

SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA COM SELETIVIDADE E MONITORAMENTO DE CARGAS COM O USO DE UM SOFTPLC

Antônio Fernandes Valério de Oliveira, Bruno Marchioli Quirino, Kaique Eduardo Fernandes de Almeida, Luiz Longo, Orientador: Prof. Me. Pedro Adolfo Galani, Coorientador: Prof. Marcos Vagner Zamboni

Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo
antonio.oliveira63@fatec.sp.gov.br, bruno.quirino@fatec.sp.gov.br, kaique.almeida8@fatec.sp.gov.br,
luiz.longo@fatec.sp.gov.br, pedro.galani@fatec.sp.gov.br, marcos.zamboni@fatec.sp.gov.br

RESUMO: O setor elétrico é um dos mais importantes para a sociedade. A energia elétrica se faz presente em praticamente tudo. Eletrodomésticos como o chuveiro, forno elétrico, microondas e a máquina de lavar roupas são somente alguns exemplos de coisas que são importantes para o cotidiano, e que necessitam da energia elétrica. Dessa forma, a indisponibilidade da energia elétrica pode ser considerada um problema, pois sem ela, praticamente nada pode ser feito hoje em dia. Quando esse problema é visto pela ótica das indústrias, ele se torna muito sério, pois ocorre a perda de matéria-prima, tempo, e consequentemente, dinheiro, já que sem energia, as máquinas que realizam seus processos ficam paradas. Para solucionar esse problema, esse projeto utilizou como principal método a rejeição de cargas, uma técnica que visa abrir partes de um circuito elétrico a fim de retirar cargas que estão consumindo muita energia, quando a rede elétrica estiver instável, evitando assim a queda de energia total. Para esse projeto, foi utilizado um *SoftPLC* que controla essa rejeição de forma automática, baseado nas informações de um aparelho de medição que mede o consumo das cargas, e, caso ele seja muito alto, elas são rejeitadas. Também foi utilizado um supervisório, um *software* que monitora esse processo e o demonstra visualmente para o usuário. Os principais resultados adquiridos nos testes foram com relação ao funcionamento do sistema, que se demonstrou realizando a rejeição automática das cargas e mantendo a disponibilidade da energia. A conclusão foi que o sistema funciona conforme o proposto.

Palavras-chave: Distribuição de energia. Rejeição de cargas. *SoftPLC*. Supervisório. Queda de energia.

ABSTRACT: *The electric sector is one of the most important to the society. The electric*

energy is present in practically everything. Appliances like the shower, electric oven, microwave and washing machine are just a few examples of things that are important to daily life and that require electric energy. Thus, the unavailability of electric energy can be considered a problem, as without it, practically anything can be done nowadays. When this problem is viewed from the perspective of industries, it becomes very serious, as it leads to the loss of raw materials, time and, consequently, money, since without energy, the machines that carry out their process remain idle. To solve this problem, this project used load shedding as the main method, a technique aimed at opening parts of an electrical circuit to remove loads that are consuming too much energy when the electrical grid is unstable, thus avoiding a total power outage. For this project, a SoftPLC was used to automatically control this rejection, based on the information from a measuring device that measures the consumption of loads, and if it is too high, they are rejected. A supervisory system was also used, a software that monitors that process and visually displays it to the user. The main results obtained in the tests were related to the system's operation, which proved to perform the automatic rejection of loads and maintain the energy availability. The conclusion was the system works as proposed.

Keywords: *Energy distribution. Load shedding. SoftPLC. Supervisory system. Power outage*

1. Introdução

O setor elétrico é um dos mais importantes para a vida cotidiana, basta pensar que, sem a energia elétrica, é impossível utilizar eletrodomésticos em geral ou mesmo manter o funcionamento de serviços básicos, tais como a produção de alimentos, fornecimento de energia, tratamento de águas, entre outros. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o sistema de produção e transmissão de energia elétrica brasileiro, também chamado de Sistema Interligado Nacional (SIN), é um sistema de matriz energética hidro-termo-eólica, com uma predominância de usinas hidrelétricas por todo país, mas que também utiliza usinas eólicas e térmicas para a produção de energia.

Segundo os dados fornecidos pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2024), realizado pela Empresa de Pesquisa Energética, uma empresa pública federal que realiza pesquisas sobre o setor energético brasileiro, o consumo de energia residencial foi de 164,735 GWh, sendo o segundo maior, ficando atrás somente do consumo industrial, que foi de 188,476 GWh.

Para as indústrias, a energia elétrica é um recurso essencial, pois é ela que garante o funcionamento das máquinas utilizadas nos processos produtivos. Sem eletricidade, essas

máquinas tornam-se inoperantes, comprometendo toda a cadeia de produção. No entanto, a indisponibilidade de energia, muitas vezes provocada por falhas ou falta de manutenção no sistema de distribuição, pode gerar grandes prejuízos. Dependendo da atividade industrial, a interrupção no fornecimento pode acarretar perdas significativas de tempo e matéria-prima, além de impactar prazos de entrega e comprometer a eficiência operacional da empresa.

O principal objetivo deste trabalho foi projetar um Sistema de Distribuição de Energia com Seletividade e Monitoramento de Cargas. Esse sistema é responsável por controlar um circuito de potência composto por três linhas de alimentação, destinadas ao fornecimento de energia a um conjunto de cargas. O controle pode ser realizado tanto por um circuito de comando tradicional quanto por um Sistema de Supervisão e Controle (SSC), operando com base na programação de um *SoftPLC*. O sistema permite que tanto um operador quanto o próprio sistema automatizado determinem quais cargas devem ser mantidas ativas em caso de falha em uma das linhas de alimentação. Com isso, evita-se a sobrecarga nas linhas remanescentes, prevenindo quedas de energia. Além disso, o sistema conta com uma terceira linha conectada a um gerador, dedicada à alimentação de cargas consideradas emergenciais, garantindo a continuidade do fornecimento em situações críticas.

Esse trabalho tem como justificativa propor uma solução com relação a falta de energia, pois, esse sistema é ágil o suficiente para, no momento em que houver a queda de energia em apenas uma das linhas, e dentro das condições necessárias, selecionar automaticamente quais cargas continuarão sendo energizadas, e no caso da queda de energia total, ele será capaz de manter apenas as cargas essenciais, por meio de um gerador, o que permitirá manter a disponibilidade da energia.

2. Fundamentação teórica

A seguir, serão apresentados os conceitos teóricos necessários para compreender e realizar esse projeto.

Segundo Sallam e Malik (2018), o sistema de distribuição de energia é a interface entre os geradores de energia elétrica e seu consumidor final. O sistema de distribuição é dividido em três partes. A primeira é o sistema de geração de energia elétrica, onde usinas, ou instalações de geração de energia, utilizam uma matriz energética para produzir eletricidade. A energia gerada é aumentada por transformadores aumentadores, permitindo a sua transmissão para longas distâncias, por um baixo custo. A segunda parte se trata do sistema de transmissão, com seu tamanho sendo determinado dependendo do tamanho do local onde está sendo instalado, aqui a energia gerada é transmitida por linhas de transmissão, onde ela está em alta tensão. Por fim, a terceira parte é o sistema de distribuição. Neste estágio, a energia

chega às subestações, onde sua tensão é reduzida para níveis intermediários (média tensão). Em seguida, ela é novamente reduzida em subestações locais para níveis adequados ao consumo residencial, comercial e industrial. Devido à sua complexidade, a implementação de um sistema de distribuição de energia exige um planejamento detalhado, incluindo o estudo do layout, previsão de carga, dimensionamento e design do sistema como um todo.

Mesmo com planejamento, o sistema de distribuição ainda é passível de falhas, isso ocorre por alguns fatores, como ter uma infraestrutura antiga, ou ter um sistema de transmissão ineficiente, o que pode causar instabilidade na rede elétrica e, possivelmente, uma queda de energia. Para evitar isso, surgiram métodos e técnicas que possibilitam que o processo realizado possa ser mantido sem parar, porém sem desestabilizar a rede elétrica e um desses métodos é a rejeição de cargas, ou *load shedding*.

De acordo com Bakht *et al.* (2023), a rejeição de cargas é um procedimento de controle de sistemas de energia e se baseia em um operador desligar intencionalmente determinadas partes da conexão elétrica, mas claro, dentro de horários especificados e estipulados, para que assim a energia seja reduzida ou limitada, evitando que a capacidade de fornecimento da rede seja ultrapassada, mantendo o equilíbrio entre a geração e fornecimento da energia elétrica.

Os benefícios da rejeição de cargas são vários, tais como manter a estabilidade da rede elétrica, reduzir contas de energia, maior resiliência, dentre outros. Dessa forma, a rejeição de cargas se apresenta como uma importante técnica, quando se trata de manter o equilíbrio da rede elétrica e evitar o desperdício de energia e matéria-prima em uma empresa.

Apesar dos benefícios proporcionados com a rejeição de cargas, como partes do circuito elétrico estão sendo abertas, ou seja, não há nenhuma corrente passando por essa parte do circuito, dessa forma, inevitavelmente ocorrem perdas durante este processo. Para solucionar esse problema são utilizadas fontes de energia renováveis, onde a energia é convertida de uma fonte renovável, tais como a solar ou eólica. Além disso, a energia dessas fontes são utilizadas para carregar bancos de baterias, o que ajuda a amenizar um problema das fontes de energia renováveis, pois, dependendo do dia, horário, ou clima, a quantidade de energia adquirida dessas fontes pode ser maior ou menor, a solar por exemplo, sofre com esses problemas, pois elas afetam a incidência de raios solares. A união dessas fontes de energia renováveis, junto da utilização de bancos de baterias ou geradores a combustível são chamadas de *Hybrid Energy System (HES)*, ou Sistema de Energia Híbrido.

Segundo Freitas *et al.* (2024), o *SoftPLC* é um Controlador Lógico Programável (CLP) que funciona em um *software*, sendo executado em um computador. Basicamente, esse software faz o computador se comporte como um CLP, que é um dispositivo que possui

entradas e saídas de sinais elétricos, ou dados, utilizados para controlar processos, baseado em uma programação gravada nele. Com base nas informações de entrada, vindas de sensores, botões, chaves, etc., o CLP executa uma dada programação, e com base nela, um determinado sinal de saída é enviado, acionando uma lâmpada, motor, atuador, e dentre outros.

A utilização do *SoftPLC* se torna possível com o surgimento da norma internacional *IEC 61131*, criada pela *International Electrotechnical Commission (IEC)*. Essa norma é composta por 8 partes, que tem como intuito padronizar os CLPs, estabelecendo quais devem ser seus componentes físicos, quais as linguagens de programação que eles devem ter, quais os tipos de comunicação que eles podem utilizar, entre outros. A partir dessa norma, se torna possível montar até mesmo um CLP de baixo custo, seguindo as especificações da norma.

De acordo com a *IEC* (2017), a norma *IEC 61131-2*, que visa determinar os equipamentos requisitados para a construção de um CLP, e também em quais testes devem ser feitos com esses equipamentos, ela estabelece que um CLP deve ter: uma fonte de alimentação, uma memória, uma Unidade Central de Processamento, ou *CPU*, e módulos de entrada e de saída, podendo ter, opcionalmente, uma fonte de alimentação auxiliar, e um módulo de comunicação.

Qualquer computador já possui uma *CPU*, uma memória e uma fonte de alimentação, placas como a do Arduino, PIC e cartões de CLP possuem pontos de entrada e saída de dados, e *softwares* como o *CODESYS* servem não só como um ambiente de programação, mas também fazem o computador funcionar como um CLP. Ao unir todos esses elementos, surge então o *SoftPLC*, um CLP executado pelo computador, do qual se comporta exatamente como um CLP construído por empresas como a Altus, Siemens, Mitsubishi, e dentre outras.

O *SoftPLC* traz consigo também a vantagem do custo, pois o usuário pode escolher componentes de baixo custo para compor seu *SoftPLC*, e alta versatilidade, pois o usuário pode expandir as entradas e saídas, atualizar o *software* para versões melhores, com as opções sendo limitadas somente a aplicação e desejo do usuário.

Segundo Rocha e Santos (2024), um SSC é um *software* de supervisão, sua principal função é a de monitorar processos. Esse tipo de *software* consegue monitorar os processos realizados, sendo capaz de adquirir os dados desse processo por meio de sensores, e a partir desses dados, realizar o controle do processo. Nesses *softwares* é possível criar telas, gráficos, históricos, e dentre muitas outras coisas que auxiliam no monitoramento de um processo, utilizando os dados dos sensores também. Além disso, esse sistema pode dar um comando a um CLP por exemplo, fazendo com que ele execute uma dada programação, e assim faça com que uma determinada saída do CLP seja acionada ou desacionada, como uma válvula eletropneumática, uma lâmpada, uma bomba, e dentre outros.

Segundo Borndignon (2024), o protocolo Modbus é um protocolo aberto, ou seja, não se comunica somente com os equipamentos de uma única empresa, mas permite a comunicação de um equipamento de uma empresa X, com um outro de uma empresa Y, por exemplo. Desenvolvido em 1979 pela empresa Modicon, com o intuito de permitir que equipamentos e dispositivos de empresas diferentes pudessem se comunicar, se tornando com o tempo em um padrão para todos os dispositivos industriais de hoje.

O protocolo estabelece uma comunicação do tipo mestre-escravo. O mestre solicita os comandos para um ou mais escravos, e eles executam esses comandos. O protocolo funciona com o mestre enviando para esses escravos uma determinada mensagem, nessa mensagem há um código que contém o endereço do escravo, ou seja, a quem a mensagem é destinada, a função, que é a determinada ação que ele deve executar, quais os dados que devem ser lidos, e por fim o *Checksum* ou CRC.

A função pode ser: a leitura de uma entrada digital, a escrita em uma saída digital, a leitura de uma entrada analógica, a escrita em uma saída analógica, ou realizar a escrita em várias saídas digitais ou analógicas.

O *Checksum* por sua vez é a soma de cada um dos dados que foram enviados. Essa soma é feita para saber se não houve nenhuma alteração ou problema com os dados enviados pelo mestre. Ao fim da mensagem, o escravo realiza o que foi pedido, e envia para o mestre que a tarefa foi executada com sucesso.

O protocolo Modbus possui algumas variações que atendem determinadas necessidades, elas são: o Modbus RTU, comunicação serial que utiliza o meio físico RS-232, para comunicação ponto a ponto, ou RS-485, para comunicação multiponto, o Modbus *ASCII*, que utiliza o código *ASCII* para enviar os dados, e o Modbus TCP/IP, que utiliza o meio físico Ethernet, tendo a vantagem de ser mais rápido que a variação RTU. Essa flexibilidade permite que o protocolo possa ser utilizado para várias ocasiões diferentes, e é importante salientar que ele não é o único protocolo existente.

3. Metodologia

A metodologia adotada neste projeto foi estruturada em etapas sequenciais que permitiram o desenvolvimento organizado e eficiente da solução proposta. Cada etapa foi planejada com o objetivo de garantir a viabilidade técnica, a precisão dos dados e a confiabilidade do sistema automatizado. As atividades realizadas envolveram desde o levantamento teórico até a implementação e integração final dos componentes do sistema.

Para melhor compreensão das etapas que foram seguidas, foi criado o Quadro 1. Esse quadro contém todas as etapas que foram necessárias para o desenvolvimento do sistema,

possuindo tanto o que são essas etapas quanto uma breve descrição de cada uma delas. Após o Quadro 1, as etapas foram descritas detalhadamente.

Quadro 1 - Planejamento do projeto

Etapas	Descrição
1. Pesquisas sobre o Tema	Pesquisar em livros e artigos sobre o tema do trabalho.
2. Definição da arquitetura do sistema	Definir a arquitetura do sistema
3. Parceria com Empresas	Adquirir componentes fora do orçamento.
4. Aquisição dos Materiais	Buscar os componentes empresetados.
5. Testar os Materiais Empréstados	Testar e garantir o bom uso dos materiais
6. Treinamento com o SoftPLC	Realizar treinamentos montados pelo professor orientador para aprender a utilizar o SoftPLC.
7. Programação e Teste do Programa	Programar o SoftPLC e testá-lo pelo simulador do CodeSys para saber se o programa corresponde ao funcionamento do sistema.
8. Criação do Supervisório (SSC)	Criar as telas do SSC e fazer ele se comunicar com o SoftPLC, testando pelo simulador do CodeSys se ele está funcionando
9. Montagem do Painel do Circuito de Comando e do Circuito de Potência	Montar os painéis dos circuitos de comando e de potência do sistema e testar seu funcionamento.
10. Integração dos MDGEs, SoftPLC e SSC ao Circuito de Potência e Futuras Atualizações	Unir todos os itens da arquitetura do sistema, e testar se eles funcionam devidamente, caso sim, o resultado foi alcançado,

Fonte: Autoria própria (2025).

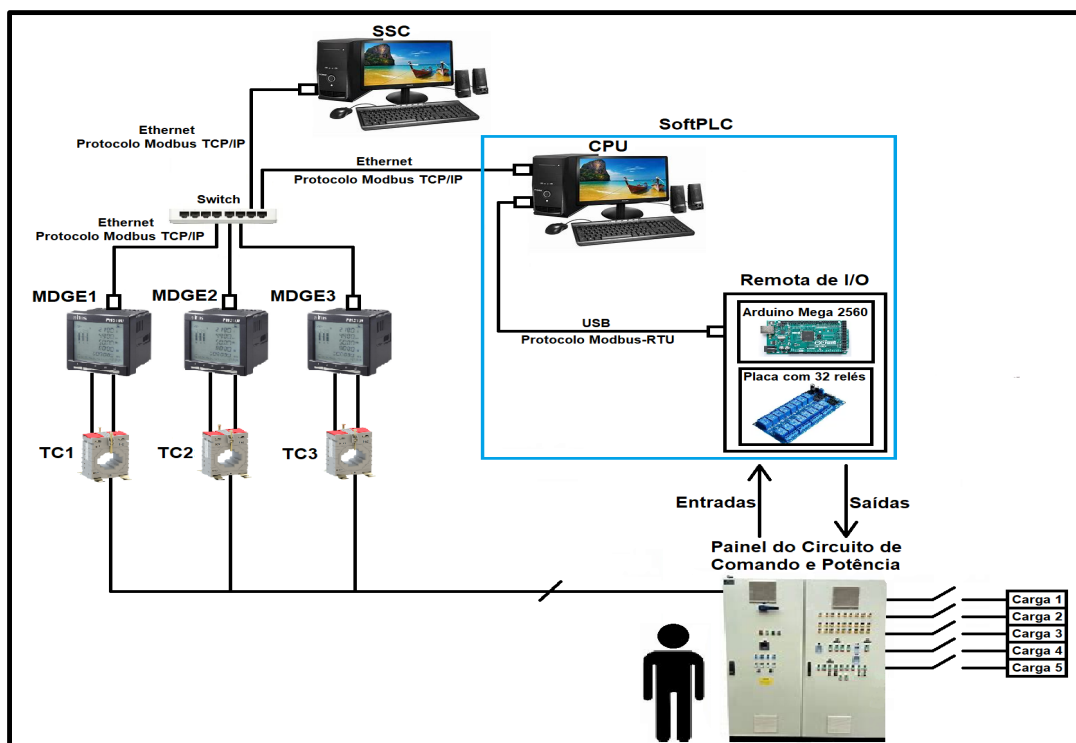
Na etapa inicial foi realizado o aprofundamento teórico sobre os conceitos relacionados à automação industrial com ênfase em temas como distribuição de energia, rejeição de cargas, *SoftPLC*, SSC e protocolo Modbus. Esse estudo foi fundamental para embasar tecnicamente as decisões tomadas ao longo do desenvolvimento do projeto.

A etapa 2 corresponde à definição da arquitetura do sistema. Na automação industrial, a arquitetura é representada por um diagrama no qual estão dispostos todos os dispositivos e equipamentos utilizados na aplicação. Além disso, o diagrama também descreve como esses equipamentos se comunicam entre si, indicando o meio físico de comunicação empregado bem como o protocolo de comunicação utilizado.

Ao estabelecer uma boa arquitetura para uma aplicação, é possível ter uma melhor compreensão de como os dispositivos e equipamentos dessa aplicação devem ser conectados, pois o diagrama demonstra de forma simplificada como essas conexões devem ser feitas, sendo necessário para a montagem de uma rede de comunicação. Ao utilizar a arquitetura e outros documentos que complementam a construção de um projeto, como esquemas elétricas, tabelas de I/O, tabelas de mapeamento e dentre outros, é possível então realizar essa aplicação de forma mais confiável.

A arquitetura do sistema desse projeto está representada na Figura 1.

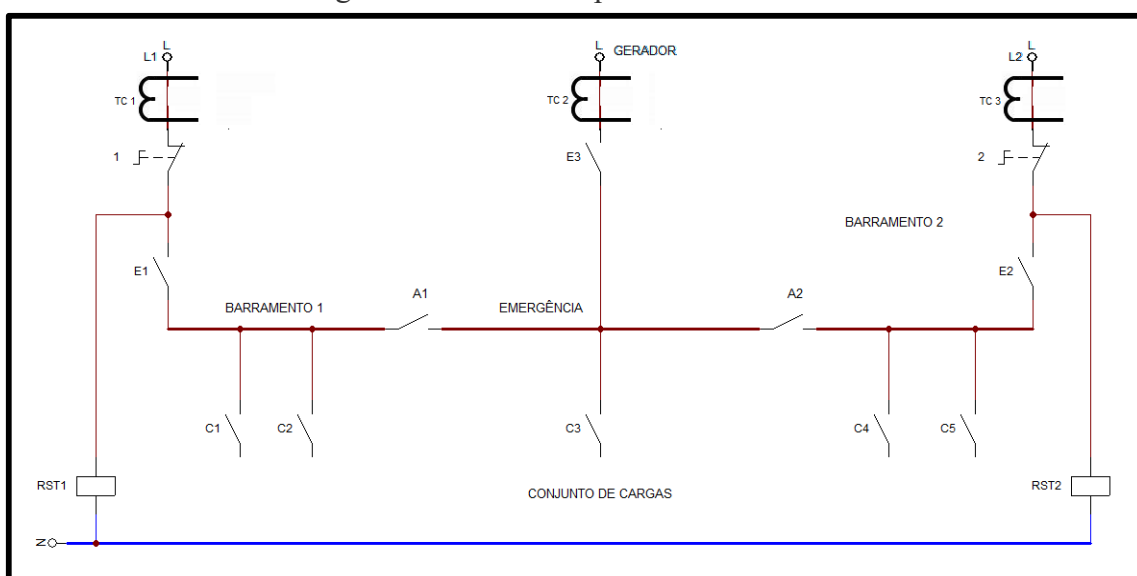
Figura 1 - Arquitetura do sistema



Fonte: Autoria própria (2025).

Nesse sistema, a maior preocupação é o controle de um circuito de potência, localizado dentro de um painel de comando de baixa tensão. Esse circuito recebe a energia vinda de duas linhas de alimentação da concessionária, além de uma linha conectada a um gerador. É composto por 10 disjuntores, 3 barramentos e 2 relés de subtensão. Sua função principal é alimentar um conjunto de cargas, classificadas como essenciais e não essenciais. A Figura 2 apresenta a estrutura desse circuito.

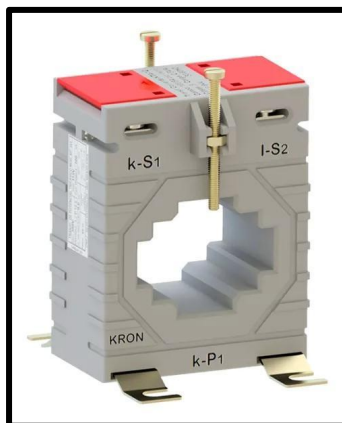
Figura 2 - Circuito de potência do sistema



Fonte: Autoria própria (2025).

Como pode ser observado na Figura 2, em cada linha de alimentação há um Transformador de Corrente (TC). Estes dispositivos, como o próprio nome diz, são transformadores com dois enrolamentos, um primário e o outro secundário. Os transformadores recebem a tensão e corrente em um de seus enrolamentos e, dependendo da sua construção, podem diminuir ou aumentar a tensão ou corrente que receberam, enviando essa nova tensão ou corrente para o seu outro enrolamento. No caso específico dos TCs, sua função é reduzir a corrente elétrica para níveis compatíveis com instrumentos de medição, para que assim esse aparelho não seja danificado por conta do efeito Joule. Os TCs utilizados nesse projeto estão ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Transformador de Corrente KTA-12 da Kron



Fonte: Kron (2025).

Conforme apresentado na Figura 1, os TCs estão conectados aos Multimeditores Digitais de Grandezas Elétricas (MDGE). Esses dispositivos, como o próprio nome diz, são medidores digitais que utilizam componentes eletrônicos para medir grandezas elétricas, tais como a tensão, corrente, impedância e potência. Esses dispositivos são um exemplo de aparelhos que necessitam dos TCs para que assim a corrente medida não danifique-os. A principal função desses medidores no sistema é captar os valores de tensão e corrente nas linhas de alimentação do circuito de potência. Essas informações são então enviadas ao *SoftPLC*, que, com base nos dados recebidos, emite os comandos necessários ao circuito de potência. Os MDGEs utilizados nesse projeto são apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Multimetador Digital de Grandezas Elétricas PH3100



Fonte: Altus (2025).

O sistema também conta com um *SoftPLC* que, como mencionado anteriormente, é um CLP executado por meio de um software. O *SoftPLC* se comunica com os MDGEs por meio de uma rede de comunicação utilizando o meio físico Ethernet e o protocolo Modbus TCP/IP. Sua principal função é controlar o circuito de potência, acionando ou desacionando seus disjuntores quando necessário.

Além disso, o sistema inclui um SSC, que, como descrito anteriormente, é um software de monitoramento de processos. Esse sistema se comunica com o *SoftPLC* por meio da rede Ethernet e utilizando o protocolo Modbus TCP/IP. Sua principal função é demonstrar os níveis de tensão e corrente medidos pelos MDGEs e possibilitar o envio de comandos ao *SoftPLC*, por meio de botões e chaves, permitindo a manobra dos disjuntores no circuito de potência.

Dentro do sistema, há também um circuito de comando que tem duas funções: manobrar os disjuntores e garantir o controle do circuito de potência, caso ocorra alguma falha ou problema com o *SoftPLC*. Assim como o SSC, o circuito de comando também usa botões e chaves para manobrar os disjuntores. O nome e função desses botões e chaves são iguais para ambos e estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de entradas e saídas/tags do sistema

Entradas	Descrição	Saídas	Descrição
BLE1	Liga o contator E1	E1	Alimentação do barramento 1
BDE1	Desliga o contator E1	E2	Alimentação do barramento 2
BLE2	Liga o contator E2	E3	Alimentação do barramento de emergência
BDE2	Desliga o contator E2	A1	Conexão barramento 1 e de emergência
BDE3	Desliga o contator E3	A2	Conexão barramento 2 e de emergência
BLA1	Liga o contator A1	C1	Carga 1
BDA1	Desliga o contator A1	C2	Carga 2
BLA2	Liga o contator A2	C3	Carga 3
BDA2	Desliga o contator A2	C4	Carga 4
BLC1	Liga o contator C1	C5	Carga 5
BDC1	Desliga o contator C1	-	-
BLC2	Liga o contator C2	-	-
BDC2	Desliga o contator C2	-	-
BLC3	Liga o contator C3	-	-
BDC3	Desliga o contator C3	-	-
BLC4	Liga o contator C4	-	-
BDC4	Desliga o contator C4	-	-
BLC5	Liga o contator C5	-	-
BDC5	Desliga o contator C5	-	-
BPA1	Botão de prioridade de A1	-	-
BPA2	Botão de prioridade de A2	-	-
CLR	Chave de seleção de comando Local ou Remoto	-	-
CMA	Chave de seleção de funcionamento Manual ou Automático	-	-

Fonte: Autoria própria (2025).

A etapa 3 do projeto consistiu em realizar parcerias com empresas que possuíam os materiais necessários para a realização do trabalho. Em muitos casos, os materiais necessários para a realização de um projeto estão fora do orçamento de seus realizadores, dessa forma, tornando as parcerias uma alternativa mais viável. Quando se realiza uma parceria com uma empresa, deve-se ter claro alguns fatores, como: quais os materiais necessários para o projeto, se a empresa possui esses materiais, se a empresa está disposta a emprestar esses materiais, entre outros.

Na etapa 4 foi feita a aquisição dos materiais. Após a confirmação das parcerias e do empréstimo dos materiais, foi necessário aguardar a definição das datas adequadas para a retirada desses materiais.

Na etapa 5, procedeu-se à realização de testes de funcionamento dos materiais emprestados, com o objetivo de verificar a sua integridade e bom funcionamento. Os testes realizados com esses materiais demonstraram que todos os dispositivos estavam em perfeito estado, não apresentando qualquer tipo de falha ou dano.

Na etapa 6 foi realizado um treinamento com o *SoftPLC*, que consistiu em uma etapa essencial para o domínio prático dessa ferramenta. Treinamentos são fundamentais para uma compreensão mais prática de algo, em ambientes industriais por exemplo, sempre que seus colaboradores forem trabalhar com um novo tipo de máquina ou equipamento que nunca utilizaram anteriormente, deve-se treiná-los a fim de evitar acidentes, falhas operacionais e mau uso dos recursos. O treinamento foi idealizado pelo orientador, que ensinou aos integrantes do grupo como utilizar o *SoftPLC*. Como resultado, todos os membros do grupo se tornaram aptos a utilizar o *SoftPLC*.

Após o treinamento, deu-se início à etapa 7, onde foi realizada a programação e testes dos programas desenvolvidos para o sistema. Inicialmente, o *SoftPLC* foi programado, e os testes dessa programação foram realizados em um simulador. Assim que o programa ficou de acordo com o funcionamento do sistema, esse programa foi utilizado para controlar o circuito de potência. Como resultado, foi criado um programa que corresponde ao funcionamento do sistema, e que controla o circuito de potência.

A etapa 8 consistiu na criação do SSC. Nessa etapa, foi desenvolvida uma aplicação utilizando um *software* específico, essa aplicação foi utilizada para o monitoramento do processo, sendo moldado para tanto solicitar comandos ao *SoftPLC*, quanto para verificar os níveis de tensão e corrente do sistema.

Na penúltima etapa, foi realizada a montagem do painel dos circuitos de potência e de comando. Nessa etapa, com a parte de *software* finalizada, foi realizada a montagem final e física do projeto, com o circuito de comando tendo todas as lógicas necessárias para manobrar o circuito de potência, e com o circuito de potência tendo todos os seus disjuntores e relés de subtenção.

Na décima e última etapa, foi realizada a integração de todos os componentes do sistema. Nessa última etapa, tudo o que compõem o projeto foi unido, incluindo o *SoftPLC*, SSC, circuito de potência, circuito de comando, MDGEs, e TCs. Com tudo funcionando devidamente, o projeto chegou então ao seu objetivo final, a partir daqui, serão feitas futuras revisões e atualizações do projeto, seja pelos seus realizadores, ou por outras pessoas que se interessem pela ideia desse projeto.

4. Desenvolvimento do projeto

A seguir, descreve-se o desenvolvimento do projeto, com ênfase nas etapas práticas e técnicas que viabilizaram a implementação da solução proposta. Para simular o funcionamento dos 10 disjuntores, optou-se em utilizar no lugar deles contatores. 3 dos 10 contatores, denominados de E1, E2 e E3, representam os disjuntores de entrada de energia. Cada um deles está presente em uma das linhas de alimentação do circuito de potência: E1 é responsável por abrir ou fechar a linha de alimentação 1, que energiza o barramento 1; E2 é

responsável por fazer o mesmo com a linha de alimentação 2, que energiza o barramento 2 e, E3 é responsável por o fazer também na linha de alimentação do gerador, que na simulação, é mais uma linha de alimentação, sendo que essa linha energiza o barramento de emergência.

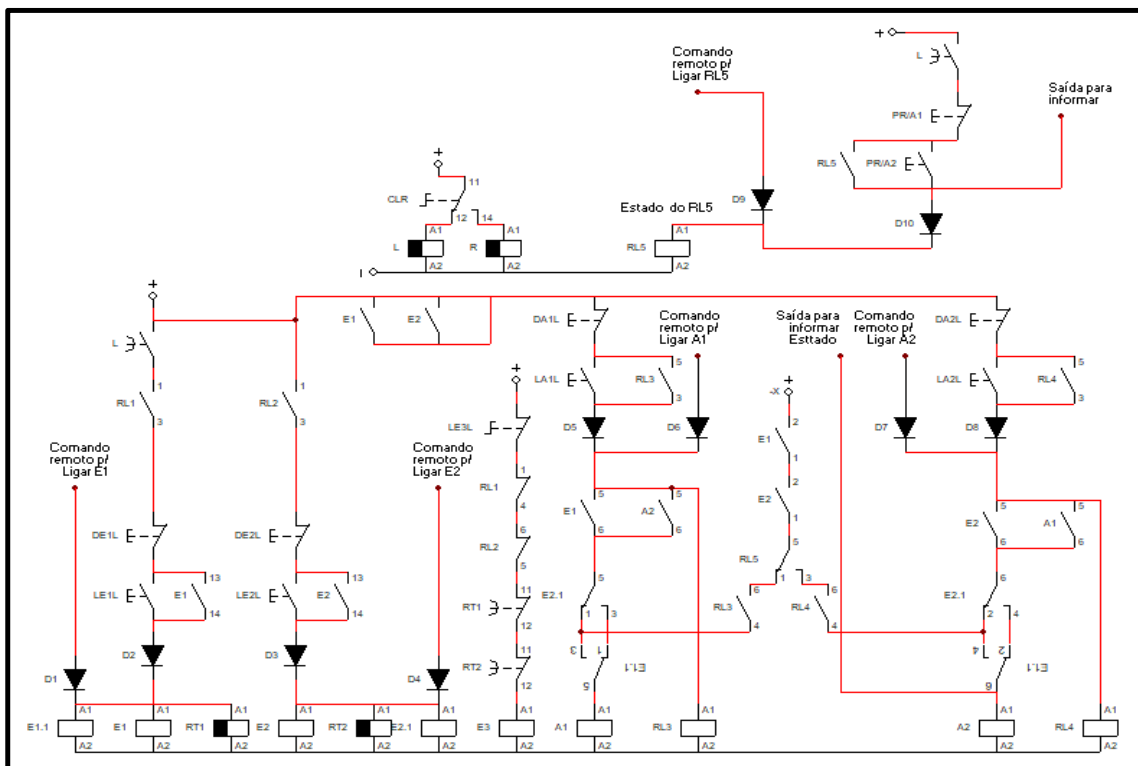
Dois dos contatores são chamados de A1 e A2, que servem como acoplamento para os barramentos. A1 é responsável por acoplar o barramento 1 com o barramento de emergência. A2 é responsável por acoplar o barramento 2 com o barramento de emergência.

Os contatores restantes são chamados de C1, C2, C3, C4 e C5, que são os contatores responsáveis por acionar ou desligar as cargas do sistema. Esses contatores estão presentes nos 3 barramentos citados anteriormente: C1 e C2 estão no barramento 1; C3 está no barramento de emergência e, C4 e C5 estão no barramento 2.

Além disso, nas linhas 1 e 2 estão os relés de subtensão RST1 e RST2. Na simulação, eles são relés comuns, acionados por botões com retenção, para simular a falta de energia em uma das linhas.

Para o controle do circuito de potência de maneira física, é necessário a utilização de um circuito de comando. Esse circuito está dentro de um painel de comando de baixa tensão. Esse circuito tem como função realizar a manobra dos contatores do circuito de potência por meio de botões e chaves, nomeadas conforme a Tabela 1. Parte do circuito de comando que comanda os contatores E1, E2, E3, A1 e A2 aparece conforme a Figura 5.

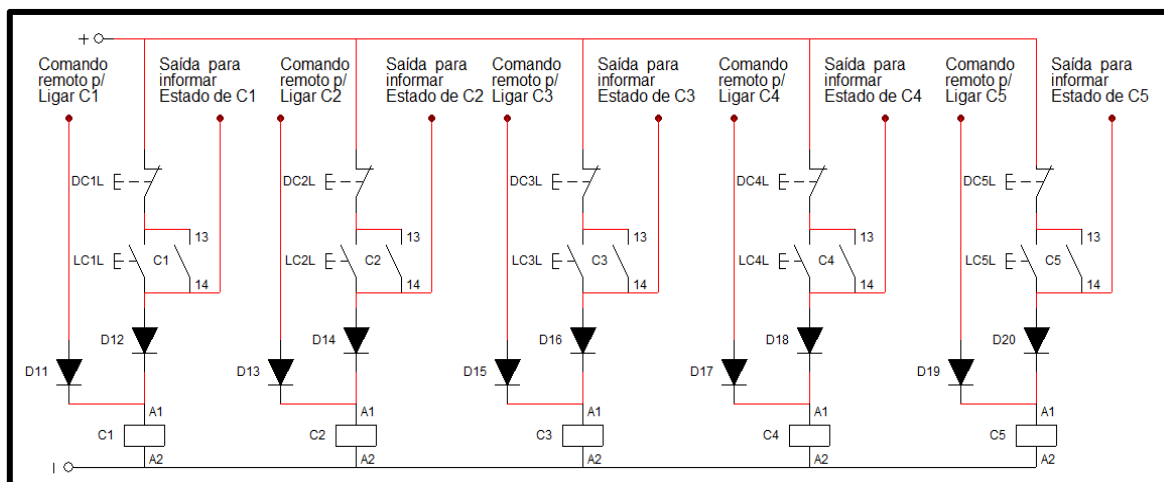
Figura 5 - Circuito de comando que controla E1, E2, E3, A1 e A2



Fonte: Autoria própria (2025).

Além disso, é necessário que os contatores C1, C2, C3, C4 e C5 também sejam manobrados, para que assim as cargas do sistema possam ser alimentadas, para isso, é necessário que o circuito de comando também possa comandar esses contatores. Essa parte do circuito de comando é apresentada conforme a Figura 6.

Figura 6 - Circuito de comando que controla C1 a C5



Fonte: Autoria própria (2025).

O *SoftPLC* é programado de forma a realizar duas tarefas: a primeira, é de manobrar os contatores por meio do SSC, contendo os mesmos botões que o circuito de comando, e a segunda é a de realizar a rejeição automática das cargas do sistema, isso, quando faltando uma das linhas de alimentação do circuito de potência, e quando uma determinada chave no SSC estiver acionada. Nesse projeto, a plataforma de programação utilizada foi o *CODESYS V3.5 SP17 Patch 1*, e o *SoftPLC* que foi utilizado é o *CODESYS ControlWin SysTray*, ambos pertencentes ao *CODESYS Group*.

O SSC, além de manobrar os contatores por meio da programação do *SoftPLC*, também possui a função de monitorar visualmente o consumo das cargas do sistema. Dessa forma, o operador pode visualizar quais cargas devem ser rejeitadas, já que seu consumo está alto demais, e ultrapassando o permitido pela concessionária.

É importante destacar que o sistema não pode ser controlado pelo circuito de comando e pelo *SoftPLC* ao mesmo tempo, ou seja, quando um está comandando o circuito de potência, o outro é proibido de funcionar. A plataforma que foi utilizada para criar o SSC é o *AVEVA Edge Educational 2020 Studio*, pertencente ao *AVEVA*.

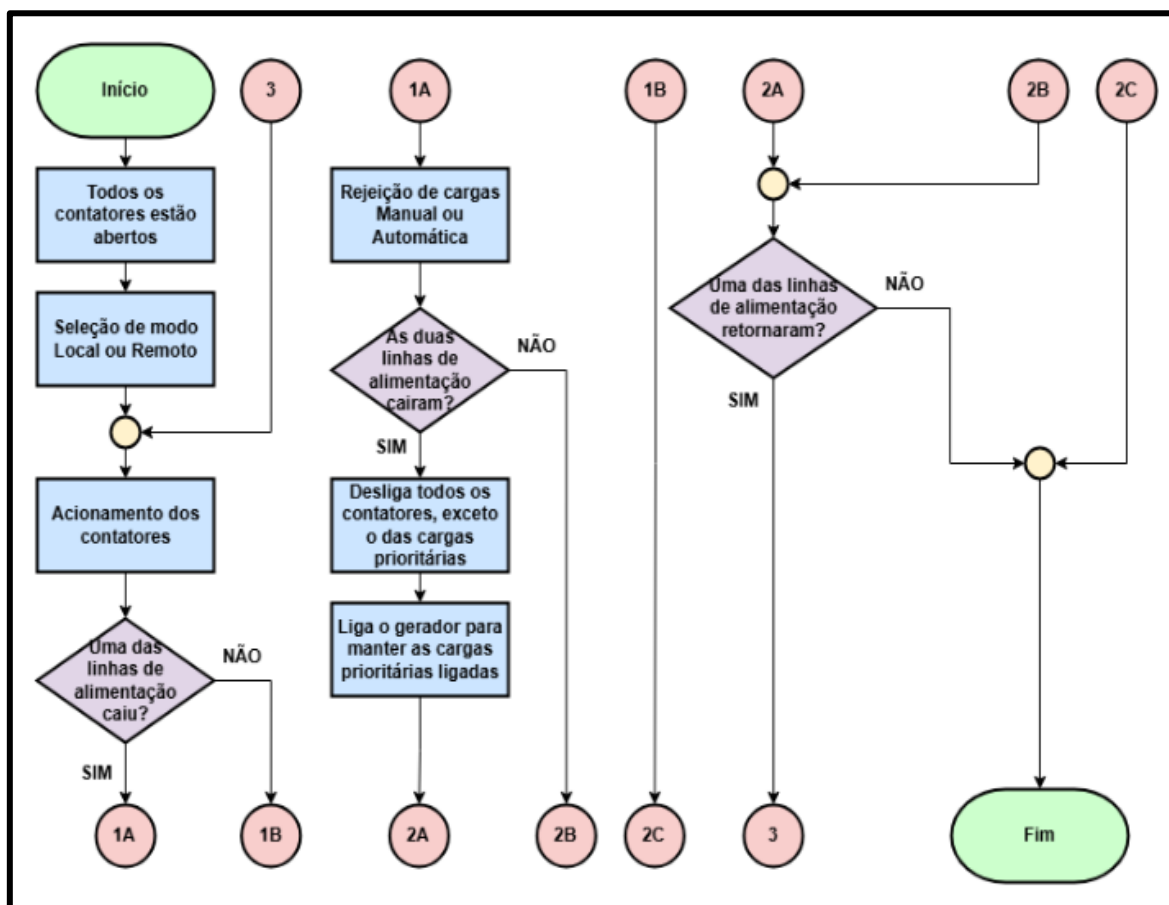
Para que o *SoftPLC* seja capaz de saber qual é o consumo das cargas, e que também há falta de energia em cada uma das linhas de alimentação, foi utilizado, em cada linha, um

MDGE, sendo utilizado nesse projeto para medir as tensões de fase, corrente elétrica, e potência ativa em cada uma das linhas.

Para a medição de tensão, o MDGE consegue realizá-la sem nenhum equipamento de proteção, já para a medição de corrente, como foi dito anteriormente, são usados os TCs para proteger o dispositivo.

Para facilitar a compreensão do funcionamento do sistema, é utilizado um fluxograma, que representa esse funcionamento de maneira simplificada e visual. O fluxograma é apresentado conforme a Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma de funcionamento do sistema

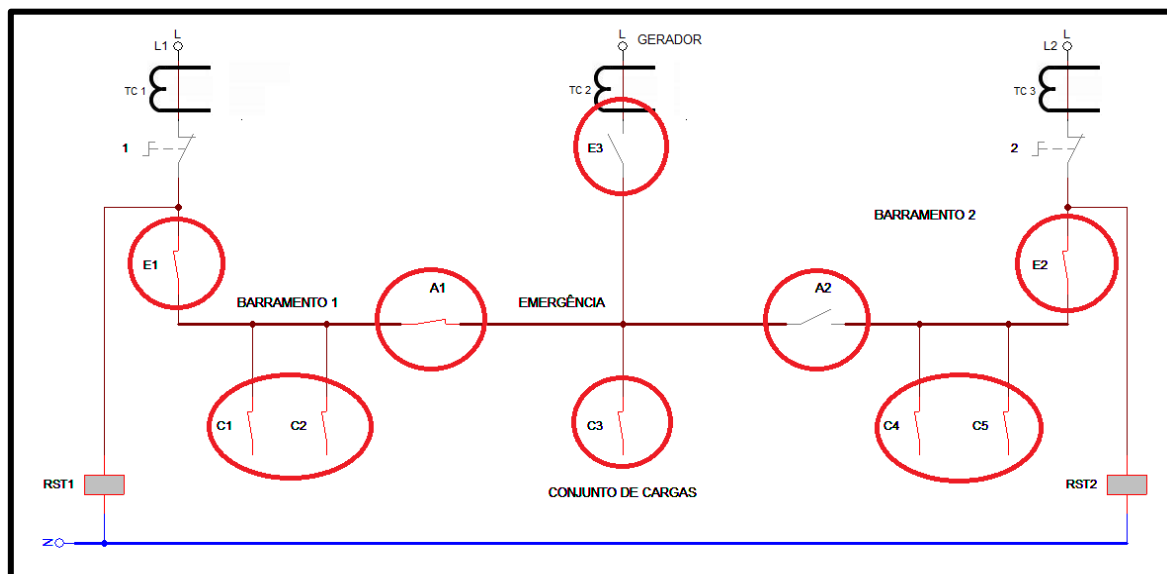


Fonte: Autoria própria (2025).

Conforme a Figura 7, inicialmente, todos os contadores começam abertos. Em seguida, deve-se escolher se o funcionamento do sistema será feito pelo circuito de comando, ou pelo SSC, chamados nesse projeto de funcionamento Local ou Remoto respectivamente, utilizando a chave CLR. Se CLR não for acionada, os comandos são feitos de forma Local. Se ela for acionada, os comandos são feitos de forma Remota.

Após a escolha entre Local ou Remoto, os contatores pode ser acionados ou desligados por meio dos botões BL (Botão Liga) ou BD (Botão Desliga), respectivamente. Recomenda-se que os contatores sejam acionados na seguinte sequência: primeiro, acionar os contatores E1 e E2 (entrada de energia); em seguida, os contatores A1 e A2 (acoplamento), e por fim C1 a C5 (cargas), conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Primeiro estado do sistema



Fonte: Autoria própria (2025).

E3 é um caso específico: quando atendida a sua determinada condição, esse contator é acionado, possuindo somente um botão com retenção BD presente somente de forma física no painel de comando, para realizar seu desligamento manualmente.

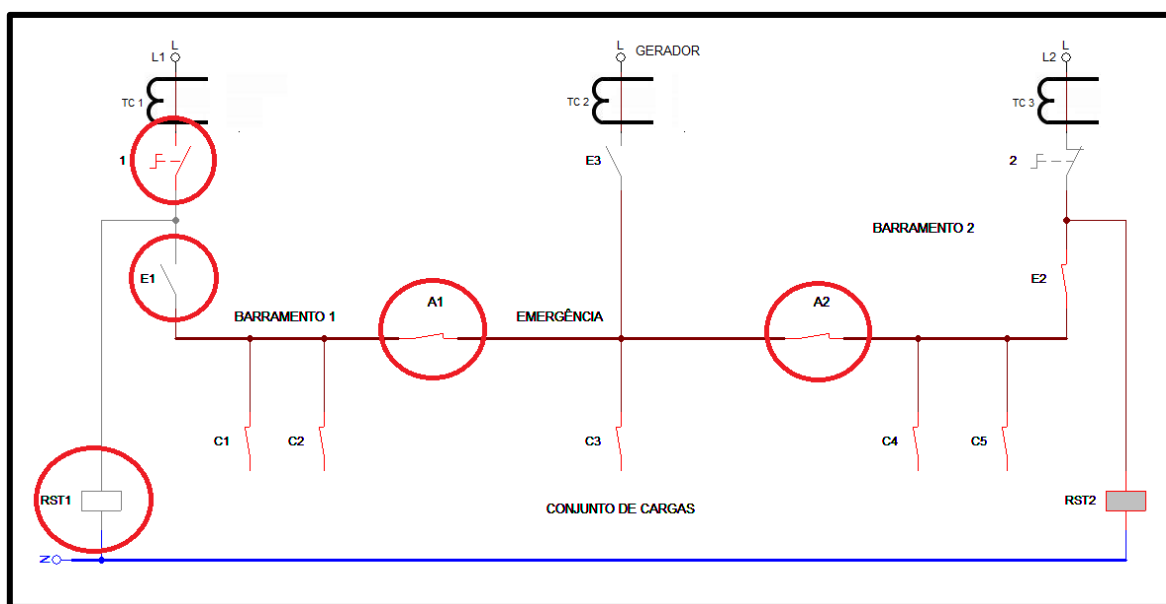
Na etapa seguinte, é necessário realizar a seleção da prioridade entre A1 e A2. Com ambas as linhas de alimentação energizadas, apenas um dos contatores devem ficar fechados, caso contrário pode ocorrer um curto circuito, o que pode danificar o sistema. Além disso, a seleção determina por qual linha de alimentação o barramento de emergência será alimentado. A seleção entre ambos pode ser feita por meio dos botões BPA1 e BPA2, e a lógica da operação é a seguinte: quando BPA1 é acionado, A1 fecha e A2 abre; se BPA2 for acionado, A1 abre e A2 fecha. A configuração padrão do sistema define que o contator A1 inicie fechado e A2, aberto.

A próxima fase do sistema ocorre quando há falta de energia em uma das linhas de alimentação. Isso ocorre quando os botões ou do relé RST1, ou do RST2 foram acionados, acionando o relé, e abrindo seu contato normal fechado. Nesse caso, o contator respectivo

daquela linha deve ser aberto: E1 para a linha 1, e E2 para a linha 2. Como não há energia passando por aquela linha, não há necessidade de manter o contator fechado.

Quando isso ocorre, independente da linha em que houve a falta de energia, os contadores A1 e A2 devem ser fechados, para que assim todas as cargas possam ser alimentadas. Por haver somente uma linha de alimentação, a rede fica instável, podendo ocasionar em uma queda total de energia. Para evitar isso, deve ser feita a rejeição das cargas, que pode ser feita de 3 maneiras: manual, por um operador no painel de comando, quando o sistema está em funcionamento Local; por um operador manualmente no SSC, enquanto a chave CMA não tiver sido acionada; e automaticamente, quando a chave CMA tiver sido acionada. Isso é demonstrado conforme a Figura 9, considerando que somente a linha 1 ficou sem energia.

Figura 9 - Segunda fase do sistema



Fonte: Autoria própria (2025).

No último caso, os MDGEs vão medir a potência ativa consumida pelas cargas, e caso esse consumo seja maior do que o permitido, o contator daquela carga será aberto. Esse processo ocorre somente quando o sistema está em funcionamento Remoto.

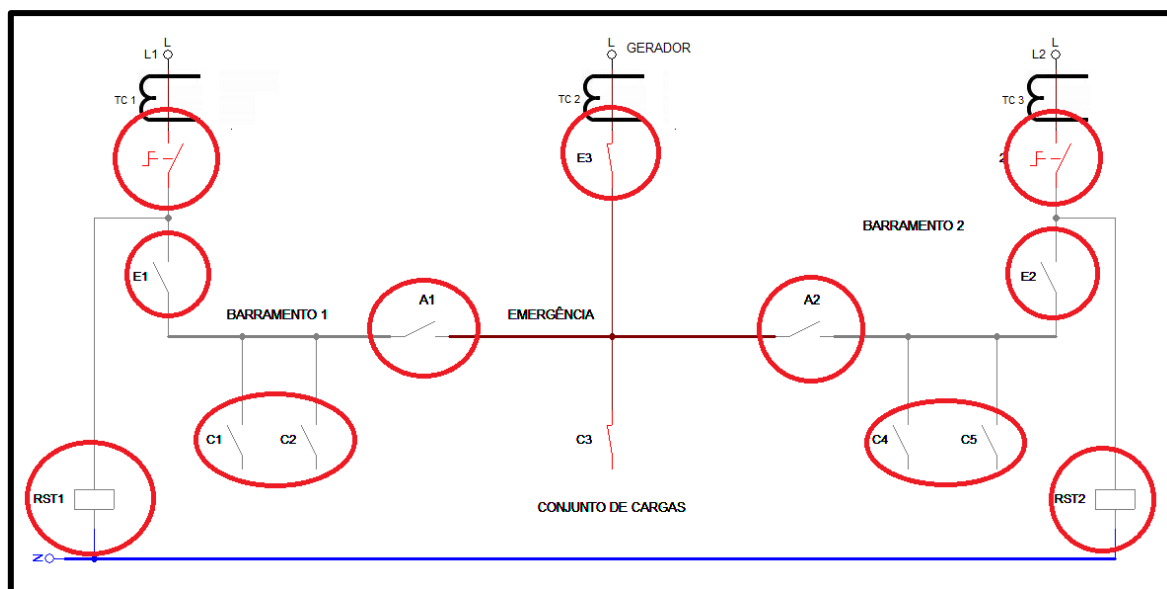
A única carga que nunca pode ser rejeitada é aquela presente no barramento de emergência, pois ela é uma carga que não pode parar de ser alimentada por muito tempo, sendo assim, o contator C3 nunca pode ser desativado.

Para intuito de simulação, serão rejeitadas somente duas cargas em cada barramento: quando não houver energia na linha 1, será rejeitada a carga C1 e depois a C5. Quando não houver energia na linha 2, será rejeitada a carga C4 e depois a C2.

A última fase do sistema ocorre quando as duas linhas de alimentação ficam sem energia, ou seja, os relés RST1 e RST2 estão abertos. Nestas condições, os contatores E1 e E2 devem abrir, pelo mesmo motivo já explicado anteriormente. Consequentemente, os contatores A1 e A2 devem abrir, pois não há energia passando por eles..

Enquanto isso, o contator C3 deve ficar fechado, permitindo que a carga do barramento de emergência seja alimentada. Após um tempo desse ocorrido, o contator E3 fecha automaticamente, pois o gerador já está preparado, dessa forma, a carga do barramento de emergência pode ser alimentada, mantendo o sistema funcionando. Quando as linhas de alimentação retornarem, isso quer dizer que os relés RST1 e RST2 retornaram ao seu estado fechado, nesse momento, E3 será desligado automaticamente, e todos os contatores podem – e devem – ser acionados novamente, restabelecendo o funcionamento normal do sistema. Isso é demonstrado conforme a Figura 10.

Figura 10 - Terceira fase do sistema



Fonte: Autoria própria (2025).

Um ponto importante a se ressaltar é com relação a transferência entre modo Local e Remoto, feita pela chave CLR. Quando a transferência é feita, o estado dos contatores é mantido, ou seja, se um contator ficou fechado quando em modo Local, esse contator continuará fechado em modo Remoto. Da mesma forma, se um contator ficou aberto em modo Local, ele permanecerá aberto em modo Remoto. O contrário também pode ocorrer, o estado do contator em modo Remoto será mantido quando transferido para o modo Local, seja ele aberto, ou fechado.

Para a construção do trabalho, inicialmente foi utilizada uma remota, ela é um conjunto de entradas e saídas, que utiliza um Arduino Mega, nele, são usadas chaves para os sinais de entrada, e ela manda sinais de saída para uma placa com relés, que necessitam de um sinal de 12 V vinda de uma fonte. Essa remota foi utilizada para realizar testes com o *SoftPLC*, onde foram feitas as versões iniciais da programação.

Junto da remota, foi criada uma jiga de testes contendo somente os contatores E1, E2, E3, A1 e A2, para assim averiguar o funcionamento desses cinco contatores, e se eles se comportam conforme o descrito anteriormente.

A programação do *SoftPLC* foi feita de forma a, quando um contator for acionado, ele enviará um sinal de 0 V para a entrada do *SoftPLC*, esse sinal será processado dentro da programação, de forma a enviar um sinal de saída para um relé, fazendo seu contato normal aberto fechar. Quando isso ocorrer, ele enviará um sinal de 24 V para a bobina do contator que o acionou, desse modo, quando ocorrer a transferência de modo Local para modo Remoto o contator que estava fechado permanecerá fechado. Se o contator estava aberto, ele permanecerá aberto.

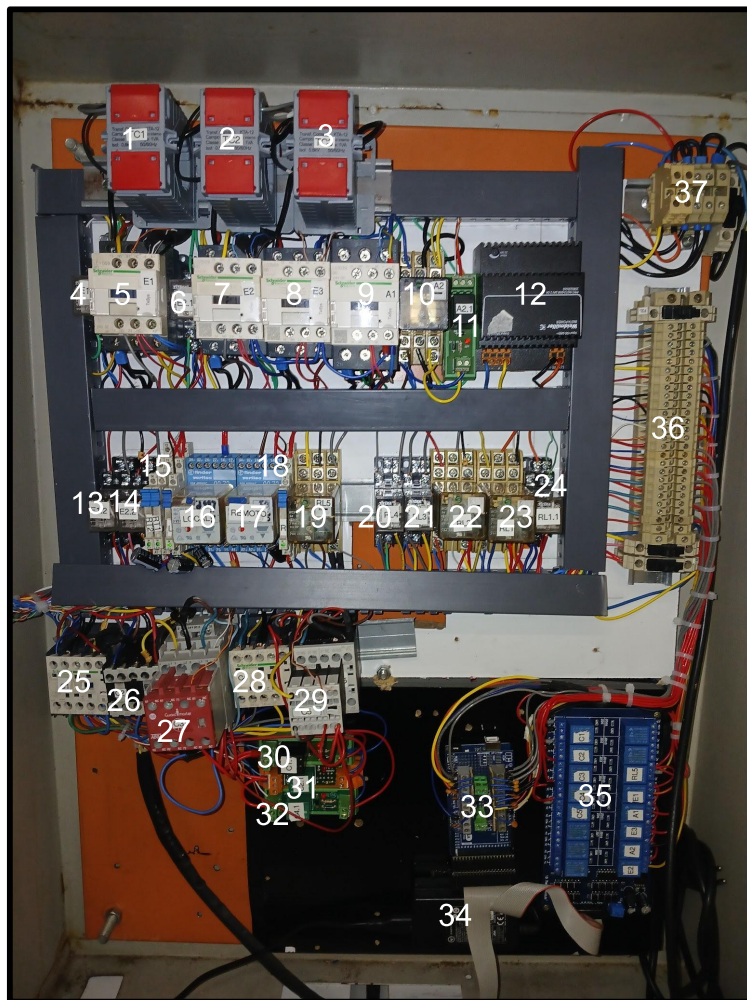
Além disso, quando em modo Remoto, o SSC pode fazer um determinado sinal de entrada dentro do *SoftPLC* ser acionado, esse sinal é processado, enviando um sinal de saída para a bobina do relé, fazendo seu contato normal aberto fechar, e enviar então um sinal de 24 V para a bobina do contator respectivo desse relé, fazendo-o ser acionado.

Após vários testes com a jiga, remota e *SoftPLC*, foi realizada a construção do circuito de potência e de comando dentro do painel, além da instalação dos MDGEs, TCs, e dos botões e chaves para o controle do circuito de potência. Antes de colocar o circuito de comando e potência dentro do painel, foram instalados em uma placa os elementos que ficam no exterior do painel, que são os botões, chaves e MDGEs, pois eles são os elementos que o operador precisa ter contato direto.

Após a instalação dos elementos externos, foi feita a instalação dos elementos internos do painel, esses elementos estão presentes na jiga de testes e na remota, eles são: os contatores, relés, fontes de 24 V e 12 V, os TCs, a placa de relés, e o Arduino Mega. Por fim, foi realizada a fiação desses elementos internos e externos, com todas as conexões entre os componentes sendo realizadas. Também foram colocados os cabos Ethernet para que os MDGEs possam se comunicar com o *SoftPLC*.

Os elementos colocados dentro do painel estão dispostos conforme a Figura 11, e abaixo da figura cada um dos componentes estão identificados.

Figura 11 - Interior do painel



Fonte: Autoria própria (2025).

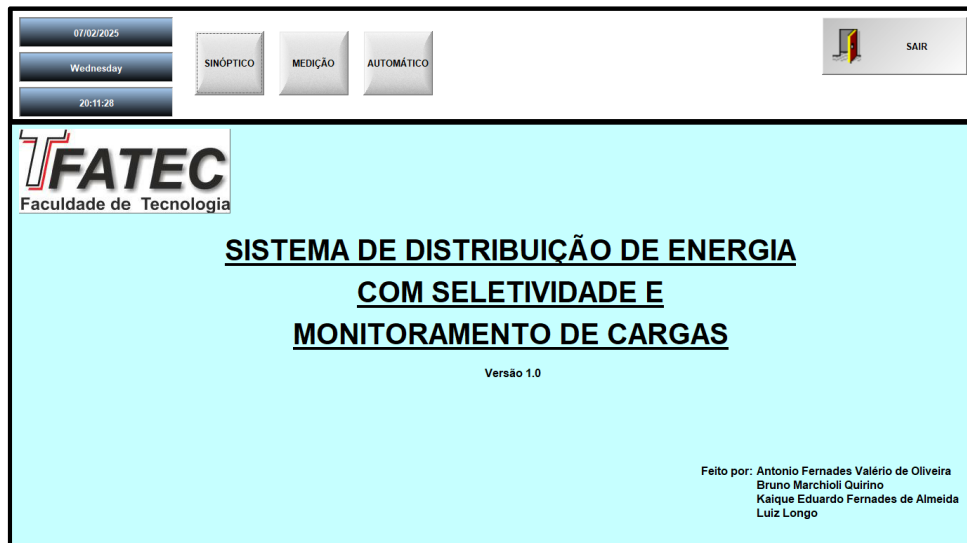
Legenda:

- 1 - TC1: Transformador de corrente da linha de alimentação 1
- 2 - TC2: Transformador de corrente da linha do gerador
- 3 - TC3: Transformador de corrente da linha de alimentação 2
- 4 - E1.1: Primeiro relé auxiliar do contator E1
- 5 - E1: Contator da linha de alimentação 1
- 6 - E2.1: Primeiro relé auxiliar do contator E2
- 7 - E2: Contator da linha de alimentação 2
- 8 - E3: Contator da linha do gerador
- 9 - A1: Contator de acoplamento entre o barramento 1 com o de emergência
- 10 - A2: Contator de acoplamento entre o barramento 2 com o de emergência
- 11 - A2.1: Relé auxiliar do contator A2
- 12 - Fonte variável de 22V a 28V

- 13 - E1.2: Segundo relé auxiliar do contator E1
- 14 - E2.2: Segundo relé auxiliar do contator E2
- 15 - Relés de temporização:
 - 15.1 - RT2: Segundo relé temporizador para o fechamento do E3;
 - 15.2 - RT1: Primeiro relé temporizador para o fechamento do E3;
 - 15.3 - L: Relé temporizador para a mudança de modo Local.
- 16 - LOCAL: Relé para o acionamento do modo Local
- 17 - REMOTO: Relé para o acionamento do modo Remoto
- 18 - R: Relé temporizador para a mudança de modo Remoto
- 19 - RL5: Relé para determinar a prioridade entre A1 e A2
- 20 - RL4: Relé auxiliar do contator A2
- 21 - RL3: Relé auxiliar do contator A1
- 22 - RL2: Relé para simular a falta ou presença de energia na linha 2
- 23 - RL1: Relé para simular a falta ou presença de energia na linha 1
- 24 - RL.1: Relé auxiliar do relé RL1
- 25 - C1: Contator da carga 1
- 26 - C2: Contator da carga 2
- 27 - C3: Contator da carga 3
- 28 - C4: Contator da carga 4
- 29 - C5: Contator da carga 5
- 30 - C1.1: Relé auxiliar do contator C1
- 31 - C2.1: Relé auxiliar do contator C2
- 32 - C4.1: Relé auxiliar do contator C4
- 33 - Arduino Mega 2560
- 34 - Fonte de 12V para alimentar a placa de relés
- 35 - Placa de 32 relés
- 36 - Borneira para as conexões do arduino e placa de relés
- 37 - Borneira para as conexões de alimentação do painel

Ao mesmo tempo em que os elementos do painel foram instalados, as telas do SSC também foram criadas. Foi decidido que o SSC teria 4 telas no total. A primeira tela criada foi a principal, essa tela é a primeira com a qual o operador tem contato. Nessa tela é possível ver a data, hora e dia da semana atual, além de permitir que o operador possa navegar para as outras telas da aplicação. A tela principal é apresentada conforme a Figura 12.

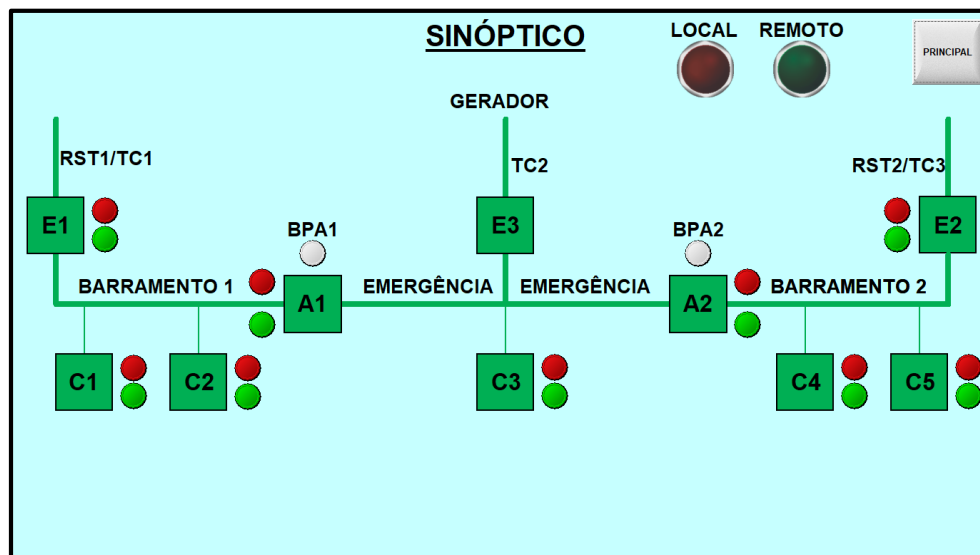
Figura 12 - Tela principal do SSC



Fonte: Autoria própria (2025).

A segunda tela foi a de sinóptico, nessa tela é possível observar se o sistema está em modo Local ou Remoto, observar o estado dos contatores quando em modo Local, comandar os contatores por meio de botões quando o sistema está em modo Remoto, em também observar se há ou não energia nas linhas de alimentação. A tela de sinóptico aparece conforme a Figura 13.

Figura 13 - Tela de sinóptico do SSC

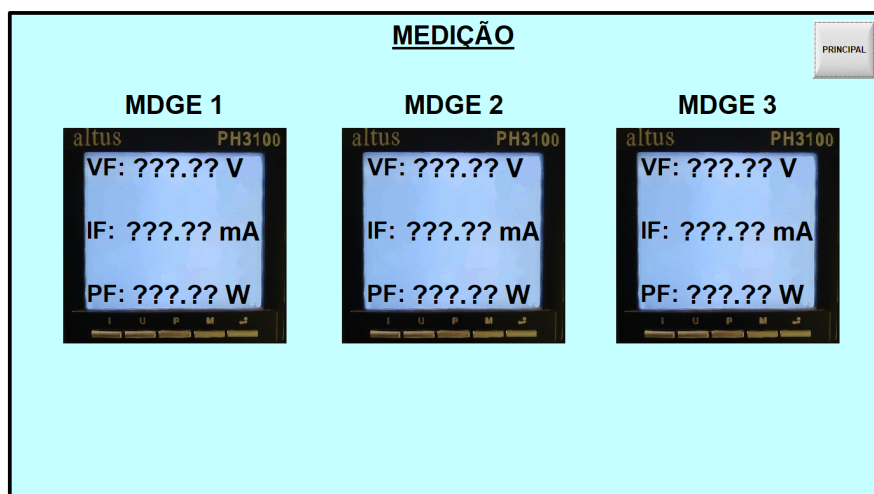


Fonte: Autoria própria (2025).

A terceira tela criada foi a de medição, nessa tela é possível observar os níveis de tensão, corrente e de potência ativa nas três linhas de alimentação. Os dados demonstrados

nesta tela são coletados pelos MDGEs e enviados para o *SoftPLC*, que envia os dados para o SSC, colocando-os nessa tela. A tela de medição é apresentada conforme a Figura 14.

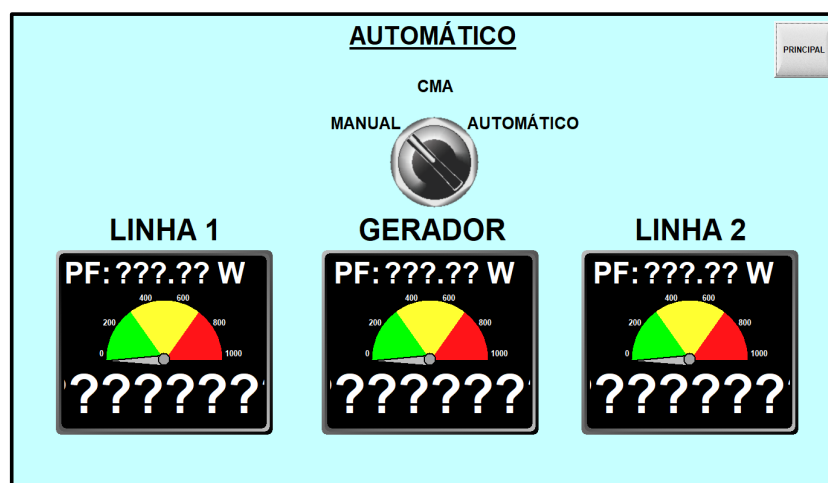
Figura 14 - Tela de medição do SSC



Fonte: Autoria própria (2025).

A última tela criada foi a de automático. Nessa tela é demonstrado o consumo de potência ativa nas três linhas de alimentação, nela o operador pode ver se o consumo das linhas de alimentação está muito alto, e, se for necessário, o operador pode acionar a chave CMA, colocando o sistema em modo automático. A tela de automático é apresentada conforme a Figura 14.

Figura 15 - Tela de automático do SSC



Fonte: Autoria própria (2025).

Para a simulação das cargas, foi utilizado um conjunto de 7 lâmpadas conectadas às saídas dos contadores C1 a C5. Junto com as lâmpadas foram utilizados dois reguladores de

tensão que utilizam um potenciômetro, esses dois reguladores foram utilizados para simular o aumento do consumo nas linhas de alimentação, onde conforme eles estavam sendo ajustados, a corrente que passava pelas lâmpadas subia, consequentemente aumentando a potência ativa consumida nas linhas, e também a sua luminosidade.

Baseado nas informações dos MDGEs, a demanda estipulada por esse projeto e que não poderia ser ultrapassada foi de 880 W (0,88 kW).

Foi necessário também configurar cada um dos MDGEs para que as medições fossem feitas corretamente, sendo necessário configurá-los com a mesma relação de transformação dos TCs, quanto também alterar seus endereços de IP, para que assim o *SoftPLC* pudesse identificá-los.

Com toda a integração do circuito de potência, circuito de comando, *SoftPLC*, MDGEs, TCs, e SSC, é finalizado então o desenvolvimento do projeto. O projeto finalizado aparece conforme a Figura 16.

Figura 16 - Frente do painel



Fonte: Autoria própria (2025).

5. Testes e resultados

A seguir estão demonstrados os testes e resultados adquiridos com esse trabalho. O primeiro teste realizado teve como foco a remota. Nesse teste, o *SoftPLC* foi programado para acionar os relés presentes nas saídas do Arduino, baseado no estado das chaves presentes nas entradas do mesmo. Além disso, foi utilizado também uma ferramenta do *CODESYS* chamada de *WebVisu*, um simulador, que foi utilizado para testar o funcionamento remoto. O intuito deste teste foi verificar se a programação do *SoftPLC* estava de acordo com o planejado.

Nesse teste, os contatores não tinham sido montados, e todo o funcionamento era feito pelo *SoftPLC*, sendo assim, não foi possível realizar qualquer teste com relação a transferência entre modo Local e Remoto.

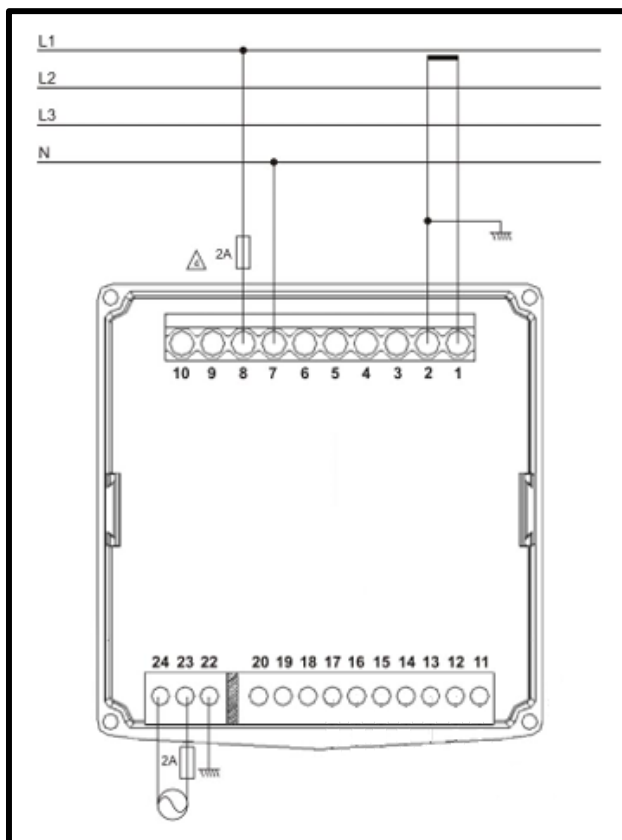
Primeiro, foi verificado o estado do sistema com as duas linhas de alimentação, onde eram acionadas as chaves, elas enviavam um sinal para a entrada do *SoftPLC*, ele processava esse sinal através de sua programação, e mandava uma saída ser ativada, fazendo assim um determinado relé ser energizado e fechar seus contatos.

Em seguida, foi testado quando havia somente uma linha de alimentação, fazendo os contatores A1 e A2 fecharem, independente da linha que saiu. Nesse momento inicial, a programação da rejeição automática de cargas não tinha sido feita.

Por fim, foi testado quando o sistema ficava sem as duas linhas de alimentação, acionando o contator E3. Quando as duas linhas retornavam, o acionamento dos relés podia ser feito novamente.

O segundo teste teve como foco os MDGEs e TCs. Para a realização desse teste, os dispositivos foram montados conforme a Figura 12, retirada do manual do MDGE PH3100, para a medição de tensão monofásica, porém, modificada para demonstrar somente o que foi feito no teste.

Figura 12 - Medição de tensão monofásica do PH3100

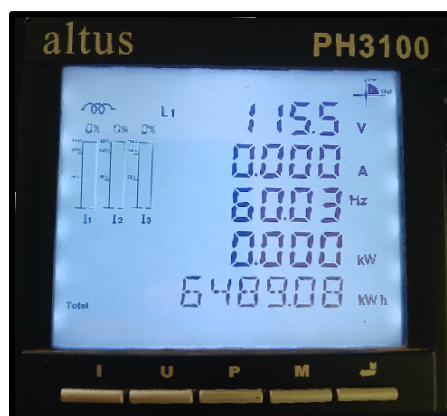


Fonte: Altus (2025).

Conforme a Figura 12, os bornes 24 e 23 do MDGE são destinados à alimentação do aparelho, enquanto o borne 22 é utilizado para o aterramento. Os bornes 7 e 8 foram utilizados para medir a tensão de fase vinda da rede, e os bornes 1 e 2 são para conectar o TC, para poder medir a corrente elétrica.

O teste foi realizado em uma residência. Durante a medição da tensão de fase, com o aparelho operando sem a medição de corrente, foi registrado um valor aproximado de 115 V, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Medição da tensão de fase do MDGE

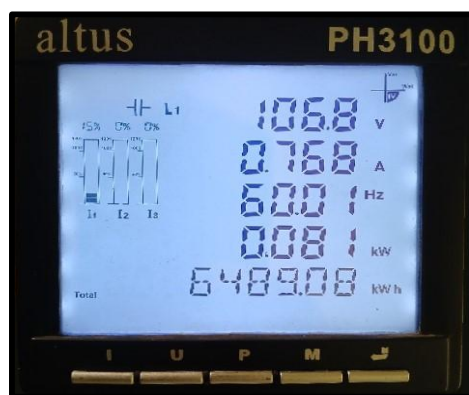


Fonte: Autoria própria (2025).

Quando a corrente é envolvida na medição, o valor da tensão é de aproximadamente 106.8 V, uma redução de 9 V, conforme ilustrado na Figura 14.

Para a realização da medição da corrente, foi utilizado um ferro de passar roupas como carga. A corrente registrada durante o funcionamento do equipamento de aproximadamente 0,768 A (768 mA). A potência ativa medida foi demonstrada com um valor de aproximadamente 0,081 kW (81 W), conforme ilustrado na Figura 14.

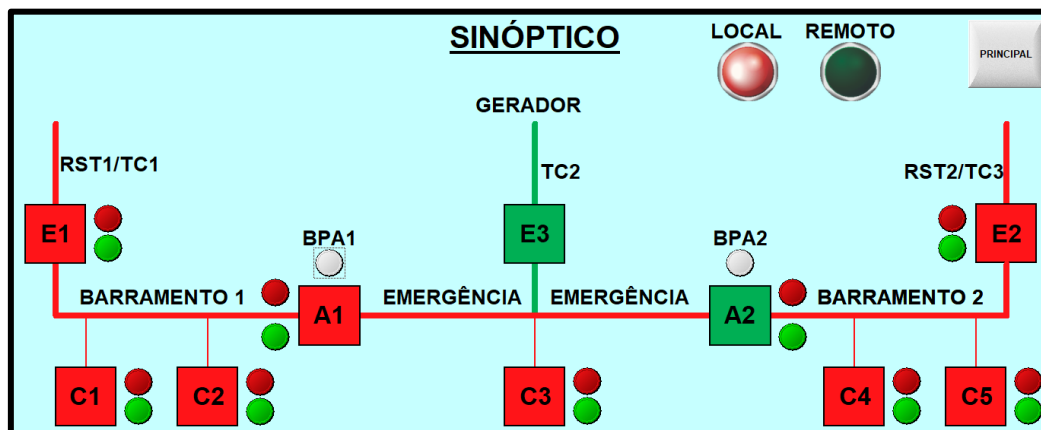
Figura 14 - Medição da tensão, corrente e potência ativa do MDGE



Fonte: Autoria própria (2025).

O terceiro teste feito foi com relação a jiga de testes, onde todos os estados do sistema foram observados. Primeiro, foi observado a condição normal do sistema com ambas as linhas de alimentação, que se demonstrou funcionando corretamente, e com o estado dos contatores sendo mantidos quando a transferência é feita. Com o SSC, foi possível observar esse estado conforme a Figura 15.

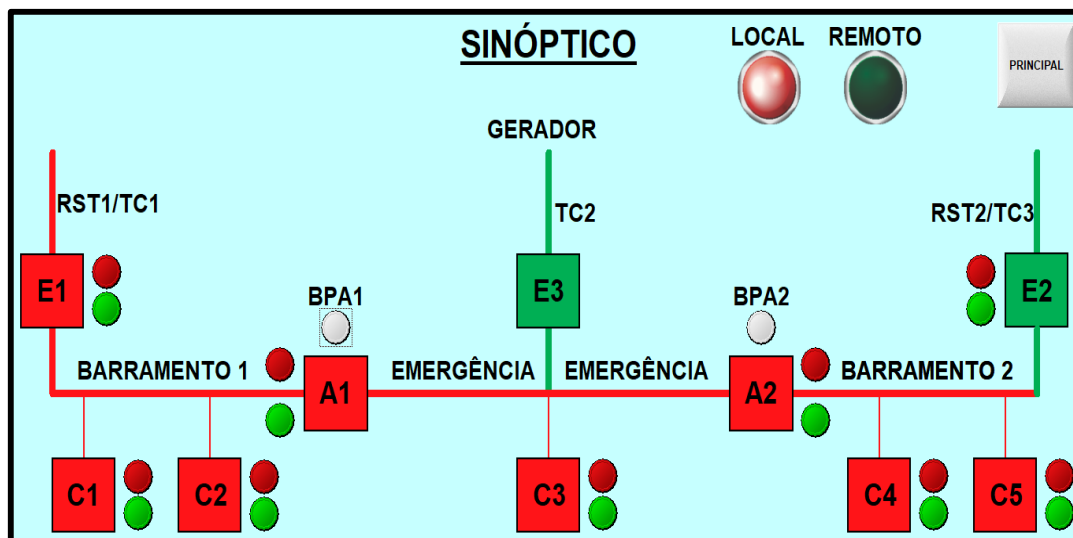
Figura 15 - Primeira fase do sistema pelo SSC



Fonte: Autoria própria (2025).

Em seguida, foi feito o teste quando apenas uma das linhas de alimentação estava sem energia. Nesse caso, os relés RST1 ou RST2 foram desativados quando acionadas suas respectivas chaves. Como esperado, os contatores A1 e A2 foram ativados (fechados), sinalizando a correta resposta do sistema à falha de uma das linhas de alimentação. Esse estado pôde ser observado conforme a Figura 16, quando havia somente a linha 1 disponível.

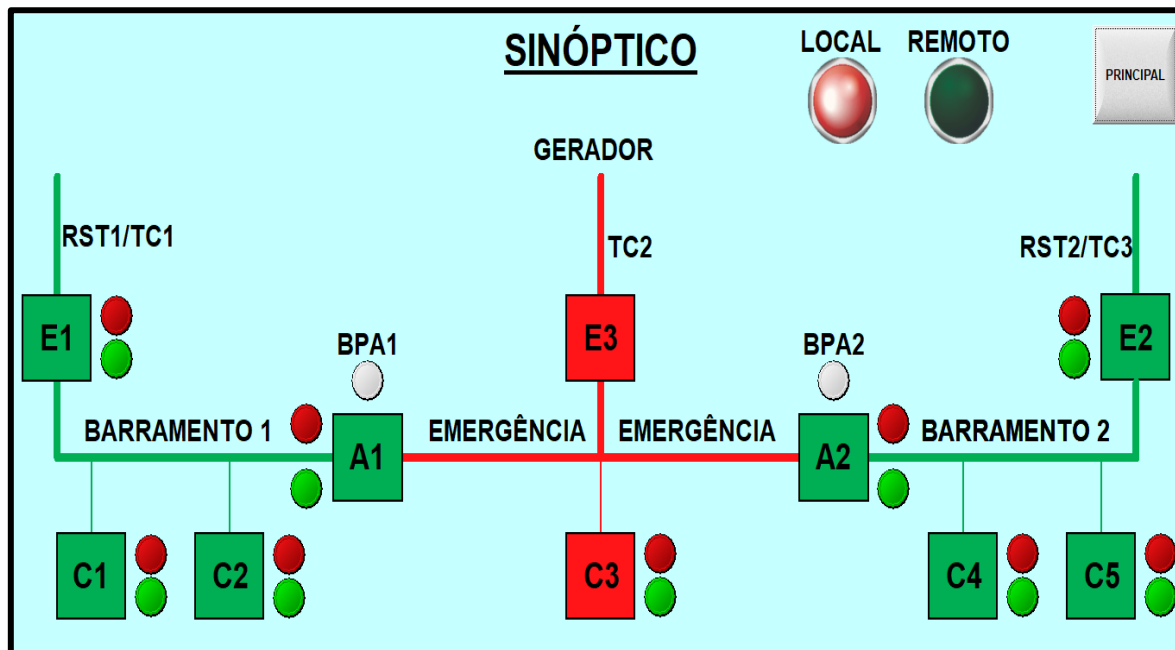
Figura 16 - Segunda fase do sistema pelo SSC



Fonte: Autoria própria (2025).

Por fim, também foi observado quando ambas as linhas de alimentação estavam sem energia. Nessa situação, os relés RST1 e RST2 foram desacionados, fazendo todos os contatores caírem. Depois de um tempo desse ocorrido, o contator E3 fechou. Posteriormente, quando os relés RST1 e RST2 foram reativados, o contator E3 foi desligado automaticamente, permitindo que os demais contatores fossem novamente acionados de acordo com a lógica do sistema. Esse estado pôde ser observado pelo SSC conforme a Figura 17.

Figura 17 - Terceira fase do sistema pelo SSC



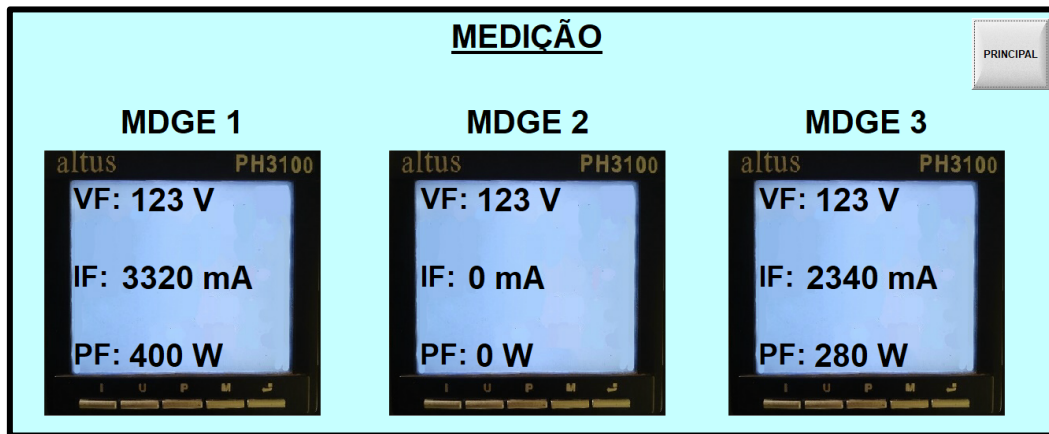
Fonte: Autoria própria (2025).

Foi testado também o funcionamento do *SoftPLC*, onde quando em modo Remoto, tudo o que foi descrito anteriormente pôde ser feito, porém, por meio do SSC.

O quarto teste teve como foco a visualização dos valores registrados pelos MDGEs no SSC. Os valores registrados pelo MDGE 1 no SSC foram de 123 V de tensão de fase, 3,32 A (3320 mA) de corrente e 0,4 kW (400 W) de potência ativa. Os valores registrados pelo MDGE 3 no SSC foram de 123 V de tensão de fase, 2,34 A (2340 mA) de corrente, e 0,28 kW (280 W) de potência ativa.

Todos esses valores foram medidos com todas as cargas ligadas, e o MDGE 1 registrou um valor de potência maior que o MDGE 3 pois a prioridade do sistema estava para o barramento 1 (A1 acionado). O MDGE 2 não registrou qualquer valor de corrente ou potência pois o E3 ainda não estava acionado. Os valores registrados pelos MDGES 1 e 3 na tela de medição do SSC estão conforme a Figura 18.

Figura 18 - Medição dos MDGEs pelo SSC



Fonte: Autoria própria (2025).

O último teste teve como objetivo verificar o funcionamento da rejeição automática de cargas. Para esse teste, os contadores C1 a C5 já estavam instalados, e em suas saídas foram conectadas 5 lâmpadas. Os reguladores foram utilizados para aumentar a corrente consumida por mais 2 lâmpadas, consequentemente aumentando o valor da potência ativa consumida pelas cargas. Quando esse consumo se tornou maior que 880 W, a programação do *SoftPLC* fez as cargas serem rejeitadas, claro, com o sistema funcionando em modo Remoto, e com a chave CMA estando acionada. Esse teste foi feito tanto pelo simulador do *WebVisu* quanto de forma física.

6. Considerações finais

Esse trabalho teve como objetivo principal a elaboração de um sistema de distribuição de energia, capaz de ser controlado tanto fisicamente por um operador em um painel de comando, quanto remotamente em um SSC, seja de forma manual ou de forma automática.

O sistema foi desenvolvido com o intuito de assegurar a disponibilidade da energia elétrica, pois a falta desse recurso vital acarreta em diversos problemas, principalmente para a indústrias, já que sem energia as máquina das empresas não funcionam, se elas não funcionam o produto não é feito, sendo assim, não só ocorre a perda de matéria prima e tempo, mas também a empresa não tem lucro.

Como principais conquistas desse projeto, destaca-se a montagem e validação de um sistema funcional, capaz de operar de forma isolada tanto localmente quanto remotamente, e que, de maneira eficiente, contribui para a manutenção da continuidade de energia elétrica, aumentando a confiabilidade e a segurança operacional.

Também foi possível entender e compreender como componentes físicos podem interagir com *softwares* como o *SoftPLC* e SSC, permitindo assim o controle de processos,

além de também aprofundar o conhecimento da criação de programas e de um sistema supervisorio.

Com esse projeto também foi possível compreender como uma rede de comunicação pode ser utilizada para controlar um processo, desde determinar qual o meio físico e protocolo devem ser utilizados, até entender como configurá-los de acordo com a aplicação.

Como vantagens, esse projeto é versátil, pois o operador pode controlar o sistema de três formas diferentes, permitindo que hajam vários jeitos de manter a disponibilidade da energia, seja de forma manual ou automática.

Graças a programação e dos medidores utilizados, esse sistema consegue pressentir quando o consumo das cargas é alto demais, e no momento em que isso é detectado, essas cargas são rejeitadas imediatamente, evitando que haja uma queda total de energia.

Além disso, o estado dos contadores é mantido quando ocorre a transferência do modo local para o modo remoto e vice-versa, ou seja, nenhum contator é desligado ou ligado quando ocorre a mudança dos modos de operação.

Outra vantagem é que se ocorrer algum problema com o *SoftPLC*, ainda há o circuito de comando capaz de controlar o circuito de potência do sistema.

Uma das limitações deste projeto está na sua aplicabilidade em um ambiente real. O sistema foi desenvolvido com componentes que aguentam níveis de tensão mais baixos e em um ambiente simulado, onde foram utilizados contadores no lugar de disjuntores, lâmpadas no lugar de cargas muito elevadas, e uma linha de alimentação adicional ao invés de um gerador à combustível. Portanto, é necessário realizar um estudo detalhado para avaliar a viabilidade do projeto em um ambiente real, considerando aspectos como segurança, desempenho e durabilidade dos componentes.

Caso ocorra alguma falha ou problema com o *SoftPLC*, isso significa que o modo de operação Remoto se torna indisponível, seja de forma manual ou automática, o que também faz o SSC se tornar inutilizável, já que ele necessita dos dados vindos do *SoftPLC* para funcionar corretamente.

REFERÊNCIAS

BAKHT, M. P.; KHAN, N.; MOHD, N. H. M.; SHEIKH, U. U. *Optimal Design and Performance Analysis of Hybrid Renewable Energy System for Ensuring Uninterrupted Power Supply During Load Shedding*. *IEEE Access*, v. 12, p. 5792 - 5813, Jan. 2024. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10380583>. Acesso em: 19 de mar. de 2025.

BORDIGNON, G. D. **Desenvolvimento de um gateway de protocolo de suporte a Modbus e MQTT**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade

Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256860>. Acesso em: 20 de mar. de 2025.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica, Ano base 2023**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 25 de fev. de 2025.

FREITAS, V. M.; RODRIGUES, V. S.; SILVA, B. H. A.; SILVA, L. L. **Sistema Automatizado de Instruções de Trabalho para Montagens Manuais**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Tecnologia em Automação Industrial) - Faculdade de Tecnologia “Adib Moisés Dib”, São Bernardo do Campo. Disponível em: <http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/29149>. Acesso em: 19 de mar. de 2024.

IEC. **IEC 61131-2:2017**. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/en/publication/31007>. Acesso em: 20 de mar. de 2025.

MALIK, O. P.; SALLAM, A. A. **Electric Distribution Systems**. 2ª edição. Reino Unido: Wiley, 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=GSF0DwAAQBAJ&lpg=PR1&dq=electric%20energy%20distribution&lr&hl=pt-BR&pg=PR1#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 19 de mar. de 2025.

ONS. **O que é o SIN**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 25 de fev. de 2025.

ROCHA, V. G.; SANTOS, L. C. P. **Bancada Didática para Medição de Nível em Sólidos, com Sistema Supervisório e Comunicação Modbus via ESP32**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Cursos Superior em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4815>. Acesso em: 20 de mar. de 2025.