

## **A metrologia como instrumento de controle do processo industrial**

### **Metrology as an instrument of control Of the industrial process**

DOI:10.34117/bjdv7n8-518

Recebimento dos originais: 07/07/2021

Aceitação para publicação: 23/08/2021

#### **A. V. Silva**

Eng. Mecânico Centro Universitário Estácio de Sergipe  
CEP: 49020-490 Aracaju-SE - Brasil  
E-mail: andre.jvs@hotmail.com

#### **S. L. Valença**

Doutor-Centro Universitário Estácio de Sergipe, Pós-Doutorado, Programa de  
Pós-Graduação em Química Departamento de Química Universidade Federal  
de Sergipe UFS Campus Prof. José Aloísio de Campos  
Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze  
CEP: 49100-000- São Cristóvão, SE - Brasil  
E-mail: silviovalenca@bol.com.br

#### **C. P. Santos**

Doutor-Centro Universitário Estácio de Sergipe  
,Doutor Departamento de Física Universidade Federal  
de Sergipe UFS Campus Prof. José Aloísio de Campos  
Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000  
São Cristóvão, SE - Brasil  
E-mail: cochiran.santos@estacio.br

#### **O. Pedreschi**

Doutor Centro Universitário Estácio de Sergipe  
CEP: 49020-490, Aracaju-SE - Brasil.  
E-mail: opn1963@gmail.com

#### **A. J. Santos**

Mestre, Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal  
de Sergipe UFS Campus Prof. José Aloísio de Campos  
Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, CEP: 49100-000  
São Cristóvão, SE - Brasil.  
E-mail: drisantos\_7@hotmail.com

## RESUMO

A Metrologia é a ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia, se constituindo em uma ferramenta fundamental no crescimento e inovação tecnológica, promovendo a competitividade e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo e qualquer país. O processo industrial necessita de constante controle devido às normas e exigências ao qual ele está submetido, se tornando imprescindível a realização de ensaios para o controle da qualidade dos produtos industrializados e prontos para serem comercializados, garantindo confiabilidade aos mesmos. Sendo assim, se propôs o referido trabalho com o intuito de verificar se uma série de componentes comercializados estão dentro dos padrões de qualidade exigidos pela metrologia, visando proteger o consumidor de eventuais produtos que estejam fora de padrão. Os resultados demonstraram uma grande dispersão, em que no circuito com corrente contínua, a média dos valores ficou em 230% acima do valor projetado pelo fabricante, e no circuito de corrente alternada, obteve-se uma média 274% acima do valor especificado. Esses valores demonstraram que os componentes, cuja função básica é a proteção do sistema no qual ele está inserido, não estão de acordo com as normas, o que pode ocasionar sérios problemas aos circuitos que deveriam proteger, cabendo aos órgãos de fiscalização competentes um controle mais efetivo dos lotes que se encontram no mercado disponível aos consumidores.

**Palavras-chave:** Metrologia, padronização, ciência das medições, controle do processo industrial.

## ABSTRACT

Metrology is the science that covers all theoretical and practical aspects related to measurements, whatever the uncertainty in any field of science or technology, constituting a fundamental tool for growth and technological innovation, promoting competitiveness and creating a favorable environment for scientific and industrial development in any country. The industrial process needs constant control due to the norms and requirements to which it is subjected, making it essential to perform tests to control the quality of industrialized products ready to be marketed, ensuring reliability to them. Thus, this work was proposed with the aim of verifying whether a series of marketed components are within the quality standards required by metrology, aiming to protect the consumer from eventual products that are out of standard. The results showed a great dispersion, where in the direct current circuit, the average of the values was 230% above the value projected by the manufacturer, and in the alternating current circuit, an average of 274% above the specified value was obtained. These values showed that the components, whose basic function is the protection of the system in which it is inserted, are not in accordance with the standards, which can cause serious problems to the circuits that they should protect, fitting to the competent inspection bodies a more effective control of the lots that are in the market available to consumers.

**Key-words:** Metrology, standardization, measurement science, industrial process control.

## 1 INTRODUÇÃO

A Metrologia é a ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia. Medição pode ser expressa como um conjunto de operações que têm por objetivo determinar um valor de uma grandeza, sendo a caracterização de uma grandeza física ou química por um valor numérico, expresso em uma dada unidade (ALBERTAZZI, 2008).

O processo de medir envolve quatro etapas, sendo elas a definição do que vai ser medido, conhecido com mensurando, a definição do critério para realizar a medição, dita como escolha da escala, a leitura do valor indicado, que é o valor de posição na escala e a interpretação correta do resultado (TORREIRA, 2004). A escolha da escala pressupõe, antes de tudo, a existência da própria escala e as escalas empregadas atualmente na indústria e no comércio de todo o mundo são aquelas estabelecidas pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM). O Sistema de Unidades refere-se às unidades de medidas e é usado para atribuir valor às grandezas físicas, sendo um conjunto de regras que determina como a unidade de cada grandeza física é determinada de maneira consistente. Segundo Balbinot (2006), o erro de uma medida ( $\varepsilon$ ) é o resultado da diferença entre o valor verdadeiro ( $V_v$ ) e o valor do mensurando ( $V_m$ ), expresso pela Equação 1:

$$\varepsilon = V_v - V_m \quad (1)$$

O erro é um conceito idealizado, que não pode ser conhecido exatamente. Já o desvio, discrepância ou tendência ( $\varepsilon_d$ ), é a diferença entre o valor verdadeiro convencional ( $V_{vc}$ ) e o valor medido ( $V_{med}$ ), determinado pela Equação 2:

$$\varepsilon_d = V_{vc} - V_{med} \quad (2)$$

A incerteza de uma medida é um parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, podendo ser o desvio padrão ou a metade do intervalo para um nível de confiança estabelecido, refletindo a falta de conhecimento exato do valor do mensurando, ou seja, incerteza significa dúvida, então, incerteza da medida significa dúvida acerca da validade do resultado de uma medição (BALBINOT, 2006). Portanto, incerteza da medida, um parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao que está se medindo, significa determinar em termos estatísticos a melhor aproximação possível para o valor verdadeiro, que seria obtido de uma medição perfeita (ALBERTAZZI, 2008).

O valor médio ( $\bar{x}$ ) é a medida de tendência central que representa o valor mais provável de uma medida. É a soma dos valores das medições dividida pelo número de medições ( $n$ ). A melhor estimativa do valor real da medida é dada pelo seu valor médio, que se torna mais exato quanto maior for o número  $n$  de medidas, segundo a Equação 3:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Podemos obter e interpretar a incerteza em termos estatísticos ou devido ao instrumento de medida utilizado, faz-se necessário o conhecimento do desvio padrão da medida ( $\sigma$ ), que é a medida de dispersão absoluta mais utilizada em estatística, caracterizando o quanto os dados se desviam em relação ao valor médio. É representado pela Equação 4:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

O desvio padrão do valor médio ( $\sigma_A$ ), ou incerteza do tipo A, é associado ao desvio padrão da medida pela raiz quadrada do número de medidas, conforme a Equação 5:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sigma}{n}} \quad (5)$$

A incerteza do tipo B ( $\sigma_B$ ) nada mais é do que a incerteza do próprio instrumento de medida e a incerteza combinada ( $\sigma_C$ ), e é determinada com base nas incertezas do tipo A e do tipo B, sendo o valor da incerteza total associada às medidas determinado pela Equação 6:

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \quad (6)$$

Ainda segundo Balbinot (2006), existem ainda outros termos ligados à interpretação de uma medida, como precisão, que é uma medida da repetitividade de uma série de medidas e a exatidão, que significa o grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro do mensurando. Como consequência, temos que o resultado da medição ( $R_M$ ) é a faixa de valores dentro da qual deve se situar o valor verdadeiro do mensurando, tendo o resultado base ( $R_B$ ) como a estimativa do valor do mensurando que, acredita-se, mais se aproxime do seu valor verdadeiro mais ou menos a incerteza associada da medida ( $I_M$ ), expressa pela Equação 7:

$$R_M = (R_B \pm I_M) \text{ unidade} \quad (7)$$

Uma forma de interpretar uma série de resultados graficamente é utilizando uma curva denominada por gaussiana, baseada no conceito do teorema central do limite que diz que, quanto mais variáveis aleatórias forem combinadas, tanto mais o comportamento da combinação se aproximará do comportamento de uma distribuição normal (ALBERTAZZI, 2008).

A Metrologia então, dividida em três grandes áreas (Científica, Industrial e Legal), é uma ferramenta imprescindível para avaliar a conformidade de produtos e processos, garantir justas relações de troca (relações comerciais), promover a cidadania (saúde, segurança e meio ambiente), promover a qualidade, inovação e competitividade e assegurar reconhecimento nacional e internacional no controle de qualidade e de processos industriais através da calibração de instrumentos e da realização de ensaios (INMETRO, 2021).

Equipamentos eletroeletrônicos, visando a preservação da segurança dos usuários, devem possuir algum dispositivo que possibilite seu desligamento quando o mesmo é submetido a algum feito anormal, sendo os fusíveis os mais utilizados em todo o mundo.

Fusíveis são dispositivos simples e econômicos utilizados para proteção em instalações elétricas contra surtos de elevada corrente elétrica para prevenir danos em dispositivos e equipamentos, como motores, CLPs, televisores, computadores, instalação elétrica de automóveis, etc. Eles interrompem a circulação de corrente quando alguma anomalia acontece, como um curto-circuito ou uma descarga atmosférica (RODRIGUES, 2015).

Sua atuação ocorre devido à fusão de um elemento elo fusível por efeito Joule, em consequência da brusca elevação de corrente no circuito. O material utilizado na fabricação do elo fusível tem propriedades físicas tais que o seu ponto de fusão seja inferior ao da liga de cobre com alumínio, que é o material mais utilizado na produção de condutores de aplicação geral (NTE-022, 2005).

As chamadas seguranças fusíveis são classificadas segundo as características de desligamento em efeito rápido ou retardado, segundo a tensão de alimentação e também segundo a corrente nominal. Existem vários tipos de fusíveis, mas para aplicações em equipamentos eletrônicos os mais comuns são os fusíveis em cilindro de vidro (de 5 x 20 mm e de 6,2 x 32 mm), de efeito rápido e com corrente nominal na faixa de 0,5 A à 30 A. A corrente nominal do elo fusível deve, no mínimo, ser 20% maior do que a máxima corrente de carga que circulará por ele e romper em até 20% acima de seu valor nominal (NTE-022, 2005).

Na Figura 1 temos um fusível típico em cilindro de vidro utilizado em nosso trabalho.

Figura 1: Fusível em cilindro de vidro utilizado no trabalho. Fonte: Alibaba (2021).



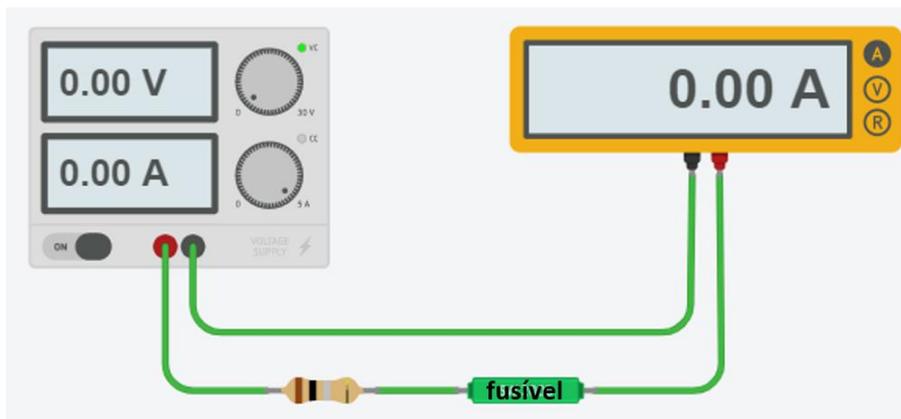
O objetivo do referido trabalho é de realizar uma série de análises quantitativas em fusíveis de proteção buscando verificar se os mesmos estão em conformidade com as normas exigidas pela metrologia industrial e legal, visando proteger o consumidor de eventuais produtos que estejam fora de padrão. Para isso, o estudo se utiliza de conceitos estatísticos fundamentais para avaliar a significância das diferenças entre as médias para a correta expressão dos resultados. Os valores serão considerados estatisticamente significativos quando o parâmetro  $p$  for menor que 0,05 ( $p < 0,05$ ), resultando em um intervalo de confiança de 95%, de acordo com os testes  $t$  de *Student* e análise de variância (*ANOVA*).

## 2 MÉTODO

Para a realização das medidas da corrente de ruptura dos elementos fusíveis, utilizamos um circuito (Figura 2) com uma fonte de corrente contínua da marca CIDEPE, modelo EQ030 (0...25 V / 5 A), aplicando uma diferença de potencial (ddp) em cada situação em um resistor de carga de  $1 \Omega \pm 1\%$  com potência máxima de 25 W em série com um multímetro digital marca Icel, modelo MD-6350 na função de amperímetro. Em seguida, a fonte de corrente contínua foi trocada por uma fonte de corrente alternada marca Phywe, modelo PH 10 (0...25 V / 10 A). A corrente elétrica foi medida até que o elo fusível de cada um dos 200 fusíveis no total rompesse (100 utilizando corrente contínua e 100 com corrente alternada), sendo esse valor anotado e utilizado para a interpretação frente à norma, com o devido tratamento estatístico.

Todos os fusíveis possuíam valores de corrente máxima de trabalho de 0,5 A, e foram adquiridos em um estabelecimento comercial na cidade de Aracaju-SE. Não há registro do fabricante dos mesmos.

Figura 2: Circuito elétrico utilizado para as medidas de corrente de ruptura dos fusíveis



Fonte: Simulador Autodesk Tinkercad (2021)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram efetuadas medidas de duas séries de fusíveis (100 de cada), primeiramente com corrente contínua e, posteriormente, com corrente alternada, e que mostram uma grande dispersão nos resultados, em que o menor valor medido foi de 1,32 A e o maior valor foi de 2,59 A com corrente contínua. Já com corrente alternada, o menor valor medido foi de 1,61 A e o maior valor foi de 2,68 A, como se pode observar nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Figura 3: Valores de corrente de ruptura dos fusíveis de 0,5 A quando submetidos a um circuito alimentado com corrente contínua.

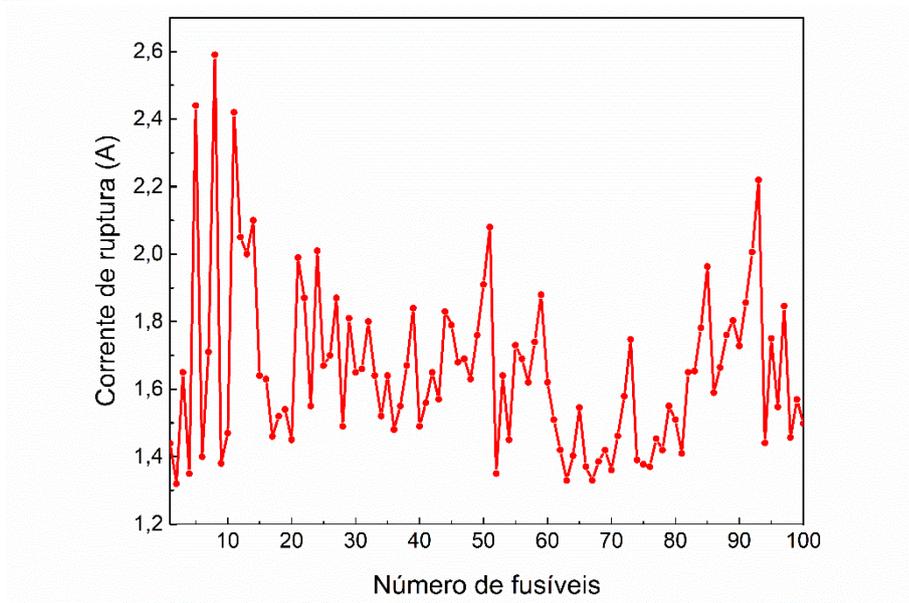
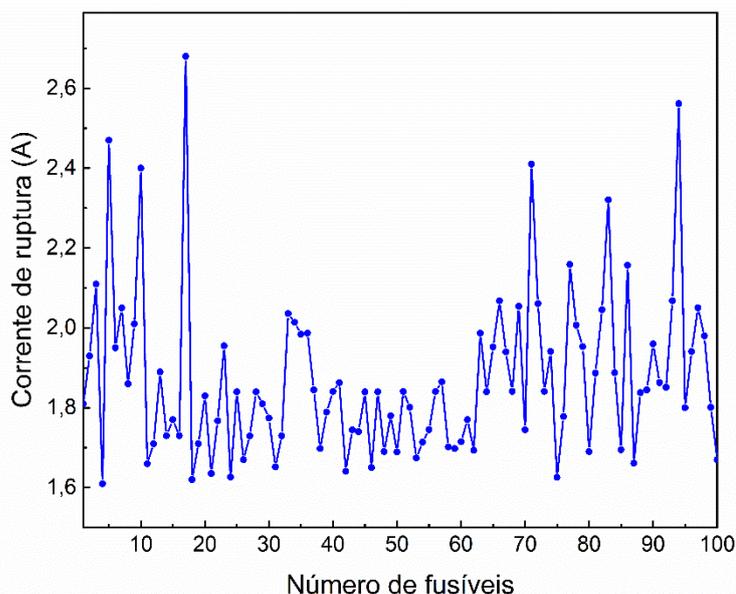


Figura 4: Valores de corrente de ruptura dos fusíveis de 0,5 A quando submetidos a um circuito alimentado com corrente alternada.



A corrente de ruptura nominal dos fusíveis significa a corrente máxima suportada sem que o mesmo venha a romper, protegendo o circuito elétrico de correntes acima das suportáveis pelo mesmo, e conforme vemos nas Figuras 5 e 6, essa especificação não foi respeitada em nenhuma situação para os fusíveis em questão, que são de 0,5 A e podem romper, segundo a norma (NTE-022, 2005), com até 20% acima desse valor nominal, ou seja, poderiam romper com a corrente máxima de 0,6 A.

Figura 5: Corrente de ruptura de uma série de fusíveis com corrente contínua, em que se observa que o valor da corrente nominal (0,5 A) não foi respeitado em nenhum caso.

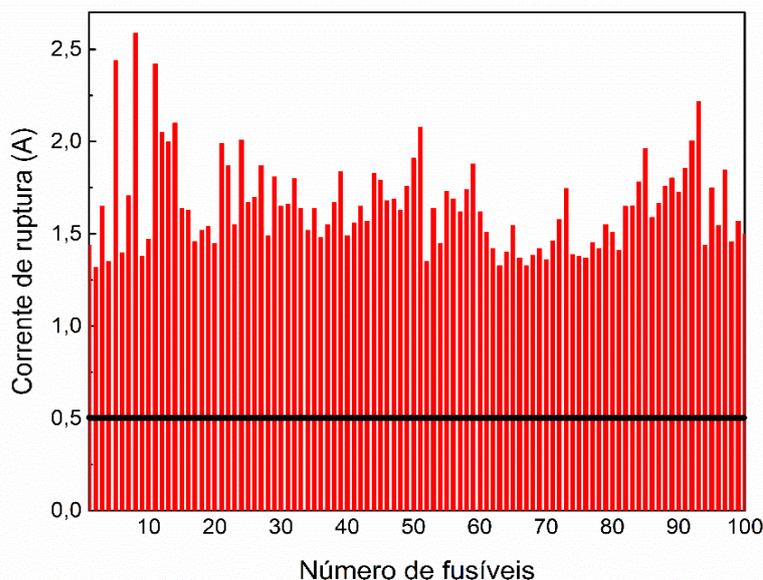
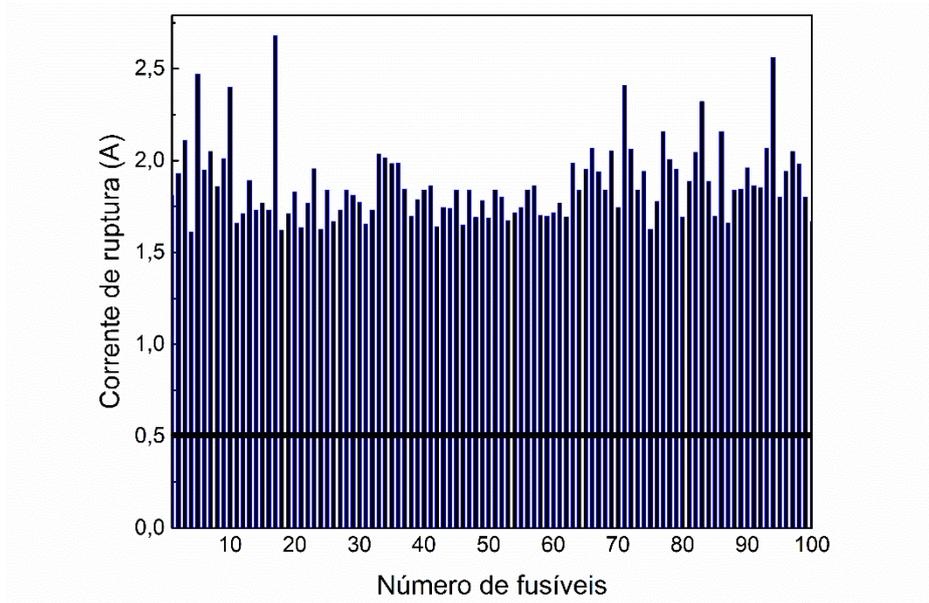


Figura 6: Corrente de ruptura de uma série de fusíveis com corrente alternada, em que se observa que o valor da corrente nominal (0,5 A) não foi respeitado em nenhum caso.



Na Tabela 1 temos os valores médios da corrente de ruptura para as duas séries de medidas com os respectivos desvios padrão, que é uma medida que determina a dispersão dos valores em relação ao valor médio. A incerteza instrumental é de 0,01 A.

Tabela 1: valores médios da corrente de ruptura e desvio padrão das medidas

Corrente	Valor médio da corrente de ruptura (A)	Desvio padrão
Contínua	1,65	0,25
Alternada	1,87	0,21

Na Tabela 2 temos os valores das incertezas do tipo A, B (instrumental) e C (combinada), sendo o resultado final das medidas expresso como o valor médio  $\pm$  a incerteza combinada.

Tabela 2: Incertezas do tipo A, B e C para as duas séries de medidas

Corrente	Incerteza do tipo A ( $\sigma_A$ )	Incerteza do tipo B ( $\sigma_B$ )	Incerteza do tipo C ( $\sigma_C$ )	Resultado final
Contínua	0,14	0,01	0,14	(1,65 $\pm$ 0,14) A
Alternada	0,11	0,01	0,11	(1,87 $\pm$ 0,21) A

Utilizando o teste denominado teste  $t$ , com o objetivo de avaliar a existência de um intervalo comum às medições, gerando uma confiabilidade estatística para a média de 95%, foi calculado o intervalo de confiança de cada medida através da Equação 8:

$$t_{N-1} = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{N}}} \quad (8)$$

em que:  $N$  é o número de réplicas dos experimentos;  $\bar{x}$  é a média amostral;  $\mu$  é a média;  $s$  é o desvio padrão obtido;  $t_{N-1}$  é o valor da distribuição  $t$  com  $N-1$  graus de liberdade (HUNTER *et al.*, 1978, MCCALL, 1990, DEVORE, 1995). Os resultados obtidos indicam que são estatisticamente diferentes, com confiança de 95%, tanto para a série de medições com corrente contínua, quanto com a série de medições com corrente alternada.

#### 4 CONCLUSÕES

Foram realizadas uma série de medidas quantitativas em fusíveis de proteção visando verificar se eles estão em conformidade com as normas exigidas pela metrologia industrial e legal.

Independentemente do tipo de fusível, a sua função básica é a proteção do sistema no qual o mesmo está inserido. Sob esta ótica, através da análise de um conjunto de 200 medidas, foi possível concluir que os resultados estão muito acima dos valores esperados para a corrente nominal máxima especificada pelo fabricante, que é de 0,5 A, podendo exceder esse valor em até 20%, ou seja, a corrente de ruptura não pode ultrapassar 0,6 A. No circuito com corrente contínua, a média dos valores foi de  $(1,65 \pm 0,14)$  A, o que significa 230% acima do valor nominal (valor projetado pelo fabricante) e no circuito de corrente alternada, obteve-se  $(1,87 \pm 0,21)$  A, o que equivale a 274% acima do valor especificado.

Os resultados demonstraram que todos os fusíveis estudados, e que representam uma amostragem metrologicamente significativa da qualidade da linha de produção da empresa fornecedora, estão com capacidade acima da corrente nominal para que foram projetados, o que poderá ocasionar sérios problemas aos circuitos que deveriam proteger e, em casos mais extremos, culminar com a perda total do equipamento e até mesmo causar explosões e incêndios, cabendo aos órgãos de fiscalização competentes um controle mais efetivo dos lotes que se encontram no mercado disponível aos consumidores, ressaltando a importância da metrologia na *fiscalização e investigação* das especificações de produtos comercializados frente às normas vigentes.

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, A; SOUSA, A. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. Segunda Edição. São Paulo. Editora Manole, 2008.

TORREIRA, R. P. Instrumentos de Medição. São Paulo. Editora Hemus, 2004.

BALBINOT, A. Instrumentação e Fundamentos de Medidas. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2006.

INMETRO. Conceito de Metrologia. Disponível em: [ww.inmetro.rs.gov.br/cicmac/material\\_didatico/polig\\_conceito\\_metrologia.pdf](http://ww.inmetro.rs.gov.br/cicmac/material_didatico/polig_conceito_metrologia.pdf). Acesso em 23 jun. 2021.

AGOSTINHO, O. L. Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões. Editora Edgard Blucher, 2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física III: Eletromagnetismo. Rio de Janeiro. Editora LTC. 2012.

SILVA NETO, João Cirilo da. Metrologia e Controle Dimensional. 7ª tiragem, Rio de Janeiro. Editora Elsevier, 2012.

NTE - 022. Ajustes, aplicação e coordenação de equipamentos de proteção de sobrecorrentes da distribuição. Sistema de documentos normativos. Subsistema de normas técnicas. 2005.

NT 07-05-008. Metodologia de Proteção e Análise de Impacto no Sistema Elétrico, NT 07 05 008 - METODOLOGIA DE PROTEÇÃO E AISE. 2014.

HUNTER, W. G., HUNTER, J. S., BOX, G. E. P., Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building, New York, Ed. John Wiley and Sons, 1978.

McCALL, R. B., Fundamental Statistics for the Behavioral Sciences, New York, 5th ed., Ed. Harcourt Brace Jovanovich, 1990.

DEVORE, J. L., Probability and Statistics for Engineering and the Sciences, New York, 4th Ed. Wadsworth Publishing, 1995.

FERREIRA, ANTONIO CARDOSO; VALENÇA, GABRIELA OLIVEIRA; VALENÇA, SÍLVIO LEONARDO; SANTOS, COCHIRAN PEREIRA; SILVA, MÁRCIO HENRIQUE JACOB. Comparação de um material comercial sem especificações técnicas, em relação a um material padronizado, utilizando ensaio mecânico. Brazilian Journal of Development, publicado no v 6 ,n 12 p 90421 90436. 2020.

SILVA, ISMAEL FLORENTINO DA; VALENÇA, SILVIO LEONARDO; VALENÇA, GABRIELA OLIVEIRA. Desenvolvimento de procedimento prático para ensaio não destrutivo por ultrassom na raiz da solda. Brazilian Journal of Development, publicado no v 6 n 10 p 79210-79.220. 2020.