

DESENVOLVIMENTO DE SUPERVISÓRIO PARA LABORATÓRIO DIDÁTICO DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SDEE)

Lucas Moraes Marques
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Av. P. H. Rolfs, s/n, Campus UFV,
CEP: 36570-000, Viçosa, MG
lucas.m.marques@ufv.br

Tarcísio de Assunção Pizziolo
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Av. P. H. Rolfs, s/n, Campus UFV,
CEP: 36570-000, Viçosa, MG
pizziolo@ufv.br

André Luis Carvalho Mendes
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Av. P. H. Rolfs, s/n, Campus UFV,
CEP: 36570-000, Viçosa, MG
andre.mendes@ufv.br

Resumo—Este trabalho descreve a implementação de um Sistema Supervisório em um laboratório didático de um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE) na Universidade Federal de Viçosa. O sistema foi projetado utilizando um relé de proteção SEL 351 como dispositivo inteligente, proporcionando uma experiência de aprendizagem mais alinhada com a realidade de sistemas de distribuição de energia elétrica. A integração com o software Elipse SCADA permitiu o monitoramento em tempo real, o controle remoto e a coleta de dados, além da possibilidade de programar lógicas personalizadas. O trabalho explora a arquitetura do sistema, os ajustes realizados e os principais componentes empregados, sublinhando a relevância da supervisão e automação para a educação e prática em sistemas elétricos.

Index Terms—Supervisório, SEL 351, IED, Elipse, SCADA, SDEE, CLP

I. INTRODUÇÃO

Um Sistema Supervisório é uma plataforma tecnológica que centraliza informações provenientes de diversos dispositivos, permitindo a supervisão e controle eficiente de sistemas complexos [1]. Comumente utilizado em setores como automação industrial e infraestrutura, um Sistema Supervisório oferece aos operadores e engenheiros uma representação gráfica intuitiva do estado do processo, facilitando a tomada de decisões, o diagnóstico de falhas e a otimização do desempenho. Essa tecnologia desempenha um papel crucial na modernização e automação de sistemas, contribuindo para a eficiência operacional e a segurança em uma variedade de contextos industriais.

Dentre suas funcionalidades mais importantes, temos o monitoramento em tempo real, que permite aos operadores visualizar dados atualizados constantemente e identificar problemas imediatamente; o controle remoto, possibilitando ajustes e comandos aos dispositivos de campo diretamente da estação mestre; e a aquisição e registro de dados, que coleta e armazena informações históricas para análise futura. Além disso, esses sistemas dispõem de alarmes e notificações que alertam os operadores sobre condições anômalas ou perigosas,

e a geração de relatórios e análises gráficas, que ajudam na avaliação de desempenho e na tomada de decisões estratégicas.

Este projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de um Sistema Supervisório para uma planta de um laboratório didático de um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE). Esse laboratório está em desenvolvimento no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa (UFV).



Figura 1. Laboratório didático do SDEE

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Na aplicação de supervisórios é importante lembrar sobre a pirâmide da Automação Industrial, que pode ser vista na figura 2. Esse conceito divide o fluxo dos sistemas em 5 níveis com responsabilidades complementares, que vai desde o chão de fábrica (nível 1) até os gerentes de uma empresa (nível 5) [2]. Como o objetivo principal do projeto é criar um sistema supervisório, será abordado até o nível 3 da pirâmide, o qual engloba a supervisão de processos e interface homem-máquina.

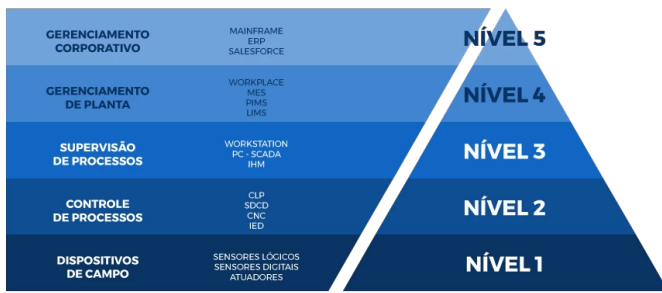


Figura 2. Pirâmide da Automação [3]

Nesse contexto, existe uma arquitetura muito comum na indústria conhecida como Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) [4], apresentada na figura 3. Normalmente, no nível 2 faz-se o uso de um Controlador Lógico Programável (CLP) para atuar como intermediário entre os dispositivos de campo (nível 1) e o sistema supervisão (nível 3).

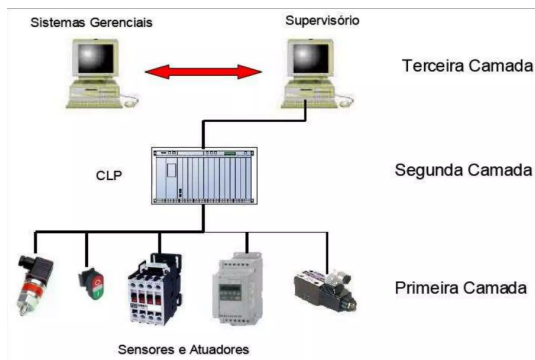


Figura 3. Arquitetura SCADA [5]

Este projeto aborda uma arquitetura diferente, onde o tradicional CLP é substituído por um relé de proteção SEL 351, utilizado como Intelligent Electronic Device (IED). A escolha do relé SEL 351 como elemento central do supervisão visa proporcionar aos estudantes uma experiência mais próxima da realidade operacional de sistemas de distribuição elétrica.

Seguindo a divisão da arquitetura em camadas, temos os seguintes componentes e suas funções no projeto:

A. Primeira Camada

1) *Transformadores de Distribuição*: A montagem possui dois transformadores trifásicos de distribuição da fabricante Sert. Os dados de placa indicam tensões de 13800/220V, potência de 15KVA, impedância de 3,22% a 75°C e enrolamentos em delta-estrela. Um deles é utilizado como abaixador, enquanto o outro elevador de tensão.



Figura 4. Transformadores de Distribuição

2) *Linha de Distribuição*: As linhas de distribuição do sistema foram simuladas por barras chatas de cobre maciço de dimensões 1/2 x 1/8 x 1m, com condução de corrente até 97A.



Figura 5. Linha de Distribuição

3) *Fonte Trifásica*: Como gerador do sistema temos um Varivolt Trifásico modelo T-3420 da fabricante Auje. Os dados de placa indicam tensão de alimentação de 220V, saída de 0-220/240V, frequência de 50/60 Hz, corrente de 20A e potência de 8,314 KVA [6].

4) *Transdutor de Corrente*: Para a leitura da corrente foi utilizado um Transdutor de Corrente modelo RMI da fabricante SECON. As especificações do dispositivo indicam tensão de alimentação de 220V e saída de 0 a 5V, com corrente nominal de entrada de 15A. Como recomendado pelo fabricante para medição de correntes de baixa amplitude, foi necessário várias voltas do condutor para amplificar o sinal a ser medido pelo transdutor [7].

5) *Transdutor de Tensão*: Para a leitura da tensão foi utilizado um Transdutor de Tensão modelo VMI da fabricante SECON. As especificações do dispositivo indicam tensão de

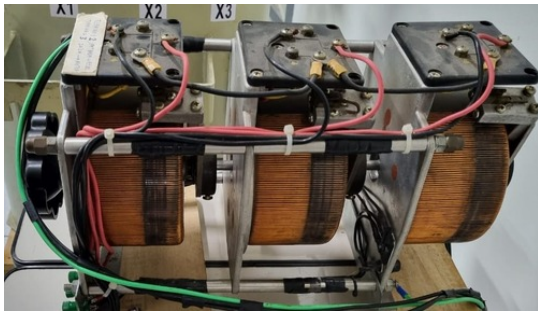


Figura 6. Fonte Trifásica

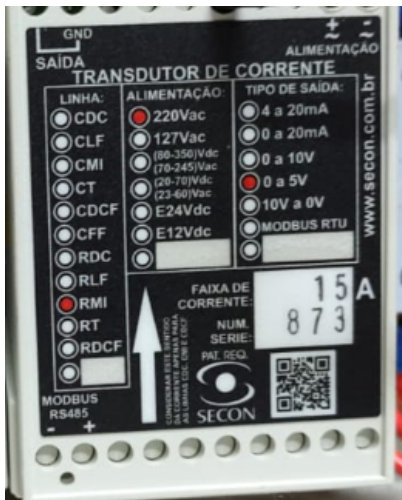


Figura 7. Transdutor de Corrente

alimentação de 220V e saída de 0 a 5V, com tensão nominal de entrada de 1000V [8].

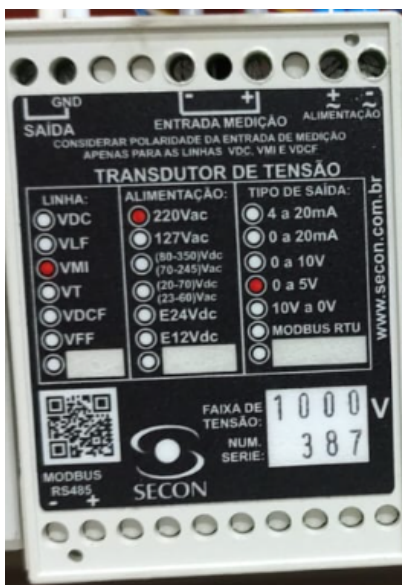


Figura 8. Transdutor de Tensão

6) *Cargas*: As cargas utilizadas no projeto foram:

- 6.1) Motor de Indução: O motor de indução trifásico utilizado é da fabricante WEG. Os dados de placa indicam tensões de 220V (delta) e 380V (estrela), potência de 0,75 CV, 4 polos, frequência de 60 Hz e escorregamento de 1,25.
- 6.2) Resistores de potência: Foram utilizados resistores de potência de 100 ohms e 500W.
- 6.3) Lâmpadas: Foram utilizadas lâmpadas de 70W e 220V.

7) *Comandos Elétricos*: Um sistema de comandos elétricos foi utilizado para controlar o estado do sistema. Para isso, o relé foi programado via software da fabricante, o Acselelator Quickset, onde o contato de saída 101 foi ajustado com o valor da variável TRIP e o contato de saída 107 com o TRIP barrado. A equação lógica que dispara o evento de TRIP, que é um sinal de desligamento enviado pelo relé, foi configurada para: 3P59 OU 50P1 OU RB1. Para colocar o TRIP em 0, segue-se a lógica: $\neg(3P59 \text{ AND } 50P1 \text{ AND } RB1) \text{ AND } TRGTR$. Essas variáveis, segundo o manual do relé [9], indicam:

- 1) 3P59: Essa variável é um *Relay Word Bit* utilizado para indicar o evento de sobretensão instantânea de fase, cujo valor é logicamente igual a 59A1 AND 59B1 AND 59C1. Cada uma dessas parcelas indica se o valor da tensão da fase é maior que o valor configurado em 59PIP (33 V), que limita o valor de tensão. Caso todas as parcelas sejam verdadeiras, um evento de sobretensão é disparado.
- 2) 50P1: De forma semelhante, esse *Relay Word Bit* é utilizado para indicar o evento de sobrecorrente instantânea de fase, cujo valor é logicamente igual a 50A1 OU 50B1 OU 50C1. Cada uma dessas parcelas indica se o valor da corrente de fase é maior que o valor configurado em 50PIP (0,5A), que limita o valor de corrente. Caso pelo menos uma das parcelas seja verdadeira, um evento de sobrecorrente é disparado.
- 3) RB1: Esse *Relay Word Bit* é um bit de controle que pode ser utilizado para lógicas customizadas no ajuste do Relé. Para esse projeto, essa variável foi utilizada para disparar o evento de TRIP direto do sinótico do supervisório. Caso um operador deseje forçar o desligamento do sistema ele pode clicar em um botão que coloca o valor desse bit em 1 e torna a lógica do TRIP verdadeira
- 4) TRGTR: Esse *Relay Word Bit* é utilizado para desligar os LEDs de alerta do painel frontal do relé. Em um evento de TRIP, por exemplo, o relé emite uma luz vermelha no painel e um botão chamado Target Reset presente no painel pode ser utilizado para reconhecer o evento e apagar a luz de alerta. No caso do projeto, foi criado um botão no supervisório para simular esse comportamento.

Com essas configurações, na validade da lógica do TRIP, o contato de saída 107 se abre e desliga o sistema atuando sobre o disjuntor. Para religá-lo é necessário que a lógica de desligamento do TRIP seja verdadeira, isto é, não pode existir eventos de sobrecorrente (50P1), sobretensão (3P59) ou ativação manual (RB1) e os eventos anteriores devem ter sido reconhecidos (TRGTR).

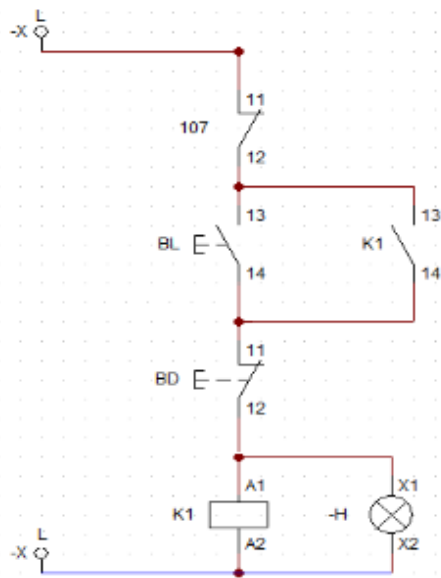


Figura 9. Diagrama de Comandos Elétricos

Caso o TRIP tenha sido destravado, ao pressionar a botoeira de ligamento, o sistema será religado e um contator será ativado criando um selo para manter o sistema ligado. O religamento manual foi uma escolha de projeto por fins de simplificação e segurança, caso fosse necessário automatizá-lo o sistema de comandos elétricos seria alterado de forma a refletir essa lógica.

B. Segunda Camada

1) *Relé SEL 351*: O dispositivo SEL 351, um Relé de Proteção de Alimentadores fabricado pela Schweitzer Engineering Laboratories (SEL), é um Intelligent Electronic Device (IED) projetado para oferecer proteção e controle avançados em sistemas elétricos de potência. Este dispositivo, amplamente utilizado em aplicações industriais e de distribuição de energia, destaca-se pela sua versatilidade e capacidade de desempenhar múltiplas funções críticas. Algumas das funcionalidades proeminentes do relé SEL 351 incluem detecção de falha de disjuntor, localização de faltas, controle de sincronismo e monitoramento de qualidade de energia [10]. Nesse projeto, foi utilizado o modelo SEL-351-7 Z007 reutilizado da Usina Hidrelétrica da Casquinha - Canaã, MG, que recebeu novos equipamentos. Como é possível perceber pela descrição de suas funcionalidades seu uso foi simplificado e adaptado para o laboratório didático, cujo enfoque é proteção contra sobrecorrente e sobretensão.



Figura 10. Relé SEL 351

2) *Data Acquisition*: O dispositivo de aquisição de dados utilizado foi o NI USB-6351 da National Instruments, parte da série X, que possui alta largura de banda e baixa latência. Ele oferece uma resolução de 16 bits e uma taxa de amostragem de até 1,25 MS/s, com 16 entradas analógicas, 2 saídas analógicas e 24 linhas digitais de I/O [11]. Esse dispositivo foi utilizado no projeto para coletar os dados dos transdutores de tensão e corrente, que foram posicionados após o transformador elevador para medir as grandezas em relação à alta tensão. Essas medições são acessadas pelo Matlab via conexão USB no computador.



Figura 11. Data Acquisition

3) *Protocolo DNP3*: O DNP3 (Distributed Network Protocol 3) é um protocolo de comunicação amplamente utilizado em sistemas de automação e controle, especialmente em ambientes de distribuição elétrica. Projetado para operar em redes de dados, o DNP3 facilita a troca de informações entre dispositivos remotos, como relés de proteção, e centros de controle, como o software SCADA. Este protocolo é conhecido por sua confiabilidade e capacidade de lidar com ambientes industriais robustos. Ele suporta operações de leitura e escrita, permitindo a transferência de dados em tempo real entre os dispositivos. Além disso, o DNP3 é projetado para garantir a integridade e segurança dos dados, utilizando checksums e criptografia [12].

4) *Comunicação Planta-Supervisório*: A conexão física entre o relé SEL 351 e o supervisório ocorre por meio de um cabo serial. O cabo serial estabelece uma ligação direta entre as portas de comunicação do relé e do computador que hospeda o sistema supervisório.

No caso específico do SEL 351, por padrão, o relé vem com o Driver DNP3 Slave de fábrica, mas é necessário configurar as portas de comunicação do relé para utilizar o protocolo. Esse protocolo geralmente é implementado nas camadas de comunicação serial, onde é essencial configurar a taxa de baud (baud rate), bits de dados, bits de parada e paridade de

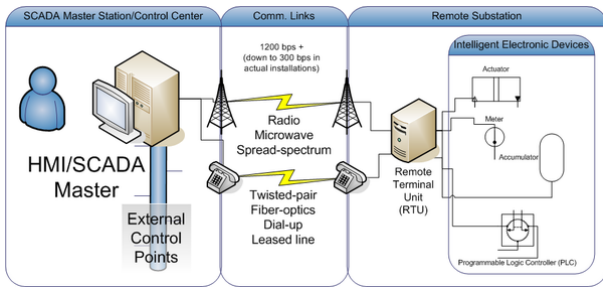


Figura 12. Exemplo de comunicação DNP3 [13]

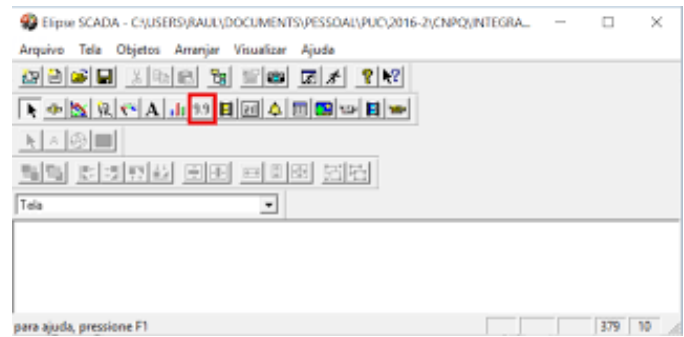


Figura 13. Interface de construção do Elipse SCADA

acordo com as especificações do DNP3 e as características do cabo serial utilizado. Para isso, fez-se uso do software nativo Accelerator Quickset para configurar o arquivo de ajustes do relé e especificar os parâmetros de comunicação.

O software do supervisor, por sua vez, deve seguir as mesmas especificações do relé para estabelecer uma comunicação bem sucedida. Diferente do relé, é necessário realizar a inclusão do Driver DNP3 Master no software e configurar os parâmetros na tela de edição do driver.

A comunicação serial foi estabelecida com as seguintes especificações:

- 1) Porta traseira 2 do relé com comunicação DNP3 e porta COM 2 do computador
- 2) Endereço do Slave e Master, 1 e 2, respectivamente.
- 3) Baud rate 19200
- 4) 8 bits de dados
- 5) 1 bit de parada
- 6) Sem bit de paridade

Com as duas pontas do sistema configuradas com os mesmos parâmetros, uma comunicação bem sucedida pode ser estabelecida, permitindo o monitoramento em tempo real, controle remoto e aquisição de dados relevantes para o projeto.

C. Terceira Camada

1) *Elipse SCADA*: É um software construtor de sistemas supervisórios desenvolvido pela empresa brasileira Elipse Software. Esse programa permite a criação das interfaces para monitoramento e controle dos processos industriais em tempo real. Dentre suas funcionalidades, pode-se destacar o suporte a diversos protocolos de comunicação para integração com equipamentos, o armazenamento de dados históricos, gerenciamento de alarmes e eventos, controle de acesso de usuários e a possibilidade de usar scripts para criar lógicas personalizadas.

Para esse projeto, foi utilizado a versão de demonstração do produto [14], que é uma versão gratuita e limitada do software, disponibilizada pela Elipse Software para que os usuários possam testar suas funcionalidades antes de adquirir a licença completa. Essa versão permite o uso de todas as funcionalidades do software com as limitações de 20 tags (variáveis de processo) e tempo de comunicação com equipamentos de aquisição de dados por até 10 minutos.

Foram necessárias algumas configurações do lado do supervisor para mapear as variáveis do processo desejadas e

as operações a serem realizadas. Nesse contexto, no Elipse SCADA, temos as chamadas "tags", as quais são variáveis que representam pontos de dados do sistema supervisório. Essas tags podem estar vinculadas a dispositivos físicos, como sensores, atuadores e relés, ou serem utilizadas para armazenar e manipular dados internos do sistema. Elas são essenciais para a comunicação entre o software SCADA e os dispositivos de campo, permitindo monitorar e controlar processos em tempo real. Cada tag possui um nome, tipo de tag (PLC, RAM, Expressão, Demo, Crono, etc...), tipo de dado (como inteiro, flutuante, ou booleano), entre outros.

Para a comunicação com o Relé foram utilizadas tags do tipo PLC, que podem ser configuradas para leitura ou escrita, dependendo do que é necessário para o controle ou supervisão do processo. Além disso, para lógicas internas do programa foram utilizadas tags dos tipos Expressão e Crono, um exemplo é a construção da onda da corrente/tensão de uma das fases. Para esse caso, utiliza-se uma tag PLC para magnitude e outra para ângulo da corrente A, com esses dados cria-se uma tag Expressão para gerar uma cossenoide que varia com o tempo t de uma tag Crono.

Quando se faz uso de tags do tipo PLC é necessário configurar 4 parâmetros de endereçamento, os quais são:

- 1) N1: Endereço do Slave (0 por padrão)
- 2) N2: Código de função a realizar (leitura ou escrita)
- 3) N3: Código do objeto e variação (tipo de dado)
- 4) N4: Endereço da variável no dispositivo (ponto lógico ou físico)

Esse mapeamento foi realizado utilizando-se o manual do relé e o manual do Driver DNP3 Master. Por exemplo, para ler o valor da corrente A, utilizou-se os valores da figura 14. Esses valores indicam que o Slave tem endereço 1, a operação a ser realizada é de leitura, o tipo de objeto com variação tem valor 3001 e o endereço no dispositivo é 0.

A figura 15 mostra uma parte da tabela de Data Map do Relé para o protocolo DNP3. Pode-se observar que a primeira coluna indica o tipo de objeto, que será utilizado para identificar a variação e calcular o valor de N3, além do Index que é o valor de N4.

Figura 14. Configuração da Tag PLC para magnitude da corrente A

Table H.6 SEL-351 DNP Data Map (Sheet 2 of 3)

DNP Object Type	Index	Description
10,12	24-31	Remote bit pairs RB1-RB16.
10,12	32	Open/Close pair OC & CC.
20,22	00	Active settings group.
20,22	01	Internal breaker trips.
20,22	02	External breaker trips.
30,32	00,01	IA magnitude and angle.
30,32	02,03	IB magnitude and angle.
30,32	04,05	IC magnitude and angle.

Figura 15. Tabela Data Map do Relé para o protocolo DNP3

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um Sistema Supervisório completo e funcional pode ser comparado a um espelho da realidade, uma virtualização do mundo físico. Por tal motivo, deve refletir de forma precisa e em tempo real o que está ocorrendo à distância. No entanto, diferente de um vídeo ou foto, um supervisório deve possuir um canal de comunicação de via dupla, o qual permite tanto a supervisão quanto a atuação. Dessa forma, deve ser possível realizar leituras em tempo real da planta e tomar decisões a distância que alterem o estado de um ou mais componentes no sistema monitorado.



Figura 16. Fluxo do supervisório

O supervisório desse projeto aborda esses dois pontos e foi desenvolvido seguindo práticas e recomendações de sistemas

consolidados no mercado.

As telas desenvolvidas foram:

A. Autenticação do Usuário:

Em supervisórios industriais é comum termos diferentes usuários com diferentes permissões no sistema. Um exemplo comum e que foi desenvolvido nesse sistema é a divisão entre dois tipos de usuário: operador e gerente. Normalmente o operador tem permissão para monitorar e controlar o processo em tempo real, reagindo a alarmes e ajustando os parâmetros do processo. Por outro lado, o gerente tem acesso a relatórios, histórico de alarmes e controle de usuários. Para esse projeto, temos esses dois tipos de usuário, cujo login e senha são operador-operador e gerente-gerente. Ao iniciar o programa, uma tela de login será exibida como na figura 17, e pedirá as credenciais de acesso do usuário.



Figura 17. Tela de login

B. Sinótico:

A tela sinótica é uma das interfaces gráficas mais importantes em um sistema supervisório industrial. Ela oferece uma representação visual simplificada e intuitiva dos processos e equipamentos da planta industrial, permitindo que os operadores monitorem e controlem o sistema de forma eficiente. No projeto em questão, o sinótico exibe um diagrama do processo com símbolos padronizados representando elementos como transformadores e cargas. Além disso, essa tela apresenta os módulos das correntes e tensões do sistema, estados da carga, do relé e da comunicação, e também permite atuar diretamente no processo, por exemplo, aplicando um TRIP no relé. Por fim, por ser a tela central do programa, possui atalhos de navegação para outras páginas do sistema, como alarmes e gráficos.

C. Gráficos

A tela de gráficos em um sistema supervisório industrial é uma interface dedicada a análise e visualização de dados ao longo do tempo. Ela permite que o usuário capacitado visualize tendências, identifiquem padrões, e tomem decisões precisas com base em dados históricos e em tempo real. A tela do projeto consiste de uma série temporal que exibe as correntes e tensões medidas para uma dada carga conectada no sistema. O usuário pode visualizar os valores em tempo real ou consultar os dados históricos na página de relatórios.

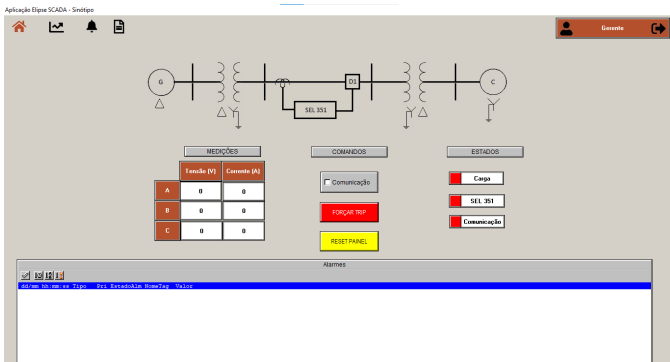


Figura 18. Tela sinótico

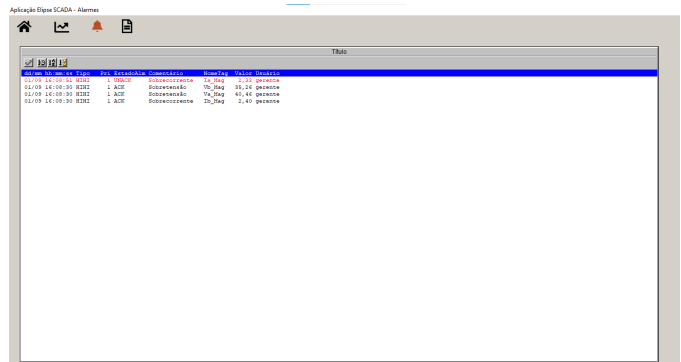


Figura 20. Tela de alarmes

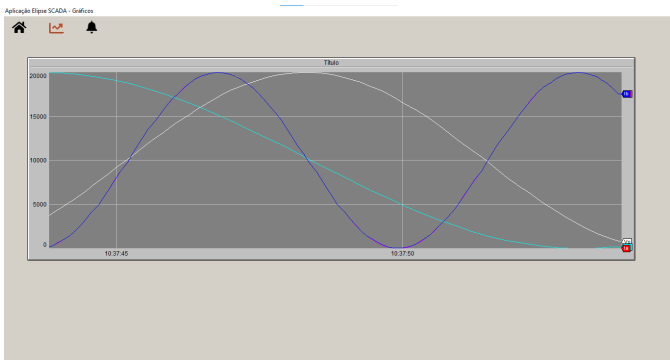


Figura 19. Tela de gráficos

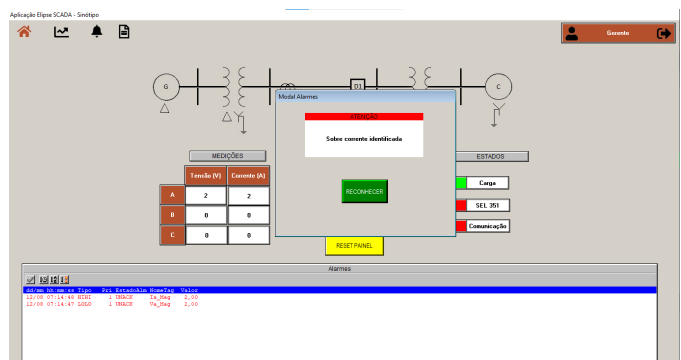


Figura 21. Modal de alarme exibido no sinótico

D. Alarmes

A tela de alarmes é uma das interfaces mais críticas do sistema, pois permite que os operadores monitorem e respondam rapidamente a eventos anômalos e situações de emergência. Os alarmes do sistema são exibidos em qualquer tela no momento da ocorrência e ficam disponíveis para consulta em uma tabela na tela de alarmes. Essa listagem contém a descrição, hora, severidade e estado do alarme. Ao receber o popup do alarme o operador deve reconhecer e confirmar a recepção para liberar o sistema, tomando as devidas ações necessárias. No caso do projeto desenvolvido, temos os seguintes alarmes:

- 1) Sobrecorrente
Foi configurado um alarme de sobrecorrente para o valor de 0,5A.
- 2) Sobretensão
Foi configurado um alarme de sobretensão para o valor de 33V.

Esses alarmes foram configurados para todas as fases e os valores foram obtidos em testes no laboratório, sendo baixos devidos a limitações da estrutura montada.

E. Relatórios

A tela de relatórios fornece um histórico das medições de corrente e tensão. O programa foi configurado para salvar os dados de medição em um arquivo chamado hist.dat que contém todos os dados desde a primeira execução do supervisório. Essa tela contém uma tabela com os dados dos últimos 5

minutos de execução. Caso seja necessário consultar mais dados é possível clicar no botão "Ver histórico" para filtrar o intervalo de tempo desejado. Além disso, é possível gerar um relatório em formato PDF com uma plotagem dos últimos dados registrados. Por fim, é possível limpar o arquivo apagando todos os registros salvos ao clicar no botão "Apagar dados". Essa tela somente está visível ao gerente e não pode ser acessado por outros usuários, como o operador.

Figura 22. Tela de relatórios

F. Detalhe de Componente

A tela de detalhamento de um componente fornece informações detalhadas e específicas sobre um determinado equipamento ou elemento do processo. Os detalhes podem ser informações em tempo real, especificações de fábrica,

histórico de operação com análise de desempenho e falhas, e até mesmo opções de configuração e calibração. No supervísório desenvolvido, os componentes principais são os transformadores, a fonte trifásica, o relé e as cargas. Ao clicar em qualquer um desses componentes é aberta uma nova página com os dados de placa de parâmetros como tensão, corrente e potência. O exemplo da figura 23 mostra a tela de detalhamento de um dos transformadores de distribuição utilizados.

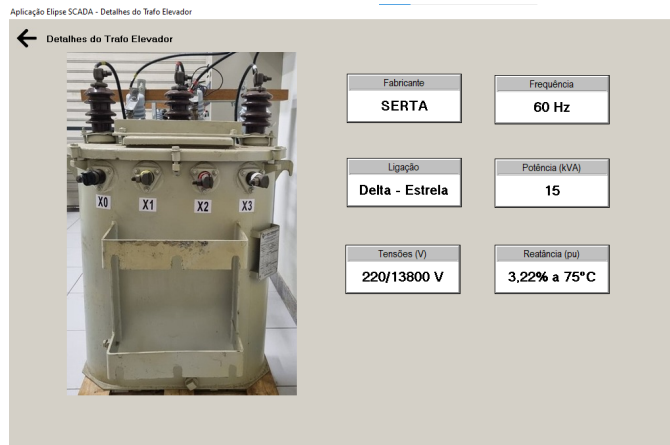


Figura 23. Tela de detalhe do transformador elevador

Com o supervísório desenvolvido foram realizados os seguintes experimentos no laboratório didático:

- 1) Sobrecorrente
O relé foi configurado para identificar sobrecorrente para o valor de 0,5A. O motor trifásico foi utilizado como carga e o trip foi disparado para uma tensão da fonte de 10,38 V e tensão de alimentação do motor de 11,5 V.
- 2) Sobretensão
O relé foi configurado para identificar sobretensão para o valor de 33V. Como carga foram utilizados 3 resistores em delta e o trip foi disparado para uma corrente da fonte de 13A e tensão de alimentação da carga de 31V.
- 3) Trip Manual
Uma carga de 3 lâmpadas em delta foi utilizada, mas os valores foram mantidos abaixo dos configurados no relé para evitar o disparo do trip. Com isso, foi enviado um sinal de desligamento direto do supervísório, simulando a operação remota no sistema. Após isso, religou-se o sistema e aumentou-se a alimentação da carga até uma corrente IA de 0,233A e uma tensão VAB de 49,5V. Essa tensão disparou o trip por meio da lógica configurada e exibiu um alerta no supervísório.

Para esse último caso, a figura 24 representa o estado do sinótico durante o experimento. É possível observar as medições de tensão e corrente na tabela, além dos estados da carga, do relé e da comunicação.

A figura 25 mostra um gráfico com VA (amarelo) e IA (verde) na tela de gráficos do supervísório.

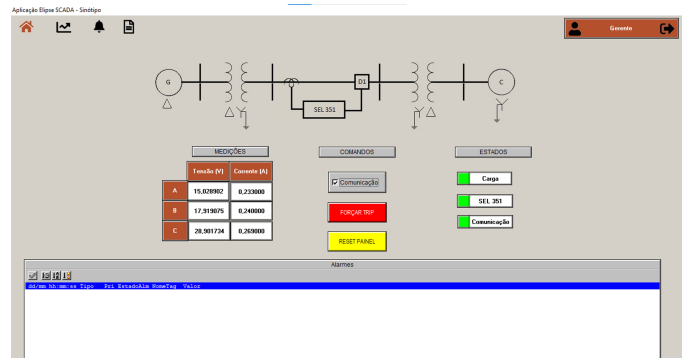


Figura 24. Sinótico durante experimento

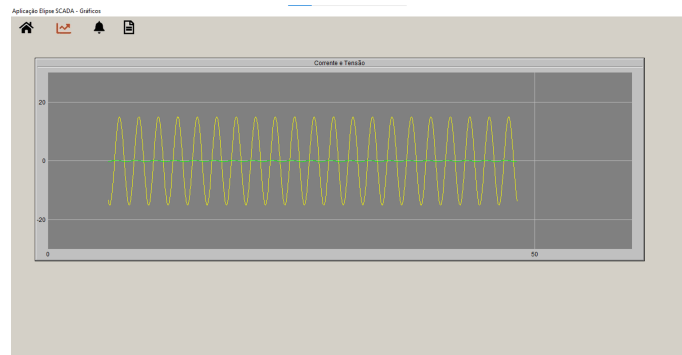


Figura 25. Tela de gráfico no experimento

Por fim, a figura 26 mostra a exibição do alarme de sobretensão no sinótico para reconhecimento do operador. Esse alarme também pode ser visto na tabela, onde está indicado qual tensão e o respectivo valor que disparou o alarme.

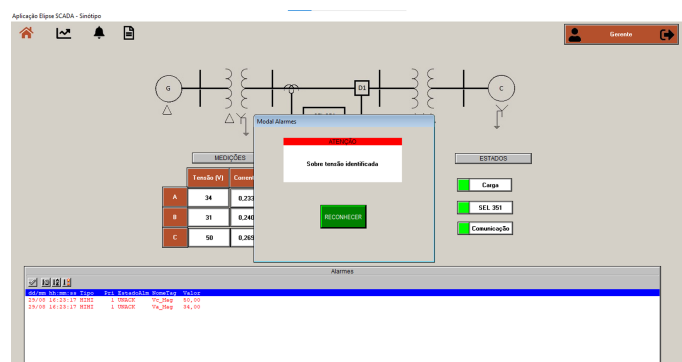


Figura 26. Alarme de sobretensão no experimento

IV. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema supervísório para o laboratório didático demonstrou a viabilidade e eficácia da utilização de um relé de proteção SEL 351 como Intelligent Electronic Device (IED) em conjunto com o software Elipse SCADA. Este sistema não só proporciona uma experiência de aprendizado mais próxima das condições reais encontradas na indústria, como também permite uma melhor compreensão

dos conceitos de automação e controle em ambientes de distribuição elétrica.

A implementação de um supervisório capaz de monitorar e controlar remotamente os parâmetros do sistema, aliada à capacidade de aquisição e registro de dados, será uma ferramenta didática valiosa para uso das futuras gerações de alunos do curso.

Este projeto é uma versão inicial do supervisório e pode ser expandido futuramente com a adição de novos componentes e funcionalidades, como a implementação de sistemas de proteção adicionais ou análise de dados avançada.

REFERÊNCIAS

- [1] Ana Paula Gonçalves Da Silva and Marcelo Salvador. O que são sistemas supervisórios? *São Paulo*, 2005.
- [2] Altus. Pirâmide da automação. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/post/100/curso-de-introducao-a-automacao--5baula-01-5d>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [3] Altus. Pirâmide da automação. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/upload/htmleditor/piramide-g.webp>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [4] Axel Daneels and Wayne Salter. What is scada? 1999.
- [5] Natanael Garcia Rodrigues. Sistemas supervisórios scada. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/slideshow/sistemas-supervisrios-scada-systems/40330814>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [6] AUJE. *Nossos Produtos*, 2024. Disponível em: <<https://www.auje.com.br/nossos-produtos-variadores-monofasico-bifasico-traifasico.html>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [7] SECON. *Linha de Transdutores de Corrente RMI*. Disponível em: <https://www.secon.com.br/pdf/190212093223_TRANSDUTOR-CORRENTE-RMI.pdf>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [8] SECON. *Linha de Transdutores de Tensão VMI*. Disponível em: <https://www.secon.com.br/pdf/190212105227_TRANSDUTOR-TENSAO-VMI.pdf>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [9] SEL. *Manual do Relé SEL 351*. Disponível em: <<https://selinc.com/api/download/5530/>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [10] SEL. *SEL-351 Relé de Proteção de Alimentadores*. Disponível em: <<https://selinc.com/pt/products/351/>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [11] National Instruments. *National Instruments USB-6351*. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/shop/model/usb-6351.html>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [12] *IEEE Standard for Electric Power Systems Communications–Distributed Network Protocol (DNP3)*. IEEE, 2012.
- [13] Wikipedia. Dnp3. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/DNP3>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.
- [14] Elipse Software. Elipse scada. 2024. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/downloads/?cat=69>>. Acessado em: 13 de agosto de 2024.

LUCAS MORAES MARQUES

**DESENVOLVIMENTO DE SUPERVISÓRIO PARA LABORATÓRIO
DIDÁTICO DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA (SDEE)**

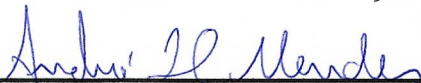
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 - Projeto de Engenharia II e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 06 de Setembro de 2024.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Tarcísio de Assunção Pizziolo - Orientador
Universidade Federal de Viçosa



MSc. André Luis Carvalho Mendes - Coorientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. Denilson Eduardo Rodrigues - Membro
Universidade Federal de Viçosa