

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ABRAÃO DOS REIS OSHIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM GATEWAY
CONFIGURÁVEL PARA CONVERSÃO DE DADOS DE
EQUIPAMENTOS MODBUS DE SUBESTAÇÃO DE
MÉDIA TENSÃO**

Manaus

2024

ABRAÃO DOS REIS OSHIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM GATEWAY CONFIGURÁVEL PARA
CONVERSÃO DE DADOS DE EQUIPAMENTOS MODBUS DE SUBESTAÇÃO
DE MÉDIA TENSÃO**

Projeto de pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de conclusão de Curso e apresentado à banca avaliadora do curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção de título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Cláudio Gonçalves de Azevedo

Manaus

2024

ABRAÃO DOS REIS OSHIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM GATEWAY CONFIGURÁVEL PARA
CONVERSÃO DE DADOS DE EQUIPAMENTOS MODBUS DE SUBESTAÇÃO
DE MÉDIA TENSÃO**

Projeto de pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de conclusão de Curso e apresentado à banca avaliadora do curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

BANCA EXAMINADORA:



Prof.Dr. Cláudio Gonçalves de Azevedo



Prof.Dr. Daniel Guzmán del Río



Prof.Dr. Israel Gondres Torné

Manaus
2024

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia – EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice – Reitor:

Katia do Nascimento Couceiro

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Jucimar Maia Junior

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Jozias Parente de Oliveira

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 19/02/2024

Prof.Dr. Cláudio Gonçalves De Azevedo (Orientador)

Prof.Dr. Israel Gondres Torné (Avaliador I)

Prof.Dr. Daniel Guzmán del Río (Avaliador II)

CIP - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Oshima, Abraão Dos Reis

Desenvolvimento de um gateway configurável para conversão de dados modbus de subestação de média tensão / Abraão Dos Reis Oshima; [orientador por] Cláudio Gonçalves de Azevedo, Dr – Manaus: 2024. 49 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia elétrica). Universidade do estado do Amazonas, 2024.

1. Gateway 2. Subestação. 3. Controle Remoto.
4.Comunicação

I. Azevedo, Cláudio Gonçalves de

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, minha família ,namorada e amigos, pois fazem parte da minha graduação desde o começo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ser tão bondoso comigo todos esses anos. Me sinto grandemente abençoado por todas as conquistas que o senhor me proporcionou.

Agradeço aos meus pais por sempre me apoiarem e me darem os melhores meios, assim possibilitando a formação da pessoa que eu sou hoje, uma pessoa sonhadora e batalhadora, que por sua vez me levará a um patamar que será muito maior que apenas essa primeira graduação, mas também para voos mais altos, afinal, o céu é o limite, não é mesmo?! Agradeço por cada puxada de orelha e conselhos que recebi durante todos esses anos, enfim, muito obrigado por todo carinho, amor, paciência e positividade que tiveram comigo, amo vocês.

Gostaria de agradecer ao meu chefe, Nilson Monteiro, que com sua alta gama de conhecimento, conseguiu me transmitir uma visão mais vasta do que seria a verdadeira otimização elétrica e suas diversas vantagens, sendo o responsável pelo tema escolhido do meu TCC, além de vários insights sobre os ramos da engenharia elétrica, muito obrigado.

Gostaria de agradecer aos meus familiares e amigos por me darem todo suporte durante essa longa caminhada que começou em 2018. Comigo, levo uma frase que meu avô disse para mim enquanto vivo: “Você terá um futuro brilhante, continue se esforçando que irá conseguir”, e aqui estou em lágrimas escrevendo essa mensagem, conquistando minha primeira colação, obrigado, vô, saudades. Gostaria de agradecer à minha prima por me aturar esses intermináveis anos e por aumentar minha autoestima, muitas vezes que eu estava para baixo, e também por me incentivar em muitas escolhas, amo você.

Gostaria de agradecer aos meus melhores amigos que essa faculdade pode me proporcionar, Gabriel Benayon, João Garcês e Pedro Silvério, pessoas estas que me ajudaram nos meus piores momentos(que foram muitos) durante essa longa caminhada na faculdade, já me viram sorrir, fazer piadas(todo momento) e estressado com vários professores que acabavam dificultando o caminho, mas tudo bem acontece,além disso, estes me fizeram analisar que não existem conquistas só individuais, pois como é bem dito em uma Adaptação de um trecho de uma carta de Newton para Robert Hooke, se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro de gigantes, e sim meus amigos, vocês são gigantes, pessoas incríveis que tive o prazer

de conhecer e vivenciar cada matéria com vocês, muito obrigado guys, amo vocês.

E gostaria finalmente de agradecer a minha linda, perfeita, adorável, espetacular e encantadora namorada, que nesses meses me ajudou de uma forma que eu nunca tinha visto, me apoiou em momentos frágeis que eu jamais pensei que teria alguém como você para me confortar, me incentivou em vários momentos em que pensei em desistir e também foi paciente comigo durante todo esse processo, sempre segurando a minha mão e falando “Você consegue”, sem você tenho absoluta convicção que eu não teria ânimo para finalizar o curso, e olha, aqui estou (aqui estou mais um dia sob o olhar sanguinário do vigia) finalizando o curso.

Lígia, você é a minha inspiração, a minha confidente, a minha melhor amiga e o meu grande amor. Prometo continuar a cuidar de você, a apoiar seus sonhos e a amar você com todo o meu coração. Obrigado por ser a pessoa incrível que você é, possuindo uma energia cativante, que poucos têm o privilégio e honra de ter. Eu escolho você todos os dias e agradeço por você ter me escolhido, tinhamooooo.

RESUMO

A automação de subestações é fundamental para garantir o funcionamento eficiente e seguro do sistema elétrico, além disso, a obtenção e análise de dados precisos e em tempo real das subestações é fundamental para tomada de decisões estratégicas. Um gateway configurável permitirá o acesso e a conversão eficiente dos dados dos equipamentos ModBus, fornecendo informações valiosas para operadores e engenheiros na gestão e manutenção do sistema elétrico.

Este trabalho é fundamentado nas normas IEC 61850 e IEC 60870-5, no qual a IEC 61850 tem como intuito estabelecer os padrões para comunicação e automação de sistemas de energia elétrica, definindo um conjunto de protocolos de comunicação, sendo frequentemente utilizada em subestações para comunicação entre dispositivos e sistemas. A norma IEC 60870-5 tem como objetivo especificar os protocolos de comunicação para sistemas de supervisão e controle em subestações no geral, sendo este utilizado para aquisição de dados e controle remoto de equipamento em subestação. A parte 101 da norma IEC 60870-5, fornece diretrizes detalhadas sobre como o protocolo ModBus deve ser implementado para garantir uma comunicação confiável e eficiente em subestações. Ela descreve os formatos de mensagens, a estrutura dos pacotes de dados, os modos de transmissão, os métodos de detecção e correção de erros, e outros aspectos técnicos relevantes.

Palavras chaves: Gateway, subestação, controle remoto, comunicação.

ABSTRACT

Substation automation is essential to ensure the efficient and safe operation of the electrical system, in addition, obtaining and analyzing accurate and real-time data from substations is essential for strategic decision-making. A configurable gateway will allow access and efficient conversion of ModBus equipment data, providing valuable information for operators and engineers in the management and maintenance of the electrical system.

This work is based on the IEC 61850 and IEC 60870-5 standards, in which the IEC 61850 aims to establish standards for communication and automation of electrical power systems, defining a set of communication protocols, often used in substations for communication between devices and systems. The IEC 60870-5 standard aims to specify the communication protocols for supervision and control systems in substations in general, which is used for data acquisition and remote control of substation equipment. Part 101 of the IEC 60870-5 standard provides detailed guidelines on how the ModBus protocol should be implemented to ensure reliable and efficient communication in substations. It describes message formats, the structure of data packets, transmission modes, error detection and correction methods, and other relevant technical.

Aspects Keywords: Gateway, substation, remote control, communication.

Índice de ilustrações

Figura 1 - Exemplo de multimetro das	3
Figura 2: Estrutura básica gateway	6
Figura 3 : Gateway.....	9
Figura 4: Estrutura conversor RS485	10
Figura 5: Conversor RS485	12
Figura 6 - Raspberry PI.....	15
Figura 7 : Orange PI	17
Figura 8 :Subestação.....	19
Figura 9: Transformador a seco	20
Figura 10: Transformador a óleo	21
Figura 11: Multimetro	22
Figura 12: Relé de Proteção	22
Figura 13: Capacitores em paralelo	24
Figura 14: Aplicação prática banco de capacitores	25
Figura 15 : Gerador 180 kVa.....	26
Figura 16: Layout Subestação Henocho Reis	28
Figura 17: Vista posicionamento quadro microcomputador	29
Figura 18: Montagem da medição.....	30
Figura 19: Parâmetros no software KRON	31
Figura 20: Parâmetros através do python	32
Figura 21: Parâmetros através do python	32
Figura 22: Parâmetro TP.....	33
Figura 23: Parâmetro TC	34

Lista de Tabela

Tabela 1: Dados Equipamento Multimetro.....	34
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

MQTT – Message Queuing Telemetry Transport

IoT – Internet of Things

RDBMS – Relational Database Management System

IEC – International Electrotechnical Commission

RTU – Remote Terminal Unit

CRC – Campo de Verificação de Redundância Cíclica

PLC – Controladores Lógicos Programável

IDE – Integrated Development Environment

TC – Transformador de Corrente

TP– Transformador de Potência

Sumário

1. INTRODUÇÃO	2
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	4
1.2 HIPÓTESE	4
1.3 OBJETIVO	4
1.3.1 OBJETIVO GERAL	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 MODBUS RTU	5
2.2 GATEWAY	6
2.3 Protocolo RS485 ModBus	9
2.4 MQTT	13
2.5 Microcomputadores	14
2.5.1 Raspberry	14
2.5.1.1 Características Técnicas	15
2.5.1.2 Contribuição da Comunidade:	16
2.5.2 Orange Pi	16
2.5.2.1 Características Técnicas e Componentes:	17
2.5.2.2 Aplicações Relevantes:	18
2.5.2.3 Contribuição da Comunidade:	18
2.5.2.4 Comparação com Raspberry Pi:	18
2.6 Subestação	19
2.6.1 Componentes da subestação:	19
2.6.1.1 Transformador:	19
2.6.1.2 Equipamentos de Medição:	21
2.6.1.3 Banco de capacitores	23
2.6.1.4 Gerador	26
3 METODOLOGIA	27
4 RESULTADOS OBTIDOS	27
5 CONCLUSÃO	35
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

Os multimedidores de dados possuem um desempenho crucial no monitoramento e gerenciamento de subestações de média tensão. Uma subestação de média tensão define-se como uma instalação que recebe energia elétrica em alta tensão de uma estação transformadora e a redistribui em níveis de tensão mais baixos para fornecer eletricidade a edifícios residenciais, comerciais e industriais.

Os multimedidores de dados são dispositivos eletrônicos avançados que acabam por possuir funções de coletar, registrar e fornecer informações precisas sobre diversos parâmetros elétricos em uma subestação de média tensão. Os parâmetros adquiridos e medidos incluem tensão, corrente, potência ativa e reativa, fator de potência, frequência, distorção harmônica e outros dados relevantes. Esses dispositivos são projetados para fornecer um monitoramento contínuo e em tempo real do desempenho elétrico da subestação. Eles registram dados importantes que permitem aos responsáveis pela detectar problemas, identificar falhas, avaliar o consumo de energia, realizar análises de carga e garantir a eficiência operacional.

Além disso, os multimedidores de dados também podem ser equipados com recursos de comunicação, como a conexão Ethernet, wireless ou de rede, assim permitindo que haja a transmissão remota dos dados coletados para um sistema centralizado de gerenciamento. Esse fato acaba possibilitando o acesso rápido e fácil às informações, assim, permitindo que seja feita uma tomada de decisão mais eficiente e uma resposta mais rápida a eventos ou problemas no sistema elétrico, a seguir é possível ver um exemplo de um multimedidor.

Figura 1 - Exemplo de multimetror das



Fonte: O autor.

A implementação de um gateway de uso geral configurável é uma solução versátil e eficiente para facilitar a conversão de dados de equipamentos Modbus para o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Esse tipo de gateway desempenha um papel fundamental na integração de sistemas de automação industrial, permitindo a comunicação entre dispositivos baseados no protocolo Modbus, amplamente utilizado em muitos equipamentos, e a infraestrutura de rede baseada no protocolo MQTT, que é amplamente adotado para a troca de dados em ambientes IoT (Internet Coisas).

O gateway de uso geral configurável é projetado para ser flexível e adaptável, permitindo a configuração de parâmetros específicos para a conversão de dados entre os protocolos Modbus e MQTT. Ele atua como um intermediário inteligente, coletando dados de dispositivos Modbus, convertendo-os em um formato adequado para o MQTT e, em seguida, enviando-os para o broker MQTT correspondente. Da mesma forma, ele também é capaz de receber mensagens MQTT, converter para o formato Modbus e enviar aos dispositivos correspondentes.

Essa implementação oferece diversos benefícios. Em primeiro lugar, ela permite uma integração perfeita entre sistemas legados baseados no protocolo Modbus e novas soluções baseadas em MQTT. Além disso, o uso do protocolo MQTT possibilita uma comunicação leve, eficiente e assíncrona, ideal para ambientes de IoT, além de oferecer recursos avançados de segurança e escalabilidade.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Os multimedidores de dados são dispositivos eletrônicos avançados que auxiliam na coleta e registro de informações sobre diversos parâmetros elétricos em uma subestação de média tensão.

No entanto, por se tratar de um meio físico sem gerenciamento de dados remotamente, acaba por ser ineficaz em alguns momentos, devido à necessidade de aferição dos dados no local.

1.2 HIPÓTESE

Com um gateway de uso geral configurável, é possível aproveitar as vantagens dos dispositivos Modbus existentes, conectando-os ao ecossistema MQTT e permitindo a troca de dados em tempo real com outros dispositivos IoT, plataformas de nuvem e aplicativos de monitoramento e controle.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um gateway configurável para conversão de dados de equipamentos ModBus de subestação de média tensão.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Realizar uma revisão abrangente da literatura sobre os princípios e conceitos relacionados a subestações de média tensão, protocolo ModBus, gateways de comunicação e IoT.
- II. Fazer estudo e levantamento sobre os equipamentos que compõem o sistema de subestação;
- III. Elaborar o orçamento do projeto, verificando o melhor custo benefício;
- IV. Implementação da solução usando a linguagem de programação python;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MODBUS RTU

O Modbus RTU é um protocolo de comunicação bastante utilizado em sistemas de automação e controle industrial. Ele foi desenvolvido pela Modicon na década de 1970 e tornou-se um padrão na indústria.

O protocolo Modbus RTU opera em uma camada física serial assíncrona, como RS485 (este que será utilizado no projeto e descrito no próximo tópico), RS232 ou RS422. Ele utiliza uma estrutura de mensagem compacta para facilitar a comunicação eficiente entre dispositivos.

Aqui estão os principais elementos e características do Modbus RTU:

1. Modo Mestre/Escravo: O Modbus RTU segue um modelo de comunicação mestre/escravo. O dispositivo mestre (como um controlador ou PC) inicia e controla a comunicação, enquanto os dispositivos escravos (como sensores, atuadores ou controladores remotos) respondem às solicitações do mestre.

2. Endereçamento: Cada dispositivo escravo em uma rede Modbus RTU possui um endereço único, permitindo que o mestre se comunique com dispositivos específicos. O endereço do dispositivo é incluído na mensagem Modbus RTU para identificação correta do destinatário.

3. Estrutura da mensagem: A mensagem Modbus RTU é composta por um cabeçalho fixo, seguido por informações específicas da função e um campo de verificação de redundância cíclica (CRC). O cabeçalho inclui o endereço do dispositivo, o código de função (como leitura, escrita ou controle) e outros parâmetros necessários para a operação.

4. Operações de leitura e escrita: O Modbus RTU suporta operações de leitura e escrita de dados em dispositivos escravos. Para ler dados, o mestre envia uma solicitação de leitura especificando o endereço de início e a quantidade de registros a serem lidos. Para escrever dados, o mestre envia uma solicitação de escrita, incluindo o endereço de destino e os dados a serem escritos.

5. CRC (Cyclic Redundancy Check): O campo de verificação de redundância cíclica é usado para garantir a integridade dos dados transmitidos.

O dispositivo receptor calcula o CRC da mensagem recebida e compara-o com o valor fornecido. Se houver uma discrepância, a mensagem é considerada corrompida e pode ser retransmitida.

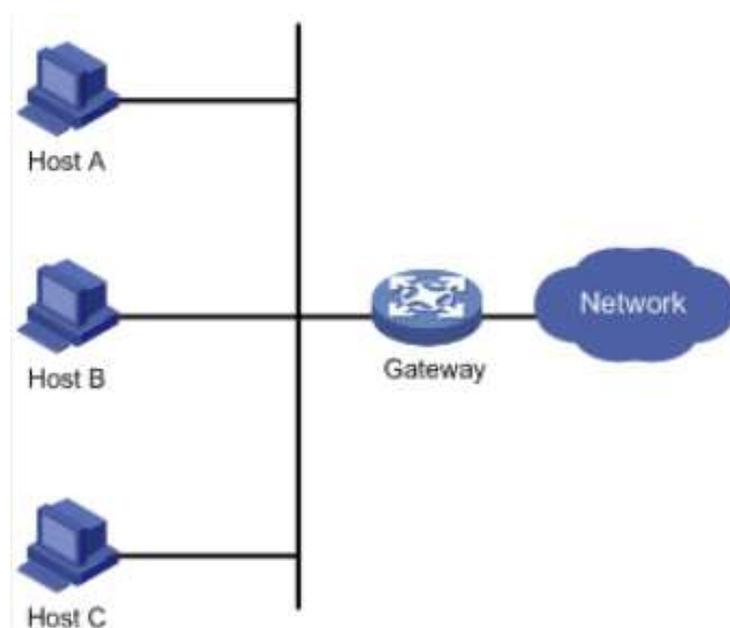
6. Velocidade de comunicação: A velocidade de comunicação no ModbusRTU é especificada em baud rate, que define a taxa de transmissão de bits por segundo.

O Modbus RTU é amplamente utilizado em sistemas de automação industrial, como controle de processos, monitoramento de dados, aquisição de dados e comunicação entre dispositivos em uma rede. Sua simplicidade, eficiência e ampla adoção o tornaram um protocolo popular na indústria.

2.2 GATEWAY

Gateways são componentes críticos em redes de comunicação e sistemas de tecnologia da informação. Eles desempenham um papel vital na interconexão de diferentes redes ou protocolos, permitindo a comunicação eficiente de informações de uma rede para outra. Este referencial teórico explora mais aprofundadamente a natureza, a função e a importância dos gateways, bem como suas aplicações em ambientes diversos, na figura a seguir é possível verificar-se uma análise do seu funcionamento.

Figura 2: Estrutura básica gateway



Fonte: <https://www.lojamundi.com.br/o-que-e-gateway-gsm.html>

Definição de Gateways

Um gateway é um dispositivo ou software que atua como ponto de entrada e saída entre duas redes ou sistemas que utilizam protocolos diferentes. Sua função principal é traduzir os dados e os comandos de um formato ou protocolo para outro, tornando possível a comunicação entre sistemas que, de outra forma, não seriam compatíveis. Os gateways podem ser implementados em vários níveis de uma rede, desde o nível de aplicação até o nível de transporte e internet.

Funções Principais dos Gateways

1. Tradução de Protocolos: A função essencial de um gateway é traduzir os protocolos de comunicação entre as redes conectadas. Isso permite que informações fluam suavemente entre redes que utilizam tecnologias diferentes, como TCP/IP. O gateway é capaz de entender e converter pacotes de dados para garantir a interoperabilidade.

2. Roteamento: Os gateways desempenham um papel importante no roteamento de dados, determinando o caminho mais eficiente para encaminhar dados de uma rede para outra, com base em critérios como custo, latência, largura de banda e disponibilidade.

3. Segurança: Os gateways podem ser implementados para fornecer camadas adicionais de segurança. Atuam como pontos de controle para monitorar e filtrar o tráfego de rede, impedindo o acesso não autorizado e protegendo as redes internas contra ameaças externas.

4. Adaptação de Dados: Além da tradução de protocolos, os gateways também podem adaptar dados para atender a requisitos específicos de aplicativos ou sistemas. Isso pode envolver a modificação de estruturas de dados, a compressão de informações ou a reorganização de pacotes.

Aplicações dos Gateways

Os gateways desempenham um papel crucial em uma variedade de

aplicações, incluindo:

1. Integração de Sistemas: Eles são usados para conectar sistemas legados mais antigos com tecnologias mais recentes, permitindo que as organizações mantenham a funcionalidade existente enquanto modernizam suas infraestruturas.

2. Redes de Comunicação Empresarial: Em ambientes corporativos, os gateways facilitam a comunicação entre redes telefônicas tradicionais (PSTN) e sistemas de telefonia VoIP, possibilitando chamadas entre diferentes tipos de redes.

3. Internet das Coisas (IoT): Na IoT, os gateways são usados para conectar dispositivos e sensores que usam protocolos variados a uma plataforma central de gerenciamento.

4. Segurança de Rede: Em redes de segurança, gateways de segurança atuam como pontos de controle para filtrar e proteger contra ameaças cibernéticas.

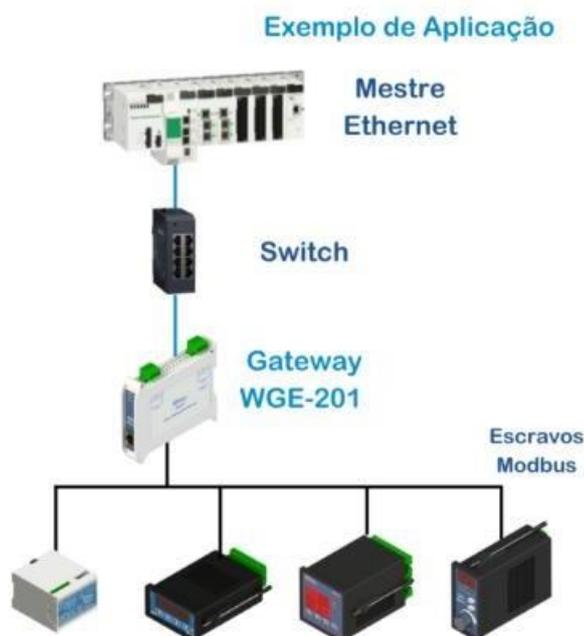
5. Redes Móveis: Nos sistemas de telefonia móvel, os gateways são cruciais para encaminhar chamadas e dados entre redes celulares e a internet.

6. Redes Domésticas e Redes Sem Fio: Os gateways residenciais desempenham um papel fundamental na conectividade entre dispositivos domésticos, permitindo o acesso à internet e o compartilhamento de recursos em uma rede local.

À medida que as redes e sistemas de comunicação evoluem, os gateways também passaram por transformações. A virtualização e a computação em nuvem permitiram a implementação de gateways de forma mais flexível e escalável. Além disso, os avanços na segurança cibernética têm levado ao desenvolvimento de gateways mais sofisticados, capazes de detectar e mitigar ameaças em tempo real. Os gateways desempenham um papel crítico na conectividade e interoperabilidade entre sistemas e redes. Eles permitem que a informação flua de maneira eficaz, mesmo quando diferentes protocolos ou tecnologias estão em jogo. Sua aplicação abrange uma ampla gama de setores e continua a evoluir à medida que as redes e sistemas se tornam mais complexos e interconectados. A importância dos gateways é evidente na melhoria da eficiência, na expansão das capacidades de

comunicação e na garantia de segurança em um mundo cada vez mais interconectado. A figura 3 demonstra a conexão entre as características mestre e escravo da cadeia de aplicação.

Figura 3 : Gateway



Fonte: <https://www.wirebus.com.br/produto/gateway-ethernet-modbus-rtu-wge-201/>

2.3 Protocolo RS485 ModBus

O RS485 é um padrão de comunicação serial que desempenha um papel crucial na indústria, permitindo a transmissão confiável de dados em longas distâncias. Sua popularidade é impulsionada pela capacidade de operar eficazmente em ambientes industriais ruidosos, onde interferências elétricas são comuns. O protocolo Modbus, por sua vez, é uma linguagem universal que possibilita a comunicação eficiente entre diversos dispositivos eletrônicos, incluindo PLCs, sensores, medidores e atuadores. Neste texto, aprofundaremos ainda mais as nuances do RS485 e do protocolo Modbus, explorando suas características, funcionalidades e aplicações. A seguir é possível analisar uma proteção feita em impressora 3d adaptada no conversor.

Figura 4: Estrutura conversor RS485



Fonte: O autor.

O RS485 é um padrão de comunicação serial que se destaca pela sua capacidade de transmissão de dados confiável em longas distâncias. Ao contrário de outros padrões de comunicação, o RS485 utiliza uma topologia de barramento, permitindo a conexão de vários dispositivos em um único cabo, o que reduz a complexidade de cabeamento. Além disso, ele emprega comunicação diferencial, o que o torna altamente resistente a interferências eletromagnéticas, um desafio comum em ambientes industriais.

A comunicação RS485 utiliza dois fios, um para transmissão (TX) e outro para recepção (RX), e permite que vários dispositivos compartilhem a mesma linha de comunicação. Esses dispositivos podem ser dispostos em topologias ponto a ponto ou ponto a multiponto. Em uma configuração ponto a ponto, dois dispositivos, como um controlador e um sensor, estabelecem uma conexão direta. Por outro lado, em uma configuração ponto a multiponto, um controlador mestre se comunica com vários dispositivos escravos em um barramento comum.

Uma das características mais marcantes do RS485 é sua capacidade de atingir distâncias significativas. Isso é possível devido à sua robustez elétrica e à

habilidade de manter a integridade dos sinais em cabos de comunicação de até 1,2 km. Portanto, é uma escolha ideal para ambientes industriais, onde a comunicação precisa ser estabelecida entre dispositivos distribuídos em grandes áreas de fábrica ou instalações.

O Protocolo Modbus: Uma Linguagem Universal na Automação Industrial

O protocolo Modbus, por sua vez, é uma linguagem de comunicação que tem suas raízes na década de 1970. Originalmente desenvolvido pela Modicon (agora parte da Schneider Electric) para controladores lógicos programáveis (PLCs), o Modbus rapidamente se tornou um dos protocolos mais populares e amplamente adotados na indústria de automação.

Estrutura e Funcionamento do Protocolo Modbus

O protocolo Modbus define uma estrutura de mensagem clara e consistente, que é essencial para a comunicação eficiente entre dispositivos. Cada mensagem Modbus contém três elementos principais: um endereço de dispositivo, uma função e dados. O endereço de dispositivo é usado para identificar o dispositivo que a mensagem deve alcançar, a função especifica o tipo de operação a ser realizada (por exemplo, leitura ou escrita de dados), e os dados contêm as informações propriamente ditas.

Essa estrutura simples e direta torna o protocolo Modbus fácil de implementar e entender. Ele oferece suporte a uma variedade de funções, como leitura de registros, escrita de registros, leitura de bobinas e escrita de bobinas. Essa flexibilidade permite que dispositivos se comuniquem eficazmente, independentemente das suas funções específicas na automação industrial.

A comunicação RS485 utilizando o protocolo Modbus encontrou aplicações em diversas áreas da indústria e automação. Suas características de resistência a interferências e capacidade de operar em longas distâncias tornam-no adequado para uma ampla gama de aplicações, incluindo:

1. **Sistemas de Controle Industrial:** Na automação industrial, a comunicação RS485 com o protocolo Modbus é amplamente empregada para permitir a troca de informações entre PLCs, sensores, atuadores e outros dispositivos críticos para o controle de processos de fabricação.
2. **Monitoramento de Dados:** Em sistemas de monitoramento e aquisição de dados,

o RS485 e o Modbus permitem a coleta de informações em tempo real de vários sensores distribuídos em uma instalação industrial.

3. Gerenciamento de Energia: Em aplicações de gerenciamento de energia, como sistemas de monitoramento de consumo elétrico, a comunicação RS485 com o protocolo Modbus possibilita o controle e monitoramento eficazes de dispositivos de medição e atuação.

4. Automação Predial: Em edifícios comerciais e industriais, o RS485 é frequentemente utilizado para a comunicação entre sistemas de automação predial, como controle de temperatura, iluminação e segurança.

5. Sistemas de Supervisão e Controle: Em sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), o protocolo Modbus é uma escolha comum para a comunicação entre controladores e estações de supervisão.

Na figura a seguir, é possível analisar o conversor que é o responsável pela conexão do meio de comunicação com o computador.

Figura 5: Conversor RS485



Fonte: O autor.

A comunicação RS485 com o protocolo Modbus desempenha um papel fundamental em ambientes industriais, possibilitando a comunicação eficiente e confiável entre dispositivos distribuídos. A combinação de um padrão elétrico robusto, como o RS485, e uma linguagem de comunicação universal, como o Modbus, oferece uma solução poderosa para a automação industrial, permitindo o controle de processos, monitoramento de dados em tempo real e gerenciamento eficaz de dispositivos em uma variedade de aplicações industriais. A constante evolução dessas tecnologias promete expandir ainda mais o seu impacto nas indústrias de automação e controle.

2.4 MQTT

O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação bastante utilizado em dispositivos de IoT. Esse protocolo foi desenvolvido com o intuito de interagir com ambientes de redes com recursos limitados, como largura de banda restrita e dispositivos com pouca capacidade de processamento.

O MQTT opera em cima do protocolo TCP/IP e segue um modelo cliente-servidor. Os dispositivos IoT se conectam a um servidor central chamado broker, que é responsável por receber e encaminhar as mensagens entre os dispositivos. Isso permite uma comunicação eficiente e escalável entre diferentes dispositivos IoT.

Uma das características notáveis do MQTT é sua eficiência e leveza. Ele utiliza cabeçalhos de mensagem compactos e adota uma arquitetura de publicação/assinatura. No modelo de publicação/assinatura, os dispositivos publicam mensagens em tópicos específicos e outros dispositivos podem se inscrever (ou "assinar") nesses tópicos para receber as mensagens relevantes. Isso facilita a distribuição eficiente das informações dentro de uma rede IoT.

Devido à sua eficiência, escalabilidade e suporte a redes com recursos limitados, o MQTT é amplamente adotado em aplicações IoT, incluindo monitoramento remoto, automação residencial, gerenciamento de energia, agricultura inteligente e muito mais.

2.5 Microcomputadores

Os microcomputadores, na atualidade, transcendem sua função original de ferramentas de processamento de dados para se tornarem verdadeiros facilitadores da vida moderna. Com a onipresença de dispositivos como laptops, tablets e smartphones, ‘experimentamos uma conectividade global instantânea, redefinindo a forma como nos comunicamos, trabalhamos e interagimos.

O advento do trabalho remoto, impulsionado por microcomputadores portáteis, proporciona uma flexibilidade sem precedentes, permitindo que profissionais realizem suas tarefas de qualquer lugar do mundo. Ferramentas de colaboração digital transformam equipes dispersas geograficamente em comunidades virtuais eficientes, impulsionando a produtividade e inovação.

Os microcomputadores também se destacam no cenário da automação residencial e IoT. Projetos DIY baseados em dispositivos como Raspberry Pi e Orange Pi capacitam os indivíduos a transformarem suas casas em ambientes inteligentes, controlando remotamente dispositivos e criando soluções personalizadas para o cotidiano.

Na educação, os microcomputadores não apenas facilitam o acesso a recursos educacionais online, mas também servem como ferramentas práticas para o aprendizado de programação e eletrônica. Sua presença nas salas de aula modernas ajuda a moldar uma nova geração de pensadores tecnológicos.

No âmbito do entretenimento, a experiência digital é moldada pelos microcomputadores. Acesso a plataformas de streaming, jogos online e conteúdos interativos oferece uma gama diversificada de opções de lazer, colocando o controle nas mãos dos consumidores.

2.5.1 Raspberry

O Raspberry Pi, como é possível ver na figura 6, é um microcomputador de placa única (Single Board Computer - SBC) desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation, uma organização sem fins lucrativos, com o propósito de promover a

educação em ciência da computação e eletrônica de maneira acessível e versátil.

Figura 6 - Raspberry Pi



Fonte: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-o-raspberry-pi/>

2.5.1.1 Características Técnicas

1. Processador: Equipado com processadores ARM, o Raspberry Pi varia em modelos que variam desde modelos com processadores ARM1176JZF-S até versões mais recentes com processadores Cortex-A72, proporcionando capacidades computacionais diversificadas.

2. Memória RAM: Dispondo de diferentes quantidades de memória RAM, o Raspberry Pi permite a execução de uma gama de aplicativos, desde tarefas simples até cálculos mais complexos.

3. Conectividade: A placa oferece portas USB para periféricos e dispositivos de armazenamento externos, saídas de vídeo HDMI para conexão com monitores, portas GPIO (Entrada/Saída de Propósito Geral) para interação com componentes eletrônicos, bem como interfaces Ethernet e Wi-Fi.

4. Armazenamento: O Raspberry Pi não possui armazenamento interno,

mas utiliza cartões microSD para abrigar o sistema operacional e os dados do usuário.

5. Sistemas Operacionais Suportados: Compatível com uma variedade de sistemas operacionais, notavelmente várias distribuições Linux, incluindo Raspbian (agora denominado Raspberry Pi OS), permitindo flexibilidade na escolha e adaptação de plataformas.

2.5.1.2 Contribuição da Comunidade:

A ampla e engajada comunidade em torno do Raspberry Pi é uma de suas maiores fortalezas, fornecendo fóruns de discussão, recursos online e tutoriais que enriquecem a experiência dos usuários, permitindo a troca de conhecimento e a resolução colaborativa de desafios.

Devido às atividades humanas, comerciais e industriais que acontecem durante o todo o dia, o consumo de energia elétrica varia constantemente. Nesse sentido, existem horários em que o consumo é muito baixo e momentos em que o consumo aumenta de forma significativa. A fim de obter maior organização e controle da energia elétrica, as concessionárias de energia delimitam e separam as vinte e quatro horas do dia em dois períodos, são eles: horário de ponta e horário fora ponta.

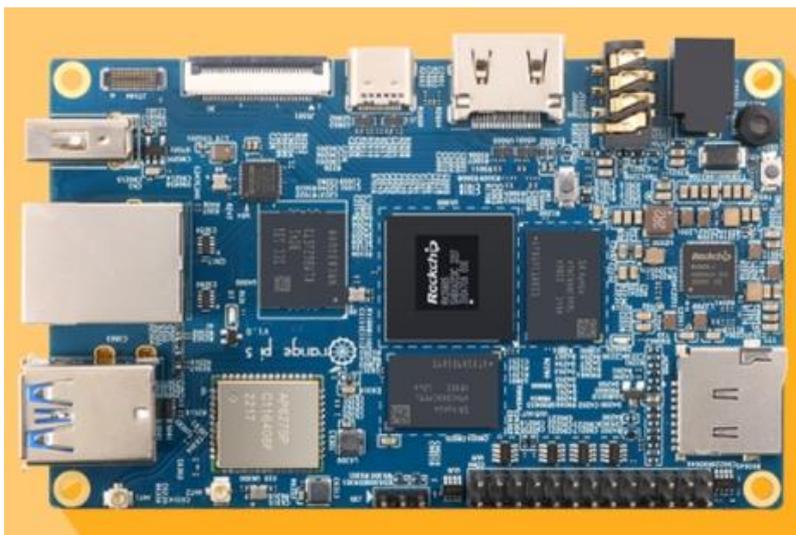
O período de fora ponta compreende o período do dia onde o consumo de energia elétrica é mais baixo, ou seja, a capacidade máxima das linhas de transmissão de energia está longe de ser atingida. Durante este período, as tarifas de energia elétrica e demanda não sofrem nenhum acréscimo. Isso ocorre principalmente para estimular o consumo durante essas horas do dia, refletindo num maior aproveitamento da capacidade das linhas de transmissão. O período fora ponta compreende, geralmente, o intervalo das 00:00 às 17:59 e das 21:00 às 23:59, enquanto o período de ponta geralmente é definido com das 18:00 às 20:59, que é quando a população está, em sua maioria nas casas, e com mais eletrodomésticos ligados aumentando a carga nas linhas de transmissão.

2.5.2 Orange Pi

O Orange Pi, com estrutura demonstrada na figura 7, é um

microcomputador de placa única (Single Board Computer - SBC) desenvolvido com o objetivo de oferecer uma alternativa acessível e versátil para projetos de eletrônica, computação e aprendizado. Semelhante ao Raspberry Pi, o Orange Pi é produzido por diversas empresas, como a Shenzhen Xunlong Software e compartilha semelhanças conceituais e práticas com seu homólogo mais conhecido.

Figura 7 : Orange Pi



Fonte: <https://tecnoblog.net/noticias/2022/07/18/orange-pi-5-traz-chip-octa-core-e-ate-32-gb-de-ram-para-encarar-raspberry/>

2.5.2.1 Características Técnicas e Componentes:

1. **Processador e Arquitetura:** O Orange Pi é equipado com processadores ARM de diferentes arquiteturas, como ARM Cortex-A7, A53, ou A64, dependendo do modelo. Esses processadores permitem uma variedade de capacidades computacionais.

2. **Memória RAM e Armazenamento:** A quantidade de memória RAM varia de acordo com o modelo, oferecendo flexibilidade na execução de aplicativos. O armazenamento é normalmente via cartões microSD ou eMMC, proporcionando espaço para o sistema operacional e dados.

3. **Conectividade e Portas:** O Orange Pi oferece uma variedade de portas

USB para periféricos, portas HDMI para saída de vídeo, interfaces Ethernet e/ou Wi-Fi para conectividade de rede, e portas GPIO para interação com componentes eletrônicos.

4. Sistemas Operacionais: Assim como o Raspberry Pi, o Orange Pi é compatível com diversos sistemas operacionais, incluindo distribuições Linux como Armbian, Ubuntu, e outras variantes customizadas.

2.5.2.2 Aplicações Relevantes:

Projetos DIY e Aprendizado Prático: O Orange Pi é frequentemente empregado em projetos DIY, oferecendo uma plataforma para a exploração prática de eletrônica, programação e automação residencial.

Computação de Baixo Custo: Sua acessibilidade o torna uma alternativa viável para aplicações de computação básica, como servidores leves, estações de trabalho simples e tarefas de rede.

Internet das Coisas (IoT): Semelhante ao Raspberry Pi, o Orange Pi é empregado na criação de dispositivos IoT, aproveitando sua conectividade e capacidade de interação com sensores e atuadores.

2.5.2.3 Contribuição da Comunidade:

O Orange Pi possui uma comunidade ativa que compartilha conhecimento, tutoriais e soluções para problemas específicos, embora possa ser menor em comparação com o Raspberry Pi. A disponibilidade de recursos online e fóruns de discussão contribui para o suporte aos usuários e o compartilhamento de ideias.

2.5.2.4 Comparação com Raspberry Pi:

Enquanto o Orange Pi compartilha muitas características com o Raspberry Pi, incluindo o propósito educacional e a flexibilidade de uso, ele se destaca por oferecer alternativas de hardware e desempenho, permitindo que os usuários escolham o modelo que melhor se alinha às suas necessidades.

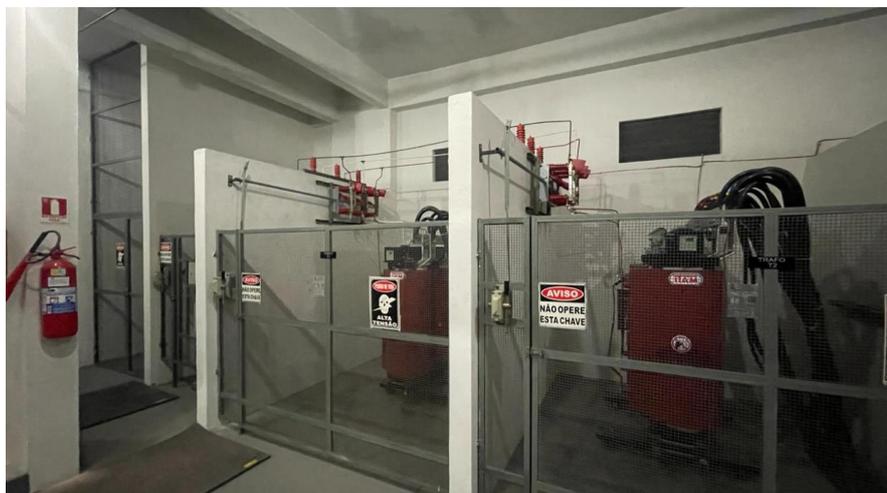
Além da demanda, outro fator importante ao contrato de energia de consumidores do grupo A é a modalidade tarifária. Existem duas modalidades tarifárias básicas, são elas: Tarifa Azul e Tarifa Verde.

A diferença entre a modalidade tarifária azul e a verde refere-se à tarifa paga por consumo de ponta, sendo que a tarifa verde possui um valor de demanda único e um preço mais elevado de transporte na ponta e a tarifa azul possui dois valores de demanda, um para o período de ponta e outro para o período fora ponta.

2.6 Subestação

Uma subestação é uma instalação elétrica que desempenha um papel vital na distribuição e transmissão de energia elétrica em um sistema de fornecimento de energia. Ela atua como um ponto intermediário entre a geração de eletricidade e a entrega final aos consumidores. As subestações desempenham um papel essencial na transformação, controle e distribuição eficiente da energia elétrica, garantindo que ela seja transmitida com segurança e eficácia. Abaixo é possível ver um exemplo de uma subestação com dois transformadores bem isolados.

Figura 8 :Subestação



Fonte: O autor.

2.6.1 Componentes da subestação:

2.6.1.1 Transformador:

Os transformadores em uma subestação desempenham um papel fundamental na alteração dos níveis de tensão da eletricidade. Transformadores elevam a tensão para transmissão eficiente a longas distâncias ou diminuem a tensão para distribuição a níveis adequados para uso residencial e comercial.

Existem dois tipos principais de transformadores: a seco e a óleo.

Transformadores a seco, que operam sem óleo isolante, utilizam materiais dielétricos sólidos, como resina epóxi. Essa configuração oferece vantagens ambientais e é adequada para locais sensíveis devido à sua segurança e ausência de líquidos inflamáveis. Em contrapartida, os transformadores a óleo são preenchidos com óleo mineral, que age como isolante e resfriador. Apesar de eficazes na dissipação de calor e extinção de arcos elétricos, demandam cuidados ambientais específicos e precauções contra incêndios. Na figura 9 é possível analisar um exemplo desse transformador.

O monitoramento é crucial para ambos os tipos de transformadores. Para os transformadores a óleo, representado na figura 10, sensores monitoram temperatura, umidade e qualidade do óleo. Esses dados são fundamentais para avaliar o desempenho do transformador, identificar precocemente problemas como vazamentos ou degradação do isolante, e, conseqüentemente, evitar falhas críticas.

Figura 9: Transformador a seco



Fonte: O autor

Figura 10: Transformador a óleo



Fonte: O Autor.

A integração de sistemas de monitoramento representa uma abordagem proativa para garantir eficiência operacional, prolongar a vida útil e prevenir falhas em transformadores. Essa prática é essencial para assegurar a confiabilidade do sistema elétrico em subestações, contribuindo para uma gestão mais inteligente e sustentável da infraestrutura elétrica.

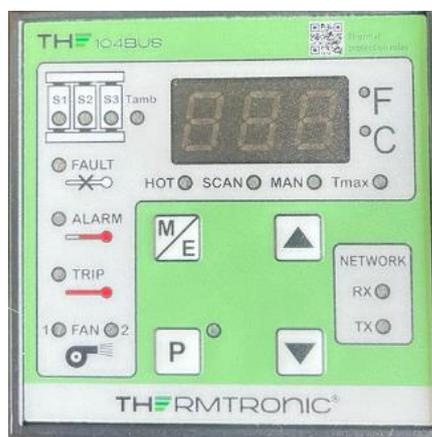
2.6.1.2 Equipamentos de Medição:

Equipamentos de medição desempenham um papel vital nas subestações elétricas, fornecendo dados precisos e em tempo real para garantir a operação segura e eficiente do sistema. Esses instrumentos desempenham várias funções essenciais, desde a medição de grandezas elétricas básicas até a análise avançada de parâmetros complexos.

Medidores de Tensão e Corrente são fundamentais para monitorar a magnitude das grandezas elétricas, permitindo o controle e a manutenção adequada das condições operacionais. Analisadores de Harmônicas identificam distorções harmônicas na forma de onda, essenciais para garantir a qualidade da energia e prevenir problemas em equipamentos sensíveis. Medidores de Fator de Potência avaliam a eficiência do sistema corrigindo o fator de potência e

otimizando o consumo de energia. O multimetror abaixo já possui controles específicos e direcionados para os comandos de monitoramento MODBUS, sendo assim algo bem útil a ser utilizado.

Figura 11: Multimetror



Fonte: O autor.

Dispositivos de Proteção e Controle, como Relés de Proteção, representado na figura 12, monitoram continuamente as condições elétricas, respondendo a eventos anormais, como curtos-circuitos, para proteger equipamentos e garantir a confiabilidade do sistema. Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) automatizam processos de controle, melhorando a eficiência e permitindo a rápida resposta a eventos críticos.

Figura 12: Relé de Proteção



Fonte: O autor.

A importância do Monitoramento Contínuo é evidente para garantir a operação segura e eficiente da subestação. Isso não apenas possibilita a identificação precoce de problemas, como também contribui para a manutenção preditiva, reduzindo custos operacionais e minimizando o tempo de inatividade.

Avanços Tecnológicos e Futuras Inovações, como a integração de Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT), prometem análises mais avançadas e preditivas, melhorando a eficiência operacional e permitindo uma maior interação entre os equipamentos de medição.

A medição de parâmetros elétricos, como tensão, corrente e potência, é realizada usando equipamentos de medição instalados na subestação. Isso é essencial para monitorar o desempenho do sistema e garantir a precisão nas faturas de energia.

2.6.1.3 Banco de capacitores

Os bancos de capacitores representam uma peça fundamental nos sistemas elétricos, desempenhando um papel crucial na correção do fator de potência e na otimização da eficiência energética. A eficácia desses dispositivos reside na capacidade de compensar a energia reativa, reduzindo perdas e melhorando a eficiência geral do sistema elétrico.

Esses bancos, geralmente compostos por capacitores ligados em paralelo, são estrategicamente implementados para corrigir fatores de potência indutivos, resultando em benefícios tangíveis. Ao serem posicionados em locais estratégicos da rede elétrica, esses dispositivos contribuem para a redução de perdas ao longo das linhas de transmissão e transformadores, proporcionando uma eficiente capacidade de transporte de energia ativa, na imagem a seguir é possível ver de forma verídica o funcionamento desse sistema.

Figura 13: Capacitores em paralelo



Fonte: O autor.

A flexibilidade na escolha entre bancos de capacitores fixos e automáticos também merece destaque, refletindo a capacidade de adaptação desses sistemas às variações na demanda de energia. O controle automático, muitas vezes guiado por dispositivos modernos, permite ativação e desativação dinâmicas, otimizando o desempenho em tempo real.

O fator de potência ($\cos\theta$) é calculado pela razão entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S). Aqui estão as fórmulas relevantes:

$$\text{Potência Ativa (P)} = \text{Tensão (V)} \times \text{Corrente (I)} \times \cos\theta$$

$$\text{Potência Aparente (S)} = \text{Tensão (V)} \times \text{Corrente (I)}$$

$$\text{Fator de Potência}(\cos\theta) = \frac{\text{Potência Ativa (P)}}{\text{Potência Aparente (S)}}$$

Onde:

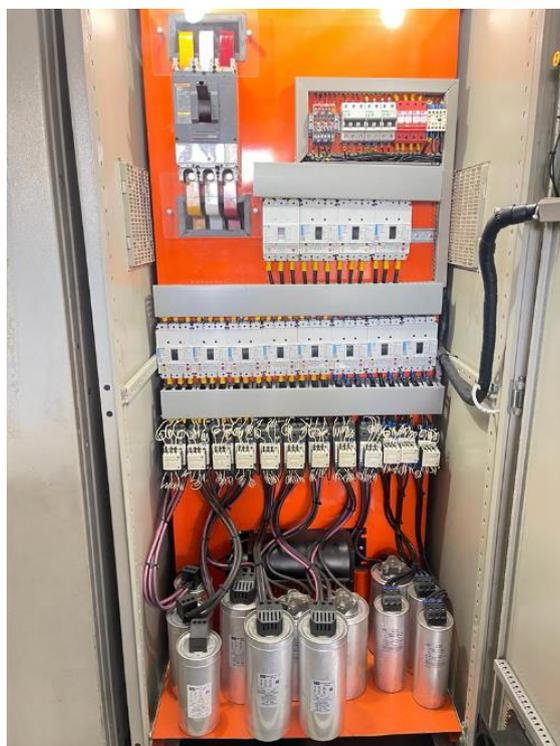
- $\cos\theta$ é o cosseno do ângulo de fase entre a corrente e a tensão.
- Tensão (V) é a magnitude da tensão no circuito, medida em volts.
- Corrente (I) é a magnitude da corrente no circuito, medida em amperes.

Para calcular o fator de potência, primeiro, você precisa medir a potência ativa e a potência aparente. A potência ativa pode ser medida usando um

wattímetro, enquanto a potência aparente é determinada multiplicando a tensão pela corrente eficaz (rms). Em seguida, use a fórmula para calcular o fator de potência. Um fator de potência próximo de 1 indica um sistema eficiente, sendo o mais eficiente em 0,92, enquanto valores mais baixos indicam uma presença significativa de potência reativa no sistema. Corrigir um baixo fator de potência pode envolver a instalação de dispositivos como capacitores para compensar a potência reativa e melhorar a eficiência do sistema elétrico.

É crucial considerar desafios potenciais, como a ressonância entre os bancos e a rede, além de monitorar a degradação dos capacitores ao longo do tempo. A implementação de normas internacionais, como IEEE 18 e IEC 60871, orienta o projeto, instalação e manutenção adequados desses dispositivos. Em um contexto prático, os bancos de capacitores encontram aplicações significativas em setores industriais e redes de distribuição, promovendo a redução de custos operacionais e melhorando a qualidade da energia elétrica. A figura 14 demonstra com clareza o funcionamento de um sistema com banco de capacitores.

Figura 14: Aplicação prática banco de capacitores



Fonte: O autor.

2.6.1.4 Gerador

Os geradores, fundamentais para assegurar o fornecimento de energia em diversas circunstâncias, têm ganhado destaque pela incorporação da tecnologia de controle remoto. Essa adição tem transformado a operação desses dispositivos, oferecendo eficiência e comodidade notáveis.

Em situações de emergência, a resposta rápida é crucial. Geradores com controle remoto possibilitam iniciar ou desligar o sistema instantaneamente, fornecendo energia imediata em eventos como quedas de energia ou desastres naturais. Além disso, a capacidade de monitoramento em tempo real permite aos operadores acompanhar o desempenho do gerador de qualquer local, identificando potenciais problemas e permitindo manutenção preventiva.

A eficiência energética também é otimizada com o controle remoto. Operadores podem ajustar as configurações do gerador conforme necessário, economizando combustível e reduzindo os custos operacionais. Em locais remotos ou de difícil acesso, a operação remota elimina a necessidade de deslocamentos físicos frequentes, proporcionando economia de tempo e recursos. Além disso, a capacidade de integração com sistemas de gerenciamento mais amplos facilita a coordenação eficiente em ambientes complexos. A flexibilidade oferecida pelo controle remoto permite uma resposta dinâmica às mudanças nas demandas de energia, adaptando-se rapidamente a novas situações.

Figura 15 : Gerador 180 kVa



Fonte: O autor.

3 METODOLOGIA

Foi feito um estudo da subestação, a fim de levantar uma expectativa sobre quais equipamentos possuem a entrada para o dispositivo ModBus RS485. Após isso realizou-se a aquisição dos materiais necessários para conexão entre barramento e dispositivo cliente servidor. A instalação do IDE (ambiente de programação integrado) e instalação de todas as bibliotecas necessárias para o desenvolvimento do trabalho serão feitas, bem como os softwares desenvolvidos pela empresa responsável pelo equipamento, a fim de identificar os parâmetros de fábrica, que só podem ser verificados e alterados nele.

Então foi realizado o set dos parâmetros necessários para a comunicação direta com o equipamento, medidas estas como o baudrate. Após isso, com a adesão desses valores e possíveis alterações, poderá ser iniciada a programação na linguagem de programação python, que como citado já foi instalado juntamente com as bibliotecas necessárias. No IDE, será feita toda a comunicação necessária para a execução do trabalho.

Como trabalho futuro, será feita toda a comunicação a parte prática, sendo iniciada, fazendo a conexão do meio físico com a nuvem, e por fim recolhendo os dados que serão analisados e divididos para melhor compreensão da subestação e sua segurança.

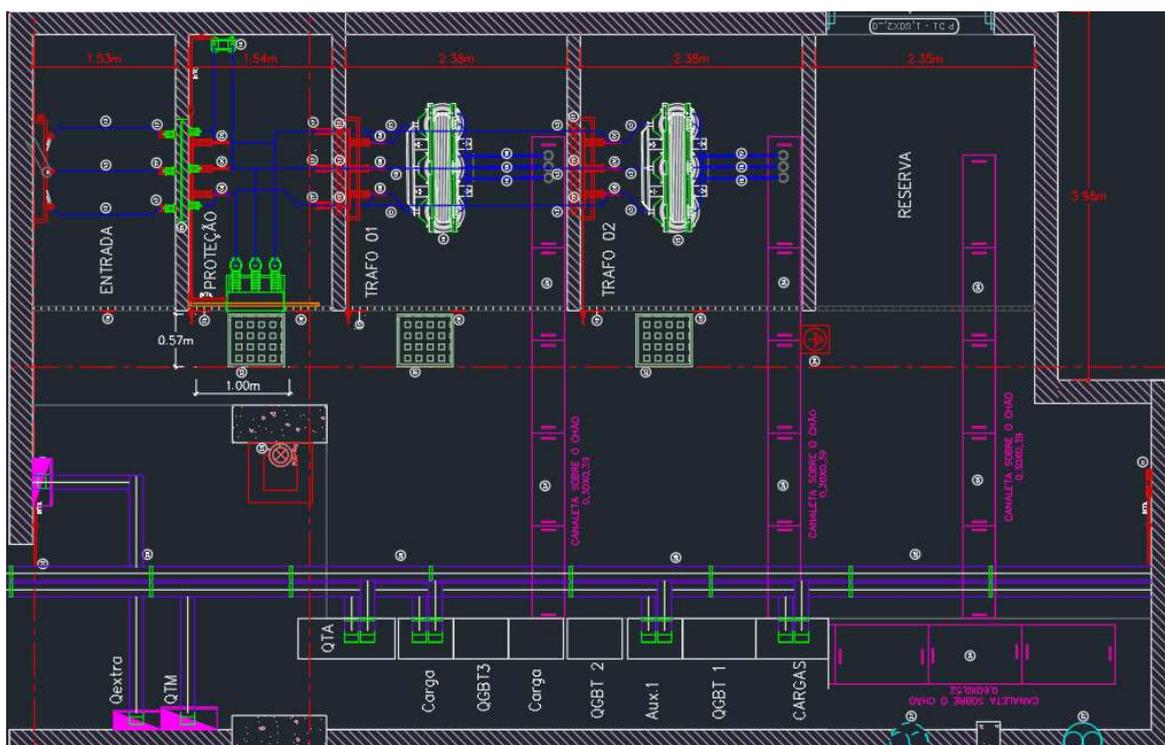
4 RESULTADOS OBTIDOS

Foi minuciosamente elaborado um layout altamente preciso para a subestação do edifício Henocho Reis, garantindo uma representação fidedigna de sua estrutura real, conforme claramente visualizado na figura 12. Situada estrategicamente no subsolo, nas proximidades da área de manutenção, a subestação do Henocho Reis abriga de maneira eficiente 2 transformadores de 13.8 kVA, 3 QGBTs e 1 QTM, os quais são destinados a serem analisados e monitorados remotamente.

Em relação à infraestrutura, foi implementada uma abordagem metódica: um microcomputador devidamente isolado é instalado em um painel exclusivo dentro da subestação. A conexão RS485 é habilmente estabelecida entre esse

microcomputador e os dispositivos que já possuem essa entrada. O layout, de maneira abrangente, fornece detalhes minuciosos sobre a disposição exata dos transformadores, quadros e a localização precisa do painel do microcomputador. Ademais, oferece informações detalhadas acerca das passagens de cabos, delineando cuidadosamente o percurso destes por meio de eletrocalhas em direção aos equipamentos de medição.

Figura 16: Layout Subestação Henoch Reis



Fonte: O autor.

Além disso, destaca-se que a concepção do layout levou em consideração não apenas a disposição física dos componentes, mas também a eficiência operacional, garantindo uma distribuição lógica e eficaz dos elementos presentes na subestação. Cada aspecto do projeto foi cuidadosamente analisado para assegurar uma implementação que atenda aos mais elevados padrões de segurança e desempenho.

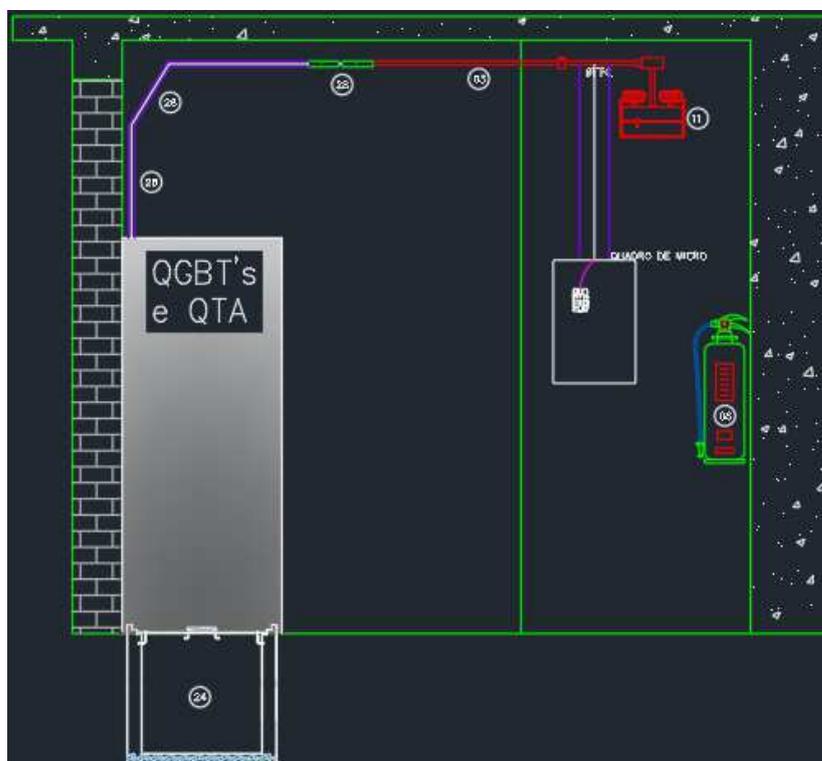
No que tange à conectividade e monitoramento remoto, a instalação do microcomputador dentro de um quadro isolado, como é possível ver na figura 13, ressalta o comprometimento com a segurança e o controle das operações da

subestação. A utilização da tecnologia RS485, especialmente em dispositivos que já contam com essa entrada, representa uma abordagem inteligente para a comunicação e gestão eficientes dos sistemas.

Além da disposição estrutural, o layout também inclui informações sobre as dimensões e capacidades dos transformadores, garantindo uma compreensão completa das características técnicas da subestação. Esses detalhes são essenciais para garantir que a infraestrutura seja dimensionada de forma adequada para suportar as demandas específicas de energia do edifício Henoch Reis.

A importância da abordagem detalhada estende-se à implementação de medidas preventivas, como o devido isolamento do microcomputador, assegurando não apenas a integridade dos dados, mas também a segurança operacional da subestação. Cada componente é cuidadosamente integrado ao projeto, visando a otimização do desempenho global e a redução de riscos potenciais, como é possível analisar na imagem a seguir, o projeto possui o envolvimento de eletrocalhas para maior segurança de passagem do sistema do microcomputador.

Figura 17: Vista posicionamento quadro microcomputador



Fonte: O autor.

O desafio central do projeto foi superado com sucesso ao implementar a capacidade de armazenamento de dados no computador por meio do protocolo MODBUS RS485. Essa conquista envolveu a integração de um conversor RS485, um componente vital que possibilita a comunicação eficaz entre o computador e o quadro. Em termos simples, o conversor RS485 atua como uma interface que facilita a transmissão de dados bidirecional entre dispositivos, desempenhando um papel crucial na eficiência do sistema.

Para alcançar essa integração, conectamos o conversor RS485 tanto ao computador quanto ao quadro estabelecendo assim uma comunicação confiável e eficiente. Essa estrutura permite a transferência segura de dados entre o sistema de medição, representado pelo multimetido da marca KRON, e o computador central. Vale destacar que o multimetido da marca KRON foi submetido a testes e sua configuração foi realizada manualmente e por meio do software fornecido pela própria fabricante. A imagem subsequente oferece uma visão clara desse processo.

Figura 18: Montagem da medição



Fonte: O autor.

A configuração manual e via software da fabricante incluiu a especificação dos valores de TC (Transformador de Corrente) e TP (Transformador de Potencial) necessários para o correto funcionamento do multimedidor. Esse passo é crucial para assegurar a precisão e confiabilidade das medições realizadas pelo sistema. A flexibilidade proporcionada pelo protocolo MODBUS RS485 foi fundamental para viabilizar essa comunicação eficaz, possibilitando a configuração e a transferência de dados de maneira eficiente entre o multimedidor e o computador central. É possível averiguar na imagem a seguir os dados do multimedidor através do software disponibilizado pela fabricante.

Figura 19: Parâmetros no software KRON

A imagem mostra uma janela de software com o título 'erar'. No topo, há campos para 'Modelo' (MULT-K), 'Série' (0000143) e 'Firmware' (1.8). Abaixo, há uma aba 'Configurações Gerais' com os seguintes parâmetros:

Parâmetro	Valor	Intervalo
Código	90	
Endereço	2	
Descrição	oi	
FC		
TP	1,00	(0,01 - 9999,99)
TC	640,00	(0,01 - 9999,99)
KE	0	(0 - 65535)
TL	00 - Trifásico Estrela 3 Elementos 4 Fios	
TI	6	(0 - 60)
Corrente	<input type="checkbox"/> Inverter	
Seq. PF	F2 F1 F0 EXP	

Fonte: O autor.

Em etapa subsequente, procedeu-se à realização de testes por meio de código na linguagem de programação Python, como é possível analisar na figura abaixo. Inicialmente, os parâmetros avaliados compreenderam o número de série do multimedidor, bem como os valores de TC e TP. Era esperado que esses valores coincidisse com 143 (em virtude do número de série do multimedidor ser 000143), 640 (referente ao valor de TP no multimedidor) e 7.10 (correspondente ao valor de TC no multimedidor).

Figura 20: Parâmetros através do python

```

method: d['master']['method'],
partid['master']['part'],
masterid['master']['masterid'],
partid['master']['part'],
stopbits['master']['stopbits'],
bytesize['master']['bytesize'],
}
}

# Abre o canal de comunicação com o servidor
client.connect()

33 read_reg['reg1'] = read_omr_reg(0x01, 2)
34
35
36 # MUDANDO REGISTRO
37 read_reg['reg1'] = read_omr_reg(0x01, 2)
38 read_reg['reg1'] = read_omr_reg(0x02, 2)
39
try

```

Fonte: O autor.

Os resultados obtidos por meio da linguagem de programação Python confirmaram integralmente esses valores predefinidos. A análise dos dados demonstrou coerência com as expectativas, evidenciando a eficácia do código implementado. Conforme visualizado a seguir, a integridade dos registros, incluindo o número de série do multimedidor, bem como os valores de TC e TP, foi verificada com precisão.

Adicionalmente, foram conduzidos testes destinados à verificação do valor de corrente, como pode ser claramente observado na imagem a seguir. Os resultados obtidos durante esses testes corroboraram com a integridade do sistema, fornecendo uma validação adicional da precisão e funcionalidade do multimedidor.

Figura 21: Parâmetros através do python

```

from pyserial import client
from pyserial.client.sync import ModbusSerialClient
from pyserial.constants import Endianness
from pyserial.payload import BinaryPayloadDecoder, BinaryPayloadBuilder
import json

stringjson = '{"master":{"port": "COM1", "baudrate": 19200, "parity": "N", "stopbits": 1, "bytesize": 8, "method": "rtu"}}'
d = json.loads(stringjson)

# Dicionário acumulado os registros lidos
read_regs = dict()

# Leitura padrão
lugar =
11
12
13 # Realiza a leitura dos registros lidos
14 resp = client.read_input_registers(address=addr, count=cont, unit=2)
15
try

```

Fonte: O autor.

Na imagem apresentada, é possível visualizar de maneira tangível os resultados dos testes para o valor de corrente, destacando a consistência entre os dados esperados e os dados efetivamente registrados pelo sistema. Essa análise abrangente reforça a confiabilidade operacional do multimedidor, demonstrando sua capacidade de capturar e interpretar corretamente os parâmetros de corrente, essenciais para uma medição precisa e confiável.

Dessa forma, a obtenção desses testes, aliada à análise visual fornecida pela imagem subsequente, fortalece ainda mais a confiança na operação do multimedidor, consolidando a conclusão bem-sucedida dos testes e ressaltando a capacidade do sistema em fornecer medições precisas e consistentes.

Essa validação por meio da linguagem de programação Python não apenas confirma a correta configuração inicial dos parâmetros, mas também atesta a confiabilidade do sistema em interpretar e reproduzir os dados de forma precisa. Esse processo de teste e verificação é essencial para garantir que o multimedidor esteja operando conforme as especificações desejadas, conferindo confiança e precisão às medições futuras realizadas por esse dispositivo.

Figura 22: Parâmetro TP



Fonte: O autor

Figura 23: Parâmetro TC



Fonte: O autor

A tabela apresentada abaixo resume os dados essenciais obtidos durante a análise, concentrando-se no número de série do multimedidor, no valor de TP (Transformador de Potencial) e no valor de TC (Transformador de Corrente). No entanto, é importante ressaltar que a obtenção do número de série do multimedidor foi inviável devido à limitação do visor, e os valores de corrente não puderam ser diretamente analisados a partir do software da Kron.

Esses elementos críticos, apesar das limitações mencionadas, são fundamentais para compreender a configuração e o desempenho do sistema elétrico. Ao explorar esses dados, mesmo com lacunas, o relatório busca fornecer insights valiosos para a manutenção e otimização contínua do sistema, considerando as peculiaridades de cada fonte de informação.

Tabela 1: Dados Equipamento Multimedidor

DADOS ANALISADOS E TESTADOS EQUIPAMENTO MULTIMEDIDOR			
	SET PARÂMETRO KRON	VISOR MULTIMEDIDOR	DADOS PYTHON
NÚMERO DE SÉRIE	0000143	-----	143
TC	7.10	7.10	7.099999999
TP	640	640	640
CORRENTE (A)	-----	387	387

Fonte: O autor

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um gateway configurável para a conversão de dados provenientes de equipamentos Modbus em subestações de média tensão marca um avanço significativo na eficiência e na gestão da infraestrutura elétrica. A implementação desse gateway não apenas representa uma solução versátil para coletar, processar e transformar dados desses equipamentos em um formato compreensível e compatível para análise e monitoramento, mas também desencadeia uma série de benefícios substanciais.

Ao integrar essa tecnologia inovadora, alcançamos melhorias notáveis na visibilidade operacional, ampliando nossa capacidade de detecção de falhas e otimizando as práticas de manutenção preventiva. Além disso, a configuração flexível do gateway, adaptável às diversas necessidades e equipamentos específicos de diferentes subestações, oferece uma implementação ágil e econômica, eliminando a necessidade de substituição completa dos sistemas existentes.

Essa abordagem não apenas aprimora a eficácia das operações em subestações de média tensão, mas também contribui significativamente para a modernização e automatização do setor elétrico como um todo. O desenvolvimento deste gateway configurável representa um passo adiante no compromisso contínuo em promover maior confiabilidade, segurança e eficiência no fornecimento de energia.

Esse avanço tecnológico não apenas fortalece a infraestrutura energética, mas também atende às crescentes demandas de um mundo cada vez mais conectado e eletrificado. Ao implementar soluções inovadoras, como o gateway configurável para conversão de dados Modbus, estamos moldando o futuro do setor elétrico, promovendo uma transição para operações mais inteligentes, eficientes e resilientes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Schneider Electric. (2018). Modbus Protocol and Network Security Best Practices. Schneider Electric.
<https://www.se.com/ww/en/download/document/SAVY170011EN/>
2. Lammert Bies. (2021). Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide. Lammert Bies. <https://www.lammertbies.nl/comm/info/modbus.html>
3. Modbus Organization. (n.d.). Modbus Specifications and Implementation Guides. <http://www.modbus.org/specs.php>
4. Machado, J. S., & Ramos, P. M. (2017). Design and Implementation of a SCADA System Using Modbus Protocol. In 2017 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) (pp. 1250-1255). IEEE.
5. R. G. Neugebauer, M. D. Beltrame, and M. G. Correa, (2018). "Smart Grid Communication Infrastructure Using DNP3 and Modbus Protocols," 2018 IEEE International Workshop on Electric Power Grid Resilience (EGR), San Antonio, TX, USA, 2018, pp. 1
6. ALFA INSTRUMENTOS. Protocolo de Comunicação Modbus RTU/ASCII, Alfa Instrumentos, 2000.
7. SEIXAS, Constantino. Protocolos Orientados a Caracter. UFMG – Departamento de Engenharia Eletrônica, Minas Gerais, 200
8. MICHEL, J. C.; STRINGARI, S. Protótipo de Rede Industrial Utilizando o Padrão Serial RS485 e Protocolo Modbus, I Congresso Brasileiro de Computação - CBComp 2001, Blumenau – SC, 2001.
9. NATALE, Ferdinando. Automação industrial. São Paulo: Érica, 2000.

10. NOGUEIRA, A. Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial. 2009. 95p. Monografia (Monografia Graduação – Engenharia de Controle e Automação) UFOP. Ouro Preto.