



APLICATIVO PARA O APRENDIZADO DE PARAMETRIZAÇÃO DE RELÉS DIGITAIS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.5017

Autores: YVES CLEMENTE DANTAS REIS, WASHINGTON LUIZ ARAUJO NEVES, GUSTAVO PIRES NÓBREGA DE QUEIROZ, JALBERTH FERNANDES DE ARAUJO

Resumo: O artigo discute a importância de parametrizar corretamente os relés digitais para garantir a confiabilidade do sistema elétrico, destacando casos de falhas significativas no Sistema Interligado Nacional Brasileiro. Examina os custos das interrupções no fornecimento de energia para diferentes tipos de consumidores e a necessidade de proteção do sistema elétrico. Propõe o desenvolvimento de um aplicativo educacional para facilitar o aprendizado sobre a parametrização de relés, detalhando a metodologia de desenvolvimento, a escolha da linguagem de programação (Python) e a implementação da funcionalidade dos relés. O artigo apresenta os resultados do aplicativo, incluindo a interface gráfica e a visualização das curvas de operação dos relés, concluindo que o aplicativo pode ser uma ferramenta promissora para o ensino da parametrização de relés, proporcionando uma compreensão mais acessível e prática desses dispositivos.

Palavras-chave: relés, educação, aplicativo, parametrização.

APLICATIVO PARA O APRENDIZADO DE PARAMETRIZAÇÃO DE RELÉS DIGITAIS

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica tornou-se, juntamente aos transportes, telecomunicações e água e saneamento, um dos pilares sobre os quais a sociedade moderna sobrevive e se desenvolve (Reis, 2021). De acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS), estima-se que a carga elétrica deverá evoluir para 84.695 MWmed (ONS, 2023). Assim, pode-se notar a importância não só das pesquisas acerca de sua geração, transmissão e distribuição, mas também, da necessidade de garantir a continuidade ininterrupta desse serviço.

Contudo, as falhas no Sistema Interligado Nacional (SIN), vão eventualmente acontecer, como foi o caso da perturbação ocorrida no dia 21 de março de 2018 às quinze horas e quarenta e oito minutos, quando devido a uma atuação indevida do disjuntor na subestação Xingu no Pará, a região Norte acabou por ficar com sobretensão nas suas linhas de transmissão e levaram a região Nordeste ao blecaute (ONS, 2018).

Outro exemplo mais recente, foi a ocorrência do dia 15 de Agosto de 2023 às oito horas e trinta e um minutos. Nesse dia, devido ao desempenho dos equipamentos elétricos em campo de diversos parques eólicos e fotovoltaicos, houve uma interrupção de 23.368 MW dos 67.607 MW que estavam sendo atendidos no momento — o que representava uma interrupção de aproximadamente 34,5% da carga total naquela hora. Tal perturbação, provocou a separação elétrica das Regiões Norte e Nordeste das demais regiões (ONS, 2023).

Os custos das interrupções de fornecimento de energia elétrica podem ser divididos em: a) custo financeiro; b) custo social ao cliente; c) custo social com a imagem da concessionária junto aos seus clientes (Filho; Mamede, 2020).

Outrossim, ainda existem diversos custos para os serviços essenciais: nas escolas, as aulas são canceladas, impactando diretamente na continuidade do aprendizado; os hospitais que não tenham seus próprios geradores ficam incapazes de realizar exames de rotina, o que compromete a saúde total dos pacientes internos; nos mercados, o desligamento de refrigeradores acarreta na perda de alimentos; assim como a segurança pública é afetada por falta de iluminação.

Ademais, existem diversas formas de subdividir os clientes, uma forma comum é fazê-lo em quatro grupos: a) residenciais; b) industriais; c) comerciais; d) outros (SINAPSIS, 2016). Somente assim, é possível mensurar de fato o custo para cada uma das partes envolvidas.

Pode-se observar esses custos separados por tipos de consumidores nos Quadros 1, 2 e 3.

Quadro 1 – Custo das interrupções para consumidores industriais em US\$/MWh.

Horário	Duração (minutos)			
	$0 \leq D \leq 3$	$3 \leq D \leq 15$	$15 \leq D \leq 30$	$30 \leq D \leq 60$
0 - 8	2,87	1,23	1,07	0,90
8 - 18	2,73	1,26	1,20	0,95
18 - 24	2,80	1,14	1,06	0,83

Fonte: Filho; Mamede, 2020.

Quadro 2 – Custo das interrupções para consumidores residenciais em US\$/MWh.

Custos das Interrupções em US\$/MWh Consumidos	
Início (horas)	Custos
0 - 8	0,70
8 - 18	1,30
18 - 24	1,80

Fonte: Filho; Mamede, 2020.

Quadro 3 – Custo das interrupções para consumidores comerciais em US\$/MWh.

Horário	Duração (minutos)			
	$0 \leq D \leq 3$	$3 \leq D \leq 15$	$15 \leq D \leq 30$	$30 \leq D \leq 60$
0 - 8	0,98	1,83	2,80	2,55
8 - 18	1,83	3,16	4,25	4,76
18 - 24	1,81	3,03	3,92	3,76

Fonte: Filho; Mamede, 2020.

É fundamental destacar que os custos das interrupções para os consumidores industriais variam de acordo com a natureza da atividade industrial em questão. Como apresentado no Quadro 1, esses custos diminuem à medida que a interrupção persiste, sendo mais acentuada a redução entre 30 e 60 minutos. Após a primeira meia hora, os custos tendem a se estabilizar, pois é nesse período inicial que ocorrem as maiores perdas de produção, muitas vezes resultando em danos irreparáveis aos produtos (Filho; Mamede, 2020).

Certas indústrias, como a de tecelagem e a de cimento, sofrem perdas de produção independentemente da duração da interrupção, especialmente nos primeiros 30 minutos. Esses setores geralmente requerem um tempo significativo para recuperar seu ritmo de produção. Por exemplo, as indústrias têxteis normalmente retomam sua produção normal cerca de 3 horas após reiniciar os procedimentos operacionais. Já na indústria de cimento, esse período pode se estender até 5 horas (Filho; Mamede, 2020).

No Quadro 2, é possível observar os custos para clientes residenciais, onde no horário de 18-24 possui o custo mais elevado, tendo em vista que é o horário onde a maioria das pessoas encontram-se em suas residências. Isso, pode causar tanto custos financeiros quanto sociais.

Baseado nesses custos, no Quadro 3 é possível observar que os custos comerciais em dólares por megawatts começam maiores para consumidores industriais. Contudo, crescem continuamente para consumidores comerciais.

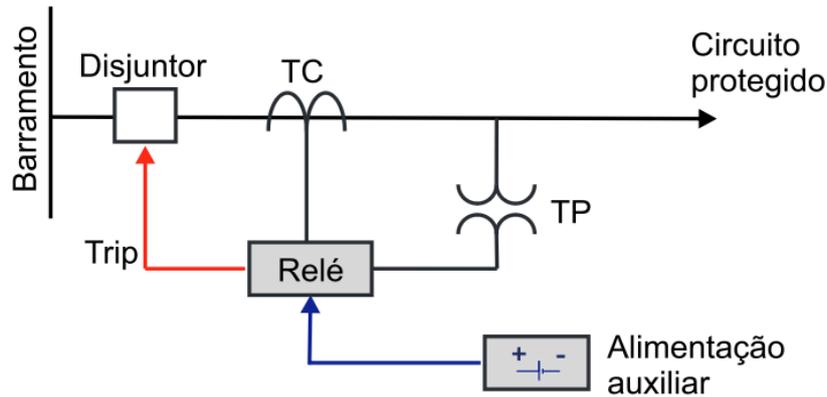
Dessa forma, fica claro que realizar a proteção dos sistemas de energia torna-se essencial para evitar elevados custos e a paralisação de serviços essenciais. Para isso, existem os sistemas de proteção de energia elétrica.

Os sistemas de proteção de energia elétrica são definidos como o conjunto de dispositivos e acessórios projetados para proteger contra curtos-circuitos, também conhecidos como falhas, e outras condições operacionais anormais em componentes do sistema elétrico (ONS, 2008).

O princípio de funcionamento desse sistema pode ser resumido da seguinte maneira: inicialmente, os transformadores para instrumentos (transformadores de corrente

- TC e transformadores de potencial - TP) reduzem as amplitudes da corrente e tensão, respectivamente, para níveis aceitáveis de leitura e acesso seguro. Em seguida, essas informações são enviadas ao relé, que as processa. Se os valores das grandezas excederem os limites pré-definidos, os contatos do relé são fechados, energizando a bobina de abertura do disjuntor com uma fonte auxiliar. Posteriormente, os contatos principais do disjuntor são abertos. Esse esquema básico e típico pode ser melhor observado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema Básico de um Sistema de Proteção.



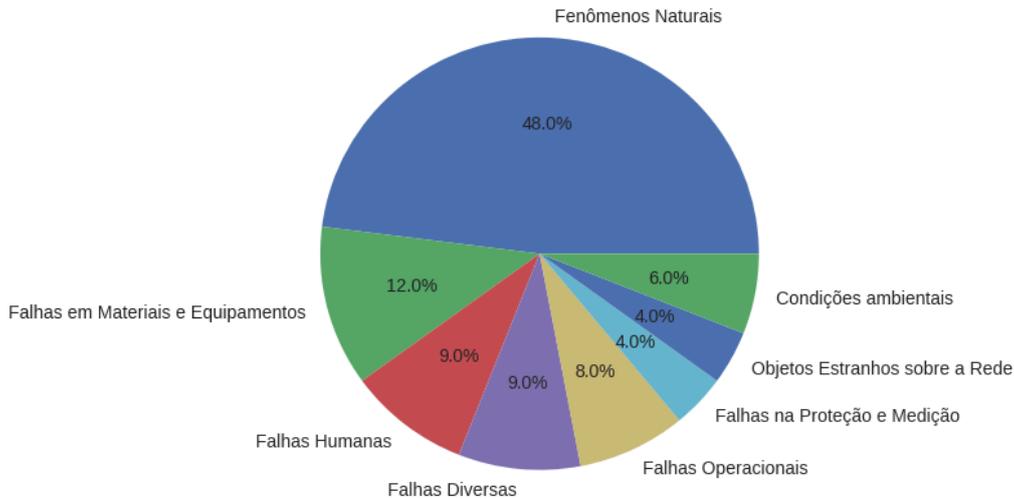
Fonte: LIMA; MEIRA; BRITO; DANTAS, 2020.

Baseado nisso, é possível observar que o relé é responsável por todo o processamento das informações e é o tomador de decisão desse sistema. Assim, esses dispositivos essenciais, estão sendo construídos com cada vez mais funcionalidades e por diversos fabricantes, de forma que a parametrização deste equipamento pode-se mostrar complicada e induzir ao erro.

Parametrizar relés refere-se ao processo de configurar e ajustar os parâmetros operacionais de um relé para atender às necessidades específicas de uma aplicação ou sistema elétrico. Isso pode incluir a definição da sensibilidade do relé, o ajuste dos níveis de corrente ou tensão de atuação, a configuração dos tempos de resposta e de desligamento, entre outros aspectos. A parametrização é crucial para garantir que o relé opere corretamente e de forma confiável dentro do contexto em que está sendo utilizado, adaptando-se às condições e requisitos específicos do sistema elétrico em que está inserido.

Outrossim, ainda foi possível identificar as principais causas que ocasionam interrupções, sendo elas: fenômenos naturais, falhas em materiais e equipamentos, falhas humanas, falhas diversas, falhas operacionais, falhas na proteção e medição, objetos estranhos sobre a rede, condições ambientais os quais as suas estatísticas de interrupções podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 – Principais Causas das Interrupções.



Fonte: FILHO; MAMEDE, 2020.

Na Figura 2 é possível verificar que as falhas humanas e na proteção e medição, são responsáveis por 42% do total de interrupções, podendo ser até responsáveis por grandes apagões com custos elevados. Para superar essas dificuldades, é necessário entender o funcionamento do equipamento, e mais ainda, como parametrizá-lo para que este esteja de acordo com os parâmetros que são requisitados. Ainda mais importante, é apresentar esse conteúdo de forma prática para evitar possíveis erros de configuração.

Neste cenário, um aplicativo que consiga ensinar de forma prática como parametrizar os equipamentos de proteção, torna-se não só benéfico, mas necessário. O objetivo geral deste artigo é apresentar um aplicativo de caráter educacional que pode ter impactos reais no aprendizado de parametrização de relés para minimizar os erros humanos e os erros relativos à proteção de sistemas elétricos (SE).

2 METODOLOGIA

Para desenvolver o aplicativo, foi-se pensado inicialmente numa versão demo, uma abordagem simplificada, possibilitando assim que qualquer pessoa com um conhecimento mínimo sobre o funcionamento do relé possa utilizar e aprender algo com o seu uso, desde que haja previamente o conhecimento do que seria a curva do relé e como ela deve atuar.

A metodologia deste trabalho pode ser dividida em cinco partes, representadas na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma da Metodologia Adotada.



Fonte: Dados do Autor, 2024.

2.1 Revisão bibliográfica sobre relés de proteção

A metodologia do trabalho começou com o estudo sobre os relés de proteção, como eles operam, suas funcionalidades, como funcionam suas curvas, as equações que o regem e como eles devem ser parametrizados.

Os relés possuem, por assumirem um papel tão importante no sistema de proteção de sistemas elétricos, diversas funções diferentes. Essas funções estão descritas na tabela do American National Standards Institute (ANSI).

As funções 50 e 51, representam: relé de sobrecorrente instantâneo e relé de sobrecorrente-tempo, respectivamente. Os equipamentos com essas funções, estão entre os mais comuns no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB). Essas funcionalidades destinam-se a responder a um fluxo de corrente que se exceda ao que estava previamente ajustado. Ademais, a proteção de sobrecorrente é a mínima que deve ser garantida, além de ser a mais barata de ser implementada (Filho; Mamede, 2020).

A razão da importância dessas funções é que, segundo a Norma de Distribuição Unificada 002 da Energisa, essas são as proteções mínimas exigidas por concessionárias, isso ocorre devido às funções 50/51 oferecerem proteção eficaz contra as condições de sobrecorrente, que representam uma das falhas mais comuns e potencialmente prejudiciais em sistemas elétricos.

Assim, o relé selecionado foi o URPE 6104, visto que é um relé muito utilizado na indústria, uma vez que ele possui somente as funções 50/51, sendo assim, mais barato que os relés que possuem mais tipos de proteção. Ademais, este relé é da marca Pextron, que já ganhou prêmios de qualidade para relés de proteção de média tensão, fazendo deste uma escolha atrativa no âmbito da qualidade e do preço.

A curva de operação desses relés é baseada em 6 parâmetros que devem ser previamente ajustados: a) corrente de partida; b) tipo da curva; c) dial de tempo; d) corrente definida; e) dial de tempo definido; f) corrente instantânea (Filho; Mamede, 2020).

O funcionamento básico dele é que, uma vez atingida a corrente de partida, ativa-se um temporizador que, caso a corrente não volte a baixar, e o limite de tempo (dial de tempo) seja atingido, o relé irá atuar desligando o sistema. Essa é a parte da curva temporizada. Em seguida, tem-se a parte da curva definida, que caso a corrente atinja o valor da corrente definida, o relé tem que atuar no dial de tempo definido, desligando o sistema. Ainda, tem-se a corrente instantânea, que caso a medição atinja esse valor, o relé deve atuar de forma instantânea, desligando o sistema. Por fim, tem-se o tipo de curva, que vai ditar as equações que regem a velocidade de atuação do dispositivo. Os tipos de curva de temporização mais comuns são: a) inversa; b) muito inversa; c) extremamente inversa; d) inversa longa (Filho; Mamede, 2020).

Assim, a função matemática que define o comportamento físico do equipamento varia de acordo com o tipo de curva buscada (Filho; Mamede, 2020). Para a curva temporizada, tem-se 5 tipos de curvas possíveis que podem ser vistas nas equações de 1 à 5, sendo elas, respectivamente: normalmente inversa, muito inversa, extremamente inversa, inversa longa, inversa curta.

$$T = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{0,02} - 1} \times T_{ms} \quad (1)$$

$$T = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^1 - 1} \times T_{ms} \quad (2)$$

$$T = \frac{80}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^2 - 1} \times T_{ms} \quad (3)$$

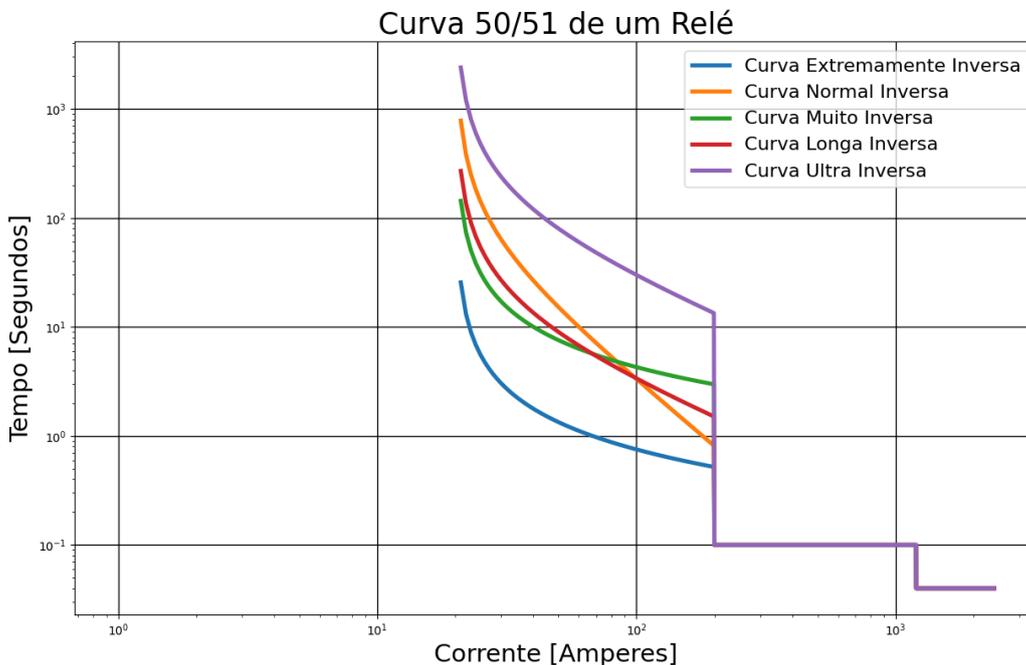
$$T = \frac{120}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^1 - 1} \times T_{ms} \quad (4)$$

$$T = \frac{0,05}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{0,04} - 1} \times T_{ms} \quad (5)$$

Onde, T é o tempo de operação, T_{ms} é o dial de tempo, I_{ma} é a corrente no circuito e I_{ac} é a corrente de partida ou de *pickup*.

Para a unidade de tempo definido, existe somente um tipo de curva, ela opera de forma que atingida determinada corrente, o relé terá um tempo definido para acionar a proteção. Por fim, tem-se a unidade de tempo instantânea que define que o relé deve acionar a proteção no menor tempo possível. Na Figura 5, é possível ver uma curva característica típica de um relé.

Figura 5 – Tipos de Curva do Relé 50/51.



Fonte: Dados do Autor, 2024.

2.2 Escolha da Linguagem de Programação

Para a escolha da linguagem de programação, fez-se uma análise sobre quais linguagens de programação poderiam ser utilizadas. Essa análise foi feita baseada em alguns fatores como custo, facilidade de uso, aplicabilidade para o problema a ser resolvido e também conhecimento prévio das possíveis linguagens de programação.

Assim, ao se analisar outras linguagens de programação, optou-se por Python. Sendo esta uma linguagem de programação com uma comunidade ativa, facilitando no desenvolvimento do aplicativo, além de possibilitar colaborações futuras de forma mais simples e apresentar diversas bibliotecas que podem aumentar a suas funcionalidades.

Neste caso, foram utilizadas diversas bibliotecas para implementar o aplicativo, como: Numpy, Matplotlib, CustomTkinter, Tkinter e PIL. É possível verificar, no Quadro 4, algumas das principais vantagens e limitações da linguagem previamente utilizada para a que foi de fato utilizada posteriormente:

Quadro 4 - Vantagens x Limitações das Linguagens Python.

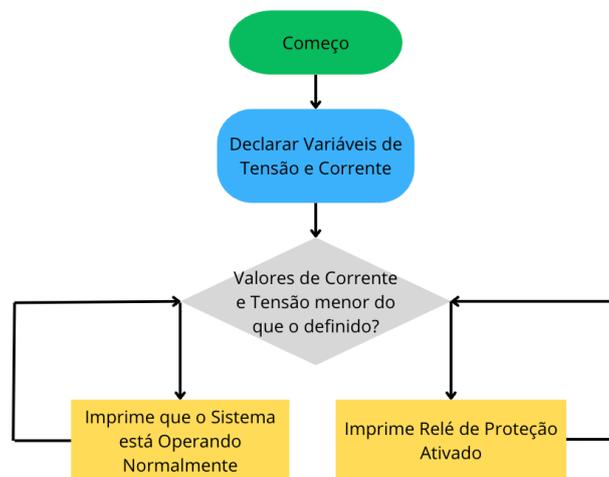
Python	
Vantagens	Limitações
Comunidade ativa, facilitando assim a resolução de problemas.	Não possui um programa com diversos tipos de aplicativos auxiliares.
Gratuito	Não é uma das linguagens mais rápidas de processamento.
Possui diversas bibliotecas que aumentam as possíveis funcionalidades da linguagem.	

Fonte: Dados do Autor, 2024.

2.3 Desenvolvimento das Funcionalidades do Relé

Após uma compreensão sólida do comportamento do dispositivo e da exploração de diversas linguagens, iniciou-se a implementação das funcionalidades que o dispositivo deveria ter. Foi desenvolvido um algoritmo simples para determinar se o relé havia sido ativado ou não, utilizando como base a corrente de curto-circuito fornecida pelo usuário, bem como a tensão. Assim, o algoritmo faz a comparação com os valores pré-definidos e caso os valores informados pelo usuário sejam maiores, o relé atua. O diagrama deste algoritmo pode ser encontrado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma da Versão Inicial do Aplicativo.



Fonte: Dados do Autor, 2024.

Na Figura 4, tem-se o fluxograma de um algoritmo que representa um sistema de proteção elétrica que monitora continuamente a corrente e a tensão de um sistema elétrico. Ele define limites de corrente e tensão, e se esses limites forem ultrapassados, um relé de proteção é ativado para desligar o sistema elétrico. Nesse caso, foi definido dentro do programa, uma corrente de 10 ampéres e 220 Volts.

2.4 Implementação da Curva Txl

Posteriormente, foi-se desenvolvido a representação gráfica dos dados que estavam sendo gerados, para que fosse possível ver em que momentos o relé estaria atuando e como aqueles parâmetros passados se apresentaram no funcionamento do equipamento. Esses dados representam as curvas do relé que são descritas pelo tempo (T) que o relé leva para atuar, para determinados níveis de corrente (I), formando assim a curva Txl. Para criar tal gráfico, foi utilizada a biblioteca Matplotlib.

Essa biblioteca, deu diversas opções que permitiram que a criação desse gráfico fosse facilitada, através das escalas logarítmicas, as legendas, o título, além de possibilitar a superposição de curvas numa mesma imagem. Todo esse procedimento foi feito, antes mesmo do desenvolvimento da interface gráfica, para que se pudesse ter um entendimento do que se estava sendo desenvolvido, especialmente no que tange à engenharia elétrica.

A Figura 5, que explicita as curvas características do relé, foi gerada através da implementação dessa curva. Nesta figura é possível observar as curvas geradas: extremamente inversa; normal inversa; muito inversa; longa inversa e ultra inversa.

2.5 Interface Gráfica

Por fim, foi-se desenvolvido a interface gráfica, para aumentar a interatividade com o usuário. Para geração da interface base, em primeiro lugar, veio o uso da biblioteca CustomTkinter, que foi escolhida por seus *designs* modernos, de fácil uso, tanto para o usuário, quanto para o desenvolvedor, assim como, é uma biblioteca de uso gratuito, permitindo que essa tecnologia tenha uma maior possibilidade de continuidade.

A primeira etapa, foi adicionar os campos de texto que permitiam a inserção dos parâmetros que o usuário deseja que seu relé opere, em seguida, um menu suspenso que mostrava as opções de curvas que poderiam ser escolhidas e por fim, o botão que pudesse gerar o gráfico, assim como reajustar a função do relé, para ser um método dentro da classe aplicativo, uma vez que os dados estariam vindo dessas caixas de texto.

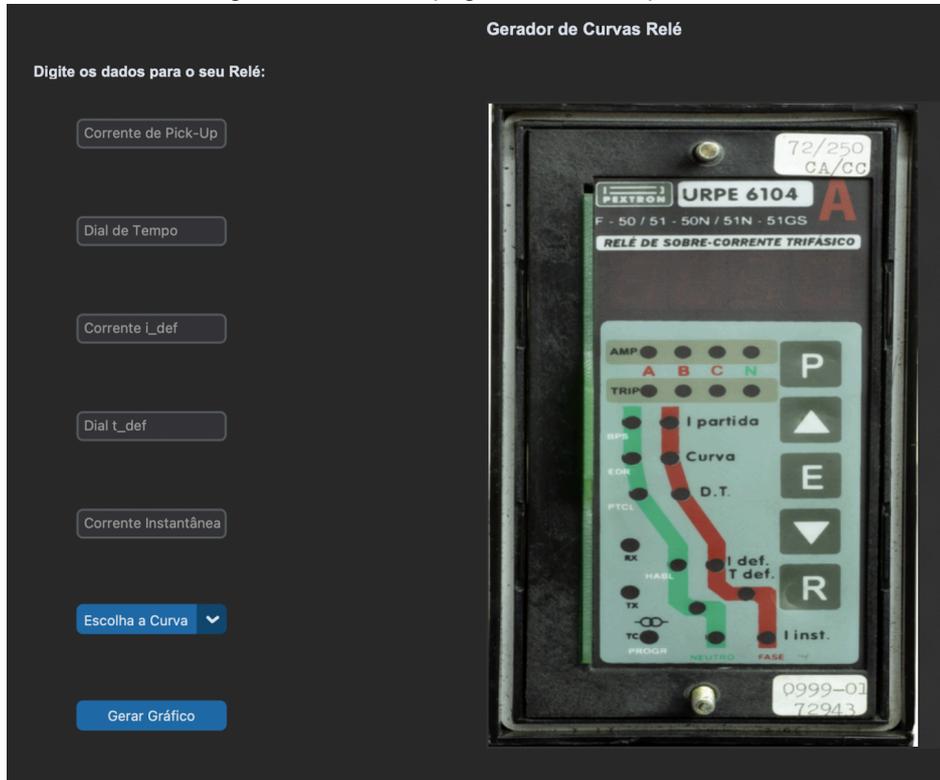
Contudo, o gráfico Txl ainda era gerado em uma janela separada da janela principal do aplicativo. Assim, para que esse gráfico pudesse ficar ao lado do campo dos parâmetros e de onde já se imaginava que estaria a foto do relé, foi-se utilizado a biblioteca Tkinter. Utilizando as funções nativas dessa biblioteca, foi possível incluir dentro da janela do aplicativo o gráfico gerado, sem perder a interface moderna gerada com a biblioteca CustomTkinter.

Por fim, a biblioteca PIL foi incluída no projeto, para que a foto do relé estudado ficasse ao lado dos campos de parâmetros, dando assim uma maior compreensão do que estava sendo realizado.

3 RESULTADOS

Pode-se observar na Figura 6 que ao executar o algoritmo é possível ver os 5 campos de parâmetros, um menu de opções, um botão de gerar gráfico e uma foto do relé URPE 6104.

Figura 6 – Foto da página inicial do aplicativo.

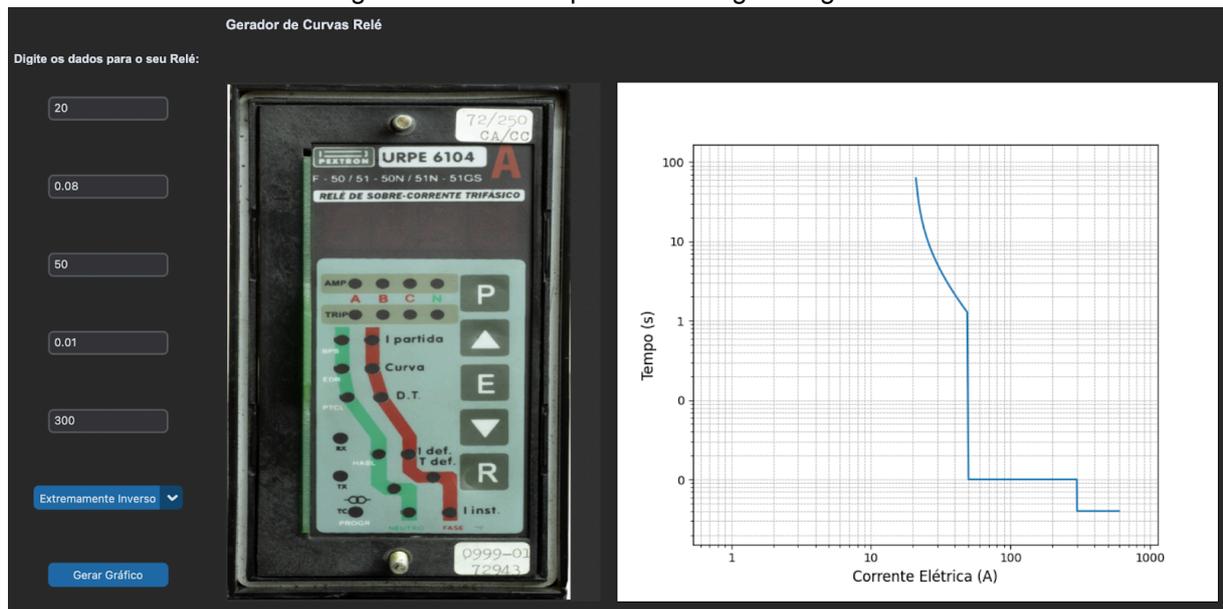


Fonte: Dados do Autor, 2024.

A Figura 6 contém a junção de todos os pequenos elementos, desde a atuação mínima do relé até a possibilidade da geração da curva característica do relé. O primeiro parâmetro é um campo que permite a inserção da corrente de partida, logo depois, tem-se o espaço de inserção do dial de tempo, em seguida um campo que permite definir a corrente definida, e logo após o dial de tempo definido. O último campo de texto é a corrente instantânea e por fim, tem-se um menu suspenso que permite escolher o tipo de curva que deseja se trabalhar. Dada essa construção, fica mais fácil inserir os parâmetros do relé, uma vez que só é necessário clicar na caixa que indica o que está sendo pedido e inserir o número em questão e por fim, pressionar o botão de gerar o gráfico.

Ao inserir dados condizentes com a possibilidade de atuação física do equipamento, selecionar um tipo de curva e pressionar o botão, é gerado um gráfico que condiz com o comportamento de como esse eletrônico responderia, caso parametrizado de tal maneira que pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Foto do aplicativo com gráfico gerado.



Fonte: Dados do Autor, 2024.

Na Figura 7, é possível ter uma visualização mais clara do acionamento do equipamento. Levando em consideração que o relé não apresenta uma tela para visualização da curva de acionamento, não é possível ver gráficos, assim, não é possível visualizar em que momento exato o equipamento está atuando. Com isso, esse aplicativo além de mostrar os parâmetros do relé, num aplicativo interativo — que é a principal forma de ser utilizada por estudantes —, também pode ser utilizado para que técnicos, engenheiros e estudantes em campo, para que possam visualizar a curva de parametrização sem a utilização do software integrado no relé.

Baseado nisso, é possível observar que as funcionalidades do aplicativo, como a visualização gráfica da curva do equipamento, a identificação dos componentes que geram e caracterizam tal curva, assim como possibilita alterar tais parâmetros e entender as alterações que isso ocasiona na proteção do sistema e por fim, modificar os tipos de curva e entender qual se adequa melhor às necessidades do projeto.

Como todo o processo de parametrização está dentro de um aplicativo que não depende de um maquinário caro para ser utilizado, o conhecimento fica mais acessível aos usuários e permite a individualização do processo de aprendizagem. Ademais, com essas funcionalidades em operação apresentadas de forma simples, além de um conhecimento prévio do que é o relé e de quais parâmetros constituem sua curva, já é possível compreender como esse dispositivo atua, como ele é e algumas de suas principais características. De forma que, através de repetições sucessivas além de, possivelmente, a ajuda de um professor, aplicar continuamente a parametrização dos relés. Assim, já indicando possibilidades de ser utilizado para o ensino da parametrização dos relés, para engenheiros, técnicos, eletricitas e estudantes.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que tal aplicativo mostra-se promissor, uma vez que este pode de fato ser utilizado como ferramenta auxiliar no aprendizado da parametrização de relés, além de permitir a visualização em campo da

curva de operação desse dispositivo. A seguir, algumas das conclusões obtidas através da pesquisa e de seus resultados:

- Uma vez que o aplicativo de demonstração foi criado em aproximadamente 6 meses, fica-se constatado que o desenvolvimento de um aplicativo que pode auxiliar no aprendizado de parametrização de relés e sua operação, não só é possível, mas viável;
- Devido a forma de construção do aplicativo, sendo utilizado campos de texto que indicam o que deve ser colocado e que podem ser acessados e alterados com o clique do *mouse*, ele se torna acessível para engenheiros, técnicos e profissionais da área que saibam apenas o funcionamento básico desse dispositivo e quais os seus parâmetros;
- Perspectivas Futuras: a) essa ferramenta pode ainda mostrar-se muito eficaz, por transformar um conteúdo relativamente denso, em um aplicativo de fácil manuseio; b) o aplicativo ainda precisa de mais construção para tornar-se mais interativo e possibilitar a configuração do equipamento através dos seus próprios botões; c) Sendo essa uma versão demo, ainda pretende-se investir em interatividade e educação tutorial.

REFERÊNCIAS

BARROSO, G. C.; SAMPAIO, R. F.; SOARES, J. M.; BEZERRA, H.; LEÃO, R. P. S.; MEDEIROS, E. B. **Desenvolvimento de Sistema de Treinamento em Proteção de Sistemas Elétricos em Ambiente Virtual de Aprendizagem**. Centro de Gestão de Tecnologia e Informação (CGTI), 2016. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/04/Desenvolvimento-de-Sistema-de-Treinamento-em-Protec%C3%A7%C3%A3o-de-Sistemas-Eletricos-em-Ambiente-Virtual-de-Aprendizagem.pdf>.

BING, JUSTIN LEE; RONG, YUE; GOPAL, LENIN; CHIONG, AND CHOO W. R. **Transceiver Design for SWIPT MIMO Relay Systems With Hybridized Power-Time Splitting-Based Relaying Protocol**. IEEE Access, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3032120.

ENERGISA. **Norma de Distribuição Unificada 002**. Cataguases: Energisa, 2019. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Documents/Normas%20técnicas/NDU%20002%20-%20%20Fornecimento%20de%20energia%20elétrica%20em%20tensão%20primária.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

FILHO, João Mamede; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 2. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2020.

GUEDES, Camila P. G.; ARAÚJO, Jalberth A.; SILVA, José do P. S.; COSTA, Edson G.; ALMEIDA, Genoilton J. C. **Estratégia para Melhoria do Aprendizado em Disciplinas com Laboratório**. Anais do XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2012. Disponível em: <https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/7/artigos/103878.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2024.

LIMA, R. C. D. L.; MEIRA, R. N. M.; BRITO, N. S. D.; DANTAS, K. M. C. **Análise de Ferramentas para o Ensino de Proteção de Sistemas Elétricos**. Anais do Simpósio

Brasileiro de Sistemas Elétricos 2020, 2020. Disponível em:
https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbse/article/view/2433/1747.
Acesso em: 9 abr. 2024.

PEXTRON. **Sobre a Empresa**. Disponível em:
<https://www.pextron.com/index.php/pt-br/empresa/sobre-a-pextron>. Acesso em: 9 abr. 2024.

ONS. **ONS ATUALIZA RESULTADOS DA ANÁLISE DA OCORRÊNCIA QUE AFETOU O NORTE E O NORDESTE**. 2018. Disponível em:
<https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20180506-analiseocorrenciaenorteenordeste.aspx>.
Acesso em: 1 fev. 2024.

ONS. **ONS ENTREGA MINUTA DO RAP AOS AGENTES ENVOLVIDOS NA OCORRÊNCIA DE 15 DE AGOSTO**. 2023. Disponível em:
<https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20230925-ONS-entrega-minuta-do-RAP-aos-agentes-envolvidos-na-ocorr%C3%Aancia-de-15-de-agosto.aspx>. Acesso em: 1 fev. 2024.

ONS. **PLANO DA OPERAÇÃO ENERGÉTICA 2023/2027 PEN 2023: RELATÓRIO DAS CONDIÇÕES DE ATENDIMENTO**. Rio de Janeiro: Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2023.

REIS, Lineu. **Geração de Energia Elétrica**. 3 ed. São Paulo: Editora Manole, 2021.

SINAPSIS. **Avaliação Dos Custos Relacionados Às Interrupções De Energia Elétrica E Suas Implicações Na Regulação**: Relatório 2 (versão final). 2016. Disponível em:
<https://antigo.mme.gov.br/documents/36144/472644/Produto+2.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2024.

APPLICATION FOR LEARNING DIGITAL RELAY PARAMETERIZATION

Abstract: *The article discusses the importance of correctly parameterizing digital relays to ensure the reliability of the electrical system, highlighting cases of significant failures in the Brazilian National Interconnected System. It examines the costs of power supply interruptions for different types of consumers and the need for electrical system protection. It proposes the development of an educational application to facilitate learning about relay parameterization, detailing the development methodology, choice of programming language (Python), and relay functionality implementation. The article presents the results of the application, including the graphical interface and the visualization of relay operation curves, concluding that the application could be a promising tool for teaching relay parameterization, providing a more accessible and practical understanding of these devices.*

Keywords: *relays, education, application, parameterization.*

