ocorre a cerca de 50 ms, é possível observar a evolução do valor de pico da corrente elétrica do sistema. Neste momento, observas-se que o valor de pico da corrente elétrica evolui no primeiro semiciclo ficando próximo ao valor nominal dos semiciclos seguintes, porém não excede o valor destes. Este comportamento da corrente em função do tempo durante o acionamento é típico de cargas puramente resistivas, o que evidencia que a carga eletrolítica não apresenta dinâmica no acionamento e reforça sua característica resistiva. Como mencionado anteriormente, a temperatura da solução aquosa aumenta devido a dissipação da energia elétrica na mesma e isso faz com que a corrente elétrica também aumente. Os dados adquiridos para os

ensaios de avaliação da influência exercida pela temperatura sobre a corrente na carga são apresentados na Figura 9, onde estão disponíveis os históricos de corrente na carga em função do tempo na medida em que os eletrodos são inseridos na solução eletrolítica.

Figura 8 - Comportamento da forma de onda da corrente na carga durante o ensaio de acionamento.

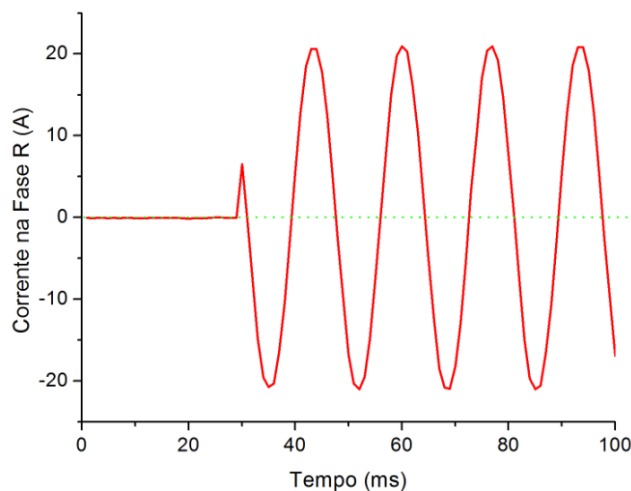
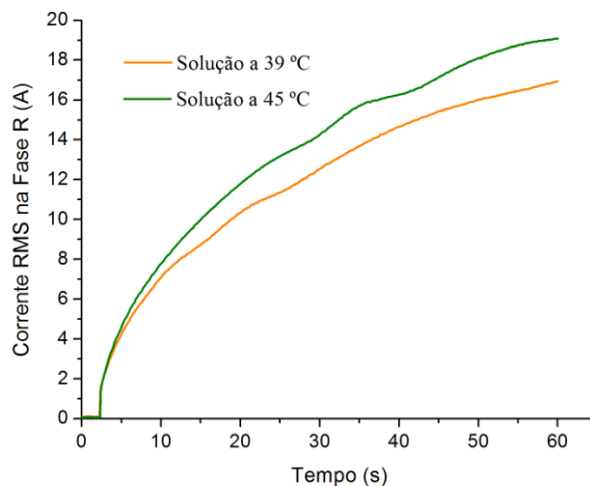


Figura 9 - Influência da temperatura sobre a corrente na carga para a tensão de 380Vac.



Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 9, dentre as duas situações abordadas, na situação em que a temperatura da solução é maior (45 °C), a corrente na carga sempre apresenta valores mais elevados quando comparada com a temperatura de 39 °C. Como a velocidade de inserção dos eletrodos é a mesma para as duas situações, certa profundidade pode ser associada a determinado instante de tempo, deixando visível a influência da temperatura para as duas situações.

## CONCLUSÃO

Com a aplicação do LabView e da programação em máquina de estado para aquisição dos dados nos ensaios realizados com a carga eletrolítica, foi possível obter dados das características elétricas da carga que possibilitaram identificar que a natureza da carga é de comportamento resistivo, além do equilíbrio da corrente nas três fases da carga.

A aquisição de dados no momento da aplicação de tensão elétrica à carga, possibilitou identificar com precisão que a carga criada não apresenta dinâmica no acionamento, portanto é puramente resistiva. Verificou-se que os valores de corrente são afetados pela temperatura da solução e finalmente, a programação via máquinas de estado mostrou-se muito eficiente para o operador, tanto para visualizar os dados quanto para salvar os mesmos em arquivos.

# Data acquisition of a three-phase load electrolytic using state machine programming in LabView plataform and experimental results

## Abstract

The application of electric loads in electrical generator tests is an essential tool that supports the studies of the behavior of these systems when in operation. In this context, this work presents in general lines the operation of a prototype of an electric load that can be used in generator tests and the use of programming with state machines for data acquisition with the LabView platform, in order to show the possibilities of application of this system. The prototype, which is a three-phase electrolytic load, was designed to be used in short-term tests on electric power generation equipment (generators) that require a coupled electric load. The dynamics of the electrolytic load in real work situations was evaluated using the LabView platform, together with a high resolution data acquisition system and its programming via state machine. The acquisition of the data allowed to visualize almost in real time, the values of voltage and current in the load. In this way, it was possible to prove the resistive nature of the electrolytic load, in addition to understanding the properties of this in regard to applications in generator tests, which shows the possibility of applying the electrolytic charge in short-term tests of electrical power generation equipments.

**KEYWORDS:** data acquisition, generators testing, electric.

## REFERÊNCIAS

- BRAGA, A. V.; REZEK, A. J. J.; SILVA, V. F.; et al. Isolated induction generator in a rural Brazilian area: Field performance tests. **Renewable Energy**, v. 83, p. 1352–1361, 2015.
- DOBÓ, Z.; PALOTÁS, Á. B. Impact of the current fluctuation on the efficiency of Alkaline Water Electrolysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 9, p. 5649–5656, 2017.
- GONZALEZ, E. R.; TICIANELLI E. A. **Eletroquímica: Princípios e aplicações** – 2ª Ed. – São Paulo; Editora da universidade de são Paulo, 2005.
- KAYA, M. F.; DEMIR, N.; ALBAWABIJI, M. S.; TAŞ, M. Investigation of alkaline water electrolysis performance for different cost effective electrodes under magnetic field. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 28, p. 17583–17592, 2017.
- KUMAR, M.; SHARMA, M. P. Selection of potential oils for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 1129–1138, 2016.
- MAIA, V. L. **Controle da corrente de uma Carga Eletrolítica**. 2010. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.
- DAL POZZO, D. M. **Projeto e execução de uma carga trifásica eletrolítica para ensaios de potência em geradores**. 2013. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.
- MAYER, G.; REGINATTO, R. **Condições de existência de auto-excitação em geradores de indução conforme suas condições operativas**. 2012. 135f. Dissertação de Mestrado. (Programa de pós-graduação em engenharia de sistemas dinâmicos e energéticos) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Foz do Iguaçu, 2012.
- EIA, U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Outlook 2016**. 2016.
- WEITZEL, T.; GLOCK, C. H. Energy management for stationary electric energy storage systems: A systematic literature review. **European Journal of Operational Research**, 2017.

**Recebido: 27/11/2017**

**Aprovado: 08/11/2018**

**DOI: 103895/recit. V9n24.7417**

**Como citar:** DAL POZZO, D. M.; MAYER, G. Aquisição de dados de uma carga eletrolítica trifásica utilizando programação em máquina de estados em ambiente LabView e resultados experimentais. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 09, n. 24, p 50-63, set/dez 2018.  
Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Daniel Marcos Dal Pozzo  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR câmpus Medianeira - Paraná. DAELE - Departamento Acadêmico de Engenharia Elétricalicenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

