

CONCEPÇÃO DE UM RELÉ DE PROTEÇÃO DIGITAL EM ARDUINO UTILIZANDO UMA PLATAFORMA VIRTUAL

Beatriz Alves de Souza Gomes ¹
Alexandre Akira Kida ²

RESUMO

Os dispositivos de proteção são importantes e amplamente utilizados pois os circuitos elétricos são sujeitos às anormalidades. Este trabalho relata a concepção de um relé de proteção digital multifunção de baixo custo utilizando a plataforma Arduino, utilizando o simulador Tinkercad. O desenvolvimento da prototipagem viabilizou a apreensão e a construção do conhecimento científico de maneira remota, influenciando positivamente no âmbito educacional e na transposição das teorias para a prática, ainda que de forma virtual. No que tange o protótipo desenvolvido, foram implementadas as seguintes proteções: sobrecorrente (temporizada e instantânea), subtensão e sobretensão. Devido às limitações de componentes disponíveis no simulador, foi realizada uma abstração referente as grandezas medidas (tensão e corrente elétricas) da rede elétrica estudada. Resultados mostraram que o relé de proteção operou de forma adequada, no ambiente virtualizado, ao identificar as anormalidades no sistema.

Palavras-chave: Arduino, Plataformas Virtuais; Tinkercad.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um país pode ser avaliado por sua capacidade em gerar, transmitir e distribuir energia de forma segura e eficiente. Para que tudo ocorra desta maneira, são necessários estudos e simulações referentes à operação do sistema elétrico, principalmente no que tange a sua proteção em relação às falhas. Estas são resultado do contato (acidental ou não) de baixa impedância entre uma fase à terra ou entre fases. Como consequência, haverá fluxos indesejados de corrente elétrica de alta intensidade, que podem culminar em avarias como a perda de componentes, incêndios ou danos a vida humana (LIMA FILHO, 1997).

Para promover maior segurança, os dispositivos de proteção são amplamente utilizados, uma vez que a atuação dos mesmos se dá através do diagnóstico (relés de proteção) e desconexão (disjuntores) do sistema elétrico sob perturbação (ZAPATA;

¹ Estudante do Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, campus Jacobina – BA, beatrizasg02@gmail.com;

² Professor orientador: Mestre em Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, campus Jacobina – BA, alexandre.kida@ifba.edu.br.

MEJÍA, 2003). Este trabalho foca nos relés de proteção, que objetivam detectar uma anormalidade do sistema (por ex.: sobrecorrente, sobretensão, sobre frequência etc.) e assim, enviam um sinal para a atuação do disjuntor, isolando o circuito elétrico.

Os relés de proteção se diferenciam por seus aspectos construtivos, podendo ser classificados como eletromecânicos ou digitais. Os eletromecânicos são pioneiros, possuem predominância de movimentos mecânicos oriundos de acoplamentos elétricos e magnéticos (COTOSCK, 2007). Atualmente, os relés eletromecânicos estão sendo substituídos pelos digitais. Suas principais vantagens estão no maior ajuste de parâmetros, comunicação interna remota, lógica definida pelo usuário e funções de proteção. Sua utilização é sinônimo de qualidade e integração com novas tecnologias (MANASSERO JUNIOR, 2016), onde o inovador é também o mais seguro.

Sendo assim, este artigo relata o desenvolvimento remoto e de um relé de proteção digital, utilizando Arduino no simulador virtual Tinkercad³. Desta forma, procura-se consolidar os conceitos de programação e eletrônica por meio de protótipos, assumindo uma abordagem ativa no processo de ensino-aprendizagem. O uso de simulador virtual viabiliza ensaios remotos similares aos processos *in loco*, com segurança, baixo custo e processos educativos mais completos (MENDES; FIALHO, 2005, p. 8).

METODOLOGIA

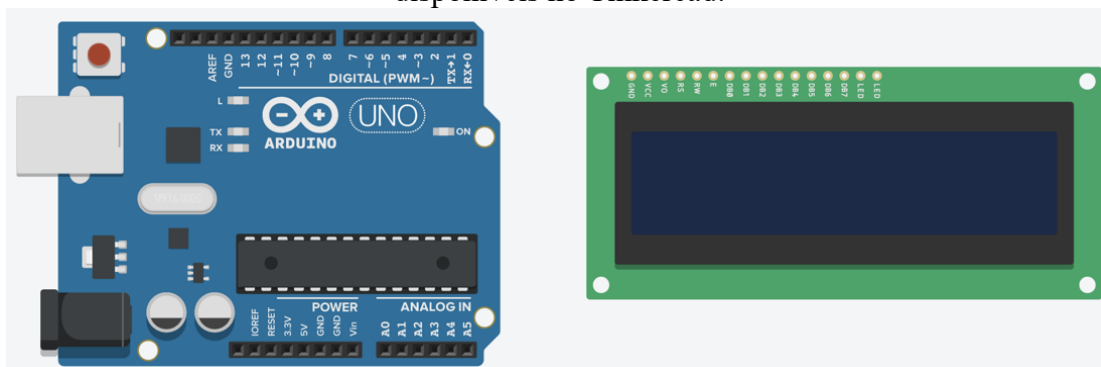
A primeira etapa foi escolher os componentes eletrônicos disponíveis no Tinkercad. Essa plataforma gratuita permite a simulação e modelagem em 3D de tarefas outrora desenvolvidas em laboratório sem comprometer o desenvolvimento do projeto, oferecendo os componentes necessários e espaço para programação, onde é implementado o funcionamento através de postulados físicos e linguagem C/C++.

Foi utilizado um Arduino UNO R3, apresentado na Figura 1, que consiste numa placa com atuação semelhante a um microprocessador, otimizando recursos eletrônicos e permitindo diversas aplicações aliadas a linguagem C/C++ (CAMPOS, 2014). Esta placa possui um microcontrolador Atmega328, sendo uma das opções mais utilizadas no mercado devido ao seu excelente custo-benefício, tendo 14 pinos de entrada/saída digitais, 6 entradas analógicas, um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB,

³ <http://www.Tinkercad.com>.

uma entrada de realimentação e um botão com a função *reset*. Cada pino opera a 5 V. O LCD utilizado possui 16 colunas e 2 linhas, tendo uma escrita branca e *backlight* azul, possuindo controlador HD44780, utilizado em larga escala na indústria de interface. Além destes, cabos conectores, potenciômetros, resistores, botões e placa de *protoboard* garantem o funcionamento e a conexão entre os componentes.

Figura 1: Arduino UNO R3 (à esquerda) e Display LCD 16x2 (à direita) virtuais, disponíveis no Tinkercad.



Fonte: elaborado pelos próprios autores no Tinkercad, 2021.

A segunda etapa foi a abstração dos parâmetros da rede elétrica (tensão da rede e corrente de carga) por meio de uma fonte CC de 5 V e dois potenciômetros (P1 e P2). Cada potenciômetro fornecia um sinal em corrente contínua (CC) de 0 a 5 V - ajustável pelo usuário - nas entradas analógicas A1 e A2 do Arduino. Desta forma foi possível simular tensão da rede (P1) e a corrente de carga (P2).

Esta abordagem foi utilizada pois, em laboratório, foi possível extrair os valores eficazes da tensão de rede e da corrente de carga utilizando um sensor de tensão CA (ZMPT101B); um sensor de corrente não-invasivo (SCT-013); circuito de condicionamento de sinal; e as funções `emon.calcIrms()` e `emom.Vrms()`, pertencentes à biblioteca `Emon.lib`. Esta, integra o projeto *Open Energy Monitor*⁴, uma iniciativa *open source* (tradução direta do inglês: código aberto) e distribuição gratuita que visa facilitar o desenvolvimento de projetos de monitoramento de sistemas de energia elétrica. Com abstração dos parâmetros da rede, este trabalho focou no desenvolvimento da lógica (programação) após a aquisição dos valores eficazes de tensão e corrente, referentes ao circuito elétrico protegido.

⁴ <https://openenergymonitor.org>.

A terceira etapa foi constituída pela simulação da operação do relé de proteção, utilizando o *software* Tinkercad. Durante a simulação, a operação da proteção foi observada ao simular diferentes condições anormais de operação (sobrecargas, subtensão e sobretensões) ao variar P1 e P2. Uma lâmpada foi ligada em uma das saídas digitais do Arduino e tem como objetivo indicar a atuação do relé de proteção. Vale ressaltar que na prática, esta saída acionaria um circuito para desarmar o disjuntor correspondente.

REFERENCIAL TEÓRICO

O protótipo desenvolvido neste trabalho objetiva a proteção de circuitos elétricos contra anormalidades do tipo sobrecorrente, subtensão e sobretensão, que podem causar danos irreversíveis aos equipamentos caso não sejam eliminadas.

A proteção de sobrecorrente atua para evitar que a corrente elétrica em um determinado circuito seja maior do que valores preestabelecidos. A atuação ocorre quando a corrente monitorada atinge um valor igual ou próximo à corrente de partida, previamente dimensionada.

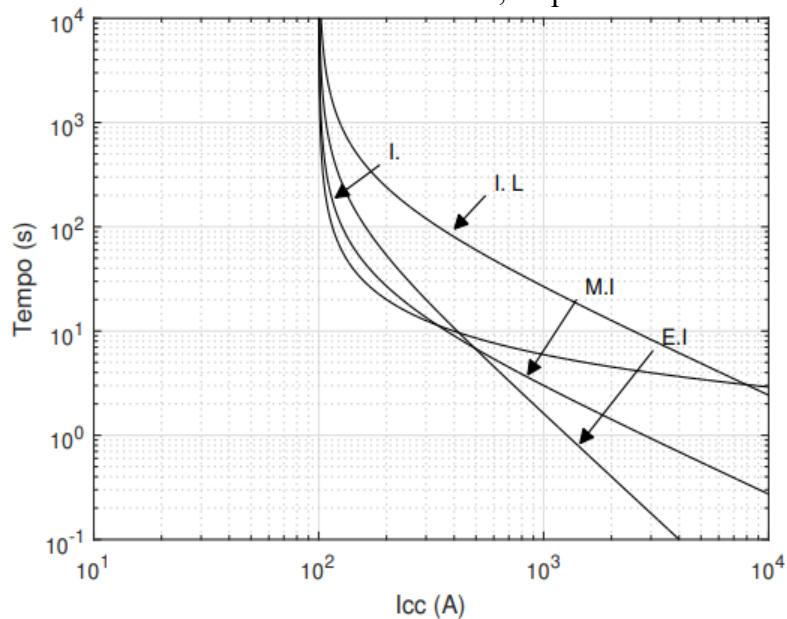
A *American National Standards Institute* (ANSI) padroniza números que estão relacionados às funções de proteção. No caso da sobrecorrente, a proteção pode ter atuação instantânea (ANSI 50) e/ou temporizada (ANSI 51).

A unidade instantânea possui dois parâmetros: corrente mínima e tempo de disparo. Já a unidade temporizada possui três tipos de ajustes: corrente de partida, ajuste de tempo (Dial) e curva de atuação. Esta unidade é e tempo inverso, ou seja, seu tempo de atuação (T) é inversamente proporcional à intensidade da corrente monitorada (I), no qual a equação (1), conforme norma da *International Electrotechnical Commission* (IEC), rege seu funcionamento, de acordo com a Figura 2.

$$T = \frac{Dial \cdot A}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^N - 1} \quad (1)$$

onde que, T – tempo de atuação do relé; Dial – ajuste de tempo; I – corrente monitorada; I_p – corrente de partida; A e N – constantes relacionadas com o tipo da curva. Neste trabalho, foram utilizadas curvas IEC do tipo Inversa, onde $A = 0,14$ e $B = 0,02$.

Figura 2: Família de curvas do temporizadas do tipo IEC, com Dial = 2 e $I_p = 100$ A, sendo que I., I. L, M.I e E. I correspondem às curvas Inversa, Inversa Longa, Muito Inversa e Extremamente Inversa, respectivamente.



Fonte: **KIDA, A. A., 2016.**

As variações (redução e/ou elevação) de tensão podem comprometer o funcionamento adequado e o isolante de equipamentos eletroeletrônicos. Nesse sentido, as proteções contra sub e sobretensão devem atuar de forma a desconectar o circuito elétrico da rede, uma vez que a anomalia tenha sido detectada. Para os relés de sobretensão, o disparo é usualmente ajustado de 20% até 50% acima da tensão de nominal de fornecimento, conforme equação (2). A função ANSI 59 refere-se à proteção contra sobretensão.

$$V_{59} \geq (1 + K_{59}) V_n \quad (2)$$

onde V_{59} é o valor de tensão na qual a proteção contra sobretensão atua, K_{59} é uma constante referente ao percentual de sobretensão máxima permitida e V_n - tensão nominal da rede elétrica.

A proteção contra subtensão corresponde à função ANSI 27. Sua atuação ocorre quando a tensão cai abaixo do limite aceitável de operação, conforme a equação (3).

$$V_{27} \leq K_{27} V_n \quad (3)$$

onde V_{27} é o valor de tensão na qual a proteção contra subtensão atua, K_{59} é uma constante referente ao percentual de subtensão mínima permitida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste projeto foi proposto um tipo de sistema de identificação de anomalias elétricas pelo Arduino, através de variáveis que correspondem às situações reais, com um esquema de ligações simples e fácil de ser transposto para o âmbito real. A confiabilidade e precisão, características desejáveis aos circuitos eletrônicos (URDANETA; NADIRA; PEREZ, 1988), foram o ponto de partida do projeto em questão. A Figura 3 apresenta a saída no monitor serial e no LCD, referentes às grandezas de corrente (I, I1) e tensão (V, V1) interpretadas pelo Arduino para um certo ajuste de P1 e P2.

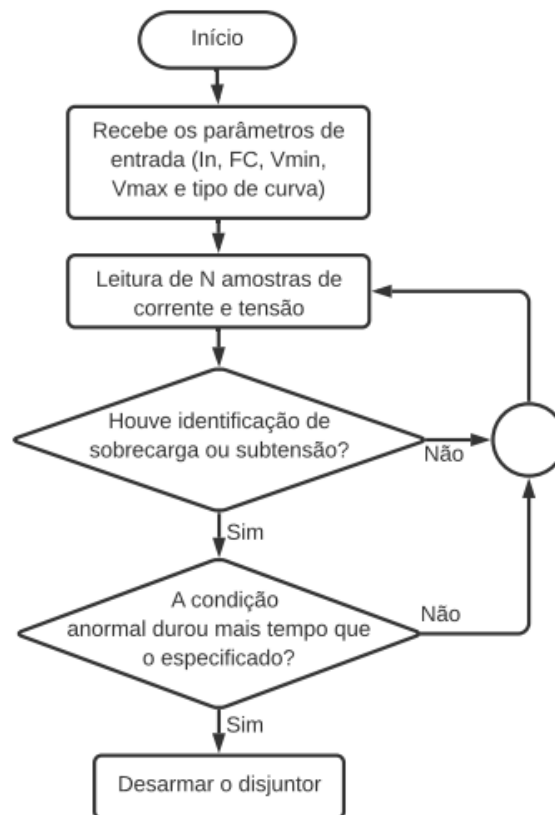
Figura 3. Valores obtidos no *monitor serial* (à esquerda) e LCD (à direita) do protótipo com referência simulando uma rede de 30,01 A e 221,99 V.



Fonte: elaborado pelos próprios autores no Tinkercad.

De forma sucinta, a rotina implementada consiste em receber os parâmetros de entrada, realizar a leitura das amostras referentes aos sinais de tensão e corrente e identificar sobrecarga, sobre e subtensão, conforme o fluxograma ilustrado na Figura 4. Caso uma anomalia seja detectada e permanece por um tempo maior do que o preestabelecido, o relé de proteção atua (identificado pelo acendimento da lâmpada

Figura 4. Fluxograma da rotina computacional implementada no Arduino

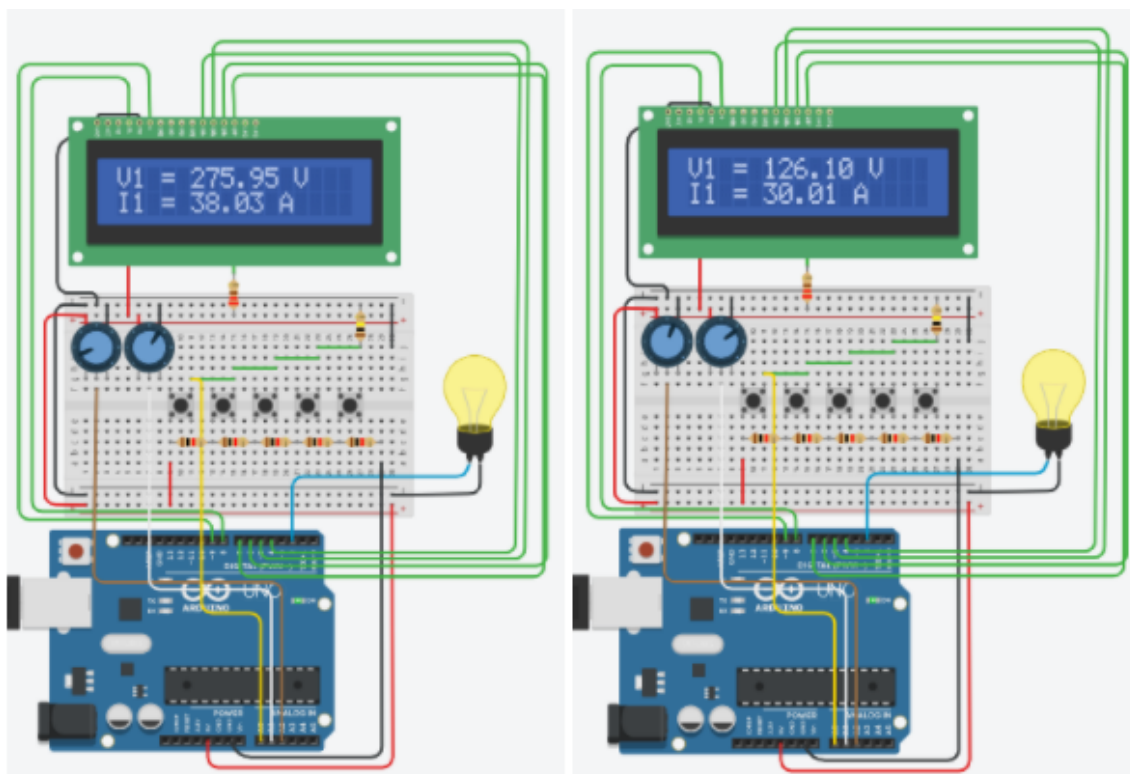


Fonte: elaborado pelos próprios autores.

Para o teste da atuação da sobretensão, utilizou-se a $K_{59} = 0,2$. Segundo a inequação (2), o valor máximo de sobretensão admitida é de 120% o valor nominal da tensão. Para uma rede de 220 V, significa que a proteção deve atuar para valores de tensão lidos maiores ou iguais a 264 V. Para o diagnóstico da sobretensão, efetuou-se um ajuste no potenciômetro conectado na entrada A2 do Arduino de forma que o mesmo identificasse a tensão de 275,95 V. Verificou-se que após um tempo predeterminado (variável Tempo59), o Arduino realiza o acionamento da lâmpada, utilizada como sinalizador, como indica a Figura 5.

A subtensão foi implementada de acordo com a inequação (3), considerando que $K_{29} = 0,8$. Assim, a subtensão mínima permitida é de 80% da tensão nominal. Para uma rede de 220 V, a proteção deve atuar quando a tensão for menor ou igual a 176 V. Caso a perturbação persista por um tempo maior que o predeterminado (Tempo29), o relé é realizou o disparo, como demonstrado a Figura 5.

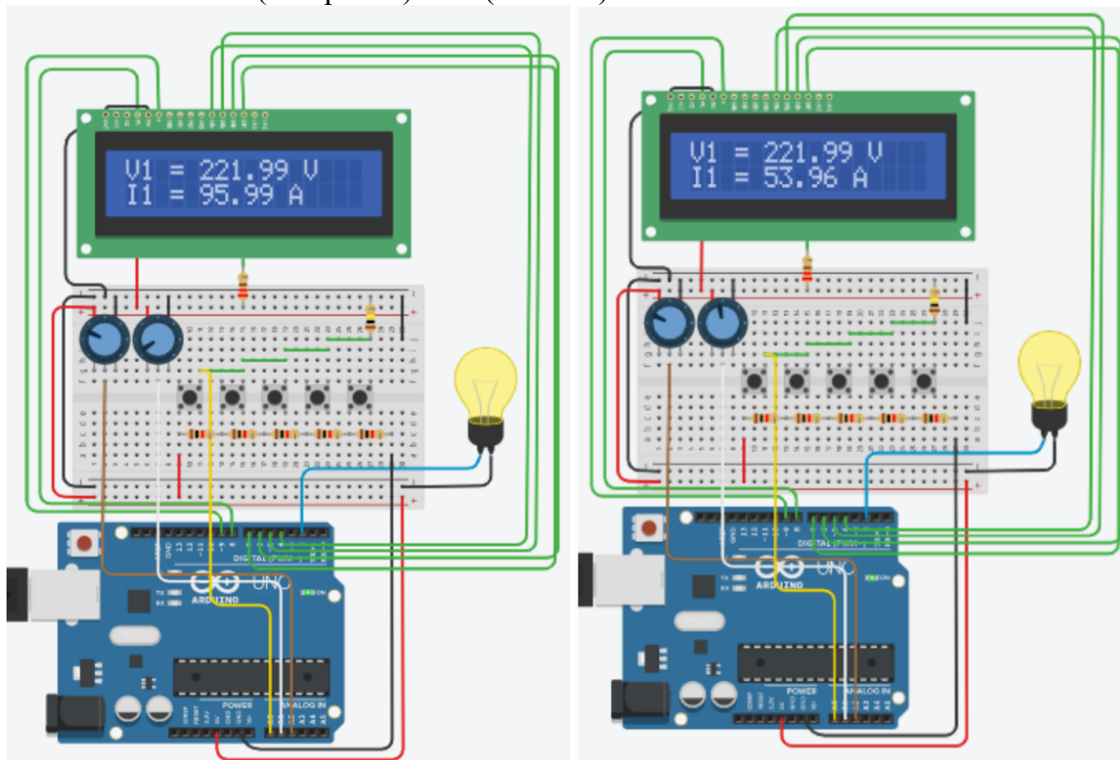
Figura 5. Acionamento da proteção (visualizado pelo acendimento da lâmpada) ANSI 59 (à esquerda) e 27 (à direita) frente à sobretensão e subtensão, respectivamente.



Fonte: elaborado pelos próprios autores no Tinkercad.

A atuação da proteção de sobrecorrente foi testada utilizando variando o potenciômetro conectado na entrada A1 do Arduino, possibilitando simular variações na corrente lida pelo dispositivo. Em relação a unidade instantânea, o valor da corrente de ajuste foi definido como 90.0A. Assim, quando a anomalia permanece por um tempo maior que o predeterminado (Tempo50), o relé atua como indica a Figura 6. Já em relação a unidade temporizada, o tempo de atuação é dado pela inequação (1), atuação depende do nível da corrente medida em relação à corrente de partida, onde $I_p = 50.0$, $Dial = 0,1$, $A = 0,14$ e $N = 0,02$. Resultados mostraram que o dispositivo de proteção atuou em aproximadamente 9,2 s, que é o tempo esperado para a corrente de 53,96 A.

Figura 6. Acionamento da proteção (visualizado pelo acendimento da lâmpada) ANSI 50 (à esquerda) e 51 (à direita) frente às sobrecorrentes.



Fonte: elaborado pelos próprios autores no Tinkercad.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de simuladores, como o Tinkercad, na concepção de protótipos com Arduino não substituiu a implementação prática - em bancada - do projeto. Mas, viabilizou o desenvolvimento do protótipo em tempos de distanciamento social e restrição de acesso aos laboratórios em algumas instituições de ensino. Desta forma, o uso da plataforma Tinkercad permitiu trabalhar de forma rápida (fácil usabilidade), remota, segura e gratuita.

Os resultados obtidos mostraram que foi possível adiantar uma parte significativa do projeto, faltando apenas a validação em bancada dos resultados obtidos pelo simulador.

Como trabalho futuro, sugere-se ainda a integração do relé de proteção digital com a rede (*wifi*, *bluetooth* ou *ethernet*), visando: 1) monitorar as grandezas (tensão e corrente) remotamente; 2) obter um diagnóstico remoto das falhas e atuações da proteção por meio de um servidor *web*; 3) modificar remotamente os ajustes das proteções.

REFERÊNCIAS

LIMA FILHO, D. L. Projetos de Instalações Elétricas Prediais. **Saraiva Educação SA**, 1997.

DA SILVA, G. C., KAMINSKI P. C. Selection of virtual and physical prototypes in the product development process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. v. 84, n. 5-8, p. 1513–1530, set. 2016.

MENDES, M. A.; FIALHO, F. A. P. Experimentação Tecnológica Prática a Distância. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, 12., 2005, Florianópolis. **Atas do XII Congresso Internacional de Educação a Distância**. Florianópolis: ABED, 2005. p. 1–10.

ZAPATA, C. J. e MEJÍA, G. E. (2003). Coordinación de Relés de Sobrecorriente en Sistemas Radiales Utilizando Programación Lineal. **Scientia Et Technica**, v. 22.

COTOSCK, K.R. Proteção de sistemas elétricos: uma abordagem técnico pedagógica. **Dissertação de mestrado**. UFMG – Belo Horizonte, 2007.

MANASSERO JUNIOR, GIOVANNI; DI SANTO, SILVIO GIUSEPPE; ROJAS, DANIEL GUTIERREZ. Fault location in series-compensated transmission lines based on heuristic method. **Electric Power Systems Research**, v. 140, p. 950-957, NOV 2016. Citações Web of Science: 3. (13/23117-0, 15/09867-2)

CAMPOS, R. A. F. Automação residencial utilizando Arduino e aplicação web. Brasília, 2014. 85 p. **Tese de conclusão de curso**. UNICEUB – Brasília, 2014.

KIDA, A. A. Metodologias para a Coordenação de Relés de Sobrecorrente Utilizando Técnicas de Otimização Matemática. Paraná, 2016. **Dissertação de mestrado**. UEL – Londrina.

URDANETA, A. J.; NADIRA, R.; PEREZ, L. G. Optimal coordination of directional overcurrent relays in interconnected power systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 3 n 3, n. 3, p. 903–911, 1988. ISSN 08858977.