**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**
**CENTRO TECNOLÓGICO**
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**
**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

HIGOR DAVID OLIVEIRA

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFES NO CAMPUS GOIABEIRAS

VITÓRIA
2023

HIGOR DAVID OLIVEIRA

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFES NO CAMPUS GOIABEIRAS

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Higor David Oliveira, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Mattedi

VITÓRIA
2023

HIGOR DAVID OLIVEIRA

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFES NO CAMPUS GOIABEIRAS

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Higor David Oliveira**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 18 de dezembro de 2023.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Alessandro Mattedi**
**Universidade Federal do Espírito Santo**
**Orientador**

**Prof. Dr. André Ferreira**
**Universidade Federal do Espírito Santo**
**Examinador**

**Prof. Dr. Anilton Salles Garcia**
**Universidade Federal do Espírito Santo**
**Examinador**

*Dedico esse trabalho a Deus, à minha família e à minha querida noiva, por todo amor e auxílio na realização de mais uma conquista.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me fortalecer diariamente, tornando possível a conquista de tantos sonhos.

Agradeço à minha família por me ensinar o valor da dedicação aos estudos, pelo amor, carinho e apoio, me permitindo viver mais essa conquista.

Agradeço à minha amada noiva por todo amor, apoio e compreensão, tornando a vida mais leve, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao meu orientador, Alessandro Mattedi, por todos os ensinamentos, sugestões, paciência, disponibilidade e, acima de tudo, confiança no meu trabalho.

Agradeço aos meus colegas de curso, que me fizeram companhia, me motivando, incentivando e ajudando durante todo o curso.

Agradeço também a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste projeto de graduação. Agradeço aos profissionais da Superintendência de Infraestrutura da UFES, Felipe Demuner, Eduardo Pignaton e Daniel Paiva e aos profissionais da Superintendência de Tecnologia da Informação, Luiz Otávio, Renan de Souza e Paulo Lobato, que sem o apoio técnico este projeto não seria possível.

Agradeço à Ana Claudia, Carlos Alberto, Cynthia, Nathan e José, da Divisão e Gestão Administrativa, e, Ronilza, Mateus e André, da Diretoria de Planejamento Fìsico, pela disponibilidade e por todas as informações transmitidas, essenciais para a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores e servidores do Departamento de Engenharia Elétrica, que possibilitaram minha jornada acadêmica na engenharia elétrica dentro do Centro Tecnológico.

# RESUMO

Na área da gestão, a inovação e o desenvolvimento têm um papel muito importante por facilitarem o trabalho de gestão, melhorando a sua qualidade e desempenho. Nesse contexto, a medição e o acompanhamento de resultados é uma etapa essencial. No âmbito universitário, a necessidade de monitoramento do sistema de energia elétrica tem sido reforçada desde 2012 por trabalhos realizados no Centro Tecnológico do campus Goiabeiras da UFES. Em 2017, após o trabalho de mestrado do engenheiro eletricista Felipe Demuner Magalhães, a Superintendência de Infraestrutura realizou a compra de um lote de 45 multimedidores de grandezas elétricas TR4020/EA da Embrasul e, então, começou-se um trabalho de instalação desses medidores. Neste projeto, foram mapeados 269 pontos de interesse de medição distribuídos ao redor do campus. Com dados de julho de 2021, sabe-se que há 87 pontos com medidores instalados. A partir de esforços conjuntos das Superintendências de Infraestrutura e de Tecnologia da Informação para conectar os medidores à rede intranet, atualmente há nove medidores conectados à rede do campus e acessíveis por meio da *Virtual Area Network* dos medidores, criada para o projeto. Após um estudo detalhado sobre a comunicação e obtenção de dados de medição do TR4020/EA, conseguiu-se acessar e obter os dados em tempo real desses equipamentos, mostrando os dados coletados por meio de um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados desenvolvido no programa BluePlant da empresa Altus. Os dados obtidos de cada medidor são salvos em banco de dados SQL, existindo uma tabela para cada medidor. Após dois testes, foi possível salvar o banco de dados, abrir com um programa externo e gerar gráficos com os dados coletados. Consequentemente, o sistema serve como ferramenta de gestão, trazendo uma solução inteligente à gestão pública universitária. O desenvolvimento do sistema supervisório foi apresentado sobre diferentes perspectivas: as capacidades do sistema, as infraestruturas de hardware e rede, as variáveis de medição, a importância dentro do contexto *Smart Campus*, a forma de uso deste sistema, a sua interação com o usuário e possíveis trabalhos futuros.

Palavras-chave: Sistema Supervisório. SCADA. Smart Campus.

# ABSTRACT

In the field of management, innovation and development play a crucial role in facilitating management tasks, improving their quality, and enhancing performance. In this context, the measurement and monitoring of results are essential steps. In the university setting, the need for monitoring the electrical energy system has been emphasized since 2012 through work conducted at the Centro Tecnológico of the Goiabeiras campus of UFES (Universidade Federal do Espírito Santo). In 2017, following the master's thesis of electrical engineer Felipe Demuner Magalhães, the Infrastructure Superintendence purchased a batch of 45 TR4020/EA electrical multimeters from Embrasul, initiating the installation of these meters. In this project, 269 points of measurement interest were mapped around the campus. As of July 2021, it is known that there are 87 points with installed meters. Through joint efforts of the Infrastructure and Information Technology Superintendencies to connect the meters to the intranet, there are currently nine meters connected to the campus network and accessible through the Virtual Area Network of the meters created for the project. After a detailed study on the communication and data acquisition from the TR4020/EA, access to real-time data from these devices was achieved. The collected data is displayed through a Supervision and Data Acquisition System developed using the BluePlant program from the company Altus. The obtained data from each meter are saved in an SQL database, with a dedicated table for each meter. After two tests, it was possible to save the database, open it with an external program, and generate graphs with the collected data. Consequently, the system serves as a management tool, providing an intelligent solution to university public management. The development of the supervisory system was presented from different perspectives: the system's capabilities, hardware and network infrastructures, measurement variables, its importance within the Smart Campus context, the usage of the system, its interaction with the user, and potential future work.

Keywords: Supervisory system. SCADA. Smart Campus.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões para operacionalização e avaliação da gestão por resultados..... 14
Figura 2 - Boletim informativo do Superior Tribunal de Justiça sobre a gestão por resultados..... 15
Figura 3 - Missão e visão dentro do plano estratégico da Superintendência de Infraestrutura. 16
Figura 4 - Quadro (frame) de um pacote TCP..... 27
Figura 5 - Quadro (frame) de um pacote UDP..... 27
Figura 6 - Diagrama simplificado de camadas de rede do protocolo Modbus TCP/IP..... 28
Figura 7 - Formatos do PDU e ADU utilizados pelo protocolo Modbus TCP/IP..... 29
Figura 8 - Diagrama simplificado de camadas de rede do protocolo Modbus TCP/IP..... 32
Figura 9 - Placa de desenvolvimento Heltec LoRa 32 V3..... 33
Figura 10 - Rede de distribuição 11.4kV do campus Goiabeiras. Adaptado..... 36
Figura 11 - Diagrama unifilar simplificado da entrada do prédio do CT12..... 37
Figura 12 - Foto do padrão de entrada do prédio do CT2..... 40
Figura 13 - Diagrama exemplificando a conexão de três instalações prediais e duas gerações fotovoltaicas a um trafo..... 41
Figura 14 - Multimedidor TR4020/EA..... 42
Figura 15 - Tela inicial do programa SP4000..... 43
Figura 16 - Diagrama exemplificando a identificação única dos medidores..... 46
Figura 17 - Cronograma simplificado idealizado para execução do projeto..... 47
Figura 18 - Bancada de testes na DGA - SI..... 49
Figura 19 - Teste do protótipo do sistema supervisório no computador da DGA - SI..... 50
Figura 20 - Pontos de medição no mapa de medidores e geração..... 51
Figura 21 - Arquitetura de rede LoRaWAN planejada..... 52
Figura 22 - QGBTs do CT1..... 53
Figura 23 - Quadro elétrico com medidor de consumo do CT1..... 53
Figura 24 - Projeto do dispositivo de ponta LoRa..... 54
Figura 25 - USRP 2 da Ettus..... 54
Figura 26 - Utilização do software GNU Radio para implementação de LoRa em SDR usando o GR LoRa SDR..... 55
Figura 27 - Planta baixa do campus de Goiabeiras simplificada..... 56
Figura 28 - Planta baixa do campus de Goiabeiras simplificada..... 60
Figura 29 - Destaque do prédio e das instalações conectadas ao mesmo trafo ao passar o mouse sobre esse..... 61
Figura 30 - Fluxograma para obtenção das informações essenciais de monitoramento..... 61
Figura 31 - Símbolos usados para representar as informações essenciais de monitoramento no supervisório..... 62
Figura 32 - Exemplificação do uso de símbolos na interface do supervisório..... 62
Figura 33 - Exemplificação da visualização das informações de medição do CT2 e CT10 no supervisório..... 63
Figura 34 - Exemplificação da visualização das informações de histórico do CT2 e CT10 no

supervisório.....63
Figura 35 - Variáveis escritas no primeiro banco de dados SQL.....64
Figura 36 - Banco de dados do primeiro teste com medições do Centro de Línguas (GG104).....65
Figura 37 - Banco de dados do segundo teste com medições.....66
Figura 38 - Potência aparente e consumos fora ponta e ponta do medidor do T31/CT12 (GT31).....67
Figura 39 - End device LoRa em seu desenvolvimento.....67
Figura 40 - Programação do GNU Radio com LoRa SDR usada para link LoRa.....68
Figura 41 - Interface do programa SDR mostrando recebimento de sinal LoRa e terminal serial conectado a placa de desenvolvimento informando envio de mensagem LoRa.....69
Figura 42 - Terminal cmd informando o recebimento da mensagem LoRa e terminal serial conectado a placa de desenvolvimento informando envio de mensagem LoRa.....69
Figura 43 - Sumarização dos requisitos funcionais e regras de negócio atendidos e não atendidos.....72
Figura 44 - Configurando um IP fixo dentro da VLAN no Windows.....80
Figura 45 - Medidor respondendo ao pacote ICMP ping.....81
Figura 46 - Tela de configuração de rede do TR4020/EA.....81
Figura 47 - Equipamento conectado respondendo ao slaveID.....82
Figura 48 - Tela de configuração de parâmetros do equipamento no SP4000.....82
Figura 49 - Tela do SP4000 com destaque no menu de leitura de massa.....83
Figura 50 - Tela de leitura da memória de massa para os equipamentos baseados no MD4060 da Embrasul.....84
Figura 51 - Tela PW4000 para leitura da memória de massa para o TR4020.....84
Figura 52 - Exemplo de memória de massa obtida do medidor.....85
Figura 53 - Principais variáveis de medição disponíveis no mapa de variáveis ModBus.....86
Figura 54 - Exemplo de pacote UDP de pergunta ModBus para o medidor.....87
Figura 55 - Exemplo do pacote UDP de resposta ModBus do medidor.....87

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| IEEE | *Institute of Electrical and Electronics Engineers* |
| UFES | Universidade Federal do Espírito Santo |
| CT | Centro Tecnológico |
| SCADA | *Supervisory Control and Data Acquisition* |
| SI | Superintendência de Infraestrutura |
| DPF | Diretoria de Planejamento Físico |
| DGA | Diretoria Geral de Administração |
| PRODIST | Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| M&V | Medição e Verificação |
| OSI | *Open Systems Interconection* |
| TCP | *Transmission Control Protocol* |
| UDP | *User Datagram Protocol* |
| MES | *Manufacturing Execution Systems* |
| PDU | *Protocol Data Unit* |
| ADU | *Application Data Unit* |
| VLAN | *Virtual Local Area Network* |
| LoRa | *Long Range* |
| CSS | *Chirp Spread Spectrum* |
| IoT | *Internet of Things* |
| LoRaWAN | *Long-Range Wide Area Network* |
| WiFi | *Wireless Fidelity* |
| ADC | *Analog to Digital Converter* |
| UARTs | *Universal Asynchronous Receive Transmission* |
| I2C | *Inter-Integrated Circuit* |
| SPI | *Serial Peripheral Interface* |
| QGBT | Quadros Gerais de Baixa Tensão |
| QDG-FV | Quadro de Distribuição Geral - Fotovoltaica |
| SDR | *Software Defined Radio* |
| SQL | *Structured query language* |

# LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| V | Tensão CA instantânea (V) |
| A | Corrente CA RMS (A) |
| S | Potência aparente trifásica (VA) |
| Wh | Energia (Wh) |
| t | Tempo (s) |

# SUMÁRIO


**1 Introdução** **14**
1.1 Objetivos 16
1.1.1 Objetivos gerais 17
1.1.2 Objetivos específicos 17
1.2 Estrutura do texto 17
**2 Referencial Teórico** **19**
2.1 Trabalhos anteriores dentro do Centro Tecnológico do Campus Goiabeiras 20
2.2 PRODIST 8 21
2.3 Medição e verificação (M&V) 22
2.4 Multimedidor de grandezas elétricas 23
2.5 Sistema SCADA 23
2.6 Camadas de rede do modelo OSI 23
2.6.1 Camada 4 - pacotes UDP e pacotes TCP 26
2.7 Modbus sobre TCP/IP e sobre UDP/IP 28
2.8 VLAN 30
2.9 Levantamento de Requisitos 30
2.10 LoRa 31
2.11 LoRaWAN 31
2.12 Placa de desenvolvimento Heltec LoRa32 ESP 32
2.13 Ferramenta de desenvolvimento de supervisórios BluePlant 33
**3 Estudo de caso** **35**
3.1 Sistema elétrico do campus Goiabeiras UFES 35
3.2 Conexão dos medidores à rede elétrica 37
3.3 O multimedidor TR4020/EA 41
3.3.1 Capacidades do equipamento 42
3.3.2 Comunicação e obtenção de dados em tempo real. 43
3.3.3 Número de medidores TR4020/EA 44
3.3.4 Identificação única para os medidores TR4020/EA 44
**4 Metodologia** **47**
4.1 Requisitos Funcionais para a interface do sistema supervisório 47
4.2 Regras de Negócio para a interface do sistema supervisório 47
4.3 Infraestrutura de rede 48
4.3.1 Expansão da conectividade 52
4.4 Supervisório SCADA 55
4.4.1 Interface .net 56
4.4.2 Conectividade do supervisório 57
4.4.3 Banco de dados e memória de massa 57
4.4.4 Interface web 58
**5 Resultados** **59**
5.1 Resultados dos testes com os medidores de bancada 59
5.2 Protótipo da aplicação .net do supervisório 60
5.3 Resultados dos testes com banco de dados 64

5.4 Testes usando rede LoRa 67
**6 Conclusões e trabalhos futuros** **71**
6.1 Trabalhos futuros 73
**Referências Bibliográficas** **75**
Apêndice A – Verificando conexão com o medidor e configurando parâmetros de rede. 80
Apêndice B – Acessando a memória de massa do medidor. 83
Apêndice C – Obtendo e interpretando os dados de medição do TR4020/EA. 86
Anexo A – Diagrama Unifilar do Campus Goiabeiras. 88

# 1 INTRODUÇÃO

Dentro da área de gerência de projetos, há uma ideologia de gestão apresentada por Peter Ducker em 1954 em seu livro “The Practice of Management”: a gestão por resultados (HANDY, 2022). A gestão por resultados tem seu referencial definido por quatro dimensões principais: a visão estratégica e a escolha de prioridades, o monitoramento e avaliação sistemáticos, a gestão e desenvolvimento de pessoas e uma governança orientada para resultados (MACROPAN, 2017). Essas dimensões interagem-se e compõem um ciclo de retroalimentação no qual a medição e o monitoramento de referências-chaves, isto é, medidas, são requisitos essenciais. Essas quatro dimensões estão apresentadas abaixo na figura 1.

Figura 1 - Dimensões para operacionalização e avaliação da gestão por resultados.

Fonte: MACROPLAN, 2017.

Considerando um processo produtivo, para implementação da gestão por resultados, primeiramente, define-se metas claras e mensuráveis tendo como base uma visão estratégica. Consecutivamente, durante a etapa de execução, são feitas a medição e o acompanhamento dos dados internos ao processo produtivo. Após a medição, esses dados são usados para comparação e levantamento de métricas em relação aos resultados esperados no planejamento, possibilitando o cálculo de desempenho e de eficiência ao sistema aplicado. Em seguida, com base na comparação, são traçadas mudanças e melhorias sobre o sistema. Estas mudanças são aplicadas e por fim, o processo se repete, em contínua melhoria. (BORGES, 2016). Tais etapas podem ser observadas na figura 2, abaixo.

Figura 2 - Boletim informativo do Superior Tribunal de Justiça sobre a gestão por resultados.

Fonte: ARAÚJO, 2018.

Tais princípios da gestão por resultados também podem ser aplicados dentro do contexto universitário.

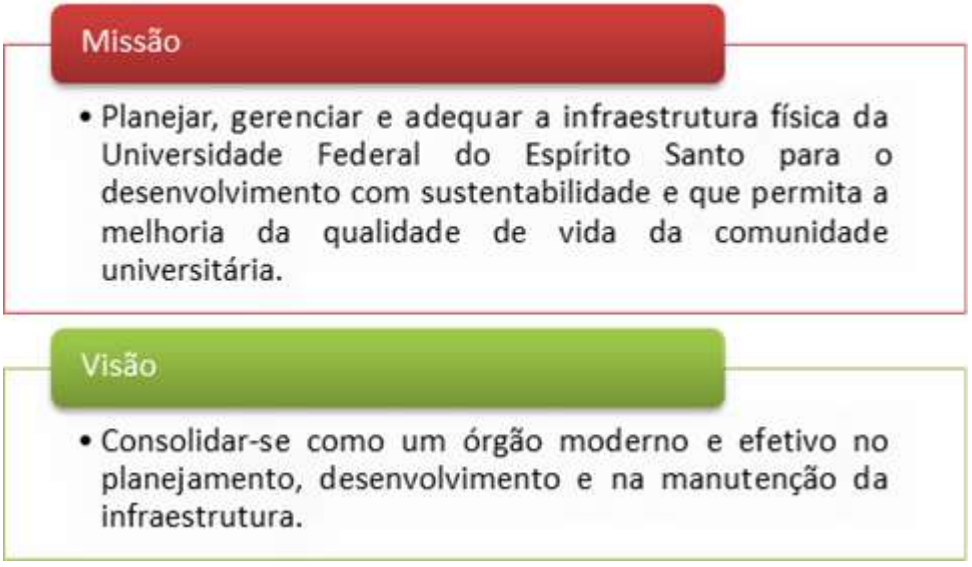
Além do ensino, a universidade apresenta papéis importantes quanto à pesquisa e à extensão, sendo meio para a criação de conhecimento, projetos sociais, ferramentas tecnológicas, entre outros. Muitas vezes, tais criações têm como objetivo a melhoria e a transformação da comunidade interna e externa à universidade. Nesse sentido, as engenharias apresentam um grande potencial, uma vez que possibilitam o desenvolvimento e a implantação de sistemas, ferramentas e estruturas. Como descrito anteriormente, para a área da gestão, o uso de um sistema de medição e monitoramento pode facilitar ou viabilizar a implementação de uma gestão por resultados, trazendo consigo os diversos benefícios deste método de gerência. Além da importância para a gestão, tal sistema também tem sua importância para trabalhos acadêmicos.

Em meados de 2017, o então mestrando em Engenharia Elétrica, Felipe Demuner Magalhães, atual diretor da Diretoria de Planejamento Físico (DPF) da UFES, destacou a importância e a necessidade de medição e avaliação sobre a qualidade da energia elétrica do sistema de distribuição da UFES, especialmente no Centro Tecnológico (CT) do campus Goiabeiras. Essa importância foi defendida em sua tese de mestrado, “Diagnóstico Da Qualidade Da Energia Elétrica No Centro Tecnológico Do Campus Goiabeiras Da Universidade Federal Do Espírito Santo” (SI UFES, 2023) (MAGALHÃES, SIMMONETTI, 2017). E juntamente com seu professor orientador de mestrado, Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti, iniciaram um trabalho de medição localizado em transformadores ao longo do Centro Tecnológico.

A partir desta iniciativa, iniciada na década passada, a Superintendência de Infraestrutura (SI) da UFES iniciou o processo de compra e instalação de vários multimedidores em quadros elétricos de subestações, em quadros de distribuição predial e em quadros de geração fotovoltaica.

Em 2021, sob a iniciativa do atual Superintendente, o professor e engenheiro eletricista Dr. Alessandro Mattedi idealizou a criação de um sistema SCADA, Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, para monitoramento do sistema de distribuição de energia elétrica do campus Goiabeiras da UFES com o objetivo de auxílio à gestão pública pela SI, alinhado com seu plano estratégico. A missão e visão do plano estratégico da SI estão definidas na figura 3:

Figura 3 - Missão e visão dentro do plano estratégico da Superintendência de Infraestrutura.




Fonte: SI UFES, 2023

Este projeto de graduação nasce então da ideia de desenvolver, implementar e monitorar o sistema de distribuição de energia elétrica do campus Goiabeiras da UFES e tem seu foco no desenvolvimento desse sistema, relatando seu processo de desenvolvimento e apresentando-o em diferentes perspectivas: as capacidades do sistema, as infraestruturas de hardware e rede, as variáveis de medição, a importância dentro do contexto do campus, a forma de uso deste sistema, a sua interação com o usuário e a possibilidade de futuros trabalhos para uma modernização do campus sob a área de monitoramento e auxílio à gestão.

## 1.1 Objetivos

Os objetivos do projeto foram definidos durante a concepção do anteprojeto e irão servir como pontos de comparação para a conclusão do projeto. São esses objetivos:

### 1.1.1 Objetivos gerais

O projeto de graduação tem como objetivo geral o desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento em tempo real da rede elétrica do campus voltado para auxiliar a gestão por meio do acionamento de alarmes, emissão de relatórios e criação de um histórico de consumo.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Monitoramento em tempo real da rede elétrica do campus por meio da medição direta ou indireta das variáveis: tensões e correntes por fase, potências ativa, reativas e aparentes trifásicas, fator de potência, frequência, distorções harmônicas de tensão e corrente;
2. Desenvolvimento de um sistema supervisório capaz de comunicar com os multimedidores, de realizar o monitoramento em tempo real das grandezas elétricas desejadas e de criar e alimentar um banco de dados igual ou equivalente a uma memória de massa para cada medidor ou conjunto de medidores;

## 1.2 Estrutura do texto

O presente projeto é dividido em introdução, referencial teórico, estudo de caso, metodologia, resultados, conclusões e trabalhos futuros, seguido por referências, apêndices e anexos.

- Introdução: este capítulo contextualiza as motivações do autor para a escolha do tema, define os objetivos específicos do projeto de graduação e descreve as partes da monografia aqui apresentada;
- Referencial teórico: este capítulo abrange conceitos teóricos para contextualização do trabalho desenvolvido e melhor entendimento pelo leitor dos conceitos tratados;
- Estudo de caso: tal capítulo apresenta as especificidades do sistema elétrico do campus Goiabeiras UFES, mostrando a conexão dos medidores de energia elétrica na rede de baixa tensão e apresentando capacidades e limitações desses medidores;
- Metodologia: apresenta como o projeto foi desenvolvido e a sua ordem de execução;
- Resultados: neste capítulo constam os resultados encontrados após o desenvolvimento apresentado na metodologia;

- Conclusões e trabalhos futuros: neste capítulo encontram-se as conclusões do projeto, recapitulação dos objetivos e considerações acerca de possíveis trabalhos futuros em temas correlatos.

Por fim, há referências bibliográficas usadas ao longo do trabalho, anexos e apêndices para complementação do conteúdo apresentado.

# 2 Referencial Teórico

Em consonância com o tema de pesquisa de sistemas de supervisão em *campi* universitários, foram encontrados e selecionados alguns artigos e textos na literatura que se alinham com a proposta deste projeto de graduação. Uma quantidade maior de textos foram encontrados sobre o tema de cidades inteligentes, *Smart Cities*, sendo que a maior parte desses textos são de universidades e cidades do exterior, como o projeto de cidade inteligente da Arábia Saudita NEOM (MIN-ALLAH, ALRASHED, 2020), (ALAM, KHAN, GHARAIBEH, GHARAIBEH, 2020).

Porém, existem alguns projetos sendo desenvolvidos em universidades brasileiras importantes de serem mencionados. Entre esses projetos encontra-se o programa *Smart Campus* da Universidade de Campinas, um programa que envolve diversos projetos desenvolvidos por laboratórios da universidade que tem como objetivo auxiliar discentes, docentes e servidores. Pode-se citar também o projeto Rede Iará de *Smart Campus*, que está sendo implementado na cidade de Canaã dos Carajá no Pará, em associação com cerca de 20 universidades. Seu objetivo é aplicar conceitos de cidade inteligente dentro da cidade e torná-la uma cidade inteligente modelo (ENGIE, 2020). Um outro projeto é o *Smart Campus* da Universidade de São Paulo, que usa a conectividade para aumentar a segurança do estudante, de modo a facilitar o acesso a ferramentas e funcionalidades, como fazer chamadas de emergência, registrar ocorrências e ver mapas de ocorrências no campus (SALES, 2021). O projeto *Smart Campus* Facens possui subprojetos e parceria com outros centros e abrange diversas áreas, dentre elas as educacionais e comerciais (FACENS, 2023).

Esses são alguns exemplos de projetos que usam os conceitos base de *Smart Campus* para desenvolver aplicações e serviços de auxílio à universidade e à sua comunidade. Tais exemplos servem como base para este projeto, o qual apresenta como proposta o auxílio aos setores de gestão da UFES, contribuindo para a formação de um *Smart Campus,* com ênfase no desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento em tempo real da rede elétrica do Centro Tecnológico do Campus Goiabeiras da UFES.

## 2.1 Trabalhos anteriores dentro do Centro Tecnológico do Campus Goiabeiras

Na última década, houve diversas iniciativas visando a medição e monitoramento da rede elétrica do campus Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo, merecendo destaque na construção teórica deste projeto de conclusão de curso.

Em 2012, como trabalho de conclusão de curso orientado pela professora do departamento da elétrica Dra. Carla César Martins Cunha, o aluno Vinicius Kobi dos Santos (SANTOS, 2012) realizou medições em 59 transformadores durante aproximadamente 1 semana em cada transformador, tendo disponíveis 4 diferentes medidores de energia elétrica. Foi feito um levantamento prático a respeito dos fatores de cargas de cada transformador, descobrindo que 62,7% dos equipamentos apresentavam carregamento máximo abaixo de 50%, sendo que alguns deles não possuem carga alguma. O mau aproveitamento dessa capacidade nominal implica em gastos desnecessários e baixa eficiência. Foi-se analisado também o rendimento dos transformadores, verificando-se que apenas 30,5% dos transformadores possuem carregamento acima de 90% para qualquer situação de carga, 16,9% apresentam rendimento abaixo de 60%, de modo que a maior parte oscila entre tais extremos. No trabalho, concluiu-se que a má utilização dos transformadores traz prejuízos, sobretudo financeiros, à UFES, sugerindo o remanejamento das cargas instaladas nos transformadores e evitar a instalação de um novo transformador para cada nova edificação construída. Além disso, foi sugerido a realização de novos trabalhos e reiterada a ideia da necessidade de monitoramento da rede elétrica da Universidade.

Em meados de 2017, após realizar uma análise mais minuciosa sobre a qualidade de energia elétrica em 9 transformadores do CT do Campus de Goiabeiras da UFES, Felipe Demuner Magalhães também encontrou fator de potência, carregamento de transformadores e balanceamento de cargas fora das faixas permitidas ou valores adequados. O autor sugere a substituição de transformadores, além da criação de novos ramais ou a unificação da carga de dois ou mais transformadores, indo ao encontro de Vinicius Kobi (2012). Ademais, em sua dissertação de mestrado, Demuner orienta a instalação de medidores de energia elétrica em prédios e equipamentos da Universidade a fim de monitorar constantemente as cargas sobre o sistema elétrico do campus, possibilitando uma ação mais efetiva e fundamentada por parte da

Prefeitura Universitária. Nesse sentido, na mesma época a prefeitura adquiriu 45 medidores do modelo TR4020/EA.

Em 2020, a aluna Dayanne Ferreira Ayres (AYRES, 2020), orientada pela professora do departamento da elétrica Dra. Eliete Maria de Oliveira Caldeira, em seu trabalho de conclusão de curso, desenvolveu uma interface para visualização do consumo de energia elétrica para um público leigo, por meio da medição no quadro de entrada do CT XII por meio de um TR4020/EA, usando um cabo ethernet para se comunicar diretamente com o equipamento. As medições foram processadas e apresentadas em uma interface web desenvolvida pela autora com código aberto. Tal interface permite uma visualização mais fácil de problemas relacionados ao consumo de energia elétrica, possibilitando a realização de um estudo mais aprofundado de causa.

Além dos trabalhos citados, houve outros a respeito da rede elétrica da UFES (LEMOS, 2014), tendo ênfase na simulação. Um deles é o projeto de graduação de Gabriel Rosseto Lemos, que comparou dados reais do Campus de Goiabeiras com dados obtidos pela simulação em SKM, utilizando o software PSCAD/ETMDC, e encontrou uma diferença de 15% em cargas pontuais. O aluno concluiu ser possível utilizar o SKM para simular diversos cenários como inserção de novas cargas e instalação de micro geradores.

Nas subseções a seguir serão tratados conceitos da área de distribuição de energia elétrica, de qualidade de energia, de sistemas de monitoramento, de redes de computadores e de engenharia de software que são base para o desenvolvimento deste projeto de graduação.

## 2.2 PRODIST 8

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) são um conjunto de normas que regulamentam sobre a distribuição de energia, sendo a principal fundamentação legal para este setor. (ANEEL, 2022)

Entre os módulos do PRODIST, o Módulo 8 - Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica trata sobre variáveis importantes para a verificação da qualidade da energia elétrica que é entregue pelo sistema de distribuição. Para fenômenos em regime permanente são citados:

> "i. variações de tensão em regime permanente; ii. fator de potência; iii. harmônicos; iv. desequilíbrio de tensão; v. flutuação de tensão; e vi. variação de frequência" (ANEEL, 2021)

Desta forma, essas se tornaram as variáveis desejadas a serem obtidas direta ou indiretamente a partir das medições realizadas pelos multimedidores de grandezas elétricas.

## 2.3 Medição e verificação (M&V)

Medição e Verificação (M&V) é o processo de realizar medições para verificar a economia gerada em instalações com o uso de determinado programa de gestão de energia. Como a economia não pode ser mensurada diretamente, comparam-se os valores de consumo antes e após a implementação de um projeto (EVO, 2012). Dentre o escopo de atividade de M&V, o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (p.4, 2012) cita:

- Implementação, calibração e manutenção de instrumentos de medição;
- Coleta e processamento de dados;
- Elaboração de um método de cálculo e estimativas aceitáveis;
- Cálculos utilizando os dados registrados;
- Produção de relatórios, assegurando qualidade e verificação por parte de terceiros.

Quando há certeza de que o novo método implementado é mais eficiente que o antigo e a economia gerada não precisa ser comprovada, os métodos de M&V deixam de ser essenciais. Por outro lado, é interessante checar se a economia prevista concretiza-se, processo denominado verificação operacional. De acordo com o protocolo citado anteriormente, essa verificação pode incluir inspeção, comissionamento dos equipamentos, testes de desempenho e tendência dos dados. Ademais, a economia gerada pode ser quantificada, por meio das medições de energia antes e após a aplicação de um novo projeto.

Além de contribuir com a economia de energia, o M&V possibilita a documentação de transações financeiras e a obtenção de financiamento para novos projetos de eficiência, possibilitando a melhora de projetos de engenharia, funcionamento e manutenção da instalação. Com a medição, também é possível utilizar a energia para explicar variações nos orçamentos e apoiar a avaliação de programas de eficiência regionais.

## 2.4 Multimedidor de grandezas elétricas

Um multimedidor de grandezas elétricas é um equipamento que realiza a leitura de grandezas elétricas conforme uma programação, disponibilizando os valores em um display para visualização ou em uma interface para aquisição por rede. É comum esses equipamentos possuírem uma ou mais portas de comunicação, na qual é possível extrair os dados usando protocolos de comunicação compatíveis.

O multimedidor de grandezas elétricas usado nesse sistema supervisório é o TR4020/EA da Embrasul, que será melhor apresentado e detalhado na seção **3 Estudo de caso**.

## 2.5 Sistema SCADA

Um sistema SCADA, *Supervisory Control and Data Acquisition*, trata-se de um conjunto de pacotes software que rodam em cima de uma camada física e, em um sistema clássico, se comunicam com os *Programmable Logic Controllers* (PLCs) - Controladores Programáveis. Sistemas SCADAs são largamente usados no controle de processos industriais, mas também se expandem para além deles, com usos em sistemas de supervisão e monitoramento.(DANEELS, SALTER, 1999)

## 2.6 Camadas de rede do modelo OSI

O RM-OSI (*Reference Model - Open Systems Interconection*) é um modelo utilizado para realizar a interconexão entre sistemas abertos, podendo utilizar software, hardware e diferentes tecnologias. Sendo um ambiente heterogêneo, a comunicação e troca de

informações entre diferentes sistemas é possível pela existência de interfaces e protocolos comuns entre eles. Esse modelo é tido como referência para o estudo de redes.

O modelo OSI é formado por sete camadas, sendo que cada camada apresenta funções específicas relacionadas à comunicação entre sistemas, de modo que é possível implementar mudanças no protocolo de uma determinada camada sem afetar outra. Esse sistema é adequado a maior parte das redes existentes, porém não é seguido fielmente nas suas construções, sendo frequente a remoção ou simplificação de uma ou mais camadas do modelo.

A comunicação em camadas permite que cada camada superior de um determinado sistema se comunique com o protocolo das camadas abaixo correspondente de outro sistema. Uma camada fornece serviços para a camada superior e solicita serviços à camada inferior. Dentro da divisão em camadas, as inferiores são responsáveis pelo tratamento de grande parte dos problemas relacionados à rede, isto é, simbologia, vocabulário, localização, múltiplo acesso ao meio, garantia da entrega e qualidade de serviço (QoS).

O modelo OSI apresenta diversos benefícios. O primeiro deles é a compreensão compartilhada de sistemas complexos, à medida que a divisão de um projeto completo torna mais fácil o entendimento do projeto como um todo. As camadas também auxiliam no desenvolvimento mais rápido do sistema, pois é possível saber qual camada está sendo trabalhada e aproveitar processos e protocolos que se repetem. O fato de cada camada possuir uma função específica, faz com que haja uma padronização flexível, facilitando que as pessoas compreendam e desenvolvam sistemas robustos rapidamente, sem a necessidade de entender muitos detalhes do projeto.

As camadas são divididas em física, enlace, rede, transporte, sessão, apresentação e aplicação, sendo que a primeira está em contato com o meio físico e a última com as máquinas correspondentes.

A camada física transmite sinais de um dispositivo a outro, estabelecendo também os símbolos para a comunicação. Os sinais podem ser transmitidos por meios materiais, como

por cabos de fibra óptica e de cobre, ou por meios não materiais, como espaço livre ou vácuo para as ondas eletromagnéticas.

A camada seguinte, camada de enlace, trabalha com o conjunto de símbolos que foi transmitido pela camada inicial. Dessa forma, tal camada é responsável por receber dados e os organizar em quadros (frames), os transmitir para a camada seguinte e, na volta, processar os quadros de confirmação devolvidos pelo receptor e, se necessário, os enviar novamente.

Já a camada de rede ocupa-se com o tráfego dos pacotes, possível congestionamento da rede e múltiplo acesso à rede, definindo rotas pelas quais as mensagens devem passar a fim de serem transmitidas. Para isso, ela também é responsável por definir endereçamento dos dispositivos.

A camada de transporte é uma camada end-to-end, lidando com a transmissão fim-a-fim, da origem ao destino de certa informação, partindo de uma máquina de origem e terminando na máquina de destino, em programas similares de cada máquina. Ela aceita informações da camada imediatamente superior a ela, sessão, e caso seja necessário, separa esses dados em partes menores. Ela também é responsável por determinar se a informação será passada ponto a ponto, na mesma ordem recebida e sem perdas ou de forma isolada, sem garantia da manutenção da ordem. Os protocolos usados nesta camada para uma rede de computadores podem ser *Transmission Control Protocol* (TCP), uma conexão orientada a sessão, exemplificada na troca de *handshakes* e em seguida da informação, e o *User Datagram Protocol* (UDP), uma comunicação sem garantia da conexão e transmissão sucessiva dos dados, como no streaming de vídeos.

A camada de sessão caracteriza-se pelo estabelecimento e manutenção de sessões entre as máquinas, como login e transferência de arquivos, lidando também com o sincronismo de comunicação. Os pontos de sincronização são importantes para reestabelecer conexões em caso de falha ou interrupção.

A camada seguinte, apresentação, fornece serviços como criptografia, compressão e conversão de caracteres. A criptografia, por exemplo, fornece uma maior segurança durante a transmissão do conteúdo das mensagens. O padrão de codificação ocorre nessa camada, durante o envio da mensagem, enquanto a decodificação ocorre no momento da recepção.

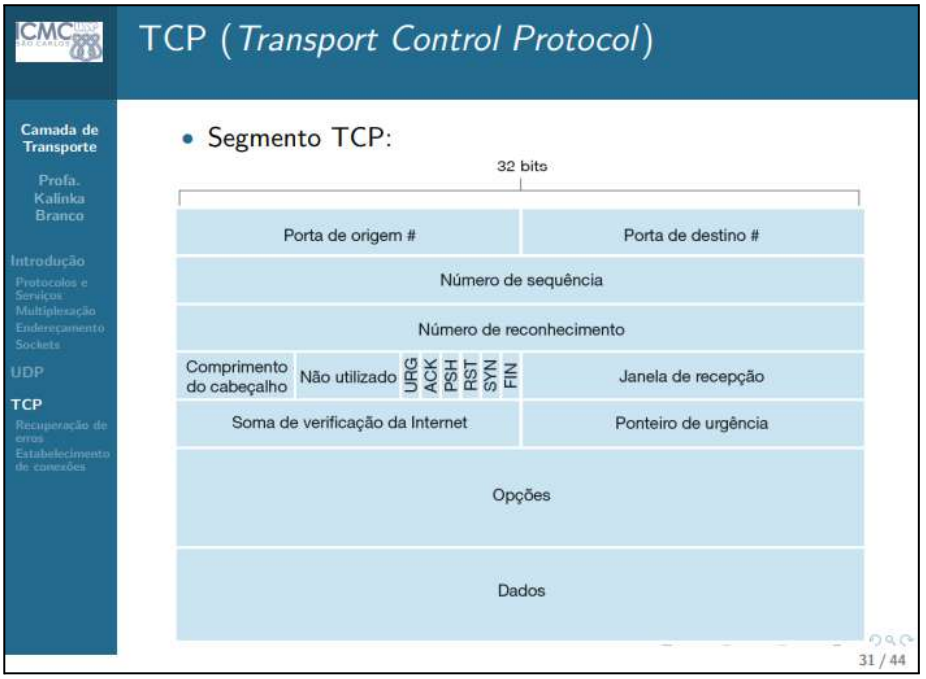
A última camada, aplicação, está em contato direto com os aplicativos executados em computadores ligados em rede. Ela trata de solicitações desses aplicativos que necessitam de comunicação com a rede, como acesso a um banco de dados.

### 2.6.1 Camada 4 - pacotes UDP e pacotes TCP

Como mencionado anteriormente, os protocolos usados podem ser *Transmission Control Protocol* (TCP) ou *User Datagram Protocol* (UDP). O TCP é orientado à conexão e responsável pela transferência de dados confiáveis end-to-end, lidando com a recuperação de dados perdidos, ou duplicados e organização de dados que foram recebidos fora de ordem, além do controle de congestionamento e de fluxo. O UDP não possui a mesma confiança que o TCP, de modo que dados podem ser perdidos ou entregues fora de ordem, porém em redes locais, onde o serviço das camadas inferiores é confiável, ele pode ser utilizado sem grandes perdas de dados. Nele não há conexão, que pode gerar atrasos, nem controle de congestionamento, pois o UDP pode enviar informações rapidamente. A garantia ofertada pelo TCP é importante pois pacotes podem ser perdidos, destruídos, entregues fora de ordem, com atraso ou duplicados.

Um detalhamento da estrutura de cada um dos quadros TCP e UDP podem ser vistos nas figuras abaixo.

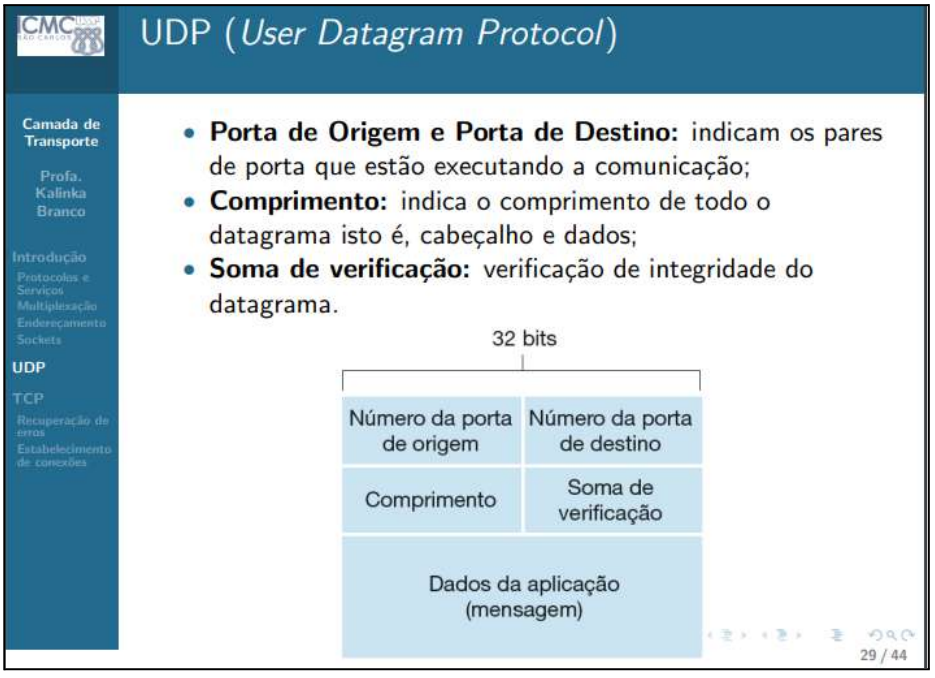
Figura 4 - Quadro (*frame*) de um pacote TCP.




Fonte: BRANCO, 2020.

Enquanto o TCP possui uma quantidade grande de campos dedicados à solução dos problemas citados acima, como a divisão dos pacotes grandes, a confirmação da conexão, a ordenação de pacotes, entre outros, o UDP possui somente os campos de endereços de origem e destino e o tamanho do quadro. Uma estrutura do quadro UDP pode ser vista abaixo.

Figura 5 - Quadro (*frame*) de um pacote UDP.



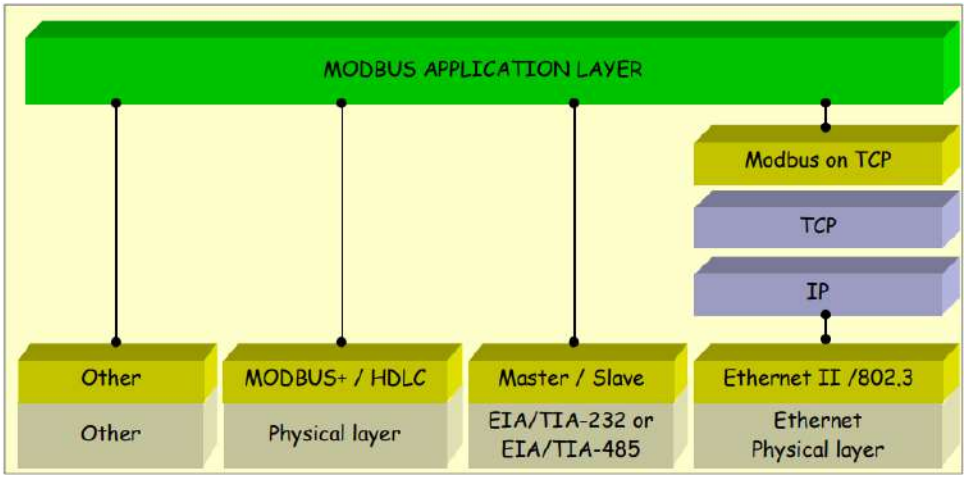

Fonte: BRANCO, 2020.

## 2.7 Modbus sobre TCP/IP e sobre UDP/IP

O Modbus é um protocolo de comunicação da camada de aplicação, que controla a troca de dados entre máquinas e sistemas de automação, em dispositivos que se comunicam seguindo o padrão cliente-servidor / mestre-escravo. (MODBUS ORGANIZATION, 2012) Criado em 1979 pela empresa Modicon, inicialmente projetado para uma rede RS-232, equivalente a um barramento elétrico, o Modbus adaptou-se para ser usado sobre outras camadas físicas e de enlace, como, sobre fieldbus e sobre RS485/482, ainda sobre camadas equivalentes a um barramento.

Favorecido pelo fato de ser um protocolo não licenciado, mesmo após mais de 40 anos do seu lançamento, ainda é possível encontrar muitos sistemas que usam esse protocolo, como em indústrias e em universidades. Com isso, seu desenvolvimento não parou. Em 1999, integrando-se também às redes corporativas de intranet e aos Sistemas de Execução de Manufatura (MES), definiu-se o Modbus TCP/IP. (Modbus Organization, 2023) Um protocolo simples, aberto, com suporte a múltiplos dispositivos e capaz de ser implementado em sistemas de internet modernos. O Modbus TCP/IP é especificado como um protocolo da camada de aplicação tendo como base uma rede de computadores e sessões TCP/IP. O funcionamento do protocolo Modbus em camadas está exemplificado na figura que se encontra abaixo.

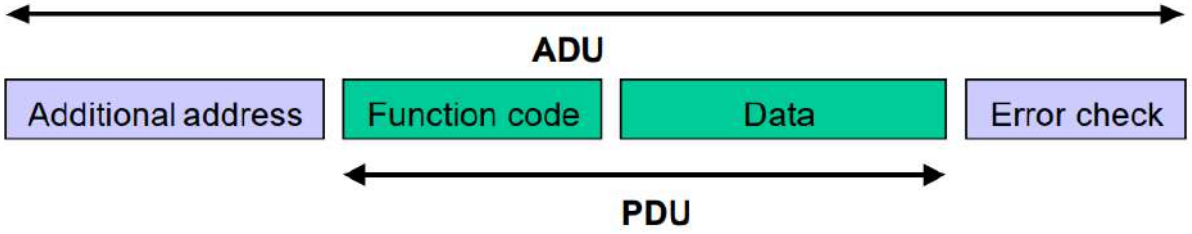
Figura 6 - Diagrama simplificado de camadas de rede do protocolo Modbus TCP/IP.




Fonte: Modbus Organization, 2012.

Os pacotes utilizados podem ser do tipo *Protocol Data Unit* (PDU) ou *Application Data Unit* (ADU). O primeiro contém informações essenciais para a interpretação do protocolo, exemplificado pelo tipo de função e informação. Já o segundo tipo contém informações variáveis conforme a camada de aplicação, além de ser responsável pelo endereçamento e checagem de erros (MODBUS ORGANIZATION, 2006). Tais conceitos podem ser facilmente entendidos no esquema demonstrado na figura abaixo.

Figura 7 - Formatos do PDU e ADU utilizados pelo protocolo Modbus TCP/IP.




Fonte: Modbus Organization, 2012.

São as principais funções do protocolo ModBus TCP (Modbus-IDA, 2006):

A. 0x01 - *Read Coils*
B. 0x02 - *Read Discrete Inputs*
C. 0x03 - *Read Holding Registers*
D. 0x04 - *Read Input Registers*
E. 0x05 - *Write Single Coil*
F. 0x06 - *Write Single Register*
G. 0x0F - *Write Multiple Coils*
H. 0x10 - *Write Multiple registers*
I. 0x11 - *Report Slave ID (Serial Line only)*
J. 0x16 - *Mask Write Register*
K. 0x17 - *Read/Write Multiple registers*
L. 0x2B / 0x0E - *Read Device Identification*

O mestre/cliente inicia a comunicação por meio de uma *Function Code*, instituindo a operação que o escravo/servidor deve executar. Acrescenta-se também uma informação *Data*, que inclui endereço de registradores do servidor e informações a serem escritas ou lidas. Em

seguida, o pacote é processado pelo escravo/servidor e retorna a informação para o mestre por meio da mesma *Function Code* e com *Data* abrangendo os dados requisitados ou mesma mensagem enviada, caso a função seja de escrita.

O ModBus UDP surge como uma variação não oficialmente especificada do ModBus TCP. Neste protocolo, é usando como base pacotes UDP no lugar de pacotes TCP na camada de transporte, dessa forma, assim como destacado na seção anterior, não há garantia de conexão entre os dispositivos, resultando nas possíveis perda da mensagem, chegada de pacotes fora de ordem, desconsideração de pacotes maiores que o tamanho máximo, entre outros,

## 2.8 VLAN

Uma *Virtual Local Area Network* (VLAN) é uma rede de comunicação onde o acesso, as conexões e a troca de mensagens são controladas. Geralmente construídas para facilitar a conexão entre dispositivos, uma VLAN é construída em cima de infraestrutura de uma rede não privada, sendo fornecida como um serviço na infraestrutura. (FERGUSON, HUSTON, 1998). A VLAN pode ser aplicada sobre as camadas de rede 2 (enlace) e 3 (rede).

O interesse no uso da VLAN para este projeto está nos benefícios relacionados de facilitar o gerenciamento de rede e o controle ao acesso à rede. A VLAN pode ser configurada em uma rede existente sem alterar o seu funcionamento, desde que os roteadores e servidores tenham suporte para a configuração.

## 2.9 Levantamento de Requisitos

Levantamento de Requisitos é uma das tarefas da engenharia de software e tem como premissa conduzir um conjunto de atividades com o cliente de uma aplicação com o intuito de firmar bases sólidas para o projeto. Um processo de engenharia de software completo envolve 7 etapas: concepção, levantamento, elaboração, negociação, especificação, validação e gestão. (PRESSMAN, 2011)

Para o desenvolvimento do sistema supervisório, serão dadas atenção para as primeiras etapas do processo, em especial a concepção e o levantamento. A seção **3. Estudo de caso** e o cronograma presente em **4. Desenvolvimento** são frutos dessas etapas.

## 2.10 LoRa

LoRa, sigla em inglês para longo alcance, é uma tecnologia que permite a comunicação de dados a longas distâncias por meio de ondas eletromagnéticas de radiofrequência com baixo consumo de energia (SEMTECH, 2023). Ele utiliza técnica de modulação de espectro amplo, com a tecnologia CSS (*Chirp Spread Spectrum*), isto é, uma onda de variação linear de frequência no tempo. LoRa pode utilizar uma das seguintes frequências bases: 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz (Europa) ou 915 MHz (América do Norte) (MEANEY, 2023). O LoRa tornou-se uma das bases de conectividade da Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*).

A comunicação por meio do LoRa apresenta diversos benefícios, como a capacidade de transmissão de dados a longa distância, com um baixo consumo elétrico, além do fato de que suas bandas de operação não são licenciadas, diminuindo o custo de uso dessa tecnologia. Ademais, pode-se citar como benefícios a resiliência a ruídos. a flexibilidade por apresentar opções de redes públicas, privadas e híbridas e escalabilidade, devido a alta disponibilidade e interoperabilidade da rede, além de ser uma rede com muitos equipamentos compatíveis disponíveis no mercado (LORA ALLIANCE, 2021).

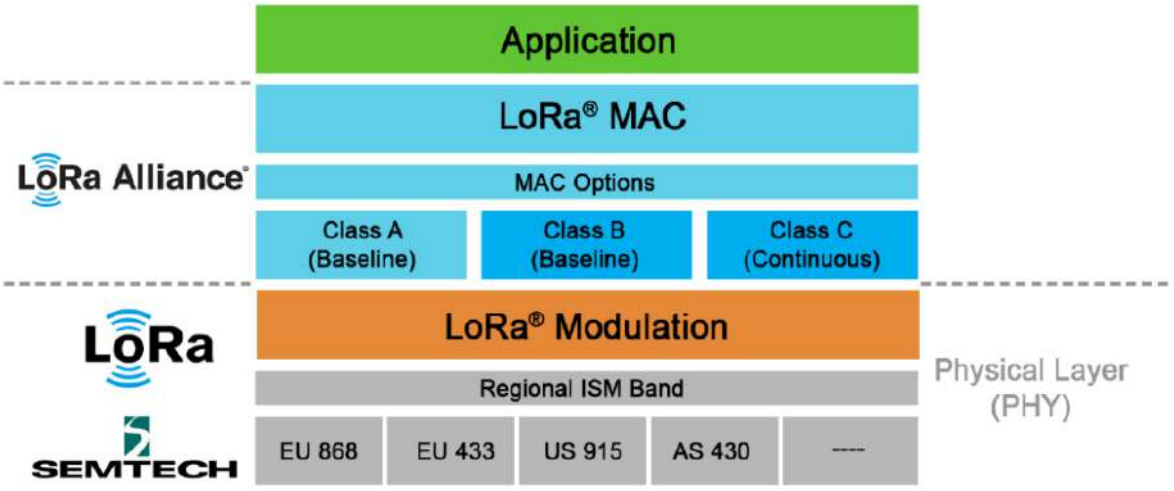
## 2.11 LoRaWAN

De acordo com a Lora Alliance, enquanto LoRa refere à parte física da comunicação a longas distâncias sem fio, LoRaWAN (*Long-Range Wide Area Network*) refere-se ao protocolo de comunicação construído sob a camada física LoRa e à arquitetura do sistema (LORA ALLIANCE, 2023).

Aplicando-se o modelo de camadas de rede OSI ao LoRa e LoraWAN (ESC INC INTERNATIONAL, 2012), percebe-se que o LoRa corresponde às duas primeiras camadas,

camadas física e de enlace, sendo responsável por receber sinais eletromagnéticos e converter em dados digitais. O LoRaWAN corresponde às camadas três a seis, respectivamente rede, transporte, sessão e apresentação, uma vez que é responsável pelos protocolos de comunicação do sistema, competindo a ele a função de definição do formato das mensagens, de seleção de equipamentos por ID (LoRa MAC), além da organização de sessões entre máquinas e da apresentação dos dados. A última camada, a de aplicação, não está contida no LoRaWAN. Essa divisão correspondente ao modelo de camadas de rede pode ser observado na figura abaixo.

Figura 8 - Diagrama simplificado de camadas de rede do protocolo Modbus TCP/IP.

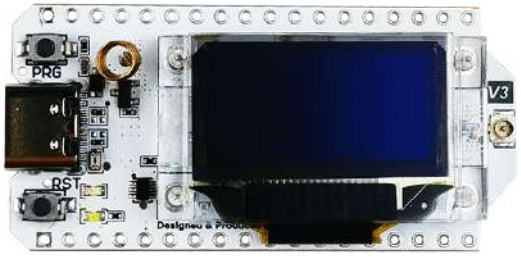



Fonte: MEANEY, 2023.

## 2.12 Placa de desenvolvimento Heltec LoRa32 ESP

Dentro do sistema LoRa, pode-se citar a existência da placa de desenvolvimento WiFi LoRa 32 (HELTEC, 2022), uma placa de Internet das Coisas, desenvolvida e produzida pela Heltec, vista na figura 9. Ela tem suporte a conectividade por WiFi, Bluetooth Low Energy (BLE) e LoRa.

Figura 9 - Placa de desenvolvimento Heltec LoRa 32 V3.




Fonte: Heltec 2023.

Quanto às suas especificações (HELTEC, 2022), o chip embarcado para gerenciamento LoRa é o SX1262 da Semtech. A placa apresenta máxima potência de transmissão de 21 ±1dBm, máxima sensibilidade de recepção de -136dBm à *spreading factor* 12 e a largura de banda de 125KHz. Ela também possui os seguintes recursos de hardware 9 portas com conversores analógicos digitais (ADC) disponíveis, 7 portas com sensibilidade capacitiva ao toque, 3 interfaces seriais assíncronas universais (UARTs), 2 interfaces I2C, 2 interfaces SPI, dentre outros. Ademais, seu firmware é aberto e pode ser encontrado no repositório do Github da fabricante (HELTEC AUTOMATION, 2023).

## 2.13 Ferramenta de desenvolvimento de supervisórios BluePlant

O BluePlant é um software para desenvolvimento de sistemas supervisórios da empresa brasileira Altus (ALTUS, 2023). Ele abrange supervisão, controle e aquisição de dados, além de possuir ferramentas de simulação e de depuração, podendo ser utilizada em projetos de diferentes segmentos da indústria. O software também apresenta a capacidade de interagir com servidores de banco de dados, como SQL, PI, Oracle, Sybase e Informix, possui sistemas de notificação de eventos, alarmes, componente de registro e relatório, registro de histórico, gerenciamento de lógica de negócios, além de suporte para usuários locais e remotos (ALTUS, 2023).

O BluePlant possui quatro licenças, sendo elas o BluePlant Enterprise, o BluePlant Lite, o BluePlant Express e o BluePlant Student (ALTUS, 2023). De acordo com a empresa criadora, o primeiro foi idealizado para gerenciamento de plantas de processos, painéis em tempo real, sistemas SCADA, IHM avançado, controle de processo e otimização que apresentem mais de 150 pontos de comunicação. Já o BluePlant Lite foi projetado para painéis, computadores

industriais, embarcados e sistemas autônomos, com utilização em interface de máquinas e pequenos projetos centralizados. O Express foi criado para avaliação do sistema, com menor número de pontos de comunicação e uma hora de execução do Runtime. O BluePlant Student foi desenvolvido para atender escolas e universidades, apresentando, assim como o Express, uma hora de execução de Runtime, com a vantagem de uma aplicação de 150 a 1500 pontos de comunicação. Esse software não precisa de licença para desenvolvimento, para desenvolvimento pode-se usar a licença Express, porém, nesse caso, apresenta limitação no tempo de execução da aplicação em uma hora consecutiva.

A empresa Altus também disponibiliza uma base de conhecimento com tutoriais, dicas e outros materiais. Treinamentos online são feitos algumas vezes no ano para qualificação e certificação dos seus clientes no uso dos produtos da empresa.

Este mesmo software foi usado pelo autor e pelo orientador para desenvolvimento de um sistema SCADA para controle de um processo de laboratório com parceria do Laboratório de Desenvolvimento e Otimização de Processos Orgânicos - DOPOLAB e da UFRJ em um projeto de iniciação científica no passado.

# 3 ESTUDO DE CASO

Esta seção se destina a descrever as especificidades do sistema de energia elétrica do campus Goiabeiras da UFES. Primeiro será feito uma descrição a respeito do sistema elétrico e em seguida serão citados detalhes a respeito dos medidores e de aquisição de dados dos mesmos.

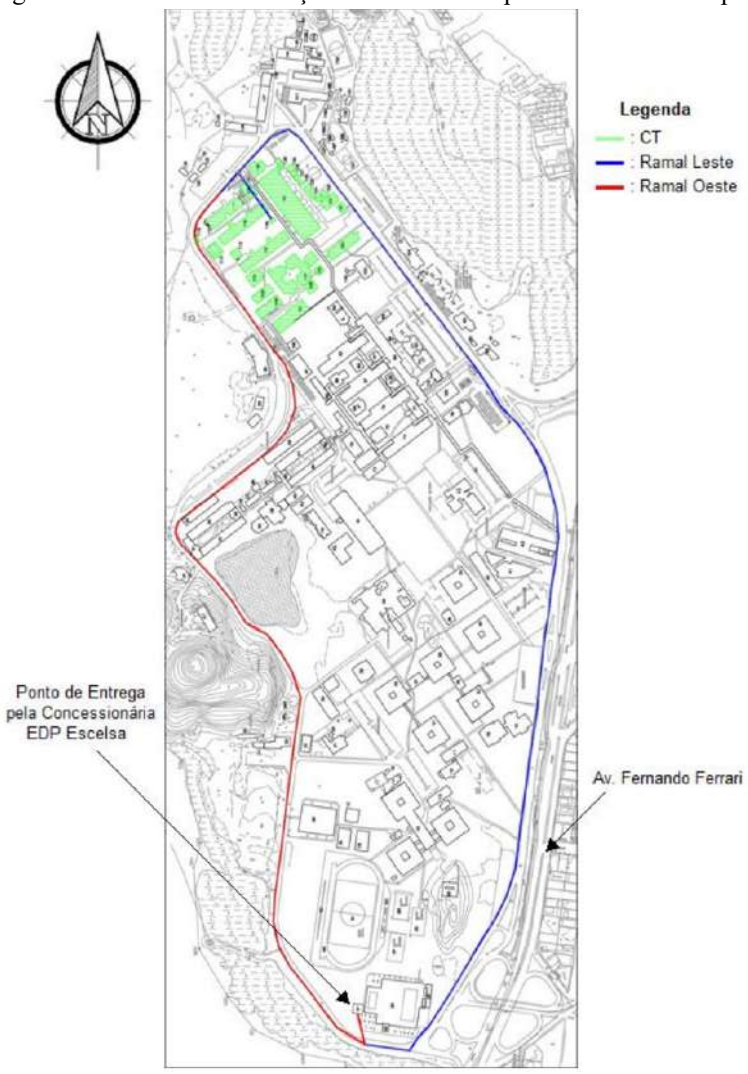
## 3.1 Sistema elétrico do campus Goiabeiras UFES

O campus Goiabeiras, Alaor de Queiroz Araújo, é o primeiro campus da universidade, fundado em 5 de maio de 1954 (UFES, 2023). Desde a sua fundação, a infraestrutura da rede elétrica mudou muito, acompanhando as atualizações das normas vigentes. Ao longo do tempo, muitas novas instalações foram concluídas.

Atualmente, pelo Plano Diretor Físico, sabe-se que o campus possui mais de 162 estruturas, sendo a mais recente o prédio da Pós-Graduação Módulo III - CCHN. (UFES, 2023)

O sistema elétrico de distribuição da UFES é constituído por uma rede de distribuição de 11.4kV no formato de anel nas vias do campus, com duas duas chaves seccionadoras: uma ao sul (próximo a subestação, atualmente em reforma) e a segunda ao norte (próximo ao CT6), dividindo o ramal Leste e Oeste da UFES (MAGALHÃES, SIMMONETTI, 2017). Uma imagem ilustrando essa distribuição pode ser observada na figura 10, abaixo.

Figura 10 - Rede de distribuição 11.4kV do campus Goiabeiras. Adaptado.




Fonte: MAGALHÃES, SIMMONETTI, 2017.

Existem 70 transformadores conectados a essa rede de 11.4kV que fazem a conversão para 220/127V e alimentam as instalações da universidade.

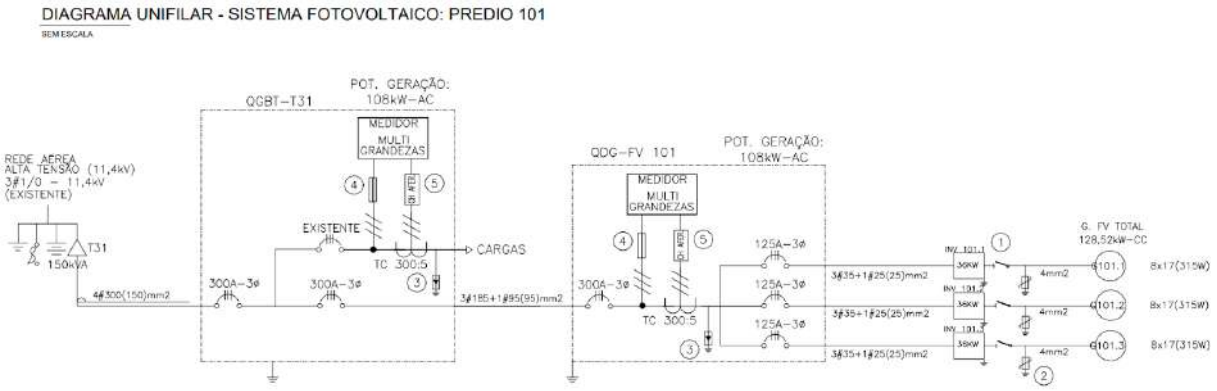
O campus também conta com sua própria geração fotovoltaica, sendo 56 polos de geração com conexão à rede de distribuição de baixa tensão. O diagrama unifilar simplificado de média tensão do campus Goiabeiras pode ser encontrado no Anexo A - Diagrama unifilar simplificado de geração e dos trafos.

## 3.2 Conexão dos medidores à rede elétrica

Como citado anteriormente, no campus Goiabeiras temos instalações elétricas de diferentes épocas, seguindo diferentes normas e padrões. Os projetos elétricos feitos a partir de meados de 2017 pela DPF estão seguindo um mesmo padrão.

Neste padrão, têm sido instalados medidores de grandezas elétricas nos Quadros Gerais de Baixa Tensão dos prédios (QGBT) e dos transformadores (QGBT-T). Quando o barramento do lado de baixa tensão do transformador possui inversores de geração fotovoltaica conectados, existe ainda um outro quadro, o Quadro de Distribuição Geral - Fotovoltaica (QDG-FV). Segue o exemplo do CT12 na figura abaixo.

Figura 11 - Diagrama unifilar simplificado da entrada do prédio do CT12.




Legenda: Destacado em 1, chave seccionadora, em 2, DPS CC, em 3, DPS CA, em 4, fusível e em 5, chave de aferição. Fonte: DPF, SI - UFES, modificado pelo autor.

Nos QGBTs, geralmente se encontram os condutores vindo do lado de baixa do trafo e em seguida um barramento com uma ramificação para dois barramentos. Em uma ponta da ramificação, estão os condutores que vão para o Quadro de Distribuição Geral (QDG), interno ao prédio. Na outra ponta da ramificação, há conexão para o QDG-FV, onde se conectam as saídas dos inversores de frequência do sistema de geração fotovoltaica. O diagrama unifilar simplificado do CT12 acima exemplifica essa conexão.

Em cada trecho subsequente a ramificação citada, encontra-se um medidor com os TCs posicionados após a ramificação (se analisado no sentido trafo → prédio/geração). Dessa forma, o medidor do QGBT é capaz de medir o fluxo de potência entre barramento e prédio, medindo assim a energia consumida por aquele prédio. Durante este trabalho, este medidor

será chamado de medidor de consumo. E, de forma similar, estando após a ramificação, o medidor presente no QDG-FV, é capaz de medir o fluxo de potência entre os inversores e o barramento, medindo assim a energia gerada pelos inversores de frequência. Estes medidores serão chamados de medidores de geração.

Como no sistema com geração descrito acima não há 3 medidores, somente 2, para se obter o valor aproximado da potência no lado de baixa do transformador, pode-se subtrair os valores medidos de potência consumida e potência gerada, se desconsideradas as perdas.

$$S_{transformador} \equiv S_{medidor\ de\ consumo} - S_{medidor\ de\ geração} \quad (1)$$

sendo,

$S_{transformador}$, o valor aproximado da potência sobre o trafo em VA

$S_{medidor\ de\ consumo}$, o valor medido de potência consumida pela instalação em VA

$S_{medidor\ de\ geração}$, o valor medido de potência gerada pelos inversores em VA

Similarmente, para energia ativa:

$$Wh_{transformador} \equiv Wh_{medidor\ de\ consumo} - Wh_{medidor\ de\ geração} \quad (2)$$

sendo,

$Wh_{transformador}$, o valor aproximado de consumo ou geração de energia no trafo em Wh

$Wh_{medidor\ de\ consumo}$, o valor medido de consumo de energia da instalação em Wh

$Wh_{medidor\ de\ geração}$, o valor medido de geração fotovoltaíca em Wh

Em trafos que tem seu lado de baixa conectado a mais de um prédio, por meio do somatório dos fluxos de potência trafo ⇔ prédio descrito acima, seria possível obter o aproximado do fluxo total de potência e energia sobre o trafo, se desconsiderarmos as perdas no caminho.

$$S_{transformador} \equiv \sum_{k=1}^{n} (S_{medidor\ de\ consumo\ do\ prédio\ k} - S_{medidor\ de\ geração\ FV\ do\ prédio\ k}) \quad (3)$$

sendo,

$S_{transformador}$, o valor aproximado da potência sobre o trafo que alimenta mais de um prédio em VA

$S_{medidor\ de\ consumo\ do\ prédio\ k}$, o valor medido de potência consumida pela instalação prédial do prédio k em VA

$S_{medidor\ de\ geração\ FV\ do\ prédio\ k}$, o valor medido de potência gerada pelos inversores da geração fotovoltaica do prédio k em VA

Para os transformadores que alimentam somente uma instalação predial, pode-se ter somente medição no trafo ou no prédio, como é o caso do CT13 e do CT12, ambos possuem medidores no QGBT-T mas não no QGBT de entrada do prédio. Neste caso, é possível obter o consumo do prédio de forma usando a equação do fluxo de potência no sentido trafo, mas agora como fluxo de potência sobre o prédio como variável.

As instalações nos padrões antigos estão gradualmente passando por reformas para se adaptar. A SI tem focado em padronizar primeiro todos os QGBT-T dos trafos, para permitir a medição completa do consumo em baixa tensão da universidade. Ao mesmo tempo, a SI têm realizado obras para padronizar os QGBTs de entradas dos prédios.

Dentro do CT, o prédio que passou por esta reforma recentemente e está no padrão novo é o CT2. Este prédio possui 3 diferentes quadros elétricos: um quadro de entrada do prédio (QGBT), um quadro de conexão com os inversores da geração fotovoltaica (QDG-FV) e um quadro para o trafo (QGBT-T), presente na subestação abrigada. Os quadros QGBT e QDG-FV podem ser visualizados na fotografia da figura 12.

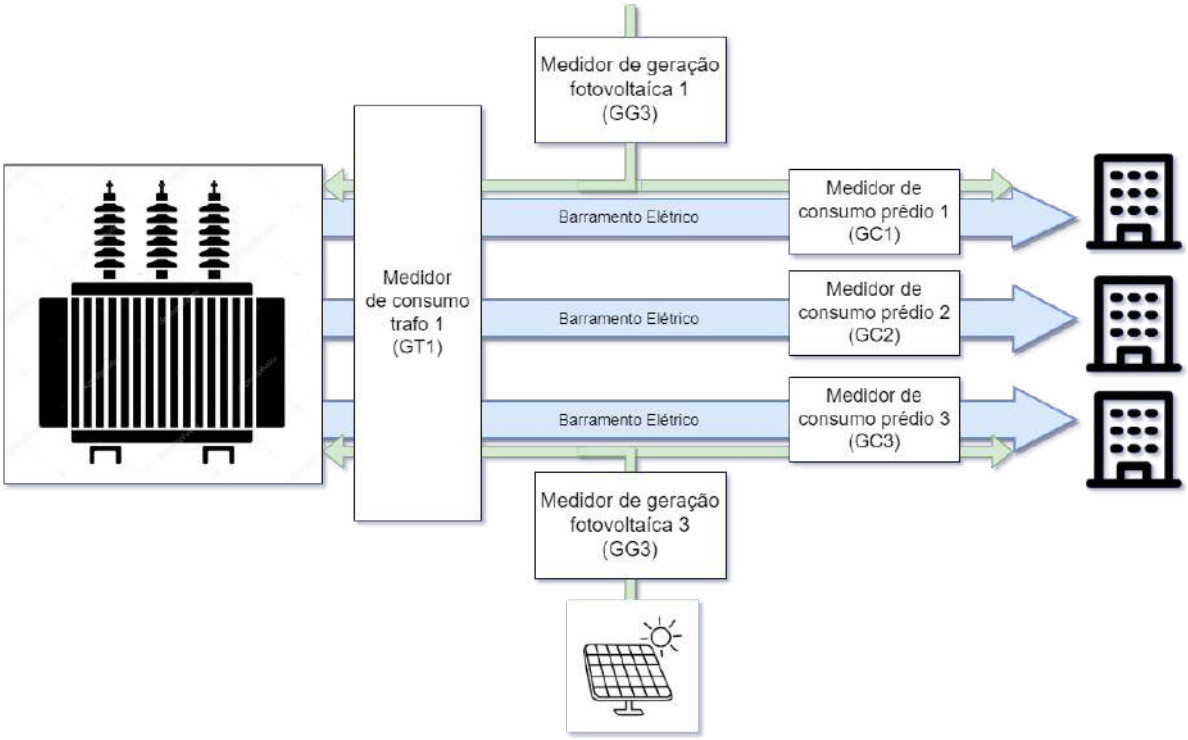
Figura 12 - Foto do padrão de entrada do prédio do CT2.

Fonte: Autoria própria, 2023.

O mesmo transformador (T37) que alimenta o CT2 alimenta também outros prédios, como o CT1, que também possui medidores de consumo e geração. Essa configuração é um exemplo para a equação (3) acima.

Um diagrama exemplificando cada um dos tipos de medidores e, de forma simplificada, as conexões descritas podem ser vistas na figura 13 a seguir.

Figura 13 - Diagrama exemplificando a conexão de três instalações prediais e duas gerações fotovoltaicas a um trafo.




Fonte: Autoria própria, 2023.

No diagrama, temos um sistema em que um mesmo transformador alimenta 3 prédios, dois deles com QGD-FVs. Este é um caso exemplo para a aplicação da equação (3), no qual, para chegar a potência aproximada sobre o trafo, é necessário considerar a potência das cargas dos três prédios menos a potência de geração fotovoltaica dos prédios 1 e 3. Equacionando, teríamos:

$$S_{transformador\ 1} \equiv (S_{medidor\ de\ consumo\ do\ prédio\ 1} - S_{medidor\ de\ geração\ FV\ do\ prédio\ 1}) + (S_{medidor\ de\ consumo\ do\ prédio\ 2}) + (S_{medidor\ de\ consumo\ do\ prédio\ 3} - S_{medidor\ de\ geração\ FV\ do\ prédio\ 3})$$

## 3.3 O multimedidor TR4020/EA

O multimedidor de grandezas elétricas TR4020/EA da Embrasul, observado na figura 14, é o principal medidor usado nas instalações da UFES, compondo, assim, os sensores do sistema supervisório em sua fase inicial.

Figura 14 - Multimedidor TR4020/EA.

Legenda: Modelo similar ao comprado e instalado pela SI. Fonte: EMBRASUL, 2015.

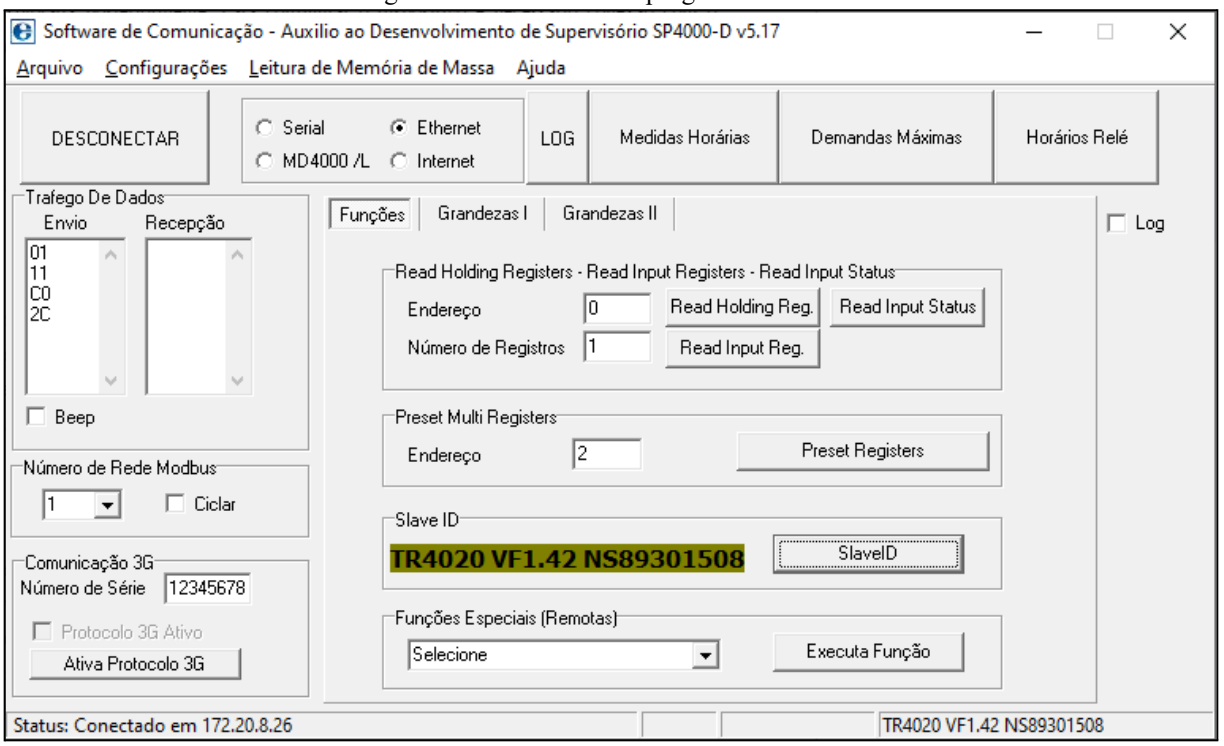
### 3.3.1 Capacidades do equipamento

O modelo EA possui uma interface ethernet, nenhum relé para acionamento externo e uma memória de massa interna com autonomia para 60 dias.

As medições de tensão podem ser feitas pelo equipamento diretamente para tensões entre 30VAC e 300VAC, para medição de tensões acima disso, são necessários transformadores de potencial (TP). A medição de corrente deve ser feita de forma indireta, por meio de um transformador de corrente (TC). Ambas medições de tensão e de corrente são por fase e os valores trifásicos são calculados internamente pelo processador do equipamento.

A configuração dos parâmetros de rede, de relação dos TCs e dos TPs, assim como a configuração de data, hora, feriados e horários ponta/fora ponta são feitos via interface do programa SP4000 da Embrasul. É possível parametrizar também o equipamento via Modbus UDP, escrevendo sobre determinados endereços. A comunicação Modbus com o TR4020/EA será explorada posteriormente. Para configurar o dispositivo é necessário conexão com o equipamento via rede ethernet. Os detalhes de como configurar o medidor pode ser encontrado no Apêndice A - Verificando conexão com o medidor e configurando parâmetros de rede. A tela inicial do programa pode ser observada na figura 15 logo abaixo.

Figura 15 - Tela inicial do programa SP4000.




Fonte: Autoria própria.

A memória de massa armazenada internamente no dispositivo é criptografada por um sistema de mensagens específicas, e para ser acessada, deve-se usar o programa SP4000 da Embrasul. Um detalhamento de como realizar o acesso ao medidor e obter a memória de massa usando o programa estão no Apêndice B - Acessando a memória de massa do medidor.

### 3.3.2 Comunicação e obtenção de dados em tempo real.

Apesar de possuir a interface ethernet, por meio de testes que serão descritos futuramente, observou-se suporte somente a algumas mensagens usadas em redes de computadores, por exemplo, o ping (Internet Control Message Protocol - ICMP). Ademais, o dispositivo não apresentou suporte a IP dinâmico em sua configuração e, com exceção dos pacotes ICMP, o dispositivo respondeu somente a pacotes UDP com o campo de dados no formato ModBus TCP.

O descritivo de como obter os dados, o formato da mensagem e o endereço Modbus das variáveis disponibilizadas pelo TR4020/EA podem ser encontrados no mapa de variáveis, um

documento que é entregue quando solicitado à Embrasul e que foi obtido previamente pela DPF da SI.

As principais variáveis de interesse para o sistema supervisório e a forma de leitura estão citadas no Apêndice C - Solicitando e interpretando os dados de medição do TR4020/EA.

### 3.3.3 Número de medidores TR4020/EA

Com dados fornecidos pela SI e atualizados do começo do ano de 2023, o campus Goiabeiras possui aproximadamente 269 pontos de interesse para medição, 56 do sistema de geração fotovoltaica, 70 dos trafos da rede e 143 dos circuitos prediais (162 instalações, sendo 19 alimentados por trafos exclusivos, sendo necessária uma medição, no trafo ou no prédio).

Desses pontos, os 56 de geração possuem medidores, 21 dos trafos possuem medidores no lado de baixa tensão e dos circuitos prediais, apenas 8 (CT1, CT2, CE - pós graduação, CE - Centro de aprendizagem, Laboratório Física Química, SERPROG barramento A e SERPROG barramento B) possuem medidores instalados, totalizando 85 (31,60%) dos 269 pontos de interesse distribuídos ao redor do campus goiabeiras.

Como objetivo da DPF, é esperado que no futuro todos os pontos de interesse tenham um medidor instalado e que estes estejam disponíveis em rede para aquisição das medições. O número de medidores instalados deve ser expandido conforme as instalações prediais e os quadros ligados aos transformadores forem reformados, como citado anteriormente.

### 3.3.4 Identificação única para os medidores TR4020/EA

Pensando em facilitar a identificação dos medidores, foi elaborado um sistema de identificação única (*Unique Identification* - UID) para cada medidor conforme o patrimônio e a posição no campus de cada medidor.

O UID será definido como uma sequência de 3 letras e 3 dígitos numéricos,

$$UID = A_1 A_2\, xxx\, (A_3)(-\, y) \quad (4)$$

$A_1$ faz referência ao campus que se localiza tal medidor, podendo ser “G” para o campus Goiabeiras, “M” para Maruípe, “A” para Alegre, “S” para São Mateus, “B” para Base Oceanográfica e “O” para outros campi ou localizações.

$A_2$ faz referência ao sistema em que o medidor está conectado, podendo ser “C” (de Consumo) para medidores posicionados nos QGBTs, “G” para medidores posicionados em QDC - FV (“G” de geração), “T” para medidores posicionados nos QGBT-Ts (“T” de trafo), “S” para medidores posicionados na subestação de entrada dos campi (“S” de Subestação), “A” para medidores do sistema de monitoramento das caixas d’água (uma das expansões planejadas para o sistema) (“A” de água) e “O” para medidores de outros sistemas.

O número $xxx$ faz referência ao Identificador Único (ID) dado ao prédio e pode ser consultado pelo Plano Diretor Físico da UFES. (UFES, 2023)

$A_3$ à uma letra que é usada em alguns IDs para diferenciar estruturas que foram construídas na mesma ou em obras próximas. Como exemplo, o Auditório Administrativo do CCE possui o ID 78A enquanto o Auditório CCE possui o ID 78B, assim se for instalado um medidor para monitoramento do consumo em ambos os prédios, esses teriam o UID GC78A e GC78B, respectivamente.

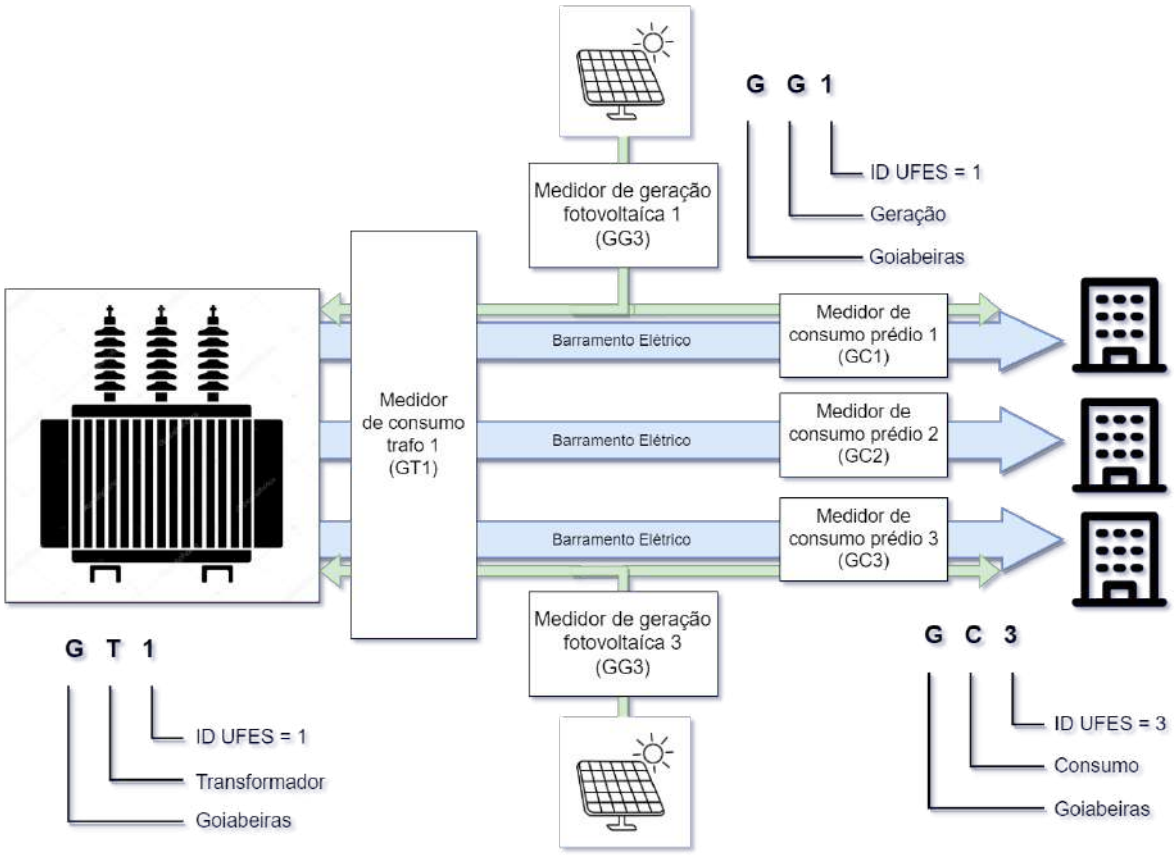
O número $y$ faz referência ao número do medidor, caso existam mais de um medidor para uma mesma instalação. Como exemplo, temos o Departamento de Gemologia, que sua instalação elétrica possui dois barramentos diferentes, alimentados por transformadores diferentes (transformador 11 para o barramento I e 13 para o barramento II). Se forem instalados dois medidores para medir o consumo de cada barramento, teríamos os UIDs GC55-1 e GC55-2 para os barramentos I e II, respectivamente.

A principal intenção ao projetar esse sistema de identificação é usar as variáveis de endereço Modbus entre 288 e 299 (total de 24 bytes) do TR4020/EA para escrever o UID (até 8 bytes

no formato ASCII) e o patrimônio do equipamento (até 16 bytes no formato ASCII), de forma que seja possível identificar o medidor via rede de comunicação.

Complementando a figura 13 apresentada na seção “3.2. Conexão dos medidores à rede elétrica” e exemplificando a nomenclatura definida acima, temos a figura 16 abaixo.

Figura 16 - Diagrama exemplificando a identificação única dos medidores.




Fonte: Autoria própria, 2023.

# 4 METODOLOGIA

Inicialmente, levantou-se um cronograma para execução deste projeto, elaborado e apresentado no anteprojeto. Uma versão simplificada está presente na figura, logo abaixo.

Figura 17 - Cronograma simplificado idealizado para execução do projeto

| Meses / Metas | Até Dez./22 | Jan/23 | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez./23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Definição de escopo do projeto** | X | | | | | | | | | | | | |
| **Desenvolvimento da infraestrutura de monitoramento** | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Estudo e definição de novos pontos de medição | X | | | X | X | X | | | | | | | |
| Cabeamento e conexão do medidor a rede de internet | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | X | | |
| Configuração do equipamento multimedidor *in locus* | | | | X | X | | | | | | X | X | |
| **Desenvolvimento do software de supervisão** | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | X | |
| Levantamento de requisitos | X | | | | | | | | | | | | |
| Desenvolvimento das features | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | |
| Realização de testes | X | X | | | X | | | X | | | X | X | |
| **Escrita do PG2** | | | | | | X | X | X | X | X | X | X | |
| **Finalização do projeto** | | | | | | | | | | | X | X | X |
| **Apresentação de PG2** | | | | | | | | | | | | X | |

Fonte: Autoria própria, 2023.

Na primeira etapa do projeto, realizou-se uma concepção e um levantamento de requisitos e regras de negócio para o sistema supervisório, estes estão definidos nas subseções seguintes.

## 4.1 Requisitos Funcionais para a interface do sistema supervisório

1. Devem ser realizadas leituras periódicas de determinadas medições de todos os medidores disponíveis e conectados ao sistema supervisório.
2. O sistema deve armazenar periodicamente dados de leituras de cada medidor.
3. O sistema deve ser capaz de gerar gráficos utilizando dados armazenados.
4. O sistema deve ser capaz de gerar relatórios utilizando dados armazenados.
5. O sistema deve mostrar um mapa dinâmico do campus na interface do usuário, em que seja possível ver informações a respeito das medições realizadas em cada um dos prédios.

## 4.2 Regras de Negócio para a interface do sistema supervisório

1. Ícones e/ou cores devem estar presentes no mapa dinâmico para indicar o estado em que cada prédio se encontra.

2. Deve existir uma tela em que o usuário consiga visualizar de forma mais completa os dados de todos os prédios.
3. O sistema deve possuir um sistema de alarmes, que são disparados quando ocorrem situações específicas.
4. O sistema deve alertar o usuário por meio da interface quando ocorrer algum alarme.
5. O sistema deve mostrar ao usuário o histórico de alarmes, com o horário de cada ocorrência.

Após a definição dos requisitos de software, prosseguiu-se com o desenvolvimento do projeto.

A medida que o projeto foi sendo desenvolvido, discutiu-se com mais detalhes sobre as funcionalidades do sistema, definindo o que seria e o que não seria funcionalidade do sistema e definindo o escopo do projeto dado diversos fatores, como, o tempo de desenvolvimento, os recursos materiais e laborais disponíveis e a relevância de cada funcionalidade desejada.

O desenvolvimento do projeto se deu dividindo-se as atenções para o desenvolvimento de uma infraestrutura de conectividade dos medidores e para o desenvolvimento da aplicação gráfica no estilo SCADA, de forma paralela.

As seções a seguir discutem o desenvolvimento de cada uma delas separadamente.

## 4.3 Infraestrutura de rede

Para o desenvolvimento da infraestrutura de rede, como primeiro passo, estudou-se o medidor de grandezas elétricas que compõem o sistema, o TR4020/EA da Embrasul.

Dois exemplares do medidor foram adquiridos com a DPF e, a partir de uma montagem simples, os medidores foram usados para medir a tensão monofásica proveniente de uma tomada do circuito da sala da DGA, como observado na figura abaixo.

Figura 18 - Bancada de testes na DGA - SI.

Legenda: Medidor TR4020/EA realizando a medição de tensão de uma das fases do circuito da SI, sem medição de corrente. Fonte: Autoria própria, 2023.

Nesta mesma etapa, junto da DPF, foi feito um levantamento de todos os possíveis locais de medição e quais a medição seria priorizada, considerando a quantidade de medidores já instalados, a utilidade das informações levantadas, mesmo que sem o processamento de dados ou a apresentação no supervisório.

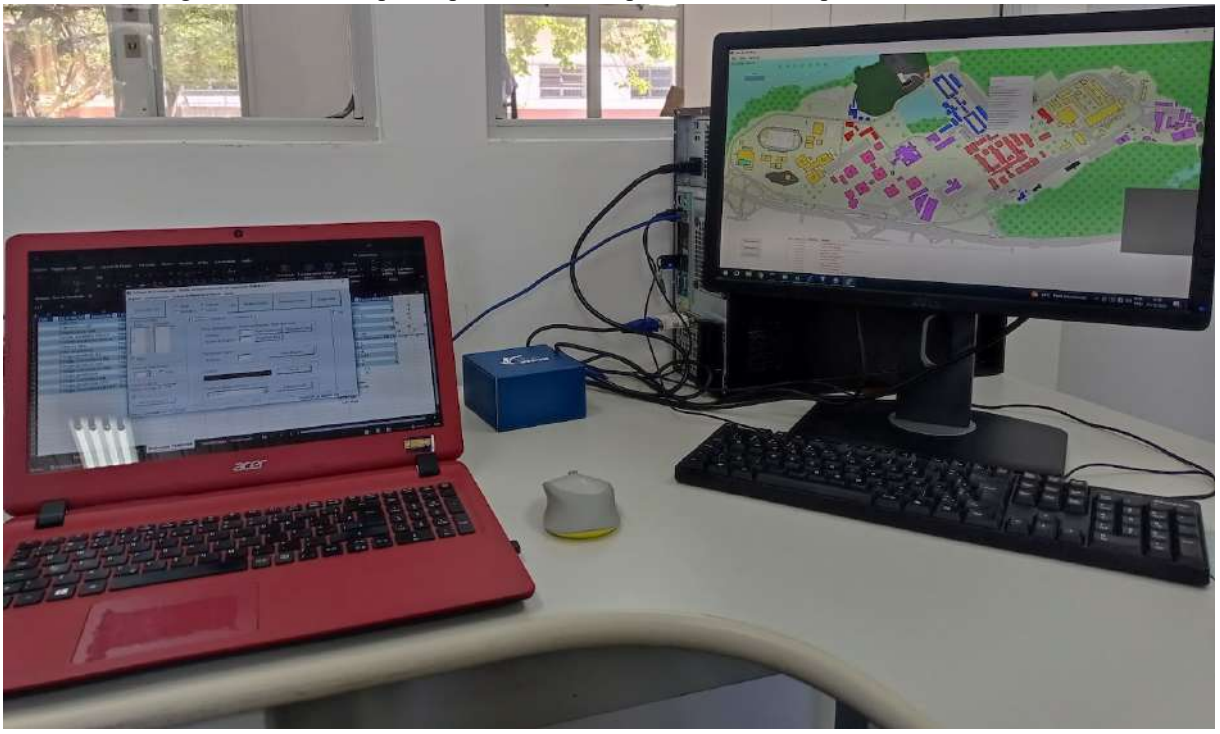
Os principais objetivos dessa primeira abordagem sobre o desenvolvimento da infraestrutura de rede foram dimensionar a rede e confirmar os detalhes a respeito da comunicação com o medidor. Determinando, assim, os requisitos para a comunicação com todos os medidores, definindo limites e flexibilidades para o sistema sobre as variáveis de medição e confirmando as informações encontradas nos documentos a respeito do medidor.

Levantado os requisitos de rede e definindo melhor o escopo do projeto, começaram-se as conversas com a Superintendência de Tecnologia da Informação (STI), antigo Núcleo de Tecnologia da Informação (NTI). Junto da STI, foram levantadas as possibilidades para

atender os requisitos, pensando também na necessidade de expansão da rede de supervisão para outros equipamentos de rede e na manutenibilidade da rede. Como resultado das conversas com o STI, foi disponibilizado a VLAN 80, de IPs 172.20.8.1 à 172.20.9.255, para servir como a “VLAN dos medidores”.

O primeiro medidor conectado a VLAN dos medidores foi o medidor de geração do Centro de Línguas (GG104). Enquanto esperava-se que mais medidores fossem gradualmente conectados à rede de internet do campus, testou-se o protótipo do sistema supervisório, visto na figura abaixo, deixando o sistema funcionar por dois dias consecutivos acessando este medidor.

Figura 19 - Teste do protótipo do sistema supervisório no computador da DGA - SI.

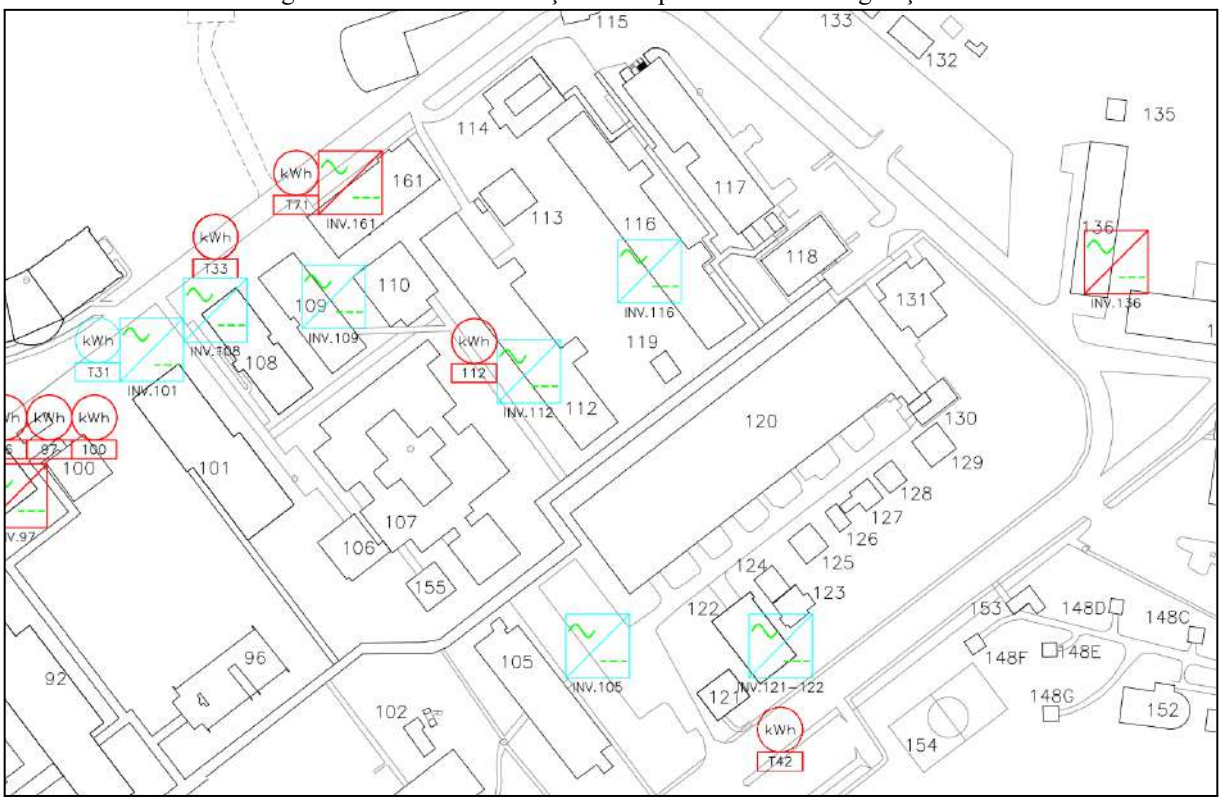


Fonte: Autoria própria, 2023.

Após esse momento, para concentrar os esforços e conseguir mais medidores conectados à VLAN, estudou-se individualmente cada ponto de interesse para medição dentro do CT, priorizando aqueles com medidor já instalado. Neste estudo, o foco se manteve em determinar o que impedia os medidores de serem conectados a VLAN e definir as ações necessárias para conectá-los e obter suas medições corretamente. Os principais pontos de atenção para

medição no CT foram os CT1, CT2, CT10, CT12 e CT13, prédios que obras ou reformas foram realizadas nos últimos anos, podendo ser observados mais facilmente na figura 20.

Figura 20 - Pontos de medição no mapa de medidores e geração.




Legenda: Em vermelho são os medidores sem conexão com a rede. Em azul claro estão os medidores que possuem conexão com a rede. Fonte: SI - UFES, modificado pelo autor, 2023.

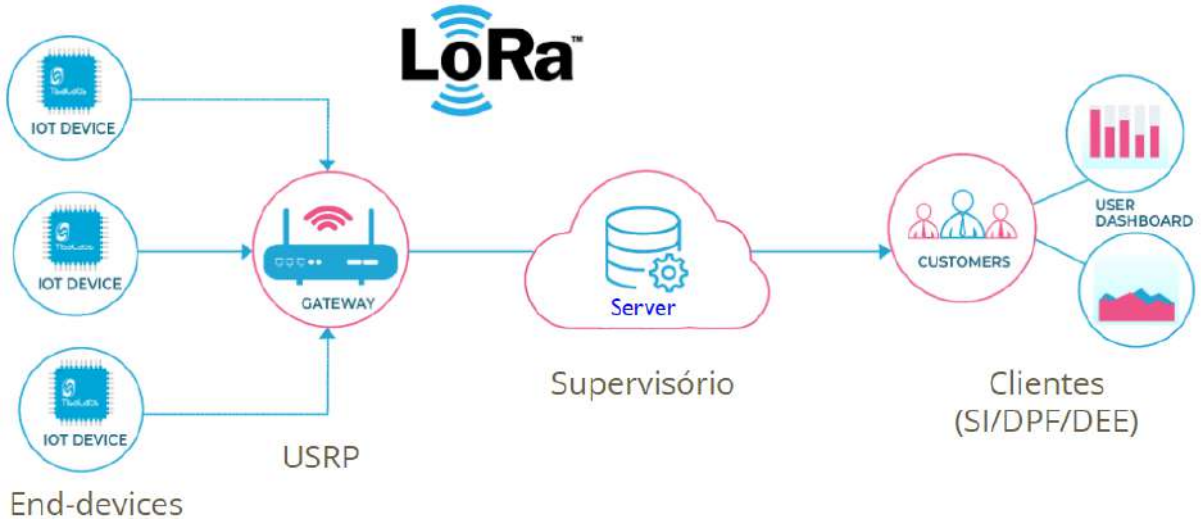
À medida que a ligação dos medidores à rede de internet da UFES era realizada, fizeram-se as solicitações ao STI para incluir os pontos de rede na VLAN dos medidores.

Quando um número maior de medidores foram conectados à VLAN dos medidores e conectou-se os primeiros pontos de medição de consumo, repetiu-se o teste executando o sistema supervisório por três dias consecutivos, de uma sexta-feira para segunda-feira. Agora, os medidores conectados eram os de geração dos CT1 (GG112), CT2 (GG116), CT9 (GG109), CT10 (GG108), CT12 (GG101) e Oficina Tecnológica (GG122), dos medidores de consumo foram usados os do CT2 (GC116) e do trafo 31 (GT31), que alimenta exclusivamente o CT12, únicos de consumo conectados a rede e presentes na VLAN.

### 4.3.1 Expansão da conectividade

Numa última abordagem, pensando em expandir a conectividade da rede de medidores para além da rede de internet do STI, estudou-se sobre as redes de longo alcance usadas sobre sistemas de Internet das Coisas (IoT), entre elas, as redes móveis de celular (2G/3G/4G/5G) e as redes de área de Baixo Consumo de Energia (LPWANs) (LoRa e SIGFOX). A partir desse estudo, decidiu-se usar LoRa, com o objetivo de transmitir ao sistema supervisório as leituras do medidor TR4020/EA por meio de uma rede LoRaWAN. A figura abaixo 21 exemplifica as conexões dessa rede.

Figura 21 - Arquitetura de rede LoRaWAN planejada.




Fonte: Figura modificada de TisaLabs, 2023.

Após uma pesquisa de mercado sobre kits, equipamentos e placas de desenvolvimento LoRa, adquiriu-se uma placa de desenvolvimento Heltec LoRa32-v2, por esta possuir suporte para múltiplos protocolos de comunicação. Foi adquirido também um shield ethernet para comunicar com a placa de desenvolvimento por meio de um barramento SPI. Por meio da interface ethernet usando o protocolo ModBus UDP, as medições solicitadas ao TR4020/EA e, então, transmitidas via LoRa para um gateway LoRa. Do gateway, o pacote de informações transmitidos ao gateway formariam um quadro UDP e seriam enviados ao sistema supervisório.

O equipamento com a placa de desenvolvimento foi projetado para ser usado no quadro de medição de consumo do CT1. Prédio no qual, para conexão do medidor de consumo via cabo ethernet, seria necessário realizar obras que poderiam demorar. O quadro de medição, com o respectivo consumo do CT1 encontra-se logo abaixo, nas

figuras 22 e 23. O projeto do dispositivo de ponta LoRa também encontra-se abaixo, na figura 24.

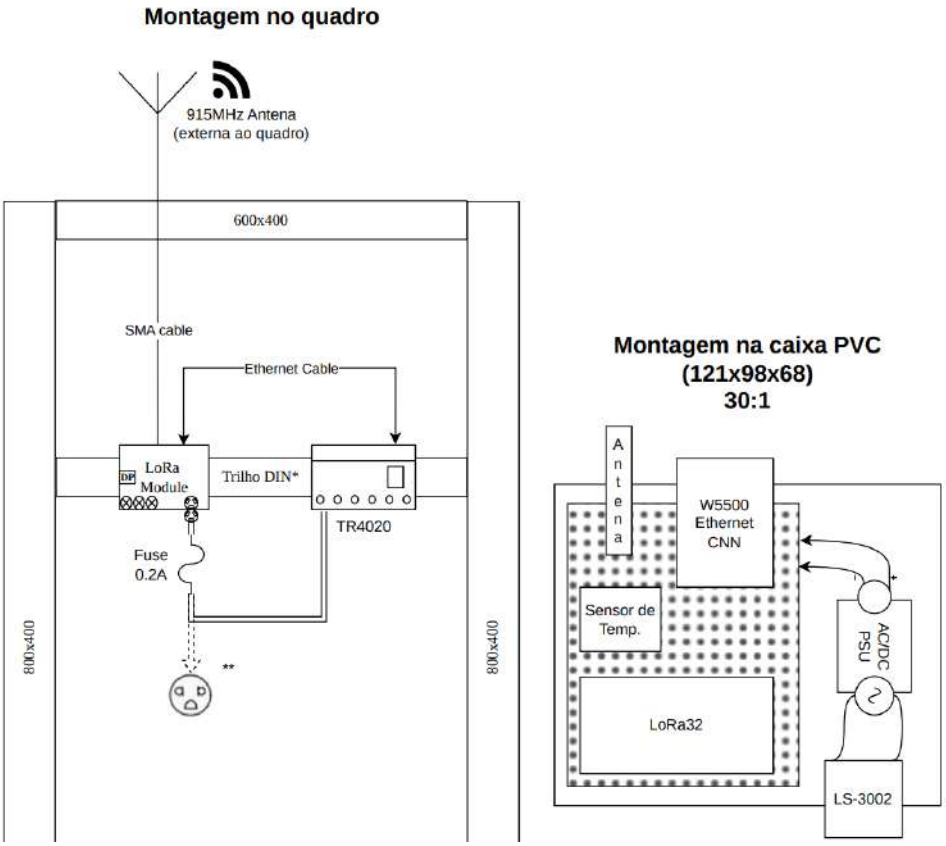
Figura 22 - QGBTs do CT1.

Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 23 - Quadro elétrico com medidor de consumo do CT1.

Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 24 - Projeto do dispositivo de ponta LoRa.




Fonte: Autoria própria, 2023.

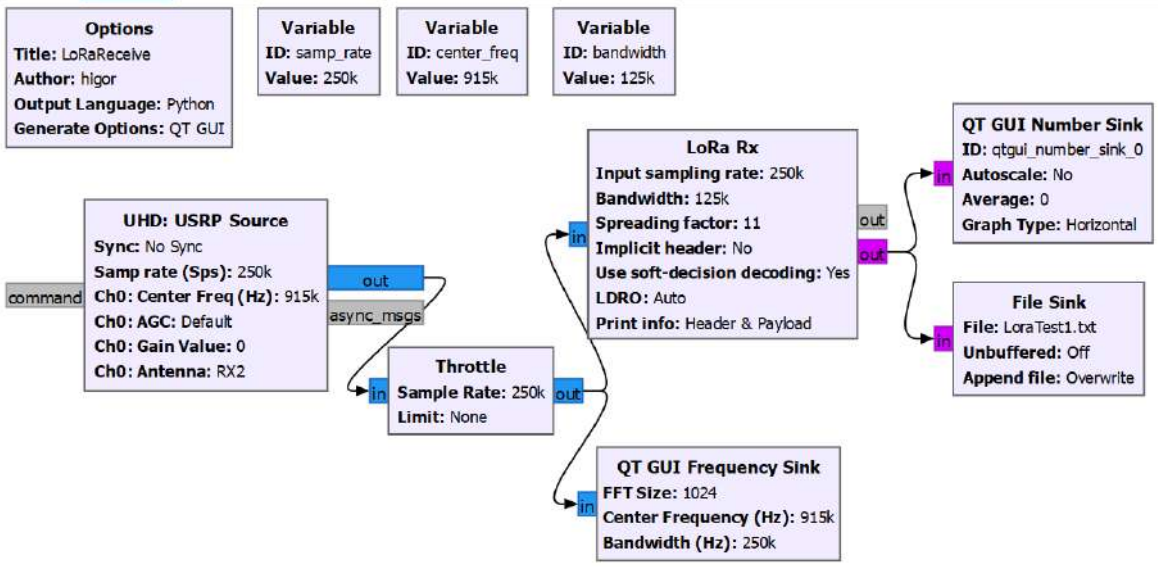
Para auxílio no desenvolvimento firmware embarcado desse equipamento de ponta de rede LoRa (*end-device*), usou-se os equipamentos periféricos de Redes Definidas por Software (SDR) do Laboratório do Núcleo de Estudos em Redes Definidas por Software (NERDS), os USRPs 2 da Ettus Research, que podem ser observados na figura 25, logo abaixo. Com o auxílio desses equipamentos, também realizou-se experimentos com o objetivo de simular um gateway LoRa.

Figura 25 - USRP 2 da Ettus.

Fonte: DL8RDS, 2012.

Para desenvolvimento do código embarcado da USRP, usou-se o software GNU Radio, usando como base uma implementação de LoRa em SDR, GR LoRa SDR, de Joachim Tapperel, 2023. A implementação modificada, usada para os testes com LoRa, se encontra abaixo (figura 26).

Figura 26 - Utilização do software GNU Radio para implementação de LoRa em SDR usando o GR LoRa SDR




Fonte: Autoria própria, 2023.

Por fim, foram analisados os resultados obtidos até o momento e definidas as próximas etapas de desenvolvimento necessárias para a obtenção de um sistema de supervisão completo na UFES.

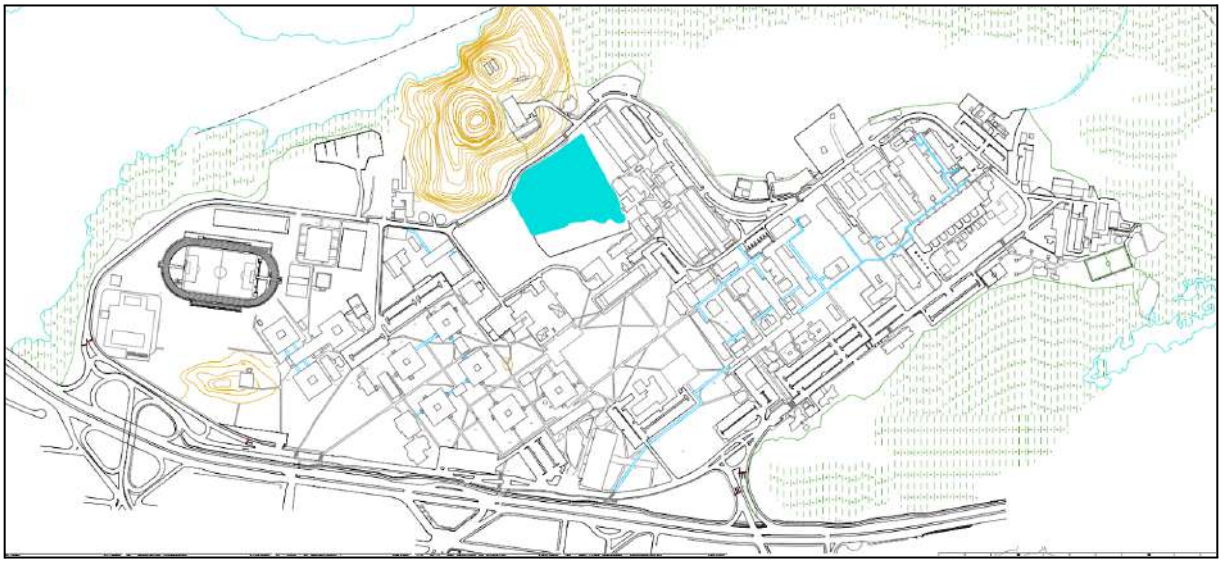
## 4.4 Supervisório SCADA

O desenvolvimento do supervisório SCADA está dividido entre a aplicação visual baseada na linguagem .net, a programação da conexão e comunicação com os medidores, a criação do banco de dados e a aplicação visual baseada em web.

### 4.4.1 Interface .net

O desenvolvimento da interface começou com a elaboração de um protótipo simples. Para isso, obteve-se o desenho atualizado da planta baixa do campus com a DPF e, usando o AutoCad da AutoDesk e paint.net da dotPDN LLC, modificou-se o desenho para gerar uma versão simplificada, observada abaixo na figura 27.

Figura 27 - Planta baixa do campus de Goiabeiras simplificada.



Fonte: SI - UFES, modificada pelo autor, 2023

Percebendo o tamanho da imagem completa do campus e no nível de detalhe que era necessário ser mostrado, decidiu-se que a tela geral do supervisório poderia ser projetada para uma tela de resolução UHD (3840 x 2160 pixels), com a intenção de ser mostrada em uma das TVs da SI.

Inicialmente, pensou-se na estratégia de listar diretamente as medições transmitidas ao supervisório acima da imagem de cada prédio, mas logo percebeu-se que faria com que a interface tivesse muita informação, saturando o usuário. Diante disso, pensou-se em estratégias para condensar e ocultar as informações, mas sem que dados importantes fossem perdidos. À medida que essas estratégias eram pensadas e definidas, testava-se a implementação, obtinha-se um feedback com o orientador e concluía-se se era viável ou não de implementação ao restante do supervisório.

### 4.4.2 Conectividade do supervisório

Após o estudo inicial de conectividade com o TR4020/EA de bancada na DGA, definiu-se os detalhes a respeito da comunicação com o equipamento. Conhecendo os detalhes de comunicação, procurou-se entre os drivers de rede pré-programados do BluePlant se algum deles era capaz de realizar corretamente a comunicação com o equipamento, no formato ModBus UDP.

Por ser uma variação do ModBus TCP, o protocolo ModBus UDP não é padronizado por normativas. Pequenas variações no PDU inviabilizaram o uso dos drivers pré-programados do BluePlant, assim, se fez necessária uma implementação em C# própria do autor do ModBus UDP para comunicação.

Implementado uma versão inicial do driver, testes foram feitos com o medidor de bancada na DGA. Quando se obteve acesso a VLAN dos medidores e o primeiro equipamento foi conectado à VLAN, passou-se a testar neste equipamento. Um dos testes realizados foi de deixar o supervisório executar durante dois dias, para coletar dados e salvar automaticamente. Para esse teste, usou-se o medidor de geração do Centro de Línguas (GG104).

Como o BluePlant com a licença gratuita (*Express*) tem limitação de ser executado somente por 1h sequencial, foi usado uma licença de desenvolvedor, uma *softkey* BP5021, obtida em um projeto de Iniciação Científica realizado anos antes pelo autor e pelo orientador.

Após esse teste foram feitas pequenas modificações no driver de comunicação e um novo teste de três dias de execução foi realizado, citado anteriormente.

Por fim, foram feitas as últimas análises sobre o driver e levantadas possíveis melhorias para o driver de comunicação.

### 4.4.3 Banco de dados e memória de massa

Para a construção do banco de dados com as medições, usou-se das ferramentas disponíveis no BluePlant de criação de banco de dados, o DataBase e o Historian. O Historian é um banco

de dados interno do BluePlant, que automaticamente salva os valores quando a variável tem seu valor alterado. Ambos os bancos têm a opção de gerar um banco de dados SQL e incrementá-lo inserindo dados em um banco pré existente. Os testes foram feitos principalmente usando o DataBase, pois este dava maior liberdade ao desenvolvedor de se modificar.

Durante os testes, para visualização do banco de dados, foram usados o gerenciador de banco de dados SQL interno ao BluePlant, DBAdmin, e um software de visualização de bancos disponível gratuitamente, SQLite Browser, desenvolvido por Maurício Piacentini (2023).

No primeiro teste de execução por dois dias, o banco de dados foi incrementado toda vez que uma medição era feita ao medidor (GG104). No segundo teste, os dados passaram a ser inseridos no banco de dados a cada 10 minutos. Neste segundo teste, foram usados um total de 8 medidores, 2 de consumo e 6 de geração, citados anteriormente.

Após cada teste, o banco de dados era analisado e verificado por inconsistências.

### 4.4.4 Interface web

Pensando na usabilidade do supervisório pelo usuário sem a necessidade de ter instalado o BluePlant, projetou-se uma visualização por meio de uma página de Linguagem de Marcação de HiperTexto (HTML).

Essa tela teria a mesma configuração da tela principal do programa, a visualização .net, sendo necessária a conversão dos scripts programados em C# para java, por questões de compatibilidade do programa da Altus.

# 5 RESULTADOS

Como resultado da concepção e do levantamento de requisitos de software, foi possível determinar os itens especificados na seção **1.1 Objetivos**. Observando a dimensão final do projeto e a quantidade de medidores conectados, definiu-se que não seria possível obter um supervisionamento completo do sistema de energia elétrica do campus Goiabeiras, mas focando inicialmente os esforços no CT, o sistema teria a medição de todos os medidores disponíveis.

## 5.1 Resultados dos testes com os medidores de bancada

A partir dos testes realizados com os dois primeiros TR4020/EA adquiridos pela DPF, confirmou-se os dados apresentados nos manuais e os detalhes destacados na seção de **3.3 O medidor TR4020/EA**, além disso, definiu-se pontos importantes a respeito da comunicação com o medidor abaixo.

Primeiro, só é possível extrair os valores medidos do TR4020/EA pela interface ethernet usando o protocolo ModBus UDP. O *payload* do pacote UDP tem de ser especificamente igual ao ADU do ModBus TCP. Qualquer pacote fora desse padrão é ignorado pelo medidor. Um exemplo de payload e resposta pode ser encontrado no apêndice C – Obtendo e interpretando os dados de medição do TR4020/EA. Observou-se também que o tempo de resposta do TR4020/EA não é fixo, sendo que, em alguns testes, a resposta se dava em menos de 100 ms e, em outros testes, se dava com mais de 300 ms.

Segundo, a extração da memória de massa depende de usar uma função Modbus específica, 10, que é a mesma função usada para modificar parâmetros internos ao medidor, por isso, não é recomendado o uso indiscriminado dessa função. Dessa forma, a extração da memória de massa deve ser feita pelo programa SP4000.

Terceiro, por serem pacotes UDP, tanto os pacotes enviados quanto os recebidos podem ser perdidos ou chegar fora de ordem. Por este motivo, considerou mais interessante mandar somente 1 pacote dentro do tempo de *timeout* (5s), reenviando caso não se tenha resposta.

Quarto, o medidor só tem suporte a IP fixo, logo, para determinar o seu IP e conseguir conexão via rede internet, primeiramente precisa configurar manualmente acessando o medidor diretamente via ethernet em *Local Area Network* (LAN). Dessa forma, para cada medidor que for incluído na VLAN, é necessário acessar o quadro elétrico em que ele está instalado, conectar um cabo ethernet e parametrizar o equipamento com o novo IP.

Quinto, e por último, um dos medidores usados perdia a configuração de hora quando reiniciado, fazendo com que a memória de massa do medidor estivesse com a data errada aleatória. Considerou que isso pode ser um comportamento esperado para mais medidores e definiu-se a estratégia de programar uma rotina para ser executada após um certo número de dias para verificar se o equipamento está com a data certa, se não estiver, ele lança um alarme.

## 5.2 Protótipo da aplicação .net do supervisório

A partir do desenho simplificado da UFES, mostrado na seção de resultados, pensou-se em diversas estratégias para condensar e simplificar informações. A primeira delas foi separar os centros e áreas próximas com a mesma cor, como observado a seguir na figura 28.

Figura 28 - Planta baixa do campus de Goiabeiras simplificada.

Legenda: Centro e instalações próximas coloridos da mesma cor. Fonte: SI - UFES, modificada pelo autor, 2023

Uma outra estratégia utilizada foi destacar os prédios alimentados sobre o mesmo trafo ao passar o mouse em cima na tela do supervisório, como observado na figura 29.

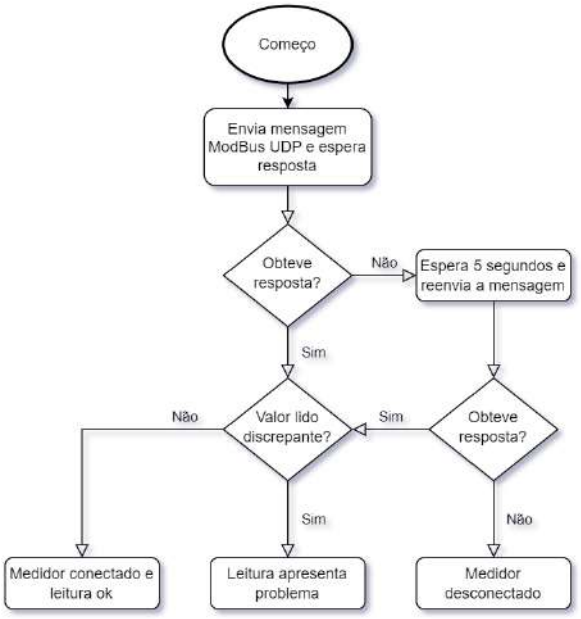
Figura 29 - Destaque do prédio e das instalações conectadas ao mesmo trafo ao passar o mouse sobre esse.

Legenda: Na figura, mouse sobre o CT2, alimentado pelo T31, que também alimenta o CT1, ao lado, o CT3, o CT7 e o CT6. Fonte: Autoria própria, 2023

Outra estratégia utilizada foi de sumarizar e separar as informações obtidas a partir das medições de cada prédio em categorias. Projetou-se 3 diferentes categorias para as informações: essenciais, de medição e de histórico.

As informações essenciais são compostas por duas informações: estado de conexão de rede do medidor (conectado ou desconectado) e estado em relação à energia do prédio (apresenta problema ou não). Essas informações são obtidas a partir de uma lógica simples de resposta ou não do medidor. Tais informações compõem um fluxograma que pode ser visualizado na figura 30.

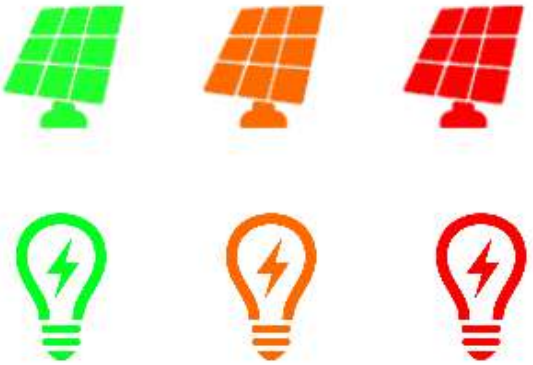
Figura 30 - Fluxograma para obtenção das informações essenciais de monitoramento.




Fonte: Autoria própria, 2023

As informações essenciais são resumidas e mostradas usando símbolos e cores, os símbolos e suas respectivas cores estão na figura 31, enquanto a figura 32 exemplifica seu uso.

Figura 31 - Símbolos usados para representar as informações essenciais de monitoramento no supervisório.



Legenda: Da esquerda para direita, símbolos para medidor conectado com medição ok, medidor conectado com medição discrepante e medidor desconectado. Em cima os símbolos para medidores de geração e embaixo para medidores de consumo. Fonte: Autoria própria, 2023

Figura 32 - Exemplificação do uso de símbolos na interface do supervisório.

Fonte: Autoria própria, 2023

As informações de medição são as leituras que devem ser realizadas periodicamente para supervisionar a rede elétrica, isto é, medições de tensão e corrente, potências ativa e aparente

e fator de potência. Essas informações são mostradas ao passar o mouse em cima de cada prédio, observadas na figura 33, logo abaixo.

Figura 33 - Exemplificação da visualização das informações de medição do CT2 e CT10 no supervisório.

Fonte: Autoria própria, 2023

As informações de histórico são medidas de consumo e geração de energia elétrica nos últimos 15 minutos, no dia, no mês e totais. Um exemplo dessas informações pode ser visto na figura 34.

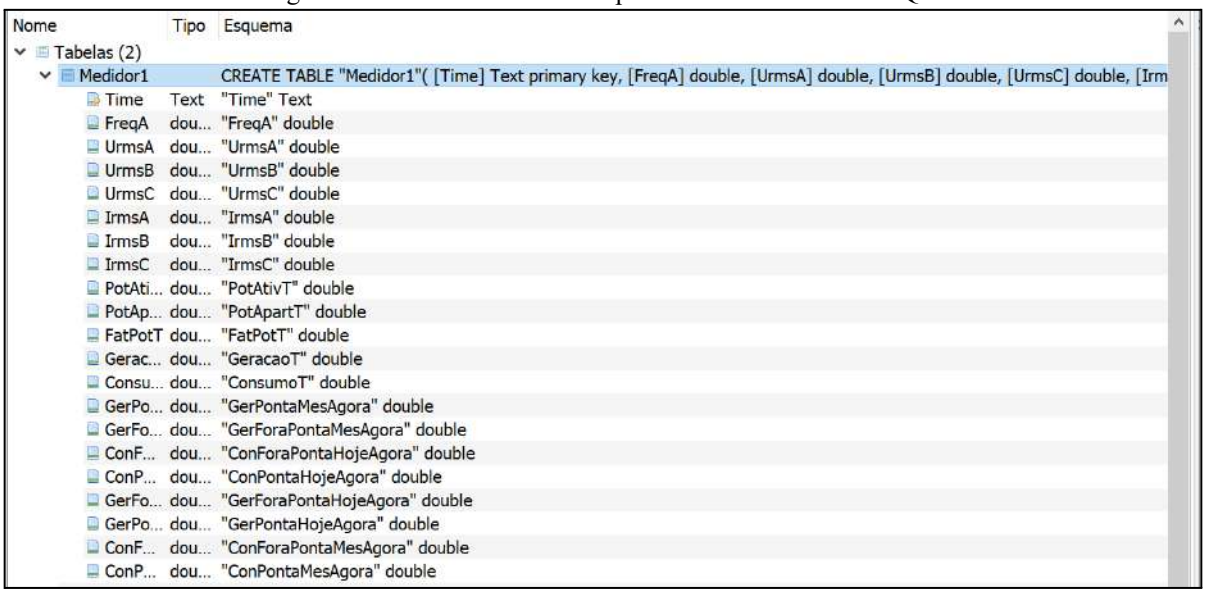
Figura 34 - Exemplificação da visualização das informações de histórico do CT2 e CT10 no supervisório.

Fonte: Autoria própria, 2023

Essas informações de histórico, junto das informações de medição servem para gerar um histórico e uma memória de massa de cada medidor, que são salvas automaticamente em um banco de dados SQL no máximo a cada 15 minutos. O banco possui uma tabela para cada

medidor conectado ao sistema. Podemos observar um exemplo de variáveis salvas em um banco de dados na figura 35.

Figura 35 - Variáveis escritas no primeiro banco de dados SQL.

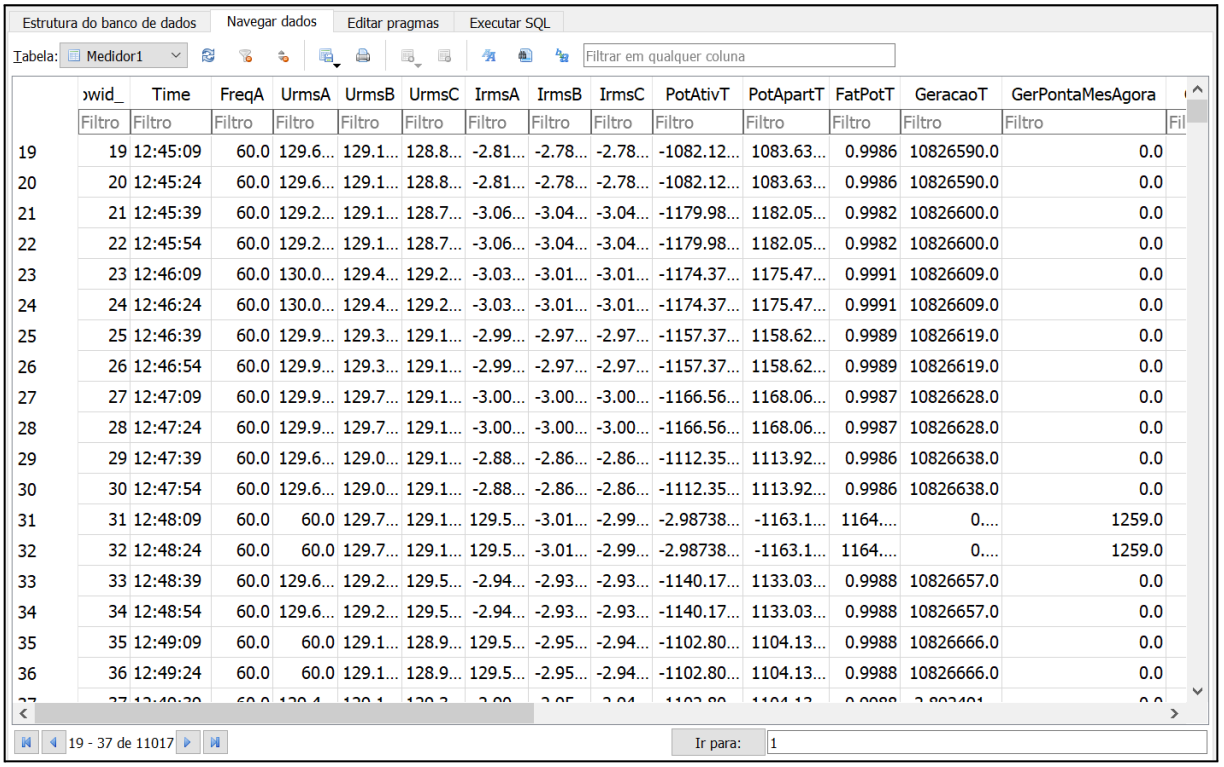



Fonte: Autoria própria, 2023

## 5.3 Resultados dos testes com banco de dados

No primeiro teste em que o sistema foi executado por dois dias, conectado ao medidor de geração do Centro de Línguas (GG104), gerou-se um banco de dados com as medições feitas, visualizado na figura 36.

Figura 36 - Banco de dados do primeiro teste com medições do Centro de Línguas (GG104).




| | ›wid_ | Time | FreqA | UrmsA | UrmsB | UrmsC | IrmsA | IrmsB | IrmsC | PotAtivT | PotApartT | FatPotT | GeracaoT | GerPontaMesAgora |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro |
| 19 | 19 | 12:45:09 | 60.0 | 129.6... | 129.1... | 128.8... | -2.81... | -2.78... | -2.78... | -1082.12... | 1083.63... | 0.9986 | 10826590.0 | 0.0 |
| 20 | 20 | 12:45:24 | 60.0 | 129.6... | 129.1... | 128.8... | -2.81... | -2.78... | -2.78... | -1082.12... | 1083.63... | 0.9986 | 10826590.0 | 0.0 |
| 21 | 21 | 12:45:39 | 60.0 | 129.2... | 129.1... | 128.7... | -3.06... | -3.04... | -3.04... | -1179.98... | 1182.05... | 0.9982 | 10826600.0 | 0.0 |
| 22 | 22 | 12:45:54 | 60.0 | 129.2... | 129.1... | 128.7... | -3.06... | -3.04... | -3.04... | -1179.98... | 1182.05... | 0.9982 | 10826600.0 | 0.0 |
| 23 | 23 | 12:46:09 | 60.0 | 130.0... | 129.4... | 129.2... | -3.03... | -3.01... | -3.01... | -1174.37... | 1175.47... | 0.9991 | 10826609.0 | 0.0 |
| 24 | 24 | 12:46:24 | 60.0 | 130.0... | 129.4... | 129.2... | -3.03... | -3.01... | -3.01... | -1174.37... | 1175.47... | 0.9991 | 10826609.0 | 0.0 |
| 25 | 25 | 12:46:39 | 60.0 | 129.9... | 129.3... | 129.1... | -2.99... | -2.97... | -2.97... | -1157.37... | 1158.62... | 0.9989 | 10826619.0 | 0.0 |
| 26 | 26 | 12:46:54 | 60.0 | 129.9... | 129.3... | 129.1... | -2.99... | -2.97... | -2.97... | -1157.37... | 1158.62... | 0.9989 | 10826619.0 | 0.0 |
| 27 | 27 | 12:47:09 | 60.0 | 129.9... | 129.7... | 129.1... | -3.00... | -3.00... | -3.00... | -1166.56... | 1168.06... | 0.9987 | 10826628.0 | 0.0 |
| 28 | 28 | 12:47:24 | 60.0 | 129.9... | 129.7... | 129.1... | -3.00... | -3.00... | -3.00... | -1166.56... | 1168.06... | 0.9987 | 10826628.0 | 0.0 |
| 29 | 29 | 12:47:39 | 60.0 | 129.6... | 129.0... | 129.1... | -2.88... | -2.86... | -2.86... | -1112.35... | 1113.92... | 0.9986 | 10826638.0 | 0.0 |
| 30 | 30 | 12:47:54 | 60.0 | 129.6... | 129.0... | 129.1... | -2.88... | -2.86... | -2.86... | -1112.35... | 1113.92... | 0.9986 | 10826638.0 | 0.0 |
| 31 | 31 | 12:48:09 | 60.0 | 60.0 | 129.7... | 129.1... | 129.5... | -3.01... | -2.99... | -2.98738... | -1163.1... | 1164.... | 0.... | 1259.0 |
| 32 | 32 | 12:48:24 | 60.0 | 60.0 | 129.7... | 129.1... | 129.5... | -3.01... | -2.99... | -2.98738... | -1163.1... | 1164.... | 0.... | 1259.0 |
| 33 | 33 | 12:48:39 | 60.0 | 129.6... | 129.2... | 129.5... | -2.94... | -2.93... | -2.93... | -1140.17... | 1133.03... | 0.9988 | 10826657.0 | 0.0 |
| 34 | 34 | 12:48:54 | 60.0 | 129.6... | 129.2... | 129.5... | -2.94... | -2.93... | -2.93... | -1140.17... | 1133.03... | 0.9988 | 10826657.0 | 0.0 |
| 35 | 35 | 12:49:09 | 60.0 | 60.0 | 129.1... | 128.9... | 129.5... | -2.95... | -2.94... | -1102.80... | 1104.13... | 0.9988 | 10826666.0 | 0.0 |
| 36 | 36 | 12:49:24 | 60.0 | 60.0 | 129.1... | 128.9... | 129.5... | -2.95... | -2.94... | -1102.80... | 1104.13... | 0.9988 | 10826666.0 | 0.0 |

Fonte: Autoria própria, 2023

Analisando esse banco de dados, foi possível observar que sucessivamente realizou-se as medições, porém o banco apresentava algumas inconsistências. As inconsistências e suas causas são:

1. Em algumas linhas do banco de dados, se observa um “deslocamento” para direita das medições.
    a. Isso se deve ao recebimento dos pacotes fora do tempo esperado. Durante este teste, cada variável era lida individualmente, solicitando uma a uma ao medidor e o tempo de *timeout* para a resposta estava configurado incorretamente para 300ms. Os pacotes que chegavam após 300ms eram interpretados como leituras do próximo valor solicitado, deslocando a tabela. Caso acontecesse o timeout, o último valor da variável era repetido.
    b. A solução implementada foi fazer somente 1 leitura de todas as variáveis e aumentar o tempo de timout da resposta para até 5s.

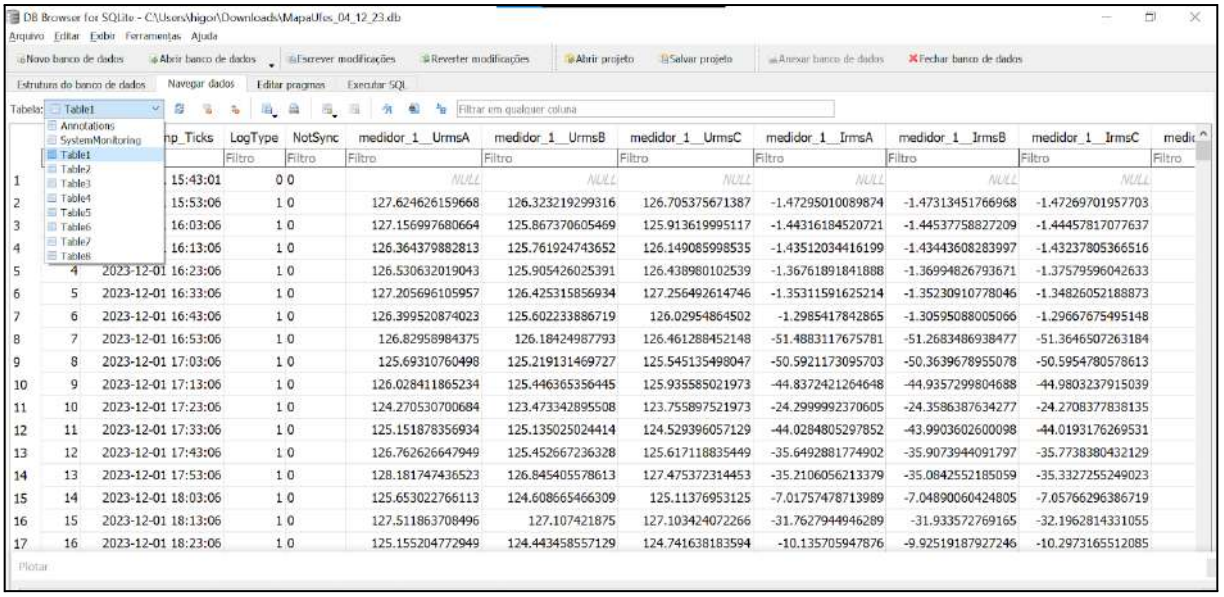
2. Os valores acumulados de geração do dia e do mês estavam zerados.
    a. Esse comportamento é específico observado nos medidores de geração. Posteriormente, observou o mesmo comportamento com mais medidores de

geração. Assim também, a memória de massa desses medidores aparece como zerada. Os valores acumulados totais e dos últimos 15 minutos estão certos.

b. Como solução, para quando o medidor é de geração, a integração do dia e do mês para valores lidos a cada 15 minutos é feita internamente ao supervisório. Logo, a contagem é reiniciada caso o supervisório seja reiniciado.

Essas soluções foram implementadas e o resultado do segundo teste, para a execução por 3 dias consecutivos, foi sucessivo, observado na figura 37, abaixo.

Figura 37 - Banco de dados do segundo teste com medições.

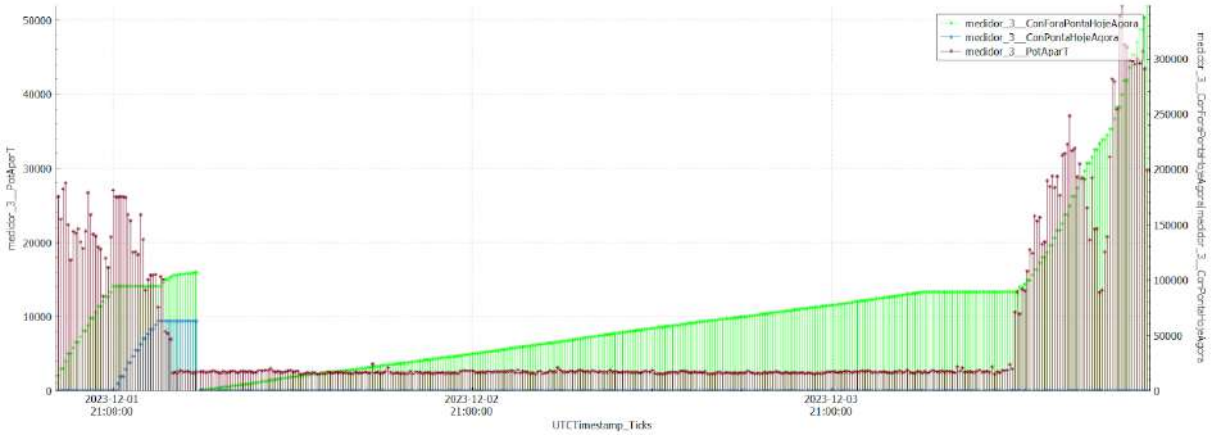


| | id | Timestamp | hp_Ticks | LogType | NotSync | medidor_1__UrmsA | medidor_1__UrmsB | medidor_1__UrmsC | medidor_1__IrmsA | medidor_1__IrmsB | medidor_1__IrmsC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro | Filtro |
| 1 | | 15:43:01 | | 0 | 0 | NULL | NULL | NULL | NULL | NULL | NULL |
| 2 | | 15:53:06 | | 1 | 0 | 127.624626159668 | 126.323219299316 | 126.705375671387 | -1.47295010089874 | -1.47313451766968 | -1.47269701957703 |
| 3 | | 16:03:06 | | 1 | 0 | 127.156997680664 | 125.867370605469 | 125.913619995117 | -1.44316184520721 | -1.44537758827209 | -1.44457817077637 |
| 4 | | 16:13:06 | | 1 | 0 | 126.364379882813 | 125.761924743652 | 126.149085998535 | -1.43512034416199 | -1.43443608283997 | -1.43237805366516 |
| 5 | 4 | 2023-12-01 16:23:06 | | 1 | 0 | 126.530632019043 | 125.905426025391 | 126.438980102539 | -1.36761891841888 | -1.36994826793671 | -1.37579596042633 |
| 6 | 5 | 2023-12-01 16:33:06 | | 1 | 0 | 127.205696105957 | 126.425315856934 | 127.256492614746 | -1.35311591625214 | -1.35230910778046 | -1.34826052188873 |
| 7 | 6 | 2023-12-01 16:43:06 | | 1 | 0 | 126.399520874023 | 125.602233886719 | 126.02954864502 | -1.2985417842865 | -1.30595088005066 | -1.29667675495148 |
| 8 | 7 | 2023-12-01 16:53:06 | | 1 | 0 | 126.82958984375 | 126.18424987793 | 126.461288452148 | -51.4883117675781 | -51.2683486938477 | -51.3646507263184 |
| 9 | 8 | 2023-12-01 17:03:06 | | 1 | 0 | 125.69310760498 | 125.219131469727 | 125.545135498047 | -50.5921173095703 | -50.3639678955078 | -50.5954780578613 |
| 10 | 9 | 2023-12-01 17:13:06 | | 1 | 0 | 126.028411865234 | 125.446365356445 | 125.935585021973 | -44.8372421264648 | -44.9357299804688 | -44.9803237915039 |
| 11 | 10 | 2023-12-01 17:23:06 | | 1 | 0 | 124.270530700684 | 123.473342895508 | 123.755897521973 | -24.2999992370605 | -24.3586387634277 | -24.2708377838135 |
| 12 | 11 | 2023-12-01 17:33:06 | | 1 | 0 | 125.151878356934 | 125.135025024414 | 124.529396057129 | -44.0284805297852 | -43.9903602600098 | -44.0193176269531 |
| 13 | 12 | 2023-12-01 17:43:06 | | 1 | 0 | 126.762626647949 | 125.452667236328 | 125.617118835449 | -35.6492881774902 | -35.9073944091797 | -35.7738380432129 |
| 14 | 13 | 2023-12-01 17:53:06 | | 1 | 0 | 128.181747436523 | 126.845405578613 | 127.475372314453 | -35.2106056213379 | -35.0842552185059 | -35.3327255249023 |
| 15 | 14 | 2023-12-01 18:03:06 | | 1 | 0 | 125.653022766113 | 124.608665466309 | 125.11376953125 | -7.01757478713989 | -7.04890060424805 | -7.05766296386719 |
| 16 | 15 | 2023-12-01 18:13:06 | | 1 | 0 | 127.511863708496 | 127.107421875 | 127.103424072266 | -31.7627944946289 | -31.933572769165 | -32.1962814331055 |
| 17 | 16 | 2023-12-01 18:23:06 | | 1 | 0 | 125.155204772949 | 124.443458557129 | 124.741638183594 | -10.135705947876 | -9.92519187927246 | -10.2973165512085 |

Legenda: A diferença no valor de corrente da linha 6 para a 7 é devido a parametrização da relação TC do medidor quando. A parametrização anterior estava errada. Fonte: Autoria própria, 2023

A partir do programa de visualização do banco de dados SQL plotou-se alguns gráficos, como observado na figura 38.

Figura 38 - Potência aparente e consumos fora ponta e ponta do medidor do T31/CT12 (GT31).

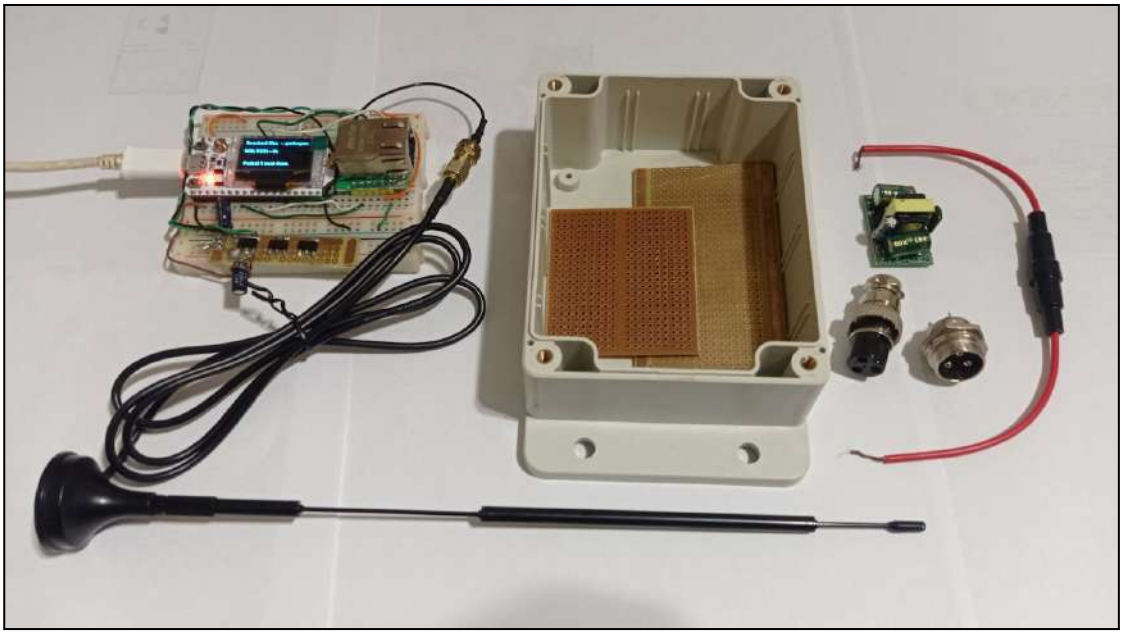



Legenda: É possível observar quando o sistema reinicia, próximo ao começo do gráfico, o valor de integração de energia é zerado. Plots feitos com visualização do visualizador de bancos de dados SQLite. Fonte: Autoria própria, 2023

## 5.4 Testes usando rede LoRa

Para desenvolvimento do firmware do end device LoRa e realização de testes, usou-se uma protoboard, alguns jumpers e uma antena de 915 MHz com ganho de 6dbi, como pode ser visto na figura 39.

Figura 39 - *End device* LoRa em seu desenvolvimento.

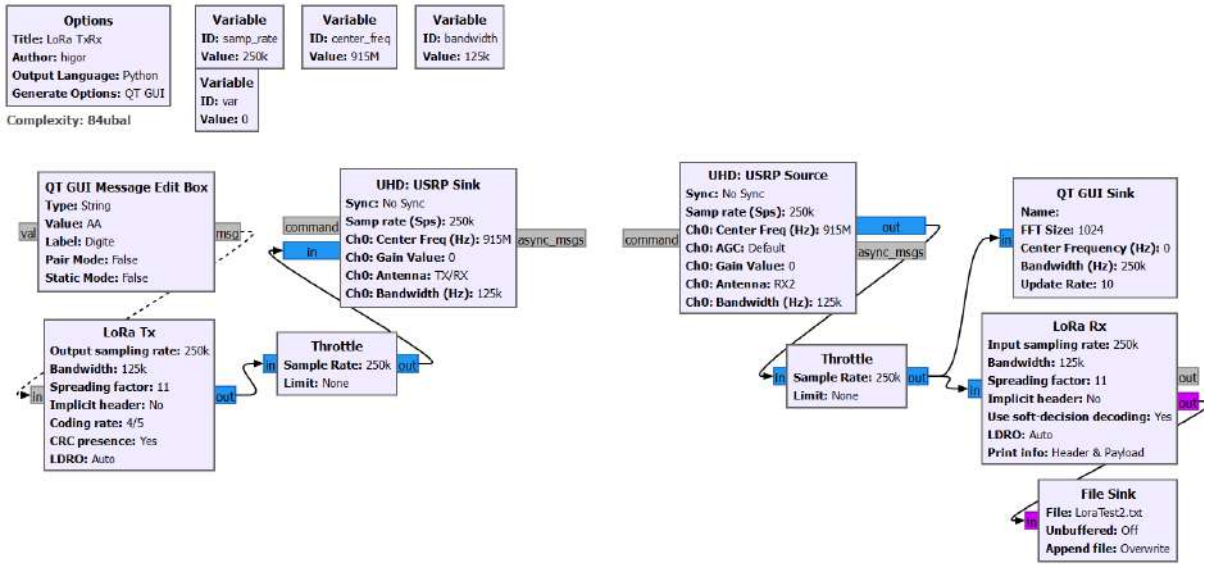


Legenda: Placa LoRa32 com a montagem na protoboard a esquerda e a direita a fonte, os conectores e o fusível a serem usados. Fonte: Autoria própria, 2023

Após algumas tentativas falhas de se estabelecer um link LoRa entre a placa de desenvolvimento da Heltec e o USRP, decidiu-se por realizar a implementação em partes.

Primeiro testou-se o uso do LoRa SDR entre dois canais do mesmo USRP para estabelecer uma comunicação LoRa. Com a programação descrita na figura abaixo, foi possível realizar um link LoRa e enviar e receber *payloads*.

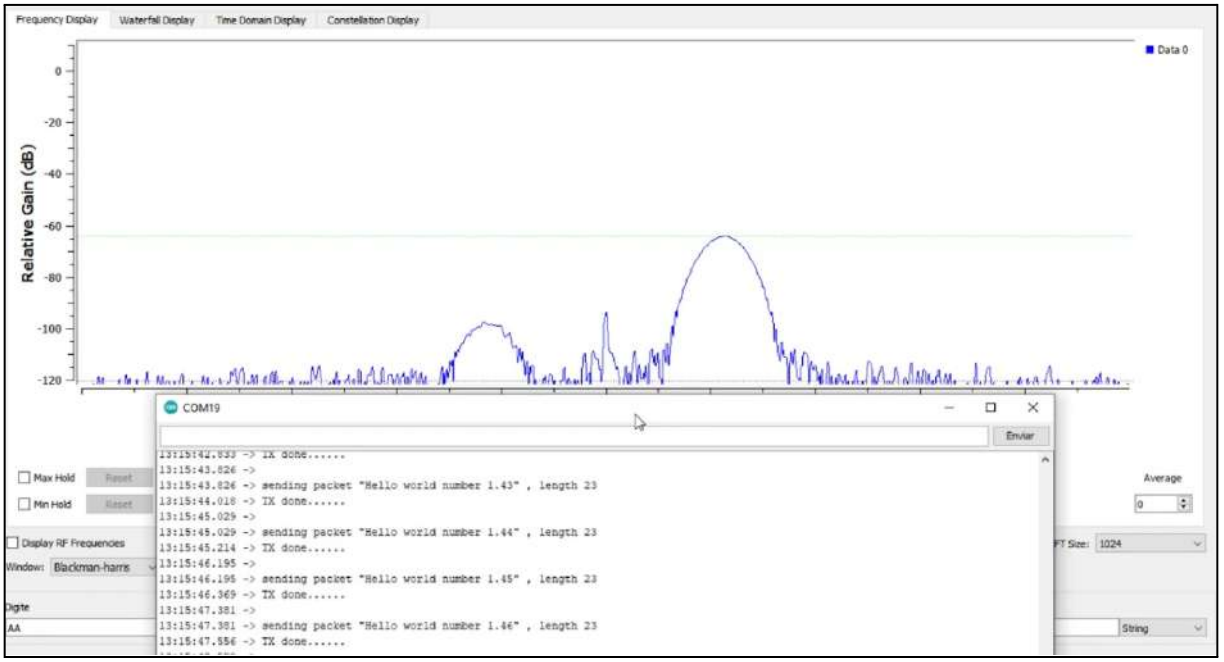
Figura 40 - Programação do GNU Radio com LoRa SDR usada para link LoRa.




Fonte: Autoria própria, 2023

Mais alguns testes foram realizados com o *end device* LoRa. Nesses testes, verificou-se que a placa de desenvolvimento solicitava uma licença toda vez que o código era executado. Lendo a documentação da Heltec, verificou-se que o *chipID*, o identificador da placa, não constava no banco de dados da empresa. Então, foi necessário enviar um email solicitando a inserção do identificador no sistema e solicitando também a licença para uso da placa. A empresa respondeu o email com uma nova licença, que, ao inserida na programação da placa, resultou em testes com resultados positivos, como pode ser visto nas figuras 41 e 42 abaixo.

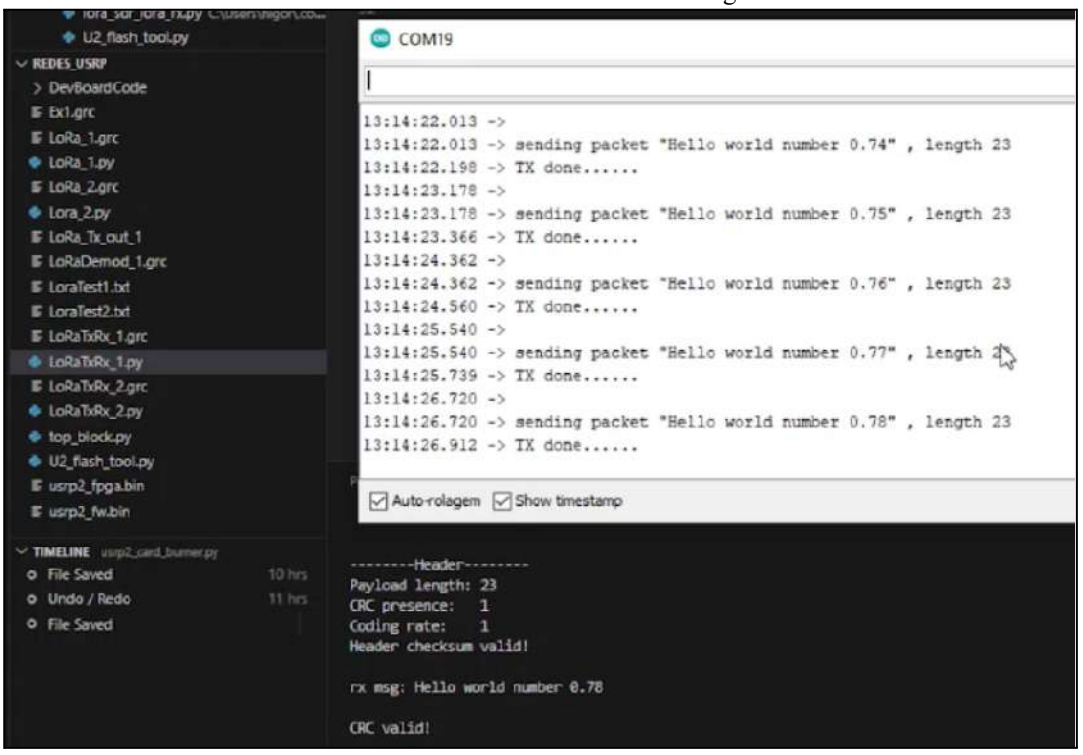
Figura 41 - Interface do programa SDR mostrando recebimento de sinal LoRa e terminal serial conectado a placa de desenvolvimento informando envio de mensagem LoRa.




Fonte: Autoria própria, 2023

O sinal LoRa era decodificado e informado no terminal em que o código python gerado pelo GNU Radio era executado.

Figura 42 - Terminal *cmd* informando o recebimento da mensagem LoRa e terminal serial conectado a placa de desenvolvimento informando envio de mensagem LoRa.




Fonte: Autoria própria, 2023

Para execução desses testes, foi usado o código exemplo *LoraSender.ino* que pode ser encontrado no repositório do github da Heltec, 2023.

Apesar de ter conseguido estabelecer um link LoRa, por uma questão de tempo de execução, não foi possível obter as leituras do medidor e concluir sucessivamente o desenvolvimento do *end device* LoRa a tempo da entrega desse projeto.

Espera-se que mais testes sejam realizados mesmo após o término deste projeto de graduação, com o objetivo de se aprender mais sobre LoRa e sobre a placa de desenvolvimento.

# 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos e, tendo em vista os objetivos específicos, os requisitos funcionais e regras de negócio projetados inicialmente, é possível concluir que o objetivo foi parcialmente atingido.

Por meio da obtenção dos dados de tensão e corrente por fase, de potência ativa e aparente, de frequência e fator de potência, dos medidores de grandezas elétricas TR4020/EA disponíveis na VLAN via ModBus UDP e por meio da demonstração dos valores na interface .net do supervisório, foi possível concluir o primeiro objetivo específico do projeto.

Ao salvar esses dados no banco de dados SQL criando assim uma memória de massa de cada medidor, foi possível concluir o segundo objetivo específico do projeto.

Ao final, a quantidade total de medidores conectados ao sistema supervisório está abaixo daquela desejada, apenas 9 (3,35%) medidores dos 269 idealizados para todo o campus Goiabeiras. Apesar disso, esses 9 atualmente constituem 100% dos medidores conectados a VLAN. Por meio de um trabalho a longo prazo será possível expandir a área de cobertura de medição e aumentar o número de medidores.

A respeito dos requisitos funcionais e as regras de negócio planejados para a aplicação SCADA do supervisório, foi possível realizar com sucesso medições periódicas de todos os medidores conectados a VLAN, mostrando as variáveis em um mapa dinâmico e iterativo. Assim também, foram armazenados esses dados individualmente para cada equipamento com sucesso.

Porém, não foi possível fazer com que a aplicação gerasse gráficos ou relatórios ou mostrasse alarmes com marcação de tempo. Para implementação dessas funcionalidade seria necessário mais tempo de desenvolvimento. Dessa forma, os requisitos funcionais foram parcialmente atendidos. Sumarizando, na figura 43 abaixo temos cada requisito e regra associado a um *emoji* para indicar o atendimento ou não ao critério.

Figura 43 - Sumarização dos requisitos funcionais e regras de negócio atendidos e não atendidos.

Legenda: "✔" indica que a condicional foi satisfeita, enquanto que "✘" indica que não foi. Fonte: Autoria própria, 2023

Os principais problemas encontrados durante o desenvolvimento do projeto foram a escala do projeto, a dificuldade técnica e burocrática para conexão dos equipamentos a rede, as especificidades de comunicação dos medidores e o tempo disponível para atuação no projeto.

A escala do projeto, de um projeto nível campus universitário, requereu que diversos setores da parte técnica, administrativa e de engenharia estivessem envolvidos, para discussão, levantamento e realização dos trabalhos. O fato do atual superintendente universitário e orientador desse projeto de graduação ser um doutor, engenheiro eletricista e ex-professor do CT se tornou essencial para a realização do trabalho. Porém, a maior parte dos passos necessários para desenvolvimento do projeto dependeram de setores diversos do campus, que para acontecerem dependiam dos trabalhos destes, o que limitou a velocidade de desenvolvimento do projeto e a liberdade de atuação no projeto.

Em especial, as dificuldades burocráticas da licitação que envolvia o cabeamento de todos os medidores instalados atrasou demasiadamente o acesso a qualquer um dos medidores instalados, senão aqueles usados para teste em bancada. Isto é um problema presente e potencial risco para funcionamento do sistema supervisório.

As especificidades da comunicação com o medidor TR4020/EA e as inconsistências em relação à memória do dispositivo relatadas nos resultados dificultaram a implementação das

leituras e armazenamento dos valores medidos. Por meio de estratégias na comunicação e na interpretação dos dados, foi possível contornar esses problemas, mas não solucionar, o que limitou as capacidades do sistema supervisório, principalmente sobre os medidores de geração.

O limite de tempo disponível para atuação no projeto, algo comum entre os alunos finalistas, junto do fator de escala do projeto, dificultou o atendimento de todos os requisitos funcionais do software, de todos os objetivos específicos e de todas as expectativas para o projeto.

Por fim, considerando a relevância desse projeto no contexto dos projetos realizados no CT anteriormente, deve-se destacar esse projeto de graduação como o pioneiro em conseguir instalações de medidores permanentes, com acesso a uma rede com endereços gerenciáveis, que tem como base uma rede de internet do campus universitário. Além disso, ao automatizar a coleta e armazenamento dos dados de cada medidor, que era feita manualmente indo fisicamente ao medidor, esse sistema supervisório ganha relevância para a criação de um banco de dados consistente e completo. O principal ganho que se tem com esses pontos destacados é o incentivo a trabalhos futuros.

## 6.1 Trabalhos futuros

Com a criação das memórias de massa de cada medidor, se torna possível diversos trabalhos de análise sobre consumo, qualidade de energia, otimização de cargas, entre outros trabalhos relacionados, mas agora tendo valores reais medidos como base.

O próprio sistema de supervisão pode ser expandido para outros sistemas além de energia elétrica, como, o de bombeamento e controle dos níveis das caixas d'água do campus, o de iluminação das vias do campus. Esses sistemas também são essenciais para o funcionamento do campus e, tendo os devidos equipamentos para medição, também podem ser integrados ao sistema supervisório deste projeto de graduação.

Como trabalhos futuros vale destacar também a continuação deste projeto. A continuação deste projeto pode se dar com a conexão de mais medidores ao sistema e com a implementação das funcionalidades para gerar gráficos e relatórios e mostrar mensagens de

alarme. É também uma possibilidade para melhoria do sistema o desenvolvimento de telas que não precisem do uso do mouse ou da interação do usuário para mostrar as informações de histórico e medição, permitindo assim que o sistema seja projetado sobre um painel grande dentro da reitoria ou da SI.

Futuramente, com a cobertura de todo ou maior parte do campus Goiabeiras, seria possível desenvolver e integrar o sistema de supervisão da subestação universitária, realizando a idealização do monitoramento completo sob a rede de energia elétrica do campus.

Além de trabalhos relacionados a sistemas de supervisão, é um possível trabalho futuro a ampliação da VLAN dos medidores para uma rede de dispositivos IoT e sistemas inteligentes, o que faria a idealização do *Smart Campus* UFES Goiabeiras cada vez mais próxima da realidade.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS; FUPAI/EFFICIENTIA. **Gestão Energética**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional – Ano Base 2011**: Resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. **Normas de apresentação tabular**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. Biblioteca Central. **Normalização e Apresentação de Trabalhos Científicos e Acadêmicos**. 2. ed. Vitória: EDUFES, 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. Departamento de Engenharia Elétrica. **Resolução nº 1, de 27 de setembro de 1997**. Dispõe sobre normas para Projeto de Graduação. Vitória: Departamento de Engenharia Elétrica, 1997.

HANDY, Charles. **PETER DRUCKER: AN APPRECIATION.** 14º Global Peter Drucker Forum, 2022. Disponível em: <https://www.druckerforum.org/articles/charles-handy-peter-drucker-an-appreciation/>. Acesso em: 03 fev. 2023

ARAÚJO, Rogério Cysne. STJ. **Como anda o seu projeto?.** Boletim Tome Nota - Superior Tribunal de Justiça. Edição 55 - 13/3/2018. Disponível em: <https://www.stj.jus.br/publicacaoinstitucional/index.php/btnota/article/download/12203/12310&sa=D&source=docs&ust=1675958291697953&usg=AOvVaw1EPOxc1iErMl8ZfSL6BtGj>. Acesso em: 3 fev. 2023

BORGES Leandro. Ministério da Infraestrutura. **O que é gestão por resultados?** 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/portal-da-estrategia/artigos-gestao-estrategica/o-que-e-gestao-por-resultados>. Acesso em: 3 fev. 2023

_____. Superintendência de Infraestrutura - SI UFES. **Contato.** 2023. Disponível em: <https://infraestrutura.ufes.br/contato>. Acesso em: 3 fev. 2023

MAGALHÃES, Felipe Demuner. SIMONETTI, Domingos Sávio Lyrio. **Diagnóstico da qualidade da energia elétrica no Centro Tecnológico do Campus Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo.** 2017 Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/9677>. Acesso em: 3 fev. 2023

AYRES, Dayanne Ferreira. **FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO DE DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFES ORIENTADA PARA GESTÃO DE ENERGIA.** 2020. Disponível em:

<https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_-_dayanne_ferreira_ayres_-_final_-_revisado_0.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2023

LEMOS, Gabriel Rosseto. **ESTUDO E MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO CAMPUS DE GOIABEIRAS DA UFES POR MEIO DO SOFTWARE DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS**. 2014. Disponível em: <https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/projeto_de_graduacao_-_gabriel_rosseto_lemos.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2023

SANTOS, Vinicius Kobi dos. **Avaliação do Carregamento dos Transformadores dos Sistema de Distribuição de Energia do Campus de Goiabeiras da UFES.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Espírito Santo.

_____. Superintendência de Infraestrutura - SI UFES. **Plano Estratégico.** 2023. Disponível em: <https://infraestrutura.ufes.br/plano_estrategico>. Acesso em: 3 fev. 2023

_____. UFES. **Horário especial de funcionamento dos setores da Ufes vai até 20 de janeiro.** 2023. Disponível em: <https://www.ufes.br/conteudo/horario-especial-de-funcionamento-dos-setores-da-ufes-vai-ate-20-de-janeiro>. Acesso em: 3 fev. 2023

REIS, Pedro. **A importância e as fases de uma auditoria energética.** 2023. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica>. Acesso em: 3 fev. 2023

_____. UFRN. **Gerenciamento de Ativos para Eficiência Energética.** 2023. Disponível em: <https://smartcampus.imd.ufrn.br/gestao-energetica.html>. Acesso em: 8 fev. 2023

MIN-ALLAH, Nasro. ALRASHED, Saleh. **Smart campus—A sketch.** 2020. Via ScienceDirect. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720302183>. Acesso em: 3 fev. 2023

ALAM, Tanweer. KHAN, Mohammad Ayoub. GHARAIBEH, Natheer. GHARAIBEH, Mlik Khlaif. **Big Data for Smart Cities: A Case Study of NEOM City, Saudi Arabia.** 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-60922-1_11>. Acesso em: 8 fev. 2023

_____. UNICAMP. **SMART CAMPUS - UNICAMP.** 2023. Disponível em: <https://smartcampus.prefeitura.unicamp.br/>. Acesso em: 8 fev. 2023

FACENS. **Smart Campus Facens.** 2023. Disponível em: <https://smartcampus.facens.br/>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. ENGIE. **Rede Iara inicia projeto-piloto de cidade inteligente no Pará.** 2020. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/rede-iara-inicia-projeto-piloto-de-cidade-inteligente-no-para/>. Acesso em: 8 fev. 2023

SALES, Theo. Jornal do Campus - USP. **Vigiar e prevenir: conceito de Smart Campus usa tecnologia para tornar a Universidade mais segura.** 2021. Disponível em: <http://www.jornaldocampus.usp.br/index.php/2021/10/vigiar-e-prevenir-conceito-de-smart-campus-usa-tecnologia-para-tornar-a-universidade-mais-segura/>. Acesso em: 8 fev. 2023

_____. UFES. **História.** 2023. Disponível em: <https://www.ufes.br/hist%C3%B3ria>. Acesso em: 8 fev. 2023

_____. ANEEL, 2022. **PRODIST.** Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em: 8 fev. 2023

_____. ANEEL, 2021. **MÓDULO 8 – QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2023

DANEELS, A. SALTER, W. **WHAT IS SCADA?**. 1999. Disponível em: <https://cds.cern.ch/record/532624/files/mc1i01.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2023

FERGUSON, Paul. HUSTON, Geoff. **What is a VPN?.** Abril 1998 Disponível em: <https://cpham.perso.univ-pau.fr/ENSEIGNEMENT/COMMUN/vpn_ferguson.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2023

PRESSMAN, R.S.. **Engenharia de Software**, 7a edição. McGraw Hill, 2011.

_____. EMBRASUL. **Catálogo_TR4020_v05r00_pt.cdr.** out/2015. Disponível em: <http://www.embrasul.com.br/painel/pdf/Cat%C3%A1logo_TR4020_v05r00_pt_HR.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2023

_____. EMBRASUL. **Download SP4000.** out/2015. Disponível em: <https://embrasul.com.br/produtos/download-sp4000/>. Acesso em: 3 fev. 2023

_____. ALTUS. **BLUEPLANT.** Disponível em: <https://www.altus.com.br/produto/20/scada-blueplant>. Acesso em: 8 fev. 2023

BRANCO, Kalinka Castelo. **Camada de Transporte: *Redes de Computadores.*** Material de aula. 2020. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5353537/mod_resource/content/1/2020_Aula12_Camada_de_Transporte_parte1_2020.pdf>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. Modbus Organization. **Modbus FAQ: About The Modbus Organization.** 2023. Disponível em: <https://modbus.org/faq.php>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. Modbus Organization. **MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b3.** 2012. Disponível em: <https://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. Mogbus-IDA. **MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b**. 2006. Disponível em: <https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf>. Acesso em: 8 novembro. 2023

RAMOS, Caio César Riqueza. **Tunelamento.** UFRJ, 2016. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1_2/vpn/vpn_ipsec2/vpn_ipsec/tunelamento.html>. Acesso em: 8 novembro. 2023

OLIVEIRA, Roberto Bello de. **OSI - NÍVEL 4: PROTOCOLO DE TRANSPORTE**. Disponível em: <http://penta2.ufrgs.br/rc952/trab2/osi4.html>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. SEMTECH. **What Is LoRa.** 2023. Disponível em: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>. Acesso em: 8 novembro. 2023

MEANEY, David. **LORA AND LORAWAN TIMING.** 2023. Disponível em: <https://ecsxtal.com/lora-lorawan-timing/>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. LoRa Alliance. **LA_Infographic_LPWAN_0421_FINAL-002-1.pdf.** 2021. Disponível em: <https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2021/05/LA_Infographic_LPWAN_0421_FINAL-002-1.pdf

_____. LoRa Alliance. **What is LoRaWAN® Specification.** 2023. Disponível em: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. LoRa Alliance. **LoRaWAN.** 2023. Disponível em: <https://ecsxtal.com/store/pdf/LoRaWAN.pdf> . Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. HELTEC. **WiFi LoRa 32: Docs.** 2022. Disponível em: <https://docs.heltec.org/en/node/esp32/wifi_lora_32/index.html> . Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. HELTEC. **WiFi LoRa 32(V3)**. 2023. Disponível em: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32-v3/> . Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. HELTEC AUTOMATION. **Arduino library for Heltec ESP32 (or ESP32+LoRa) based boards**. 2023. Disponível em: <https://github.com/HelTecAutomation/Heltec_ESP32> . Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. HELTEC. ***LoraSender.ino.*** Código exemplo usado para teste da placa Heltec LoRa 32. 2023. Disponível em: <https://github.com/HelTecAutomation/Heltec_ESP32/blob/master/examples/LoRa/LoRaSender/LoRaSender.ino> . Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. DL8RDS. **GNURadio and USRP2.** 2012. Disponível em: <https://www.dl8rds.de/index.php/GNURadio_and_USRP2 > . Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. GNU Radio project. **GNURadio.** 2023. Disponível em: <https://www.gnuradio.org/> . Acesso em: 8 novembro. 2023

TAPPEREL, Joachim. **GR LoRa SDR.** 2023. Disponível em:<https://github.com/tapparelj/gr-lora_sdr>. Acesso em 20 novembro, 2023.

_____. AutoDesk Inc. **Autodesk AutoCAD 2024.** 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>. Acesso em: 20 novembro, 2023

_____. dotPDN LLC. **dotNet Paint.net**. 2023. Disponível em: <https://www.getpaint.net/index.html>. Acesso em 20 novembro, 2023.

PIACENTINI, Maurício. **Database Browser for SQLite**. 2023. Disponível em: <https://sqlitebrowser.org/about/>. Acesso em 20 novembro, 2023.

_____. EVO. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance.** 2012. Disponível em: <https://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP_2012-PTBR.pdf>. Acesso em: 8 novembro. 2023

SILVA, Ivan Nunes da. **UNIDADE 4 – Protocolos Usando Modelos ISO/OSI: (Aula 7 – Camadas OSI e Padrões IEEE).** USP. Material de aula. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5769950/mod_resource/content/1/REDES_Aula07.pdf>. Acesso em: 8 novembro. 2023

_____. Amazon Web Services. **O que é o modelo OSI?**. 2023. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/what-is/osi-model/>. Acesso em: 8 novembro. 2023

FILHO, José Gonçalves Pereira. **Redes de Computadores.** 2023. UFES. Mateial de aula. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes_de_Computadores/O%20Modelo%20OSI.pdf>. Acesso em: 8 novembro. 2023

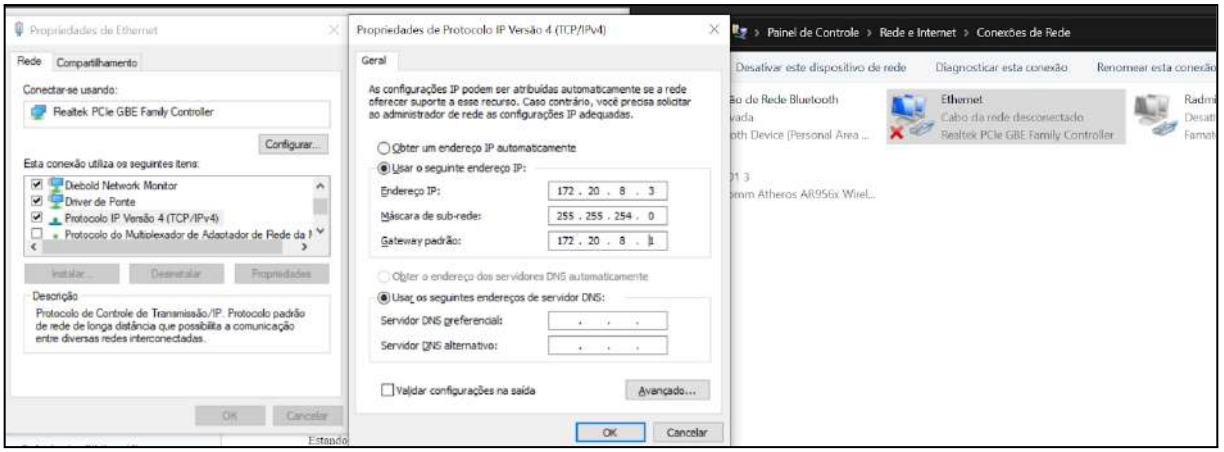
_____. TisaLabs. **LoRa Gateway by Tisalabs | Benefit from lora gateway inteligence.** 2023. Disponível em: <https://www.tisalabs.com/lora-gateway/>. Acesso em: 15 dezembro. 2023

_____. MACROPLAN. **Prática e Métodos de Gestão por Resultados.** 2017. Disponível em: <https://www.macroplan.com.br/p/praticas-e-metodologias-de-gestao-para-resultados/>. Acesso em: 15 dezembro. 2023

# Apêndice A – Verificando conexão com o medidor e configurando parâmetros de rede.

O primeiro passo para conseguir a conexão com o medidor é estar na mesma rede que o medidor. Por exemplo, se o medidor estiver em 172.20.8.2, com máscara de subrede 255.255.254.0 (padrão da VLAN dos medidores), é necessário que o computador ou notebook também esteja na mesma rede, possuindo um IP de 172.20.8.1 até 172.20.9.255. Para isso, comumente é necessário configurar um IP fixo no computador ou notebook.

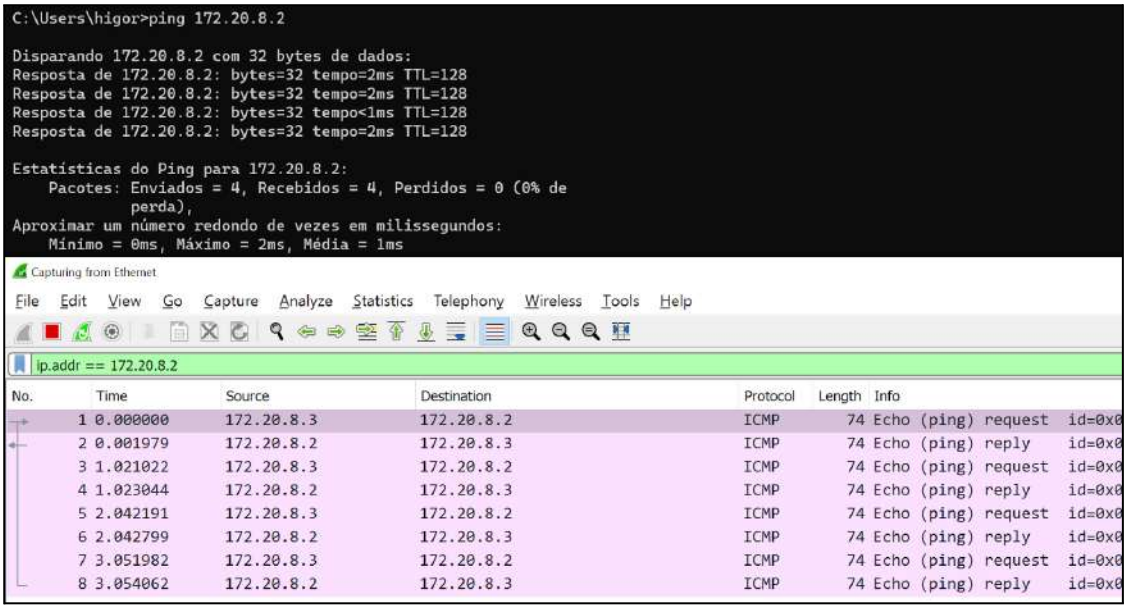
Figura 44 - Configurando um IP fixo dentro da VLAN no *Windows*.




Fonte: Autoria própria

Estando na mesma rede, a verificação de conexão com o medidor pode ser feita usando um *ping*. Para enviar um pacote *ping* (ICMP) basta usar o comando *ping* seguido do IP do dispositivo em um terminal. Se o dispositivo estiver acessível, o pacote ICMP será respondido e a recepção será indicada no terminal.

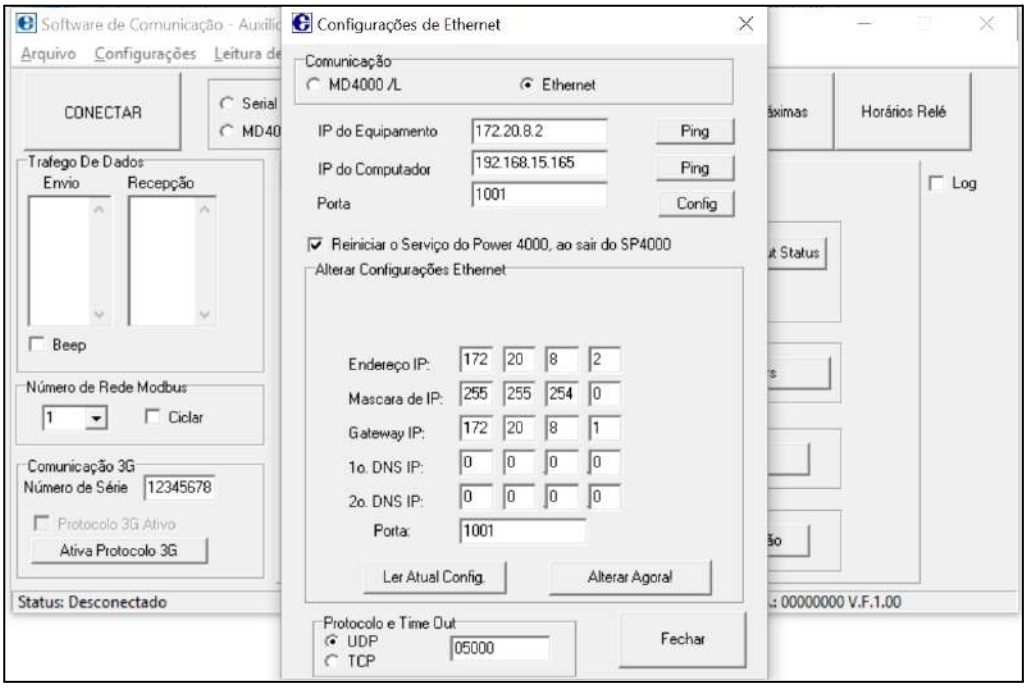
Figura 45 - Medidor respondendo ao pacote ICMP *ping*.




Fonte: Autoria própria

Conseguindo conexão com o medidor, é necessário então abrir o SP4000 e acessar a opção de "Configuração Ethernet" dentro do menu de "Configurações"

Figura 46 - Tela de configuração de rede do TR4020/EA.

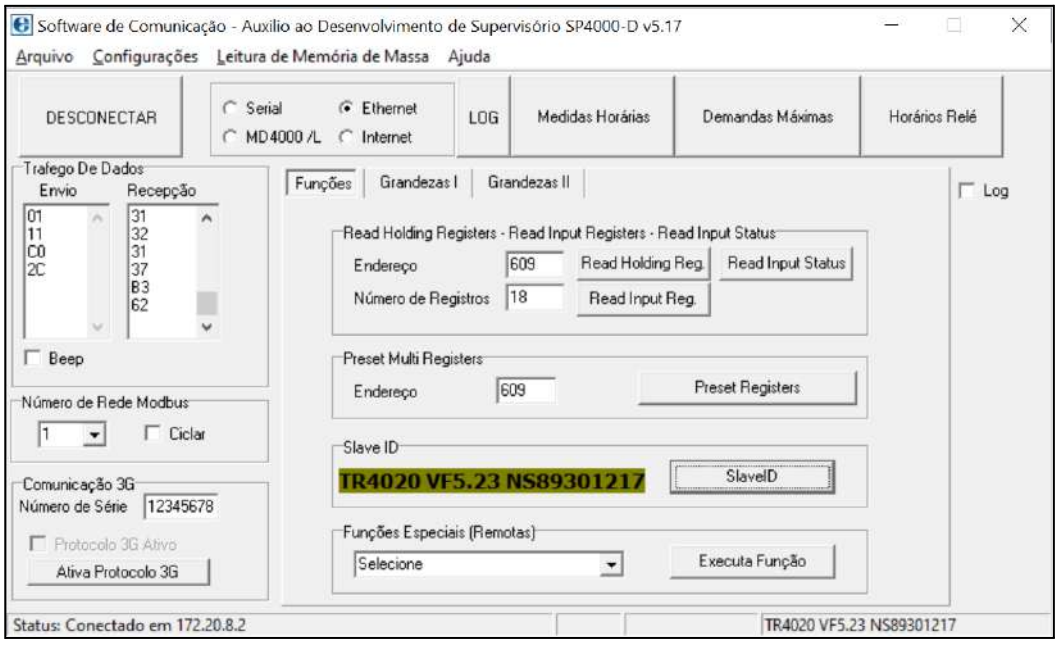



Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar a necessidade de marcar UDP, na penúltima caixa de seleção presente na tela, vista na figura acima.

Alterando o campo do “IP do Equipamento” na parte superior da tela, basta solicitar qualquer dado (ex: *slaveID*) ao medidor que o programa tentará conectar com o mesmo.

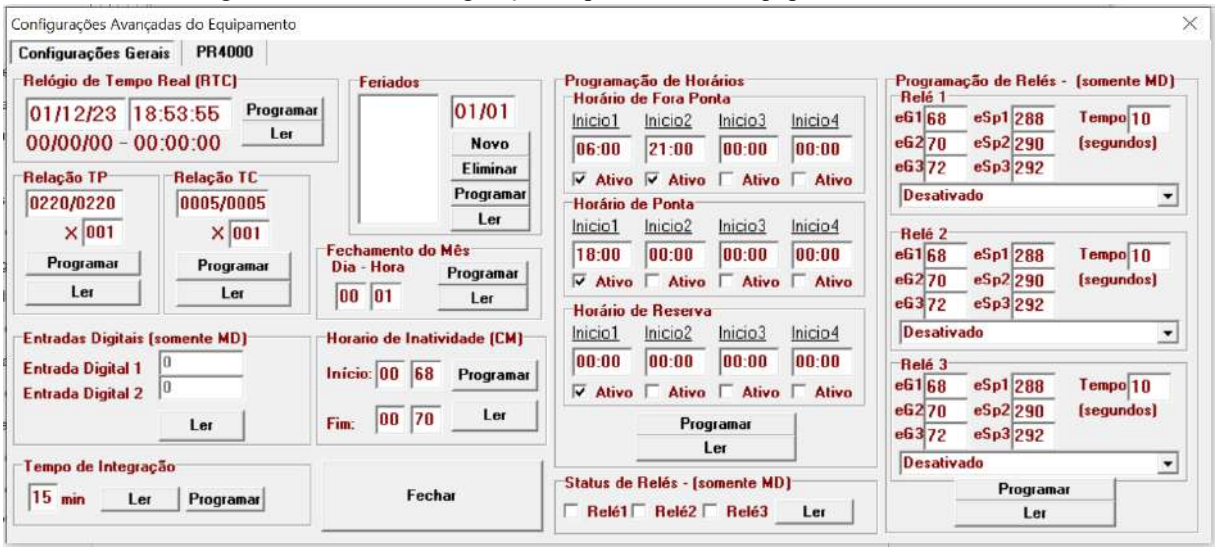
Figura 47 - Equipamento conectado respondendo ao *slaveID*.




Fonte: Autoria própria

Confirmando a conexão com o equipamento, pode-se acessar o menu de configuração do equipamento para configurar parâmetros como data e hora, relação TC, tempo de integração e feriados.

Figura 48 - Tela de configuração de parâmetros do equipamento no SP4000.



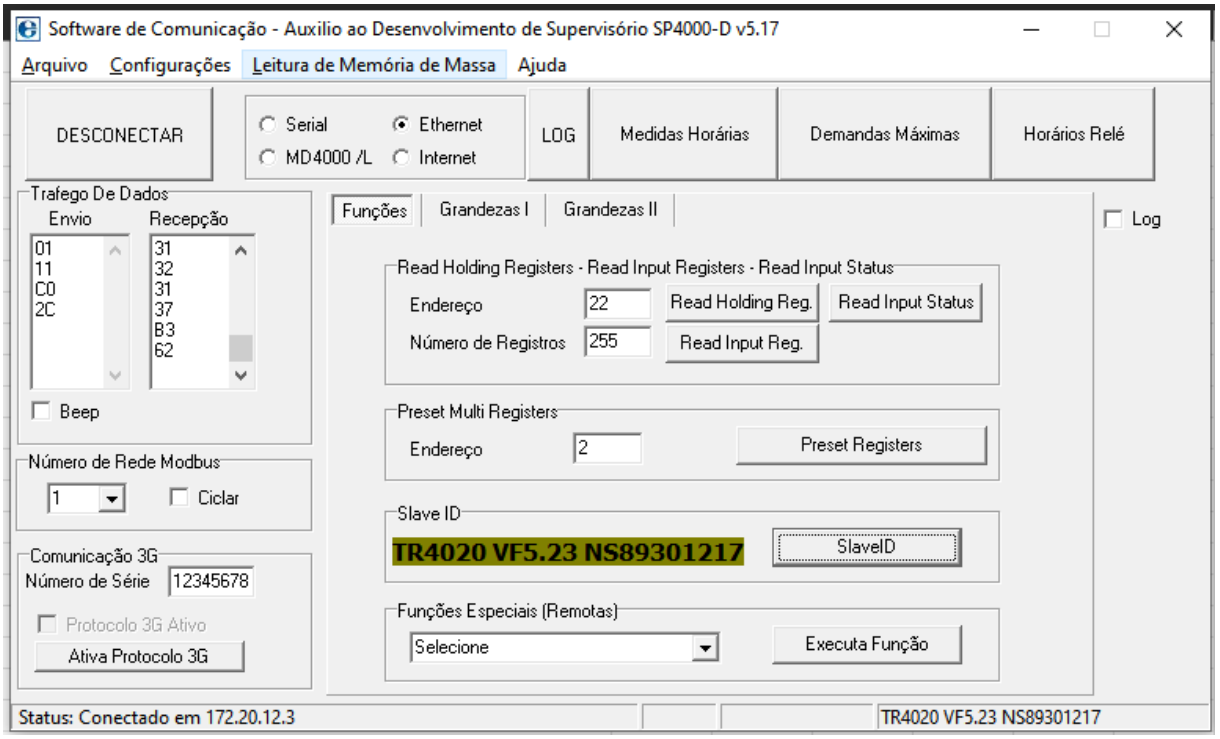

Fonte: Autoria própria

# Apêndice B – Acessando a memória de massa do medidor.

O SP400 é o programa usado para obter a memória de massa do equipamento. Para isso, deve-se ter o medidor desejado conectado e é desejado que ele esteja parametrizado corretamente.

Para acessar a memória de massa via SP4000, deve-se usar os menus de “Leitura de Memória de Massa” e depois “PW4000”, como mostrado abaixo.

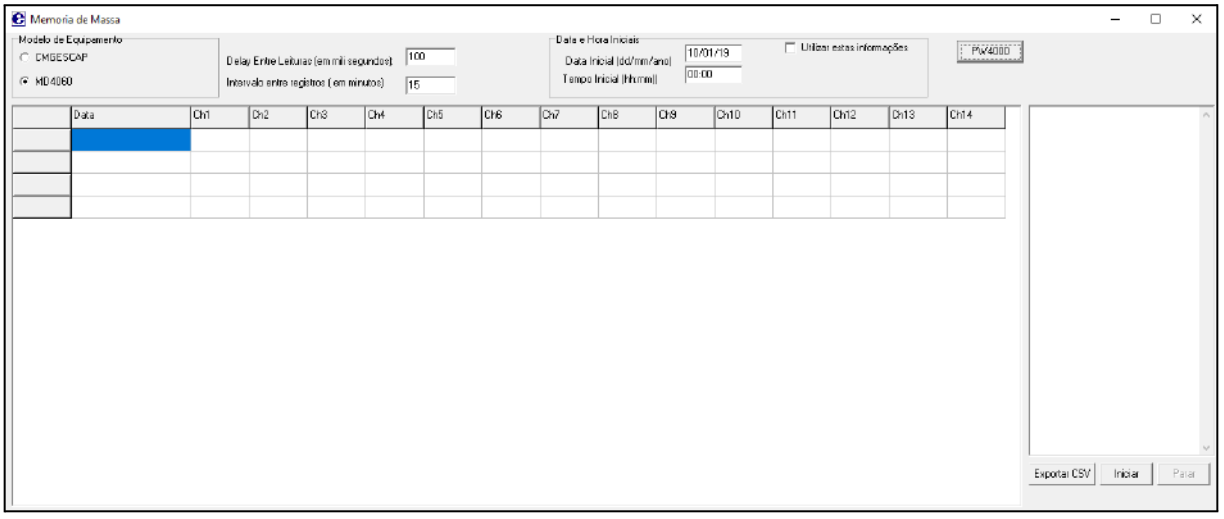
Figura 49 - Tela do SP4000 com destaque no menu de leitura de massa.




Fonte: Autoria própria

Na tela de Leitura da Memória de Massa, o botão para acessar o PW4000 fica na direita superior da tela.

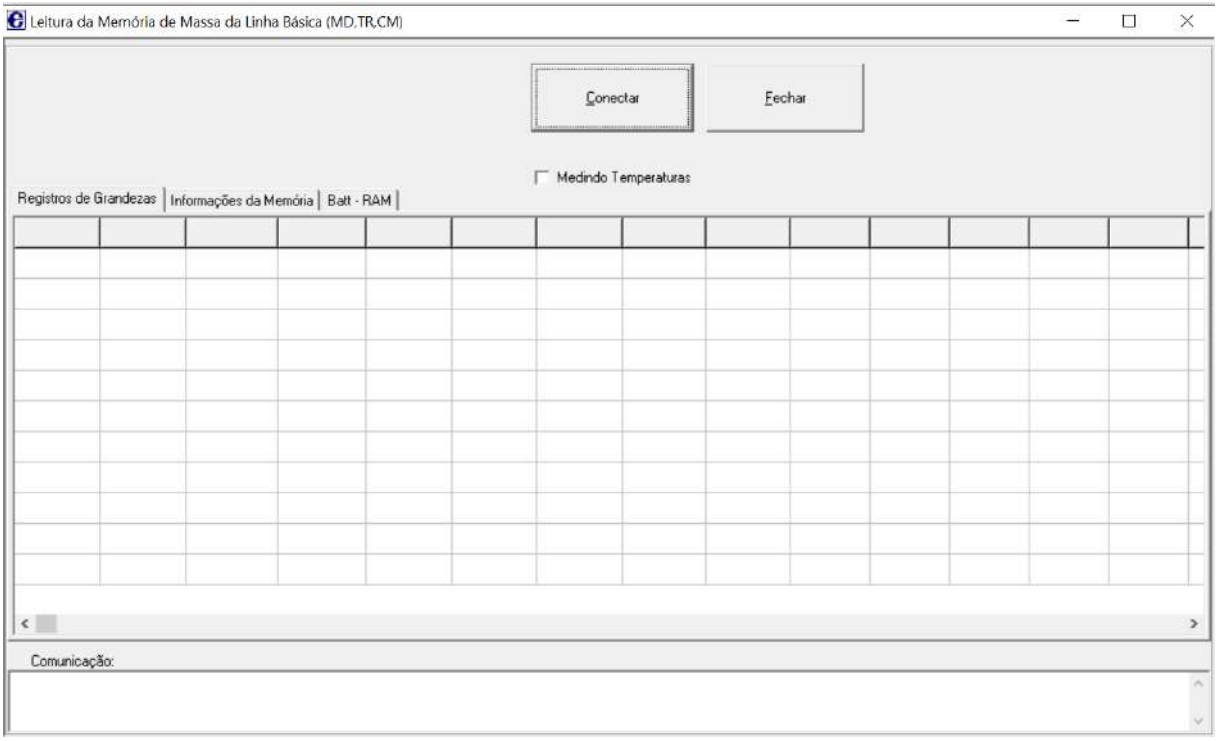
Figura 50 - Tela de leitura da memória de massa para os equipamentos baseados no MD4060 da Embrasul.




Fonte: Autoria própria

Ao entrar na tela e antes de realizar a leitura da memória de massa, parte da interface está oculta e a tabela está vazia.

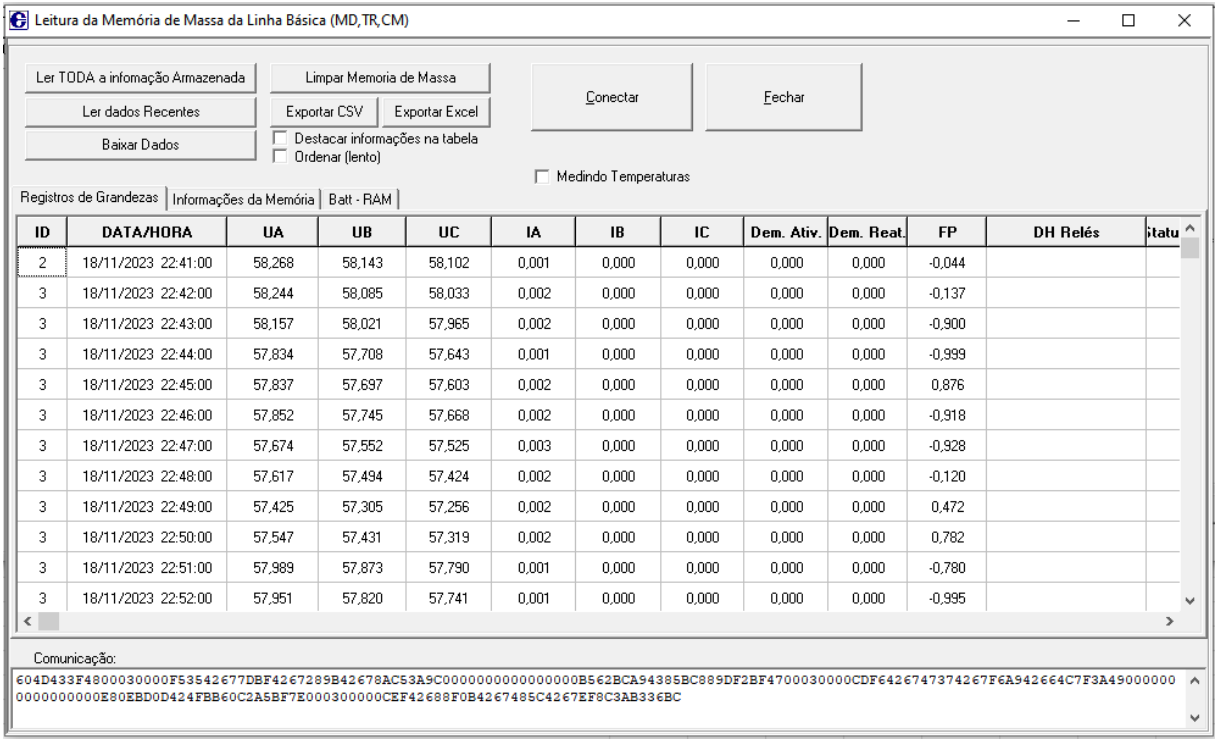
Figura 51 - Tela PW4000 para leitura da memória de massa para o TR4020.




Fonte: Autoria própria

Após chegar a esta tela, basta clicar em conectar, que, se o programa tiver conexão com o medidor, ele vai automaticamente puxar a memória de massa mais recente do equipamento.

Figura 52 - Exemplo de memória de massa obtida do medidor.




| ID | DATA/HORA | UA | UB | UC | IA | IB | IC | Dem. Ativ. | Dem. Reat. | FP | DH Relés | Statu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 18/11/2023 22:41:00 | 58,268 | 58,143 | 58,102 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,044 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:42:00 | 58,244 | 58,085 | 58,033 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,137 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:43:00 | 58,157 | 58,021 | 57,965 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,900 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:44:00 | 57,834 | 57,708 | 57,643 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,999 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:45:00 | 57,837 | 57,697 | 57,603 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,876 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:46:00 | 57,852 | 57,745 | 57,668 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,918 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:47:00 | 57,674 | 57,552 | 57,525 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,928 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:48:00 | 57,617 | 57,494 | 57,424 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,120 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:49:00 | 57,425 | 57,305 | 57,256 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,472 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:50:00 | 57,547 | 57,431 | 57,319 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,782 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:51:00 | 57,989 | 57,873 | 57,790 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,780 | | |
| 3 | 18/11/2023 22:52:00 | 57,951 | 57,820 | 57,741 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | -0,995 | | |



Fonte: Autoria própria

Essa memória pode ser exportada para arquivo de dados separados por “,” (arquivo .csv) usando a função de “Exportar CSV”, no canto superior da tela.

Também é possível obter uma memória de massa mais detalhada, com todas as entradas de dados na memória do medidor. Para isto, basta clicar em “Ler TODA a informação armazenada”. O tempo para transferência dos dados é maior.

Se durante a obtenção da memória de massa, perder-se a conexão com o medidor, o processo é interrompido e é necessário recomeçar o processo para visualizar os dados.

Lembrando que a memória de massa do TR4020/EA tem autonomia de 60 dias, então a cada 2 meses é interessante que seja baixado a memória de massa, a fim de não se perder nenhum dado.

# Apêndice C – Obtendo e interpretando os dados de medição do TR4020/EA.

O primeiro requisito para obter os dados do medidor TR4020/EA é garantir a conectividade com o equipamento. Como conectar com o equipamento pode ser visto o primeiro apêndice, apêndice a.

Os dados de medição a serem obtidos devem estar presentes no mapa de variáveis de comunicação do medidor. As principais variáveis de comunicação do TR4020/EA para a medição podem ser encontradas na figura abaixo:

Figura 53 - Principais variáveis de medição disponíveis no mapa de variáveis ModBus.

| Função | DESCRIÇÃO | Associado | TIPO | DATA | Uni | ENDEREÇO (DEC) | OBS: |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Data time | | Extra | short int | - | 10-17 | Ano, mês, dia do ano, da semana e do mês, hora, min e seg. |
| 3 | Patrimônio e UID | | Extra | * | - | 288-299 | *Obs: observar primeira aba, "Endereçamento Geral", da planilha |
| 3 | Frequência de rede | | Medição | float16 | Hz | 66-67 | |
| 3 | Tensão instatânea por fase | | Medição | float16 | V | 68-73 | Va-Vb-Vc |
| 3 | Corrente instatânea por fase | | Medição | float16 | A | 74-79 | Ia-Ib-Ic |
| 3 | Potência ativa trifásica | | Medição | float16 | W | 86-87 | |
| 3 | Potência aparente trifásica | | Medição | float16 | VA | 102-103 | |
| 3 | Fator de potência | | Medição | float16 | | 110-111 | |
| 3 | Energia gerada no dia | | Histórico | float16 | Wh | 228-231 | 228-229: energia ponta; 230-231: energia fora ponta. |
| 3 | Energia consumida no dia | | Histórico | float16 | Wh | 234-237 | 234-235: energia ponta; 236-237: energia fora ponta. |
| 3 | Energia gerada no mês | | Histórico | float16 | Wh | 192-195 | 192-193: energia ponta; 194-195: energia fora ponta. |
| 3 | Energia consumida no mês | | Histórico | float16 | Wh | 198-201 | 198-199: energia ponta; 200-201: energia fora ponta. |
| 3 | Energia gerada total | | Histórico | float16 | Wh | 130-131 | Desde o último reset |
| 3 | Energia consumida total | | Histórico | float16 | Wh | 138-139 | Desde o último reset |
| 3 | Energia gerada total P/FP | | Histórico | float16 | Wh | 300-303 | 300-301: energia ponta; 302-303: energia fora ponta. |
| 3 | Energia consumida total P/FP | | Histórico | float16 | Wh | 306-309 | 306-307: energia ponta; 308-309: energia fora ponta. |
| 3 | Distorção harmônica de tensão p | | Extra | float16 | % | 112-117 | Va-Vb-Vc |
| 3 | Distorção harmônica de corrente | | Extra | float16 | % | 118-123 | Ia-Ib-Ic |

Fonte: Autoria própria

A tabela completa, o mapa de memória da comunicação, é um documento que deve ser obtido solicitando a Embrasul.

A obtenção das medições é feita via troca de mensagens ModBus UDP. Como numa comunicação mestre-escravo, o medidor só responde quando solicitado. Caso o formato da mensagem ModBus esteja incorreta, o medidor não irá responder.

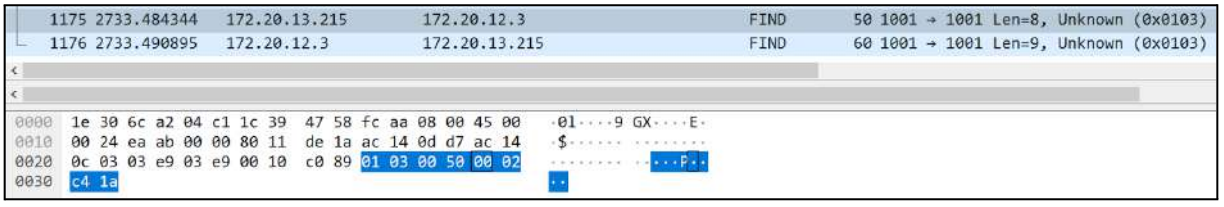
O *payload* do pacote UDP de solicitação deve ser constituído sequencialmente:

1. 0x01 como primeiro byte e ID do medidor
2. 1 byte para função, para leituras, a função 3, 0x03;
3. n bytes específicos da função. Para leitura (função 3), 2 byte para endereço de começo, seguido de um 1 byte 0x00 e 1 byte para número de endereços a serem lidos dividido por 2 (máximo 255).

4. 2 bytes de CRC/ModBus com byte swap.

É um exemplo de leitura de 2 endereços (0x02) a partir da posição 80 (0x50) com CRC 0xD445: UDP *payload* = “0x01 0x03 0x00 0x50 0x00 0x2 0x45 0xD4”

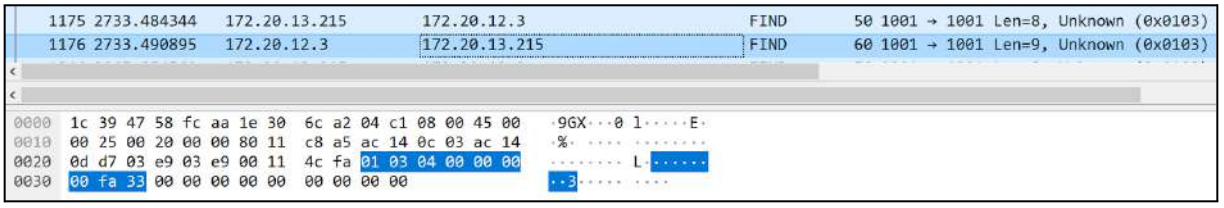
Figura 54 - Exemplo de pacote UDP de pergunta ModBus para o medidor..




Fonte: Autoria própria

O pacote de resposta da leitura acima é leitura: “0x01 0x03 0x04 0x00 0x00 0x00 0x00 0xFA 0x33”, sendo 0x01 0x03 os mesmos valores de solicitação, 0x04 o tamanho do trecho de dados seguinte e por fim o CRC 0x33FA.

Figura 55 - Exemplo do pacote UDP de resposta ModBus do medidor.




Fonte: Autoria própria

Esse mesmo processo o programa SP4000 faz, mostrando as mensagens ModBus de envio e recebimento. Ele pode ser usado para debugar a comunicação ou confirmar as medidas recebidas.

As variáveis no formato *short int* são interpretadas como inteiros da mesma forma que são enviadas. Uma resposta 0x10 equivale a 16.

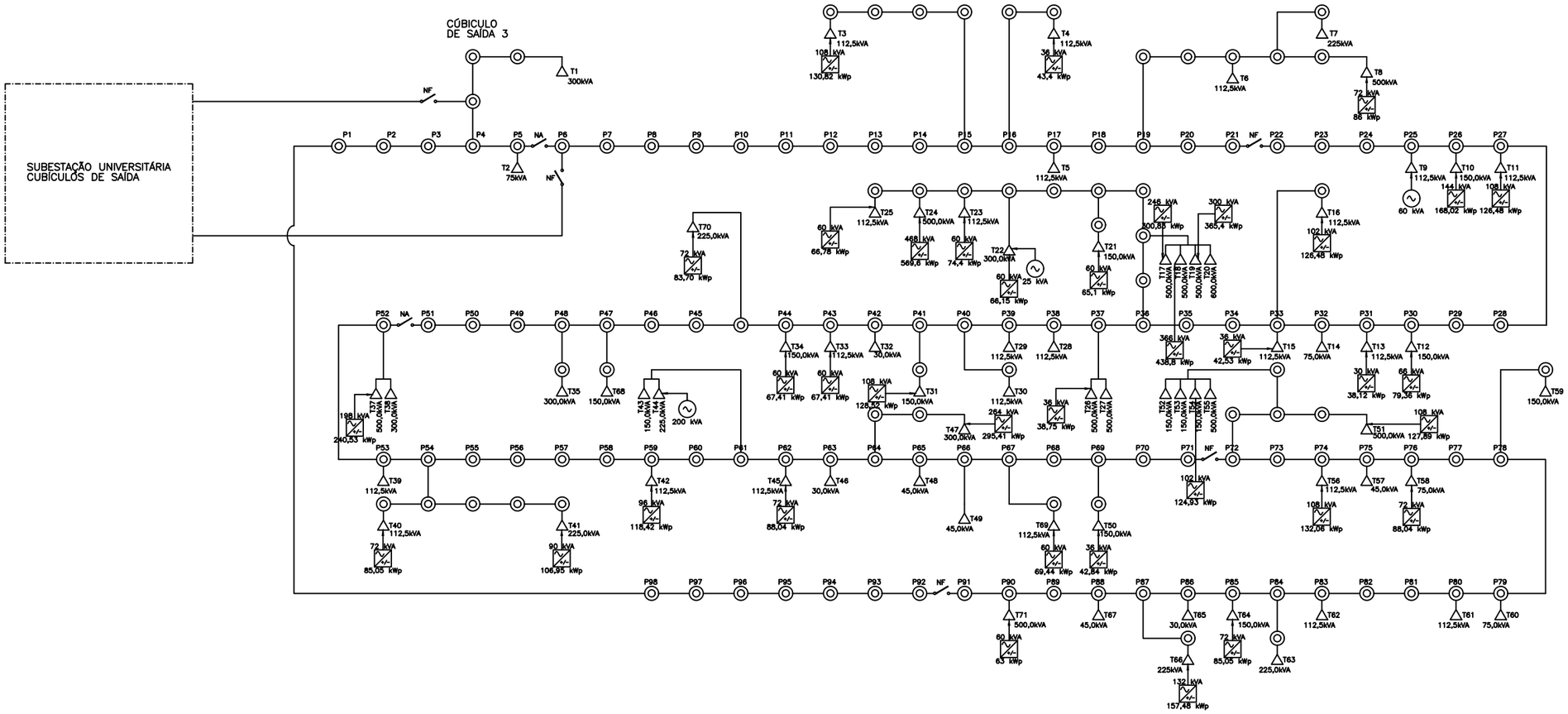
As variáveis do formato *float* são dados do tipo *float32* são variáveis de 4 bytes, por isso, possuem dois endereços sequenciais no mapa de variáveis ModBus, como é o caso da frequência de rede, da figura 45. Os dados vindo do medidor para essas variáveis são com a formatação de *big endian* com *byte swap.*

*Big endian* irá dizer que os nibble em cada byte estão na ordem de menor grandeza para maior grandeza. Ex: 0xFE equivale a 254 e não a 239 (0xEF).

*Byte swap* indicará que em uma palavra de 4 bytes, os 2 últimos e os 2 primeiros bytes estão trocados de posição. Ex: vindo do medidor os bytes 0x89 0xAB 0xCD 0xEF, esses devem ser interpretados como 0xCDEF89AB para formar um dado de 4 bytes)

# DIAGRAMA UNIFILAR PRINCIPAL SIMPLIFICADO - SISTEMA FOTOVOLTAICO 4.999,16 kWp - UFES CAMPUS GOIABEIRAS

SEM ESCALA




## TOTAL DE INVERSORES E GERADORES

INVERSORES

MARCA: GOODWE
MODELO: GW30KLV-MT (30KW)
QUANTIDADE: 50

MARCA: GOODWE
MODELO: GW35KLV-MT (36KW)
QUANTIDADE: 75

GERADOR

MARCA: JA SOLAR
MODELO: JAM60S03-310/PR (310W)
QUANTIDADE: 6.720

MARCA: JA SOLAR
MODELO: JAM60S03-315/PR (315W)
QUANTIDADE: 9.257

## POTÊNCIA TOTAL DE GERAÇÃO

| | |
|---|---|
| POTÊNCIA TOTAL DE GERAÇÃO AC | 4.200,00 kW |
| POTÊNCIA TOTAL DE GERAÇÃO CC | 4.999,16 kWp |

| PROTEÇÕES INCORPORADS NOS INVERSORES | GW30KLV-MT | GW35KLV-MT |
|---|---|---|
| MONITORAMENTO DA CORRENTE DE STRING FV | INTEGRADO | INTEGRADO |
| PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO | INTEGRADO | INTEGRADO |
| PROTEÇÃO DE POLARIDADE REVERSA | INTEGRADO | INTEGRADO |
| MONITORAMENTO DE ISOLAMENTO | INTEGRADO | INTEGRADO |
| FUSÍVEL CC – 1000V 15A | INTEGRADO | INTEGRADO |
| CHAVE SECCIONADORA 1000V 16A | INTEGRADO | INTEGRADO |
| PROTEÇÃO CONTRA SURTOS CC (DPS) – TIPO II | INTEGRADO | INTEGRADO |
| PROTEÇÃO CONTRA SURTOS CA (DPS) – TIPO II | INTEGRADO | INTEGRADO |
| MONITORAMENTO DE CORRENTE RESIDUAL | INTEGRADO | INTEGRADO |
| PROTEÇÃO SOBRECORRENTE DE SAÍDA | INTEGRADO | INTEGRADO |
| PROTEÇÃO DE CURTO DE SAÍDA | INTEGRADO | INTEGRADO |
| PROTEÇÃO DE SOBRETENSÃO DE SAÍDA | INTEGRADO | INTEGRADO |

UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO

PREFEITURA UNIVERSITARIA

| | |
|---|---|
| REITOR: | REINALDO CENTODUCATTE |
| PREFEITO: | RENATO CARLOS SCHWAB ALVES |
| PROJETO: | SISTEMA FOTOVOLTAICO UFES – 4.999,16 kW |
| CAMPUS: | GOIABEIRAS |
| CENTRO: | |
| EDIFICACAO: | UFES |
| TIPO: | PROJETO ELÉTRICO |
| TITULO: | DIAGRAMA UNIFILAR PRINCIPAL – SISTEMA FOTOVOLTAICO 4.999,16 kW |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| RESP. PROJETO: MARCELO OLIVEIRA ORRICO | CREA/CAU: 050400434-4 | | | PRANCHA: 01/38 |
| RESP. TECNICO: MARCELO OLIVEIRA ORRICO | CREA/CAU: 050400434-4 | | | |
| PROJETISTA: MARCELO OLIVEIRA ORRICO | | | | |
| ESCALA: 1:100 | AREA TOTAL: – M² | DATA: AGO 2019 | REVISAO: R.01 | DESENHISTA: DANIEL AGUIAR |

FORMATO A3 (420 X 297 mm)

CAD: DIAGRAMA UNIFILAR – UFES GOIABEIRAS _REV_MOD.DWG