

Bruno Oliveira Zarpellon

**Sistema integrado para monitoramento de variáveis energéticas do
Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba no contexto de Smart
Campus**

Sorocaba
2024

Bruno Oliveira Zarpellon

**Sistema integrado para monitoramento de variáveis energéticas do
Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba no contexto de Smart
Campus**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Interunidades, entre o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e o Campus de São João da Boa Vista da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Área de concentração: Automação

Orientador: Prof. Dr. Helmo Kelis Morales Paredes

Coorientador: Prof. Dr. Luis Armando de Oro Arenas

Sorocaba
2024

Z38s

Zarpellon, Bruno Oliveira

Sistema integrado para monitoramento de variáveis energéticas do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba no contexto de Smart Campus / Bruno Oliveira Zarpellon. -- , 2024

166 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba,

Orientador: Helmo Kelis Morales Paredes

Coorientador: Luis Armando de Oro Arenas

1. Energia elétrica Consumo. 2. Internet of things. 3. Planejamento do campus. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A dissertação de mestrado impacta a sociedade de forma multifacetada. Promove avanços científicos em *IoT* e gestão de energia, melhora a qualidade de vida e serve de modelo, otimiza consumo energético, integra teoria e prática, incentiva tecnologias sustentáveis nacionalmente, e alinha-se aos objetivos de sustentabilidade, estimulando novas pesquisas.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The master's thesis impacts society in a multifaceted way. It promotes scientific advances in IoT and energy management, improves quality of life and serves as a model, optimizes energy consumption, integrates theory and practice, encourages sustainable technologies nationally, and aligns with sustainability goals, stimulating new research.

Bruno Oliveira Zarpellon

**Sistema integrado para monitoramento de variáveis energéticas do
Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba no contexto de Smart
Campus**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Interunidades, entre o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e o Campus de São João da Boa Vista da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Área de concentração: Automação

Data da defesa: 27/05/2024

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Helmo Kelis Morales Paredes
UNESP – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS)
Orientador

Prof. Dr. Wesley Angelino Souza
UTFPR – Campus de Cornélio Procopio

Prof. Dr. Jakson Paulo Bonaldo
UFMT – Departamento de Engenharia Elétrica

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as oportunidades que Ele concede em minha vida, e força nos momentos de dificuldade.

A meus pais, por seu apoio e auxílio incondicional, não somente durante a realização do mestrado, mas durante todos os momentos da vida. Seus aprendizados e ensinamentos moldaram meu caráter de hoje, e me orgulho de dizer que sou filho deles.

Aos professores doutores Helmo Kelis Morales Paredes e Luis Armando de Oro Arenas, meus orientadores, pelos ensinamentos e aprendizados transmitidos, por seu auxílio e disponibilidade, e por me darem a oportunidade de ser seu orientando durante o mestrado.

Ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e ao Grupo de Automação e Sistemas Integráveis (GASI), pela concessão de sua infraestrutura de laboratórios e salas de aula para evolução do aprendizado ao longo dos três anos de mestrado (um como aluno especial e dois como regular), além da infraestrutura dos equipamentos do campus, fundamental para a implantação do sistema de monitoramento desenvolvido.

Aos professores do GASI, que auxiliaram na elaboração de artigos e da realização do presente trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, à qual agradeço, pois o apoio permitiu foco total no desenvolvimento exclusivo da pesquisa.

**“Ninguém sabe tanto que não tenha o que aprender e
ninguém sabe tão pouco que não tenha o que ensinar...”**

Blaise Pascal

RESUMO

De maneira geral, pode-se afirmar que um *smart campus* é um campus universitário que faz uso de tecnologias de informação e comunicação (TICs) e Internet das coisas (*IoT*), de modo a tornar os processos que ocorrem no campus em processos inteligentes, trazendo benefícios econômicos e gerenciais para a instituição, para o meio ambiente e para seus integrantes por meio de serviços personalizados, melhoria na qualidade de ensino e qualidade de vida. Com base nos benefícios que sua implementação pode trazer, o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS) da Unesp se propôs a iniciar sua transição para se tornar um *smart campus*, definindo como seu primeiro passo a adoção de medidas relacionadas à medição, geração, consumo e controle de energia elétrica e água. O objetivo deste trabalho é demonstrar como foi projetado e implementado um sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica do ICTS, e sua integração com outros sistemas complementares, como a estação meteorológica e o sistema de geração de energia fotovoltaica, além de apresentar suas características gerais de funcionamento. O sistema de monitoramento foi implantado com base na estrutura pré-existente de medição e produção de energia do campus, aliada ao uso de *softwares open source* que permitiram que a implementação fosse realizada com baixo custo. A avaliação do sistema entregou comprovou sua confiabilidade, intuitividade e, principalmente a construção de uma base sólida para a implementação de aplicações que transformem o ICTS em um *smart campus* do ponto de vista energético, demonstrando um impacto positivo imediato e um extremo potencial para tais aplicações como previsão das cargas do campus e seu consumo.

Palavras-chave: Monitoramento de consumo energético. *Internet of Things (IoT)*. *Smart Campus*.

ABSTRACT

In general, one can state that a smart campus is a university campus which makes use of information and communication technologies (ICT) and Internet of Things (IoT), in order to make the processes that occur on the campus in smart processes, bringing economic and management benefits for the institution, benefits for the environment and for all its members by means of personalized services, educational quality and quality of life improvements. Based on the benefits that implementing it on a campus can bring, the Institute of Science and Technology, Sorocaba (ICTS) from Unesp proposed to start its transition to become a smart campus, defining the adoption of measures related to measurement, generation, consumption, and control of electrical energy, and water as its first step. The objective of this work is to demonstrate how a campus energy consumption monitoring system was projected and implemented on the ICTS, and its integration with another campus' complementary systems, such as the meteorologic station and the photovoltaic energy generation system, besides presenting its general functional characteristics. The monitoring's system was implemented based on the campus pre-existing energy measurement and generation structure, combined with the use of open-source software, which allowed for a low-cost implementation of the monitoring and data integration. The evaluation of the delivered system proved its reliability, intuitiveness and, mainly a solid basis for the future implementation of applications that will transform the ICTS into a smart campus from an energy point of view, demonstrating an immediate positive impact and extreme potential for such applications as demand forecasting and characterization of campus loads and consumption.

Keywords: Energy consumption monitoring. Internet of Things (IoT). Smart Campus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Prédios do campus e seu agrupamento nas medições realizadas	42
Figura 2 – Arquitetura IoT implantada no ICTS	45
Figura 3 – Diagrama das camadas mais baixas para o monitoramento do consumo de água	49
Figura 4 – Diagrama das camadas mais baixas para o monitoramento das condições ambientais	49
Figura 5 – Diagrama das camadas mais baixas para o monitoramento da geração PV	50
Figura 6 – Fluxograma do funcionamento geral da arquitetura IoT	57
Figura 7 – Fluxograma geral de coleta de dados da arquitetura IoT	58
Figura 8 – Fluxograma geral do funcionamento da integração da arquitetura IoT	60
Figura 9 – Estrutura do sistema para coleta dos dados dos medidores	63
Figura 10 – Fluxograma do funcionamento do algoritmo inicial de leitura dos dados dos medidores.....	68
Figura 11 – Print da página inicial do site do smart campus desenvolvido no ICTS .	74
Figura 12 – Print da tela principal do consumo de água	75
Figura 13 – Print da tela de dados do consumo de água	76
Figura 14 – Print da tela principal da geração solar	76
Figura 15 – Print da tela de dados da geração solar	77
Figura 16 – Print da tela principal da estação meteorológica	77
Figura 17 – Print da tela de dados da estação meteorológica	78
Figura 18 – Print da tela principal do consumo de energia do campus	78
Figura 19 – Print da tela de dados do consumo de energia do campus.....	79
Figura 20 – Consumo de água ao longo do dia 11 de outubro de 2023.....	83
Figura 21 – Temperatura e radiação solar registrados pela estação meteorológica ao longo dia 11 de outubro de 2023.....	84
Figura 22 – Geração PV ao longo do dia 11 de outubro de 2023	85
Figura 23 – Consumo de energia do campus ao longo do dia 5 de outubro de 2023	86
Figura 24 – Consumo de energia do campus ao longo da semana do dia 5 de outubro de 2023 (2 a 8 de outubro)	86
Figura 25 – Consumo de energia do campus ao longo do mês de outubro de 2023	87

Figura 26 – Consumo de ar-condicionado no prédio H vs temperatura nas semanas de 2 a 8 e 9 a 15 de outubro de 2023	88
Figura 27 – Geração do sistema PV registrada vs radiação nas semanas de 2 a 8 e 9 a 15 de outubro de 2023	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica	31
Tabela 2 – Comparação entre smart campi	39
Tabela 3 – Identificação dos 11 medidores instalados no campus para monitoramento do consumo de energia.....	43
Tabela 4 – Resumo das camadas de Processo Físico e Leitura, processamento e transmissão de dados e da comunicação adotada entre elas.....	48
Tabela 5 – Intervalo de leitura de cada um dos sistemas monitorados.....	55
Tabela 6 – Formato detalhado do frame Modbus para requisição de dados	65
Tabela 7 – Formato detalhado do frame Modbus respondido com os dados pelos medidores.....	65
Tabela 8 – Média e máximo de consumo de energia ao longo de uma semana para cada estação do ano	91
Tabela 9 – Dados meteorológicos e de geração para cada estação do ano.....	91
Tabela 10 – Dados de consumo de água para cada estação do ano	92
Tabela 11 – Resumo dos dados de consumo apresentados no Apêndice E	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CRC	Cyclical Redundancy Check
Gasi	Grupo de Automação e Sistemas Integráveis
IA	Inteligência Artificial
ICTS	Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
ML	Machine Learning
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
Prodist	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PV	Fotovoltaico (do inglês, Photovoltaic)
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RTU	Remote Terminal Unit, um dos modos de transmissão do protocolo Modbus
SIMCCE	Sistema Integrado de Monitoramento e Coleta do Consumo Energético
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação

LISTA DE SÍMBOLOS

V_{cc}	Tensão em corrente contínua
mA	Miliampère
L/min	Litros por minuto
°C	Graus Celsius
MPa	Mega Pascal
kWh	Kilowatt-hora
W/m²	Watt por metro quadrado
L	Litro

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2.	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1.	<i>SMART CAMPUS</i>	19
2.1.1.	DEFINIÇÕES.....	19
2.1.2.	MODELOS DE <i>SMART CAMPUS</i> E SEUS PILARES DE ATUAÇÃO	21
2.2.	MONITORAMENTO	23
2.3.	TRABALHOS RELACIONADOS	26
3.	PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM <i>SMART CAMPUS</i> PARA O ICTS 38	
3.1.	INFRAESTRUTURA PRÉ-EXISTENTE NO CAMPUS	38
3.2.	A ARQUITETURA.....	44
3.3.	DADOS MONITORADOS.....	54
3.4.	FUNCIONAMENTO GERAL DA ARQUITETURA	56
3.5.	FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO	62
3.6.	IMPLEMENTAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA	64
3.7.	ARMAZENAMENTO DE DADOS	70
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1.	DIFICULDADES E LIMITAÇÕES ENCONTRADAS NA REALIZAÇÃO DO TRABALHO	101
5.	CONCLUSÃO	106
5.1.	TRABALHOS FUTUROS.....	107
5.2.	TRABALHOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS.....	108
	REFERÊNCIAS.....	110
	APÊNDICE A – DIAGRAMAS UNIFILARES DOS DOIS PRINCIPAIS QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO CAMPUS, COM IDENTIFICAÇÃO DOS MEDIDORES SOB ELES 117	
	APÊNDICE B – LISTA DE VARIÁVEIS MONITORADAS PELOS QUATRO SISTEMAS	119
	APÊNDICE C – CÁLCULOS TEÓRICOS DO TEMPO DE COMUNICAÇÃO (REQUISIÇÃO + RESPOSTA) COM OS MEDIDORES.....	121
	APÊNDICE D – DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA, TEMPERATURA, RADIAÇÃO SOLAR, GERAÇÃO PV E CONSUMO DE ÁGUA DO CAMPUS AO LONGO DE UMA SEMANA EM CADA UMA DAS ESTAÇÕES	127
	APÊNDICE E – DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA EM DIAS ÚTEIS, SEUS	

RESPECTIVOS FINAIS DE SEMANA, DIAS ÚTEIS NAS FÉRIAS E SEUS RESPECTIVOS FINAIS DE SEMANA	147
ANEXO A – PRINCIPAIS DADOS TÉCNICOS DOS MEDIDORES, DO INVERSOR DO SISTEMA PV E DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	155
ANEXO B – LISTA DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS MEDIDAS OU CALCULADAS PELOS MEDIDORES.....	158
ANEXO C – EMBASAMENTO TEÓRICO PARA OS CÁLCULOS DE TEMPO DE COMUNICAÇÃO COM OS MEDIDORES	164

1. INTRODUÇÃO

O aumento das populações urbanas e das complexidades das cidades com o passar do tempo faz com que surjam desafios nas áreas de transporte, meio ambiente, energia e coesão social das cidades. Neste contexto, surge o conceito de *smart city* como uma solução tecnológica para estes desafios (YANG *et al.*, 2021). Segundo Caragliu *et al.* (2009), uma cidade pode ser considerada *smart* quando “investimentos em capital humano e social e em infraestruturas de comunicação tradicionais (redes de transporte urbano) e modernas (tecnologias de informação e comunicação – TICs) alimentam o crescimento econômico sustentável e uma alta qualidade de vida, com uma gestão inteligente dos recursos naturais, através de um governo participativo”. O funcionamento das *smart cities* se baseia na aplicação massiva das tecnologias de informação e comunicação (TICs) e do paradigma da Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things, IoT*) (ZANELLA *et al.*, 2014), em que um elevado número de dispositivos distribuídos se conectam entre si, de modo a transferir os dados que coletam (FORTES *et al.*, 2019).

Neste contexto, os campi universitários apresentam uma oportunidade inestimável para potencializar os estudos sobre *smart cities*, pois concentram uma grande comunidade de estudantes, professores e funcionários, formando uma população disposta a adotar, desenvolver e promover a implementação de inovações, bem como a participar dos testes de impactos e melhorias das mudanças implantadas. Quando aplicada a abordagem de uma *smart city* à uma área universitária, o *smart campus* resultante pode crescer com o apoio de sua comunidade, proporcionando enormes vantagens a todas as pessoas que o integram. Os campi podem ser considerados como suas próprias pequenas cidades, onde as melhorias alcançáveis em sua gestão, governança, sustentabilidade e atividades de aprendizagem são enormes em termos de eficiência energética e hídrica, emissões, mobilidade, saúde e bem-estar, natureza e ensino (FORTES *et al.*, 2019).

Não existe, até o presente momento, uma definição universal e abrangente do conceito de *smart campus*. O profundo estudo realizado sobre o tema ao longo dos dois anos de trabalho nesta dissertação permitiu a criação de um conceito próprio, buscando unir, de maneira resumida, os principais pontos abordados nas muitas definições encontradas ao longo da literatura:

“*Smart campus* é o termo utilizado para caracterizar um campus universitário que emprega tecnologias avançadas e/ou inteligentes para melhorar o funcionamento do campus como um todo atuando nos pilares de educação e pesquisa, energia, meio ambiente, gerenciamento ou governança, pessoas e tecnologias. Este melhor funcionamento irá afetar diversas áreas do campus, como por exemplo, a qualidade de ensino e pesquisa desenvolvidas; o monitoramento e gerenciamento de consumo energético e de água, além da geração de energia renovável; a qualidade de vida das pessoas que desenvolvem atividades no campus, como funcionários, professores e alunos; o gerenciamento da universidade e seus ativos; a mobilidade interna e externa com relação ao campus (esta última dentro das possibilidades reais); o controle do impacto ambiental gerado pelo funcionamento do campus. Todas estas melhorias caracterizam o funcionamento ideal de um *smart campus*, porém isso não impede que um campus possa ser considerado um *smart campus* com apenas a aplicação de melhorias específicas em alguns pilares de atuação (por exemplo, energia e meio ambiente), pois sua implementação é gradual e irá variar de acordo com o campus em questão, pois cada campus terá suas particularidades e modelos existentes para um campus específico podem ou não serem aplicáveis em outros.”

De acordo com Alghamdi e Shetty (2016) e Ng et al. (2010), algumas das possíveis vantagens da implantação de um *smart campus* são:

- Formar e reter os melhores alunos e professores;
- Ampliar o alcance sem expansão de instalações;
- Permitir maior eficiência e produtividade;
- Enriquecer o ambiente de aprendizagem, ensino e pesquisa;
- Permitir aprendizagem colaborativa, ensino e pesquisa sem limites;
- Melhorar a comunicação entre alunos, professores e administração;
- Proporcionar facilidade e clareza na administração e gestão do campus;
- Resolver barreiras tradicionais de aprendizagem através de capacitadores tecnológicos;
- Reduzir gastos de capital e custos operacionais;
- Gerar novos fluxos de renda;
- Proporcionar um ambiente interativo e criativo para estudantes e professores;
- Promover gerenciamento de energia inteligente, sistema de vigilância eficaz e avisos de incidentes em tempo real;

- Automatizar a manutenção e os negócios, manter a gestão eficiente do estacionamento e do controle de acesso;
- Proporcionar pagamentos seguros e sistemas de votação transparente.

Nesse sentido, realizar implementações voltadas ao monitoramento de energia é importante pois, de acordo com Bandarra et al. (2016), “permite estimar a quantidade de energia utilizada, o seu custo imediato e o seu impacto ambiental e deve desencadear uma cultura de sensibilização para a energia, incentivando os consumidores a adotar mudanças de comportamento, para reduzir o consumo e, conseqüentemente, a fatura energética. Os resultados podem ser bastante úteis para diferentes entidades, incluindo o próprio consumidor final (recebendo o padrão de consumo e identificando possíveis intervenções para poupar energia), gestores de auditorias energéticas para certificações, entidades públicas, edifícios de serviços, indústria e até fabricantes de equipamentos”.

Levando em consideração as vantagens que a implementação de um *smart campus* pode trazer, principalmente com a instalação de um sistema voltado ao monitoramento e gerenciamento do consumo de energia, o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS) da Unesp se dispôs a iniciar a transição de seu campus para um *smart campus*, com relação à medição, geração, consumo e gerenciamento da energia elétrica e o consumo de água. O ICTS possui atualmente uma infraestrutura base para esta implementação, dentre os quais se destacam, onze (11) medidores de energia instalados, empregando o *software* para leitura dos dados coletados por esses medidores (*SmartCollect*) e emissão de avisos sobre problemas encontrados nas medições; geração própria de energia por meio de um sistema fotovoltaico – com potência nominal de 20kW –, além de uma estrutura de leitura de outros dados relacionados ao pilar de sustentabilidade de um *smart campus* – medição do consumo de água e variáveis climáticas por meio de uma estação meteorológica. A presença desses sistemas foi o ponto de partida do projeto apresentado, pois permitiu uma definição mais clara dos processos a serem monitorados no *smart campus* em desenvolvimento no ICTS. Estes sistemas são bastante distintos entre si e enviam dados distintos e com taxas de amostragem diferentes, o que torna o processo da integração complexo, mas viável com a aplicação das ferramentas corretas, como por exemplo o *Node-RED* (2023) para padronizar o formato dos dados gerados e uso de um banco de dados unificado.

Como pode ser percebido, um dos principais pontos que caracteriza um *smart campus* é a sua capacidade de integração dos dados de suas diferentes aplicações, já que o uso conjunto destes dados é o que viabiliza a inteligência do campus, potencializando seu gerenciamento e otimização do funcionamento de seus setores como um todo e, de acordo com os autores em (SANZ *et al.*, 2015), redes de monitoramento sem aplicação de técnicas ou análises aprofundadas não têm utilidade – uma definição um pouco extrema, mas parcialmente correta. De acordo com Doan *et al.* (2012), o objetivo de um sistema de integração de dados é “oferecer acesso unificado a grupos autônomos e heterogêneos de fontes de dados”. Esta integração, de maneira geral, é dificultada por três fatores (DOAN *et al.*, 2012):

- Sistemas: consiste no desafio de permitir que diferentes sistemas possam conversar entre si de maneira simples e direta, pois além dos dados serem gerados de maneira diferente, seu armazenamento também pode não estar padronizado;
- Motivos lógicos: a construção da estrutura do banco de dados pode ser feita de diferentes maneiras, levando a incongruências quando da tentativa de integração de dados de diferentes bancos, mesmo quando os bancos armazenam os mesmos dados. Dados de múltiplas fontes só podem ser integrados quando esta heterogeneidade semântica é resolvida;
- Motivos sociais e administrativos: o último problema inerente à integração de dados não é técnico, mas sim social. Ele deriva das dificuldades que possam existir com relação à disposição de participação das pessoas envolvidas no sistema que terá seus dados integrados, bem como a relutância em fornecer os dados necessários para a integração.

Portanto, o objetivo do presente trabalho é realizar a implementação de um sistema de monitoramento energético para o ICTS da Unesp, baseado em uma arquitetura *IoT*, e que possa trabalhar com a integração de todos os dados fornecidos pelos 11 medidores de energia, sistema de geração fotovoltaica, os dados da estação meteorológica e do consumo de água, de modo a integrar a geração e o consumo de energia elétrica nos diferentes barramentos do painel de distribuição do ICTS, com foco no uso conjunto dos dados coletados para melhorias no campus e futuramente a implementação de medidas de eficiência energética, dentro do contexto de *smart campus*. Maiores detalhes técnicos relativos aos medidores, sistema de geração fotovoltaico (PV) e à estação meteorológica podem ser encontrados no Anexo A.

O sistema proposto visa o monitoramento de diversas variáveis medidas ao longo do campus e que podem adicionalmente trazer indicativos da qualidade de vida dos integrantes do campus, qualidade da energia elétrica e padrões de consumo, e formar uma base de dados sólida para estudos futuros relacionados a previsões mediante às diferentes séries temporais coletadas. Há um consenso na literatura de que este tipo de base de dados de consumo de energia é raramente disponibilizado e que só pode ser construída ao longo de grandes períodos de tempo – anos –, mas apesar do período de coleta de dados, definido pela duração do mestrado, não abranger um período tão significativo a ponto de tornar-se uma base de dados sólida – dados coletados por um período entre um ano e meio e dois anos –, com início em setembro de 2022 e com operação contínua até maio de 2024 –, é possível a criação de uma fundamentação já utilizável e que ao longo do tempo tende a ser mais rica em dados, podendo ser disponibilizada para o desenvolvimento de outros estudos futuros, internos ou externos.

O estudo dos dados, de maneira independente ou conjunta, pode garantir um melhor entendimento dos padrões de geração e consumo de energia e água do campus, trazendo ganhos informacionais e financeiros à organização do campus e todos seus integrantes.

O restante do presente trabalho será dividido da seguinte maneira: a seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, seguido por uma revisão bibliográfica que valida o embasamento teórico para um melhor entendimento do que foi realizado no presente trabalho. Em seguida, o trabalho se divide nas seções de proposta de implementação de um *smart campus* para o ICTS, que demonstra quais os passos adotados para a construção do sistema de medição; seguido pela exposição dos resultados obtidos e uma discussão sobre estes e os desafios da execução do trabalho, finalizando com as conclusões retiradas de sua realização e os possíveis trabalhos futuros que podem ser adotados para dar continuidade à pesquisa.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral: propor uma estrutura e metodologia para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento do consumo energético no ICTS da Unesp, mediante aplicações de *IoT*, e a integração de dados

relativos à geração e consumo de energia e água do campus, além de dados meteorológicos, para avançar na transição do ICTS para um *smart campus* do ponto de vista de consumo de água, monitoramento de variáveis ambientais, além de consumo e geração de energia, por meio de análises comparativas conjuntas dos dados coletados.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um sistema próprio de monitoramento de consumo de energia elétrica.
- Integrar o sistema de geração PV, os dados da estação meteorológica e os dados de consumo de água aos dados de consumo energético coletados.
- Realizar análises preliminares dos dados coletados de maneira conjunta para buscar agregar nos conhecimentos adquiridos com o monitoramento, bem como demonstrar o potencial para posteriores estudos mais avançados sobre o tema.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Dada a contextualização apresentada na seção anterior, estabeleceu-se que os conceitos chave necessários para a elaboração do presente trabalho são *smart campus* e sistemas de monitoramento. Ao longo desta seção, serão apresentadas referências bibliográficas que abordam estes temas para um maior embasamento teórico do trabalho proposto, além da apresentação de trabalhos – artigos, trabalhos de conclusão de curso e dissertações – encontrados na literatura e que possuem propostas similares ao presente trabalho.

2.1. SMART CAMPUS

Esta seção é dedicada ao entendimento do conceito de *smart campus* de acordo com a literatura, além de modelos presentes e como são definidos os pilares de atuação que caracterizam a base de um *smart campus* dentro destes modelos ao longo da literatura de modo que este estudo foi importante para um melhor entendimento de como fazer a implementação de um *smart campus* no contexto do ICTS.

2.1.1. DEFINIÇÕES

Há um consenso na literatura de que não existe uma definição única e universalmente aceita sobre o que é um *smart campus*. Além disso, como destacado em MUHAMAD *et al.* (2017), não há nenhum comitê técnico que seja responsável por *smart campus*, assim como os comitês *IEEE Smart Cities Community*, que desenvolve o conceito de *smart city* e suas implementações e *IEEE Smart Grid*, que cobre o desenvolvimento do conceito e a implementação do *smart grids*, o que contribui para a não existência de um padrão para desenvolvimento, implementação e definição de *smart campus*. Ainda assim, é possível retirar concepções de *smart campus* da literatura, de modo a compreender de maneira geral os conceitos mais aceitos e elaborar uma noção própria com base na junção dos principais pontos encontrados na literatura.

Os autores da revisão realizada em CHAGNON-LESSARD *et al.* (2021) indicam que não encontraram nenhuma definição universal de *smart campus* na literatura, mas

apontam algumas das conceitualizações de outros autores. Algumas dessas são: "uma iniciativa para usar as TICs dentro de um campus universitário para melhorar a qualidade e o desempenho dos serviços, para reduzir os custos e o consumo de recursos, e para se envolver mais efetiva e ativamente com seus membros" (BANDARRA *et al.*, 2016) e "um campus aumentado digitalmente onde objetos e espaços instrumentais difundidos são feitos para responder ao estado do ambiente e de seus habitantes" (DE PAOLA *et al.*, 2019). Por fim, de acordo com MUHAMAD *et al.* (2017): "o principal papel do campus inteligente é apresentar os serviços dinâmicos de acordo com as necessidades dos usuários usando algum sistema de inteligência".

Os autores em (AWUZIE *et al.*, 2021) apontam que DONG *et al.* (2020) definem *smart campus* como: "um ambiente educacional que é penetrado com tecnologias de capacitação para serviços inteligentes para melhorar o desempenho educacional enquanto atendem aos interesses das partes envolvidas, com amplas interações com outros domínios interdisciplinares no contexto da cidade inteligente" e que MIN-ALLAH; ALRASHED (2020) apontam que *smart campus* é um campus "que utiliza e integra espaços físicos e digitais inteligentes para estabelecer serviços responsivos, inteligentes e melhorados para criar um ambiente produtivo, criativo e sustentável".

Por fim, de acordo com ALGHAMDI; SHETTY (2016), o conceito principal de um *smart campus* é "desenvolver um campus que utilize os recursos de forma eficiente, forneça serviços de alta qualidade para a comunidade do campus, enquanto o custo operacional é reduzido". Além da redução de custos na entrega de serviços no campus, o *smart campus* pode trazer um número de benefícios, tais como: proporcionar um ambiente interativo e criativo para estudantes e professores, promover gerenciamento de energia inteligente, sistema de vigilância eficaz e avisos de incidentes em tempo real, automatizar a manutenção e os negócios, manter a gestão eficiente do estacionamento e do controle de acesso, e proporcionar pagamentos seguros e sistemas de votação transparente.

Outras definições podem ser encontradas em grande número ao longo da literatura, mas para a contextualização do termo, as apresentadas podem ser consideradas suficientes.

2.1.2. MODELOS DE SMART CAMPUS E SEUS PILARES DE ATUAÇÃO

Após as discussões do conceito do que é um *smart campus*, o próximo passo relevante com relação ao tema é a apresentação de modelos existentes propostos na literatura, de modo que seu estudo aprofundado ajude a entender o sucesso de algumas universidades ao tornarem seus campi em *smart campus*. Alguns desses modelos ainda são puramente teóricos, mas ainda assim são bastante úteis para uso como referência no processo de adoção de *smart campus* em universidades que ainda não incorporaram o conceito em seu campus, além de também colaborar para o entendimento mais amplo do termo *smart campus*.

Os principais modelos encontrados na literatura, na ordem do mais antigo para o mais recente, e que podem ser destacados são os modelos Campus Inteligente (*iCampus*), proposto inicialmente pelo MIT através do programa de Aliança MIT-Microsoft, e posteriormente expandido para um modelo aplicável em (NG *et al.*, 2010); SC², proposto em (PAGLIARO *et al.*, 2016) para implementação na Escola de Sapienza, na Universidade de Roma e o *UMA Smart-Campus*, abordado em (FORTES *et al.*, 2019) e que foi implementado na Universidade de Málaga.

Os autores em (NG *et al.*, 2010) indicam que seu trabalho tem por objetivo estender e aprofundar as pesquisas sobre o modelo *iCampus* criado pelo MIT (MIT ICAMPUS, [s. d.]) através de uma estrutura holística e inteligente do campus. Apesar de muitos outros trabalhos terem abordado este modelo anteriormente, cobrindo a pesquisa e experimentação ou o desenvolvimento e implementação de um aspecto parcial do conceito, poucos trabalhos tinham sido realizados com a perspectiva proposta pelos autores. O objetivo deste trabalho, portanto, é cobrir ambos os aspectos conjuntamente e de maneira complementar a fim de criar um campus inteligente de classe mundial (*iCampus*).

NG *et al.* (2010) propõem um modelo de *smart campus* dividido em áreas de inteligência/pilares, de modo a criar um sistema nervoso do campus. Estas áreas são: (1) *iLearning*, que se preocupa com o aspecto de aprendizagem do campus, (2) *iManagement*, que se preocupa com o aspecto administração do campus, (3) *iGovernance*, que se preocupa com o aspecto governança do campus, (4) *iSocial*, que se preocupa com o aspecto social do campus, (5) *iHealth*, que se preocupa com o aspecto da saúde de todos os integrantes do campus, e (6) *iGreen*, que se preocupa com o aspecto verde do campus. Os autores destacam que apesar da separação, os

pilares são entrelaçados entre si, de modo que, ações implementadas em um deles também trará benefícios a outros.

De acordo com os autores do modelo SC², proposto em (PAGLIARO *et al.*, 2016), o modelo possui capacidade de levar em conta os diversos aspectos que podem estar envolvidos na gestão e evolução da universidade, por meio de uma abordagem metodológica que leva em conta cada fase do projeto, desde a análise preliminar da área até a evolução das soluções adotadas. A abordagem metodológica proposta é estruturada de acordo com a seguinte linha: (1) planejamento preliminar; (2) identificação dos campos de ação; (3) aquisição de dados; (4) análise dos dados; (5) categorização dos problemas e (6) definição das estratégias. Cada fase da abordagem metodológica é baseada em cinco aspectos estritamente relacionados entre si: planejamento, integração e colaboração, flexibilidade e escalabilidade.

Assim como no modelo do *iCampus*, também são definidos campos de ação/pilares dentro do *smart campus*, baseados em adaptações dos seis eixos que compõem uma *smart city* (GIFFINGER *et al.*, 2007). Com isso, esses campos de ação são: (1) Pessoas e Vida, (2) Economia, (3) Meio Ambiente, (4) Energia e (5) Mobilidade. Apesar da divisão em categorias, o limite entre cada um dos campos de ação é traçado de maneira muito tênue, pois todos possuem influências mútuas entre si. É importante notar que, o modelo proposto não havia sido implementado no momento da publicação do artigo, de modo que os autores não fornecem nenhuma referência prática de seu funcionamento.

O último modelo apresentado é o modelo do *UMA Smart-Campus* (FORTES *et al.*, 2019). Em seu trabalho, os autores também definem seis pilares/categorias de aplicação para guiar a iniciativa, sendo estes: (1) Emissões, Energia e Água, (2) Natureza e Meio ambiente, (3) Saúde e Bem-estar, (4) Mobilidade, (5) TICs e (6) Pesquisa, Ensino e Inovação. Estes dois últimos recebem um foco especial do artigo, devido à sua importância dentro do contexto do *UMA Smart-Campus*. A exceção destes dois eixos em foco, os outros são categorias comuns também no conceito de *smart cities*.

Outros modelos propostos podem ser encontrados na literatura – como por exemplo o *IBM Smarter Education Framework* (BAKKEN *et al.*, 2017), o *Garuda Smart Campus Framework* (SUPANGKAT *et al.*, 2018), o *neOCampus* (VERSTAEVEL *et al.*, 2017) e no Brasil os *smart campi* que vem sendo implementado na Facens (PRINCIPAL - SMART CAMPUS FACENS, [s. d.]) e na Unicamp (SMART CAMPUS -

UNICAMP, [s. d.]) – porém com menor relevância, foco ou detalhamento suficiente para replicação. É interessante notar também que muitos modelos envolvem conceitos de *smart city*, algo explicado em diversos artigos da literatura pelo fato de que *smart campi* são como “miniaturas” de uma *smart city*, possuindo características similares a elas em uma menor escala. É importante destacar que a grande maioria dos modelos propostos na literatura são indicados para implementação em campus em fase de desenvolvimento, pois a implementação de um *smart campus* em um campus já consolidado caracteriza uma dificuldade a mais em sua implementação, devida à falta de flexibilidade do modelo implantado do campus.

2.2. MONITORAMENTO

Assim como pontuado na introdução, o monitoramento de energia é muito importante. Pensando nisso, esta seção envolve trabalhos da literatura que abordam conceitos relacionados a sistemas de monitoramento, sendo monitoramento do consumo e geração de energia elétrica e das condições meteorológicas, ou outros sistemas correlacionados, de modo a demonstrar conceitos relevantes para execução desta tarefa dentro do contexto do presente trabalho e para futuros direcionamentos do trabalho.

Os autores em (BANDARRA *et al.*, 2016) buscam demonstrar a importância do monitoramento do consumo de energia, apresentando os tipos e métodos existentes para esse monitoramento, com apresentação de gráficos de consumo em residências e indústrias para o controle e gerenciamento energético, ilustrando os principais conceitos relacionados a transformadores de tensão e corrente, e possibilidades de modelos de ligação dos fios destes transformadores de medição à rede que irão integrar. É apresentado um passo a passo para o procedimento de instalação de um sistema de gerenciamento de energia, passando pela definição das entradas e saídas do processo – sendo as entradas requisitos e setor de instalação, avaliação das condições do local, requisitos de documentação técnica e esquemas elétricos, além de fotos dos locais; já as saídas são definidas como as mudanças dos esquemas elétricos com relação aos originais, instalação/manutenção de chapas, diagrama das conexões de instalação, instalação manual/manutenção de equipamentos e fotos da instalação. Em seguida, é realizada a definição dos passos necessários para realização do procedimento, definindo os possíveis responsáveis pela execução de

cada um dos passos definidos e qual o registro documental necessário em cada um. Apesar de não abordar como implantar um sistema de medição ou inovar com relação ao monitoramento do consumo de energia, é interessante pois contextualiza a importância do monitoramento e como ele pode ser feito.

Já no trabalho realizado em (SANZ *et al.*, 2015), os autores apresentam a estrutura de um sistema de monitoramento aplicado nos chamados prédios com consumo energético próximo de zero (*nearly zero energy building*), identificando suas camadas – nível de campo, nível de comunicação, nível de armazenamento de dados e nível de aplicação –, o padrão de comunicação adotado – *LonWorks* –, o banco de dados utilizado – um banco *SQL* –, como os dados de diferentes fontes são integrados entre si e recuperados pela aplicação que os apresenta. O foco do artigo é na utilização destes dados coletados para avaliação da qualidade de energia elétrica (QEE) dos prédios, por meio de *key performance indicators (KPIs)*.

São 32 *KPIs* indicados, divididos em três grupos: os *KPIs* relacionados a energia fornecida de diferentes fontes, os relacionados a energia primária fornecida e os que abordam emissões de carbono. O principal *KPI* é o que aborda o total de energia primária no prédio, pois seu cálculo e comparação com o consumo anual estabelecido (60 kWh/m²/ano) é o objetivo do estudo, mas outros podem ser destacados: energia auxiliar utilizada por sistemas técnicos do prédio, energia primária fornecida por bombas de calor geotérmico, energia elétrica fornecida ao sistema de biomassa, energia elétrica fornecida da rede para iluminação, entre outros. Sanz *et al.* fornecem uma descrição de cada um dos *KPIs* e, como alguns deles são derivados de outros, indicam como estes *KPIs* são calculados – como por exemplo a energia térmica fornecida pela bomba de calor geotérmica, que é a soma de dois dos medidores térmicos da rede – e concluem que sem a consideração do sistema de geração fotovoltaica o prédio avaliado extrapola o consumo anual ideal, assim como a emissão de CO₂.

Considerando a visão de cargas dentro de uma microrrede, Dash e Sahoo (2022) apresentam uma revisão bibliográfica extensiva sobre monitoramento não intrusivo de carga (*non-intrusive load monitoring*, NILM). Os autores buscam apresentar referências sobre os passos da NILM, como armazenamento e avaliação de performance, posteriormente passando pelos tipos existentes de NILM – baseados em evento, onde o software busca por eventos e quando estes ocorrem extraem a assinatura característica do evento para identificação da carga/equipamento que o

gerou, e NILM sem eventos, que se baseiam na análise de séries temporais para identificar quais cargas/equipamentos estão ligadas ou não em um determinado momento – e entrando em maiores detalhes sobre cada um deles, separando-os em cada componente/ passo da detecção de cargas.

Como resultados, os autores apresentam uma comparação qualitativa entre os dois tipos de algoritmos de desagregação de carga, levando em conta os seguintes atributos: facilidade de implementação em campo e experiência do usuário após a implementação, habilidade de generalização do algoritmo, performance de desagregação e considerações econômicas. Por fim também são apresentados os quatro principais problemas e desafios atuais existentes com relação às técnicas de desagregação de carga – desafios relacionados à adaptabilidade e poder de generalização dos algoritmos, identificação das cargas/equipamentos de menor consumo de energia, desafios com relação à privacidade dos dados dos usuários e outros tipos de desafio, que envolvem por exemplo a padronização da avaliação dos NILMs e a estimação correta mesmo com dados ruidosos –, finalizando com o estado atual destas ferramentas e futuras direções de pesquisas.

Trabalhando sob uma outra ótica sobre o conceito de monitoramento, os autores em (ZHU *et al.*, 2023) indicam que existem muitas referências na literatura que se utilizam separadamente do método baseado em observação de estados e de redes neurais para monitoramento de redes elétricas, porém ambos os métodos apresentam limitações que podem ser suprimidas quando da utilização dos sistemas de maneira complementar. Por isso eles implementam uma *neural network extended state-observer* (NN-ESO) para monitoramento de um reator nuclear modular resfriado a gás a alta temperatura, de modo que esta rede neural permite a estimativa de variáveis internas do processo – fluxo normalizado de nêutrons, temperatura do hélio na entrada e na saída do reator, vazão primária e temperatura do hélio – e parâmetros que formam a base para diagnósticos e prognósticos, além de aumento da consciência situacional dos operadores da rede.

É uma ótica bastante interessante do monitoramento de redes elétricas, por não se basear em medições de campo. Para isso, o estado de observação estendido realiza uma estimativa da saúde da rede elétrica – algo muito importante em qualquer sistema de monitoramento de energia – por meio de estimativas das perturbações e sua taxa de mudança associado a estimativa das variáveis internas da rede, que variam entre diferentes sistemas avaliados. Por exemplo, o resfriamento da carga em

sistemas termodinâmicos, a temperatura em uma bateria de Ion-lítio, a reatividade e temperatura de combustível em um reator nuclear, o estado de carga em uma bateria. A avaliação conjunta destes três parâmetros permite a detecção de anomalias na rede e demonstram a degradação do desempenho do sistema de energia avaliado por meio de sua estimativa.

2.3. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta última subseção da revisão bibliográfica, são apresentados alguns trabalhos existentes na literatura e nos quais foram realizados sistemas ou propostas de sistemas semelhantes ao implementado nesta dissertação, de modo a demonstrar como diversos pontos aqui abordados já foram realizados na literatura, porém de maneira menos completa ou com uma abordagem de um menor número de áreas de conhecimento.

Na referência (NETTO *et al.*, 2022), os autores apresentam um *dashboard* implementado na plataforma *PI System*, da OSIsoft no campus da Facens – uma universidade também localizada em Sorocaba – para monitoramento de diversas variáveis relevantes a um *smart campus*, como consumo de energia, condições meteorológicas, geração de energia PV, ocupação do estacionamento, entre outras. Na medição dos dados foram utilizados sensores como EDKs, Inversores e CLPs; em sua comunicação *webservices* e *scripts php* rodando em um servidor Linux; e um banco de dados *SQL*, localizado em um servidor Windows, para armazenamento dos dados. Ao longo do trabalho os autores contextualizam porque coletar e unificar os dados é importante, além dos desafios associados à sua integração. A construção do *dashboard* é apresentada, mostrando as decisões tomadas durante seu desenvolvimento, a versão final de sua *webpage*, e diagramas de cada uma das arquiteturas dos componentes do sistema de cada *dashboard*. Adicionalmente, o artigo também trabalha na importância do fator de potência para qualidade de energia, e os autores testam a correlação entre variáveis meteorológicas e o fator de potência, em que se pode concluir que não existe nenhuma correlação relevante. Deste modo, eles realizam a previsão do fator de potência baseando-se no consumo de energia e na utilização do sistema PV, alcançando uma baixa variância e ótima proximidade/similaridade das linhas quando realizando um gráfico do fator de potência real vs previsto.

O próximo trabalho que pode ser apontado é o realizado em (MERAZ *et al.*, 2020). Nele, os autores apresentam o desenvolvimento de um *smart campus* no campus de Zacatenco, no Instituto Politécnico na Cidade do México. Para isso, eles focam principalmente na rede, indicando porque *LoRaWAN* foi escolhida e simulando a cobertura da rede no campus, seguido por um teste real da rede – utilizando *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) e *Signal to Noise plus Interference Ratio* (SNIR) como os parâmetros para o teste –, comprovando que os resultados simulados são muito similares ao caso no mundo real – exceto que o *software* de simulação não leva em conta a presença dos prédios que estão no caminho do sinal transmitido –, e ambos provam que a rede irá funcionar como esperado e dentro dos requerimentos de cobertura do campus. Além disso, dados do sistema de monitoramento implantado são apresentados, para demonstrar seu status funcional.

Em (ZHAMANOV *et al.*, 2017), os autores revisam conceitos de *IoT* e mostram sua aplicação chamada *Flipped Classroom* no campus – um modelo onde os alunos assistem aulas em vídeo em casa e vão para as aulas para fazer suas lições –, demonstrando como essa aplicação melhora a nota dos estudantes.

Autores em (LIU; HAN, 2022) propõem um sistema de monitoramento de *smart campus* baseado em *IoT* para analisar o status dos estudantes com base em seus dados físicos para aprimorar seu aprendizado. O monitoramento da qualidade do ar ao longo de um período de quinze dias é avaliado, juntamente com a taxa de batimentos cardíacos e de respiração dos alunos ao longo de uma aula de cem minutos, sendo estes dois últimos dados utilizados pelos professores para saber quando a taxa de aprendizado dos estudantes está se deteriorando e tomar ações para melhorar isso durante o restante da aula.

A referência (AGARWAL *et al.*, 2020) apresenta um *framework* de cinco camadas baseado em *IoT* para implementação em um *smart campus*, sugerindo um processo de três passos para a implementação de novos casos de uso no campus onde foi implementado. Para completar o artigo, os autores apresentam uma tabela com possíveis aplicações em cada uma das camadas para melhorar o monitoramento do sistema para COVID-19.

O trabalho conduzido em (SARI *et al.*, 2016) realiza um estudo sobre *smart campus* utilizando *IoT* para desenvolver um *smart campus* na Universitas PGRI Yogyakarta, na Indonésia, e apresentando implementações para o campus nas áreas

de educação – *smart education* –, estacionamento – *smart parking* – e salas de aula – *smart room*.

A referência (SASTRA; WIHARTA, 2017) apresenta o design de um sistema de monitoramento baseado em *IoT* para aplicação no projeto de *smart campus* na Universitas Udayana – também na Indonésia – aplicado ao monitoramento de variáveis ambientais. O *hardware* utilizado para coleta dos dados é apresentado, assim como as características do servidor adotado. Os resultados apresentados incluem gráficos gerados por um sensor de temperatura ao longo de alguns minutos mostrados na interface.

O trabalho conduzido em (LIANG; CHEN, 2018) traz um caso diferente de construção de um sistema de monitoramento baseado em *IoT*, mostrando a implementação de um desses sistemas para monitorar o hospital de um campus. Com o objetivo de prover maior cobertura médica e proximidade remota paciente-doutor; monitorando dados dos pacientes para diagnósticos em tempo real, tratamentos e emissão de alertas em emergências; e monitorar os dados das pessoas saudáveis para detectar estágios iniciais de doenças. Os autores mostram o desenvolvimento do sistema cliente, o sistema de conversão de dados e o sistema de transmissão de dados. Eles também demonstram o funcionamento geral do sistema, apresentando tabelas de dados para armazenamento de informações relevantes e diferenças existentes entre a aplicação *web* do sistema e a aplicação *android*.

Outros trabalhos sobre arquiteturas *IoT* implementadas em sistemas de potência que poderiam ser parte de aplicações um *smart campus* com foco na área de energia mas são realizados sem nenhuma menção ao conceito são os realizados em (DE MELO *et al.*, 2021; KHAN *et al.*, 2020, 2019).

O trabalho realizado por de Melo *et al.* (2021) é o mais interessante dentre os três. Nele, os autores propõem um sistema *IoT* de baixo custo para monitorar mini e microgerações PV, que monitora tensão e corrente diretas, potência alternada e variáveis meteorológicas adicionais que são pertinentes à geração PV. Ao longo do trabalho, os autores apresentam a arquitetura desenvolvida, entrando em explicações detalhadas de cada componente, como eles foram construídos e seus processos funcionais. Alguns trabalhos da literatura que se assemelham a este são apresentados, e diferenças entre ambos são apontados.

O sistema proposto por de Melo *et al.* é apresentado após sua implementação, comparando suas variáveis medidas com as mesmas variáveis medidas por um

datalogger industrial por meio de MAE, RMSD e WAPE, para checar a confiabilidade das leituras de dados do sistemas, resultando na descoberta de que quatro dos oito parâmetros monitorados estão dentro dos erros aceitáveis de medição – temperatura ambiente, corrente das *strings* 1 e 2 e potência CA – e dando *insights* do porquê os outros parâmetros não convergem para os valores esperados e possíveis soluções para melhoria em sua precisão de medição. Por fim os autores apresentam o custo da construção de todo o sistema, comparando-o com outras soluções encontradas na literatura e com *dataloggers* comerciais, comprovando que o seu sistema de monitoramento é aproximadamente duas vezes mais barato que as alternativas.

O trabalho de Khan et al. realizado em 2019 apresenta o controle distribuído, recuperação de calor e monitoramento da condição da carga em uma geração combinada de calor e potência localizada em uma microrrede em um campus universitário. O diagrama da microrrede é apresentado, assim como as simulações feitas para estudar o comportamento da carga quando submetida a condições anormais. São demonstrados como o ganho de potência térmica é proporcional ao ganho de potência elétrica, e o fluxo de água no sistema também impacta em ambos esses fatores – sendo quarente e três galões por minuto o fluxo de água com os melhores ganhos de potência.

O outro artigo de Khan et al., este de 2020, propõe um sistema de monitoramento para *smart grids* assistido por *IoT*. O sistema é explicado via um diagrama de blocos, com detalhes de quais componentes foram utilizados e sua função. Como resultados, os autores mostram a figura de um protótipo funcional do sistema, também apresentando os gráficos gerados quando monitorando seu funcionamento.

Os trabalhos discutidos e analisados na revisão bibliográfica deste trabalho são apresentados a seguir na Tabela 1, de modo a resumir seu conteúdo e apontar como eles contribuíram na elaboração desta dissertação. Ao analisar esta tabela e revisão apresentada, é importante notar que os conceitos abordados e aplicados neste estudo não são uma novidade conceitual dentro de suas áreas de atuação separadamente, mas a junção destes conceitos em uma única aplicação, como realizada neste trabalho, é pouco abordado na literatura e o que torna interessante sua realização.

O trabalho que mais se assemelha à presente dissertação, no tocante a junção de todos estes conceitos é o realizado por Netto em (NETTO *et al.*, 2022), mas seu trabalho, além de ser mais resumido por ser um artigo de livro, também possui um foco dividido entre apresentar o sistema de monitoramento das variáveis do campus e estudar a importância do fator de potência para qualidade de energia, e, portanto, não apresentando o sistema de monitoramento com alto grau de detalhamento. Outra diferença substancial é que, os autores do artigo consideram a integração principalmente pelo *dashboard* onde os dados são visualizados juntos, em oposição ao que é feito nesta dissertação, onde a integração é caracterizada principalmente nas camadas ocultas do sistema, como processamento e armazenamento dos dados em um banco de dados unificados.

Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Referência	Foco	Objetivo	Resultados/contribuições ao estado da arte	Uso dentro do contexto deste trabalho
(CHAGNON-LESSARD <i>et al.</i> , 2021)	<i>Smart campus</i>	Fazer uma revisão bibliográfica extensiva sobre <i>smart campus</i> , de modo a cobrir a grande maioria dos artigos postados sobre isso entre 2010 e 2020. Buscar esforços no sentido de sustentabilidade nos artigos pesquisados.	Exposições dos principais artigos encontrados dentro de categorias definidas, detalhes das categorias e de alguns dos artigos. Formulação de sete questões baseadas nos artigos utilizados como referências. A elaboração da resposta indica os pontos para desenvolvimento de pesquisas futuras do tema.	A revisão bibliográfica corrobora com o fato de não existir uma definição universal para o termo <i>smart campus</i> e apresenta várias das definições encontradas na literatura.
(AWUZIE <i>et al.</i> , 2021)	<i>Smart campus</i>	Realizar uma análise SWOT (<i>strenghts, weaknesses, opportunities and threats</i>) em uma universidade na África do Sul. Definir um <i>framework</i> genérico para aplicação desta análise na transição de um campus para que se torne <i>smart</i> , destacando a importância desta análise e permitindo que implementações futuras sejam mais suaves.	Apresentação de um diagrama causal sobre o estudo de caso da análise SWOT na universidade em questão (SAUoT). Baseado nisso, os autores também extrapolaram o diagrama encontrado para entregarem um <i>framework</i> genérico de gerenciamento dos fatores SWOT na transição de campus para se tornarem <i>smart</i> , explicando como aplicá-lo.	Apresenta definições interessantes do termo <i>smart campus</i> .
(ALGHAMDI; SHETTY, 2016)	<i>Smart campus</i>	Realização de uma <i>survey</i> /discussão sobre os trabalhos relacionados a <i>smart campus</i> publicados na literatura até então (2016), com foco em aplicações de <i>IoT</i> utilizadas em <i>smart campus</i> em diferentes perspectivas. Discussão sobre desafios e proposição de próximos passos neste campo.	Exposição resumida de diversas aplicações de <i>IoT</i> encontradas na literatura. Discussão indicando os principais obstáculos para o desenvolvimento de <i>smart campus</i> e explicando por que são obstáculos.	Caracterização do termo <i>smart campus</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor

Continuação da Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Referência	Foco	Objetivo	Resultados/contribuições ao estado da arte	Uso dentro do contexto deste trabalho
(NG <i>et al.</i> , 2010)	Modelos de <i>smart campus</i>	Baseado no modelo clássico de campus inteligente criado pelo MIT com o programa <i>Microsoft Alliance</i> , os autores buscam desenvolver um <i>framework</i> /roteiro para criação de um modelo de <i>smart campus</i> , que englobe tanto a parte de pesquisa quanto o desenvolvimento do modelo.	Foi proposto um novo “sistema nervoso” digital para o <i>iCampus</i> , com análise e “separação” em vários domínios que podem ser aplicados no <i>smart campus</i> . Foram explicadas possíveis ações de melhorias em cada um dos campos de ação, de modo a demonstrar qual o caminho a ser seguido e fomentar o desenvolvimento de ideais próprias.	Apresentação do modelo de Campus Inteligente <i>iCampus</i> .
(PAGLIARO <i>et al.</i> , 2016)	Modelos de <i>smart campus</i>	Apresentação e explicação do <i>framework SC²</i> , criado com base na literatura e com o intuito de ser aplicado no <i>smart campus</i> de Sapienza (Universidade de Roma). A principal diferença deste <i>framework</i> para os outros da literatura é que os outros não possuem fases de planejamento com base na avaliação da área, análises durante e após a implantação do projeto e foram feitos pensando no planejamento prévio antes da implantação do campus.	Apresentação do <i>framework</i> desejado, demonstrando como ele deve ser desenvolvido/aplicado passo a passo, explicado com detalhes sobre cada fase de implementação. Apesar da clareza, no entanto, a não aplicação em uma situação prática (na época do trabalho ainda era apenas teórico) impede a entrega de resultados que demonstrem seu funcionamento (de maneira qualitativa e quantitativa).	Apresentação do modelo de <i>smart campus SC²</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor

Continuação da Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Referência	Foco	Objetivo	Resultados/contribuições ao estado da arte	Uso dentro do contexto deste trabalho
(FORTES <i>et al.</i> , 2019)	Modelos de <i>smart campus</i>	Descrição do <i>smart campus</i> implementado na Universidade de Málaga (UMA), explicando sua implementação, campos de ação definidos, infraestrutura de telecomunicações e <i>IoT</i> . Também são detalhadas as atividades educacionais e de inovação em andamento no campus, com uma análise de seu impacto na comunidade da universidade.	Apresentação clara do <i>framework</i> implementado no <i>smart campus</i> UMA, uma discussão apontando a importância de uma rede de comunicação que possa conectar e integrar os diferentes tipos de <i>IoT</i> s e dispositivos presentes na rede, bem como a importância de times multidisciplinares para trabalharem nas propostas e implementações de melhoria dos <i>smart campus</i> .	Apresentação do modelo de <i>smart campus</i> do UMA Smart-Campus.
(BANDARRA <i>et al.</i> , 2016)	Monitoramento	Apresentar soluções e alternativas de sistemas e possibilidades de medição de consumo de energia para maior sustentabilidade em comunidades, menores gastos e adequação aos planos de diminuição de emissão de gases para redução do efeito estufa.	Apresentação de metodologias de medição, além de destacar porque esse monitoramento e um melhor gerenciamento energético são importantes em ambientes residenciais e industriais. Também é apresentado por meio de uma tabela o procedimento para instalação de soluções energéticas.	Contextualização da importância de um sistema de monitoramento e como ele pode ser construído.
(SANZ <i>et al.</i> , 2015)	Monitoramento	Utilização de um sistema de medição de um prédio com consumo energético próximo de zero para geração de <i>KPIs</i> , que irão avaliar a QEE do prédio, além de determinar algum mal funcionamento e reduzir as emissões de CO ₂ do prédio.	Apresentação dos <i>KPIs</i> calculados por meio de gráficos de barra, indicando que sem a geração fotovoltaica o prédio extrapola o consumo anual colocado como objetivo, assim como a emissão de CO ₂ . Os autores pontuam que redes de monitoramento sem aplicação de técnicas ou análises aprofundadas não têm utilidade.	Os <i>KPIs</i> adotados podem ser interessantes futuramente na avaliação da qualidade da energia no ICTS.

Fonte: Elaborado pelo autor

Continuação da Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Referência	Foco	Objetivo	Resultados/contribuições ao estado da arte	Uso dentro do contexto deste trabalho
(DASH; SAHOO, 2022)	Monitoramento	Apresentar uma revisão completa e imparcial sobre monitoramento não intrusivo de carga (<i>non-intrusive load monitoring</i> , <i>NILM</i>), com ênfase em desenvolvimentos e achados mais significativos.	Apresentação dos algoritmos de <i>NILM</i> existentes e realização de uma comparação qualitativa entre os diversos algoritmos de desagregação de carga, além dos problemas e desafios atuais existentes com relação a estas técnicas, seu estado atual e futuras direções de pesquisas.	Embasamento teórico sólido com relação ao monitoramento não intrusivo de cargas, que pode ser utilizada como base caso este tipo de monitoramento seja adotado no campus para um controle mais granularizado de seu consumo sem instalação de medidores em cada aplicação existente.
(ZHU <i>et al.</i> , 2023)	Monitoramento	Construção de uma rede neural com estado de observador estendido para monitoramento de sistemas elétricos, e que pode providenciar estimativas de distúrbios nos canais de medição e suas taxas de mudança.	A realização de simulações indica que a estimação das variáveis de processo é satisfatória e confirma os cálculos teóricos apresentados ao longo do artigo.	O estado de observação estendido pode ser interessante porque estima as variáveis internas da rede e que demonstram a degradação do desempenho do sistema de energia avaliado, podendo servir de referência para aplicações no sistema aqui proposto.
(NETTO <i>et al.</i> , 2022)	Trabalho relacionado	Apresentar o <i>dashboard</i> realizado na Facens, comentando sua implementação e demonstrando como todos os dados estão em uma única tela, além de sua importância. Utilizar técnicas de aprendizado de máquina para prever fator de potência na rede do campus.	Boa contextualização da importância da coleta e unificação de dados, além dos desafios em integrá-los e importância do fator de potência na qualidade de energia da rede. Ilustração do <i>dashboard</i> final e da arquitetura dos sistemas monitorados. Previsão do fator de potência baseada no consumo de energia, com boa similaridade de curvas e $r^2 = 0,93$	Trabalho bastante similar, que propõe a construção de um sistema para medição e monitoramento dos dados de processos físicos de um campus universitário. Mesmos objetivos do sistema, porém construção e ferramentas diferentes.

Fonte: Elaborado pelo autor

Continuação da Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Referência	Foco	Objetivo	Resultados/contribuições ao estado da arte	Uso dentro do contexto deste trabalho
(MERAZ <i>et al.</i> , 2020)	Trabalho relacionado	Apresentar o desenvolvimento da proposta de um sistema de monitoramento ambiental em um campus universitário como primeiro estágio no desenvolvimento de um <i>smart campus</i> , no campus Zacatenco do Instituto Politécnico Nacional na Cidade do México.	Realização de simulações sobre a área de cobertura da rede <i>LoRaWAN</i> projetada, posteriormente comparados com os dados reais de comunicação do teste da rede pós implementação. Os dois testes apresentaram resultados teóricos e práticos que comprovam que a rede projetada irá funcionar de acordo com as especificações determinadas e transmitir todos os dados.	Design e teste de uma rede de comunicação em um <i>smart campus</i> , permitindo um melhor entendimento de como planejar a rede de comunicação de dados a ser implementada no campus.
(ZHAMANOV <i>et al.</i> , 2017)	Trabalho relacionado	Abordar ferramentas de <i>IoT</i> implantadas e com implantação futura em um <i>smart campus</i> , além da proposta de uma aplicação de aulas online – chamada <i>flipped classroom</i> - para melhorar o desempenho dos alunos.	Os autores apontam que uma pesquisa realizada com os estudantes indica sua concordância de que as vídeo aulas são melhores que aulas tradicionais. Definição de um modelo para melhoria da <i>flipped classroom</i> e, conseqüentemente, dos alunos.	Estudo sobre utilização de ferramentas de <i>IoT</i> em um <i>smart campus</i> .
(LIU; HAN, 2022)	Trabalho relacionado	Propor um sistema de monitoramento de <i>smart campus</i> baseado em <i>IoT</i> , que coleta dados ambientais e dados físicos dos estudantes. Com base no sistema proposto, analisar o status dos estudantes com base em seus dados físicos, de modo a incrementar seu status de aprendizado.	Análise do monitoramento do ar em um período de 15 dias, indicando que este monitoramento pode ajudar a controlar as atividades ao ar livre dos alunos apenas para dias com a qualidade do ar apropriada. Monitoramento do batimento cardíaco e da taxa de respiração dos alunos ao longo de uma aula de 100 minutos, para que os professores identificassem quando seu aprendizado estava entrando em estado de deterioração e tomar ações.	Sistema de monitoramento de um <i>smart campus</i> baseado em <i>IoT</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor

Continuação da Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Referência	Foco	Objetivo	Resultados/contribuições ao estado da arte	Uso dentro do contexto deste trabalho
(AGARWAL <i>et al.</i> , 2020)	Trabalho relacionado	Apresentar um framework baseado em <i>IoT</i> para implantação de um <i>smart campus</i> e propor como encaixar aplicações nele para monitoramento de casos de COVID-19 dentro da universidade.	Apresentação do <i>framework</i> proposto, com uma extensão deste sugerindo um processo de três passos para implementação de novos casos de uso, com um exemplo aplicado para sugestão de estrutura a implantar para monitoramento de COVID-19.	Sistema de monitoramento de um <i>smart campus</i> baseado em <i>IoT</i> .
(SARI <i>et al.</i> , 2016)	Trabalho relacionado	Realizar um estudo sobre <i>smart campus</i> com utilização de <i>IoT</i> e desenvolver um na Universitas PGRI Yogyakarta – Indonésia, no contexto de <i>smart education</i> , <i>smart parking</i> e <i>smart room</i> .	São apresentadas as implementações dos autores nestes setores de <i>smart campus</i> que eles sugeriram, demonstrando seu funcionamento geral, e com detalhamento mais específico do sistema de estacionamento.	Sistema de monitoramento de um <i>smart campus</i> baseado em <i>IoT</i> .
(SASTRA; WIHARTA, 2017)	Trabalho relacionado	Apresentar o design de um sistema de monitoramento baseado em <i>IoT</i> aplicado no projeto de <i>smart campus</i> na Universitas Udayana – Indonésia, para monitoramento de variáveis ambientais.	Apresentação da tela e do site feito para visualização dos dados e demonstração dos dados enviados por um sensor de temperatura ao sistema, ao longo de alguns minutos.	Sistema de monitoramento de um <i>smart campus</i> baseado em <i>IoT</i> .
(LIANG; CHEN, 2018)	Trabalho relacionado	Design e implantação de sistema de monitoramento de hospital de um <i>smart campus</i> com base em <i>IoT</i> .	Os autores mostram o desenvolvimento do sistema cliente, os sistemas de conversão e de transmissão de dados. Eles também demonstram o funcionamento geral do sistema, apresentando tabelas de dados para armazenamento de informações relevantes e diferenças existentes entre a aplicação <i>web</i> do sistema e a aplicação <i>android</i> .	Sistema de monitoramento de um <i>smart campus</i> baseado em <i>IoT</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor

Continuação da Tabela 1 – Resumo dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Referência	Foco	Objetivo	Resultados/contribuições ao estado da arte	Uso dentro do contexto deste trabalho
(DE MELO <i>et al.</i> , 2021)	Trabalho relacionado	Propor um sistema <i>IoT</i> de baixo custo para monitoramento de sistemas mini e micro de geração fotovoltaica, que possa monitorar tensão e corrente contínuas e potência alternada, além de sete variáveis meteorológicas pertinentes	Apresentação da construção e funcionamento do sistema, bem como de fotos do sistema pronto e implantado, e da interface gráfica com os dados em funcionamento. As medições realizadas e o custo foram comparados com <i>dataloggers</i> industriais e trabalhos similares encontrados na literatura.	Sistema de monitoramento de energia baseado em <i>IoT</i> .
(KHAN <i>et al.</i> , 2019)	Trabalho relacionado	Apresentar o controle distribuído, recuperação de calor de uma geração combinada de calor e potência e o monitoramento da condição da carga com base em <i>IoT</i> para uma microrrede instalada em um campus universitário.	São demonstrados como o ganho de potência térmica é proporcional ao ganho de potência elétrica, e o fluxo de água no sistema também impacta em ambos esses fatores, com um estudo sobre o fluxo de água que entrega os melhores ganhos de potência.	Sistema de monitoramento de energia baseado em <i>IoT</i> .
(KHAN <i>et al.</i> , 2020)	Trabalho relacionado	Propor um sistema de monitoramento de potência para <i>smart grids</i> assistido por <i>IoT</i> .	Apresentação de gráficos de monitoramento das variáveis tensão, corrente, potência e consumo de energia, bem como gráficos binários que indicam quando as cargas estão ligadas ou desligadas. O teste do sistema apresentado foi realizado com diferentes cargas.	Sistema de monitoramento de energia baseado em <i>IoT</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor

3. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM *SMART CAMPUS* PARA O ICTS

Nesta seção são apresentados os passos adotados para a elaboração do projeto apresentado e a implementação do sistema integrado de monitoramento e coleta do consumo energético (SIMCCE) por meio da arquitetura *IoT*, além das decisões tomadas ao longo da sua formulação e, principalmente, a construção de um esquema que permita a réplica/implementação do sistema em outras universidades.

3.1. INFRAESTRUTURA PRÉ-EXISTENTE NO CAMPUS

O primeiro passo necessário para a implementação de um sistema de monitoramento dentro de um campus universitário é um estudo de sua infraestrutura, para um maior entendimento das características específicas e os sistemas que podem ser monitorados. Por meio desse levantamento, é possível entender as necessidades e limitações associadas ao campus, como por exemplo maior controle da geração de energia PV e alcance da tecnologia de comunicação de dados utilizada, respectivamente. A seguir são apresentadas as principais características do campus do ICTS que foram analisadas para o projeto e a implementação da arquitetura *IoT* apresentada. Dentro destas características, são identificados os dados físicos do campus, como tamanho e quantidade de estudantes, bem como tecnologias, como os *hardwares* utilizados nos sistemas de monitoramento de variáveis que já existiam no campus anteriormente.

O campus do ICTS possui atualmente 2 cursos de graduação e 5 programas de pós-graduação, com um total de aproximadamente 700 estudantes distribuídos entre a graduação e a pós-graduação. Ambos são programas integrais, ou seja, suas aulas podem ocorrer no período da manhã, da tarde ou mesmo da noite – um detalhe importante na análise posterior dos dados de consumo do campus. A área total do campus é de 16.172 m², dos quais 7.600 m² são de área construída. Para um campus universitário, é um tamanho relativamente pequeno e uma quantidade relativamente baixa de cursos oferecidos. Tomemos a Facens, um centro universitário também localizado em Sorocaba, como comparação. A Facens possui 19 programas de graduação e 22 programas de pós-graduação, com mais de 4.000 alunos e uma área total de 100.000 m² (FACENS, [s. d.]). Outro exemplo de comparação é o campus da

Unicamp, que possui um *smart campus* em desenvolvimento: mais de 3,5 milhões de m² de área com 559.000 m² de área construída, além de aproximadamente 53.107 alunos entre seus três campi – Campinas, Piracicaba e Limeira –, dos quais cerca de 41.000 frequentam o campus de Campinas (UNICAMP, [s. d.]). Estes dados comparativos são importantes para entender que, sendo o ICTS um campus menor, a infraestrutura necessária para seu monitoramento também é delimitada de acordo com este tamanho. A Tabela 2 apresenta uma melhor visão comparativa entre os *smart campi* citados.

Tabela 2 – Comparação entre *smart campi*

<i>Smart campus</i>	Data de início	Tamanho do campus	Quantidade de alunos	Aplicações do campus
ICTS	2022	16.172 m ² total 7.600 m ² construídos	≅ 700	Monitoramento de consumo de água, das variáveis climáticas, do sistema de geração PV e do consumo de energia
Facens	2014	100.000 m ² total	≅ 4000	Monitoramento da caixa d'água, lixeira inteligente, variáveis climáticas, jardim vertical usina PV, aerogerador, telhado verde, coletor de eletroeletrônicos, Libelium, Jardim Prédio C, consumo de energia, <i>smart parking</i> , consumo de água, iluminação do anel viário
Unicamp	2018	3,5 milhões de m ² total 559.000 m ² construídos	≅ 41000	Localização em tempo real do circular interno e do ônibus moradia; monitoramento de ocupação do estacionamento e da fila dos restaurantes; painéis informativos, <i>smart lock</i> ; maquetes táteis urbanas e de edifícios; gestão do sistema de abastecimento de água e contador de pulsos para hidrômetro.

Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir, é destaca a infraestrutura dos processos físicos e elementos/sistemas de monitoramento existentes no campus e que possuem relevância dentro do contexto de um *smart campus*. Estes sistemas de monitoramento podem ser divididos em quatro diferentes grupos, de acordo com qual processo físico está sendo monitorado por eles, sendo os processos físicos atualmente com infraestrutura para serem monitorados: consumo de água, variáveis meteorológicas, geração de energia fotovoltaica (PV), e consumo de energia. É importante destacar que no contexto atual

do ICTS estes são os processos que podem aumentar e/ou melhorar a gestão energética e consumo do campus, e por isso foram definidos como os processos a serem monitorados. Isso não impede que outros processos venham a ser monitorados no futuro, como por exemplo gás, alocação ótima de vagas do estacionamento, desperdício de comida – de maneira similar ao que é realizado em outros campi –, mas a adição destes novos processos são linhas de discussão que levam tempo, e o trabalho proposto aqui caracteriza apenas o estágio inicial do nosso *smart campus*.

A medição de água é realizada por meio da utilização de hidrômetros, e sensores de vazão e pressão. Os modelos utilizados de cada um destes instrumentos de medição são, respectivamente, um *Itron Unimag Cyble*, um *YF-B6*, e um *Ebowan USP-G41* 1.2 MPa. O primeiro deles – o hidrômetro – possui como características principais as seguintes: robustez, adaptabilidade, leituras rápidas, vazamentos, detecção de fluxo reverso e fraudes, detecção de fraudes magnéticas. Com relação à comunicação, seus dados podem ser requisitados por meio de sistemas de rádio *walk-by*, coleta de dados fixa via rádio, sistema *M-Bus* ou qualquer sistema de comunicação baseado em pulsos na saída – como, por exemplo, um sensor ótico, que é a solução adotada para leitura de seus dados no ICTS.

O sensor de vazão trabalha com tensão entre 5 e 15 V_{cc} e corrente máxima de 15 mA, uma faixa de fluxo de vazão de 1 a 30 L/min, e uma temperatura de operação variando de 0 a 80°C, com temperatura máxima de 120°C para o líquido fluindo em seu interior. Sua comunicação se dá por meio de um fio de dados com tensões entre 0 e 5 V_{cc}, sendo, portanto, compatível com uma vasta gama de microcontroladores. O último instrumento de medição utilizado no monitoramento do consumo de água – o sensor de pressão – pode ser conectado facilmente a placas como o Arduino, *Raspberry Pi*, ESP32 e similares, comunicando suas leituras por meio de uma saída analógica que varia sua tensão entre 0 e 5 V_{cc}, assim como o sensor de vazão. Este sensor de pressão é construído com uma liga de aço carbono e pode trabalhar com escalas de pressão de 0 a 1,2 MPa, possuindo um intervalo de trabalho de temperaturas variando de 0 a 85°C. As variáveis de consumo de água são medidas na entrada de água do campus e em dois pontos adicionais, nos prédios D e H.

No tocante à medição das condições meteorológicas do campus, o ICTS possui uma estação meteorológica instalada no telhado de um de seus prédios. O modelo utilizado é a *Smart Weather Sensor* modelo WS502-UMB, produzido pela companhia *G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH*. Ela pode medir parâmetros como

temperatura, umidade relativa, pressão do ar, velocidade e direção do vento, e radiação. Para realização das medições, são utilizados sensores com tecnologias ultrassônico (vento), NTC (Temperatura), capacitivo (umidade relativa - RH), MEMS capacitivo para pressão do ar, piranômetro Lufft/radiação. A interface de comunicação da estação é baseada no padrão RS-485 *half-duplex* de dois fios, com suporte para os protocolos UMB-ASCII, Modbus-RTU, Modbus-ASCII, XDR e SDI-12. Sua construção é realizada em conformidade com a norma IEC 61724-1:2017 classe C, e outras de suas especificações dignas de nota incluem detecção de vento com construção à prova de pássaros, sensor meteorológico compacto tudo-em-um, baixo consumo de potência, aquecedor, proteção contra radiação aspirada, operação livre de manutenção, protocolo de comunicação aberto.

Os dados meteorológicos são inicialmente extraídos da estação por meio de um *datalogger* modelo CR800, da *Campbell Scientific*. Este *datalogger* é utilizado para ler dados de sensores recebidos em sua entrada e então transmiti-los por meio de seus periféricos de comunicação. Para isso ele é equipado com 6 entradas analógicas de extremidade única ou 3 entradas analógicas diferenciais; 4 entradas/saídas (I/Os) digitais ou 2 portas COM RS-232 e suporte aos seguintes protocolos: PakBus, AES-128 Encrypted PakBus, Modbus, DNP3, FTP, HTTP, XML, HTML, POP3, SMTP, Telnet, NTCIP, NTP, web API, SDI-12, SDM. A estação meteorológica se localiza em cima do prédio H, o mais alto do campus.

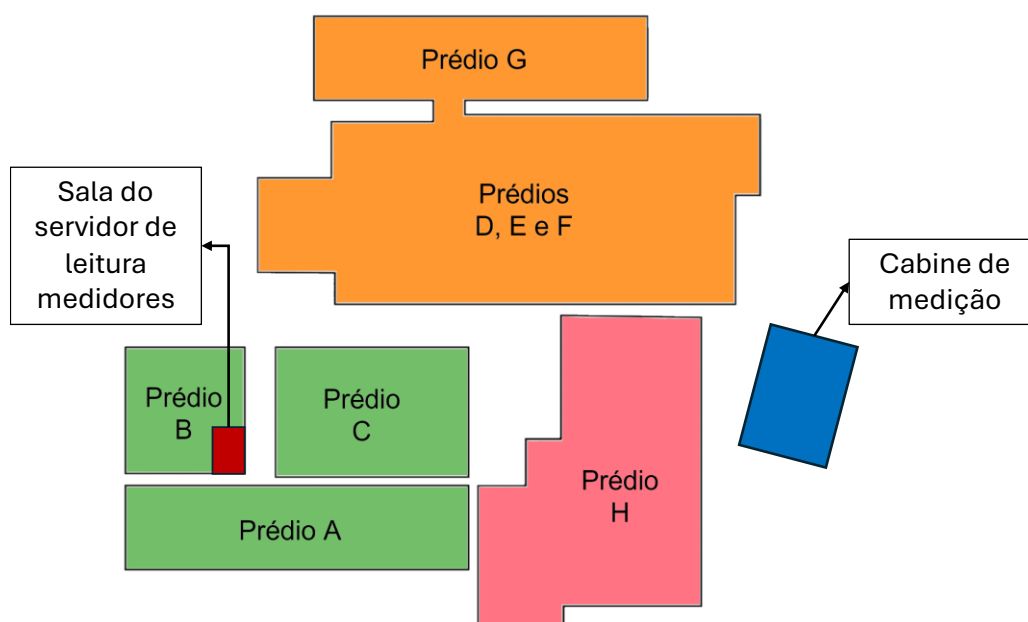
Os dados da geração PV do campus são coletados de um inversor solar da Huawei, modelo SUN2000-20KTL-M0, com potência nominal de 20 KW e comunicação via RS-485 utilizando o protocolo Modbus RTU e via *WLAN*. O inversor também é construído seguindo regulamentações de segurança – EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC62116 – e diversos padrões para conexão na rede, como G98, G99, EN 50438, EM 50549, AS 4777, ABNT, entre outros. O sistema de geração PV foi instalado no telhado compartilhado pelos prédios E/F.

Por fim, o consumo de energia do campus é monitorado atualmente por meio de 11 medidores *Sirax BM1200*, produzidos pela *Camille Bauer Metrawatt AG*. Os 11 medidores estão distribuídos ao longo do campus de modo a monitorar o consumo de seus diferentes setores e prédios, e possuem a capacidade de coletar uma grande quantidade de parâmetros elétricos. Para o monitoramento das correntes são utilizados transformadores de corrente do tipo janela, variando o modelo de acordo com as correntes registradas em cada barramento monitorado, porém o acesso aos

modelos cada um não foi possível devido ao difícil acesso a estes transformadores na cabine de medição. A comunicação nestes medidores é realizada por uma interface RS-485, onde os dados são comunicados por meio do protocolo Modbus RTU.

A Figura 1 demonstra os prédios existentes no ICTS, com as cores identificando seu agrupamento dentro do sistema de medição. Ela também auxilia em um melhor entendimento da localização de cada um dos outros processos monitorados. A Tabela 3 identifica cada um dos 11 medidores – a exceção do medidor número 2, que não foi identificado –, com um resumo dos circuitos e/ou áreas do campus medidos por eles. Esta caracterização dos medidores também é um passo extremamente importante na construção da arquitetura, pois saber quais sistemas e/ou prédios estão sendo monitorado por cada medidor é o que permite uma melhor interpretação dos dados coletados, vale a pena destacar que esse detalhamento foi atendido durante a evolução desta dissertação. Futuramente, é importante a expansão do sistema de monitoramento com adição de novos medidores, para aumentar ainda mais o controle e granularidade da medição realizada no campus.

Figura 1 – Prédios do campus e seu agrupamento nas medições realizadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 – Identificação dos 11 medidores instalados no campus para monitoramento do consumo de energia

Número da ID do medidor	Setor sendo monitorado
1	Quadro geral de baixa tensão, que contém todos os subsistemas do edifício H
2	Ainda não identificado
3	Quadro geral da sala de pesquisa do 4º andar do edifício H
4	Quadro de distribuição de ar-condicionado para parte do edifício H
5	Quadro de distribuição de ar-condicionado para o restante do edifício H
6	Quadro geral de distribuição estabilizador que contém todos os quadros de distribuição das salas de servidores do edifício H
7	Quadro geral de distribuição localizada no edifício A
8	Quadro de distribuição de ar-condicionado para os edifícios D, E, F e G
9	Quadro geral de baixa tensão, que contém todos os edifícios A, B, C, D, E, F e G, além de iluminação externa e subsistemas de tanques de água
10	Quadro de distribuição geral para laboratórios nos edifícios E e F
11	Quadro geral de distribuição dos edifícios E e F

Fonte: Elaborado pelo autor

Os 11 medidores estão localizados na cabine de medição indicada na Figura 1, diretamente conectados à saída dos barramentos que se espalham pelo campus. Quando a leitura dos dados de consumo era realizada no *software* proprietário de comunicação da fabricante dos medidores, o *software* rodava em uma sala de servidores localizada no prédio B do campus. Devido à distância física entre o computador onde o *software* rodava e a cabine de medição, a transmissão dos dados é realizada por meio de um único longo cabo de comunicação serial, que realiza a comunicação com todos os medidores por um único ponto.

O Anexo A possui um maior detalhamento das características técnicas dos sistemas de medição da estação meteorológica, do sistema de geração PV conectado à rede elétrica e dos medidores utilizados para registro do consumo de energia no campus. Já no Apêndice A, podem ser vistos os dois diagramas unifilares dos barramentos principais do campus com identificação dos sistemas presentes dentro de alguns quadros de distribuição local, além da localização dos medidores dentro

dos barramentos. É importante pontuar que nem todos os medidores se encontram identificados nestes diagramas, e isso se deve ao fato de que nem todos os quadros de distribuição do campus são ilustrados nos mesmos.

3.2. A ARQUITETURA

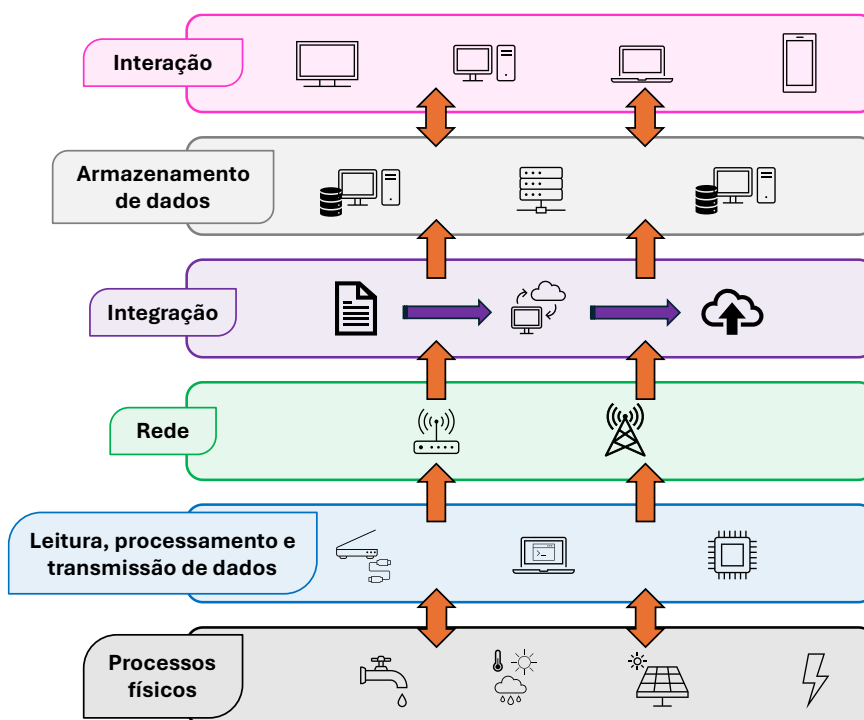
Após a identificação dos processos físicos de interesse para o monitoramento do campus e que possuem uma infraestrutura prévia de medição, nesta seção é apresentada a arquitetura *IoT* desenvolvida para a implementação no ICTS, com o objetivo de monitorar estes processos de maneira inteligente e contribuir para a evolução do campus rumo a se tornar um *smart campus*. A ideia principal do sistema é que a arquitetura seja flexível, escalável e de baixo custo, servindo como a estrutura principal da base do *smart campus* em desenvolvimento no ICTS.

Pensando nestas características, o modelo de arquitetura que mais se encaixa é o modelo de camadas, uma vez que cada camada compartimentaliza os componentes que compartilham uma funcionalidade semelhante, tornando a compreensão do modelo muito clara, de modo a entender onde agir quando qualquer problema potencial ou inovações devem ser avaliados. Além disso, a organização em camadas permite um núcleo generalizado na arquitetura, de modo que, quando um novo aplicativo for implantado, a pessoa que estiver trabalhando nele terá de se preocupar apenas com algumas camadas – como coletar dados e como visualizá-los –, uma vez que o processamento e o armazenamento de dados são construídos de tal forma que são genéricos o suficiente para tratar qualquer dado recebido, desde que seja enviado no formato esperado.

A arquitetura em questão se baseou no modelo proposto por Proença em (PROENÇA, 2022), que a constrói com base em 5 camadas distintas: dispositivo, rede, integração, armazenamento de dados e interação. No trabalho supracitado, a arquitetura foi implantada no campus do ICTS, de modo que, o desenvolvimento do presente trabalho se baseia na implementação do sistema de monitoramento de consumo de energia na arquitetura previamente implementada, e não na definição da arquitetura em si. Desta maneira, algumas das escolhas de design – redes adotadas, uso do *Node-RED* e *Grafana*, por exemplo – derivam da adoção prévia destas ferramentas na implementação inicial da arquitetura, e a contribuição referente à arquitetura é a proposta de melhorias, sendo a primeira destas melhorias a quebra da

camada de mais baixo nível lógico – dispositivo – em duas camadas separadas: leitura, processamento e transmissão de dados; e processo físico. Este aumento nas camadas permite um melhor entendimento e flexibilidade do sistema como um todo, devido à separação do processo físico sendo medido do dispositivo que o mede e como este processo de medição é realizado. Portanto, como pode ser visto na Figura 2, a arquitetura proposta e implementada possui 6 camadas: processo físico; leitura, processamento e transmissão de dados; rede; integração; armazenamento de dados; e interação. Na figura em questão, as camadas mais baixas identificam os níveis lógicos mais baixos, e as setas indicam troca de dados entre camadas.

Figura 2 – Arquitetura IoT implantada no ICTS



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentadas cada uma das camadas em maiores detalhes:

Processo físico: nesta primeira camada estão contidos todos os processos físicos que são monitorados, juntamente com os sensores que coletam os dados de medição relativos a cada um dos processos. Como pontuado anteriormente, os processos físicos atualmente sendo monitorados no campus são consumo de água, condições meteorológicas, geração de energia PV e consumo de energia. Todos estes

processos físicos possuíam sistemas de medição e coleta de seus dados previamente instalados, o que facilitou a implementação do restante da arquitetura para seu monitoramento de maneira mais inteligente e com a construção de um histórico dos dados. É interessante pontuar que existem diversos outros processos físicos que atualmente não são monitorados devido à inexistência de uma infraestrutura apropriada para isso e que futuramente devem fazer parte do *smart campus*, como por exemplo qualidade do ar, presença em sala de aula, notificações do sistema de incêndio, sistema de segurança do campus, etc.

Leitura, processamento e transmissão de dados: esta camada é composta pelos dispositivos que são aplicados para leitura e processamento inicial dos dados disponibilizados pelos sensores que monitoram os processos físicos e sua posterior transmissão para a integração. Cada dispositivo requisita periodicamente os dados das principais variáveis monitorados em cada um dos processos físicos em intervalos pré-determinados, e dentro de seu próprio *hardware* adiciona campos adicionais a cada um dos dados. Estes campos são necessários para caracterizar cada um dos dados lidos, sendo vitais no seu processamento pois permitem sua organização de modo a garantir que eles sejam corretamente armazenados nos bancos de dados. Após o processamento, cada um dos dispositivos envia os dados para a integração por meio da rede.

Para leitura dos dados de consumo de água os dispositivos definidos foram microcontroladores modelo ESP32, sendo instalado um microcontrolador em cada um dos pontos de medição, com conexão direta de suas I/Os aos sensores para requisição dos dados. De maneira similar, uma ESP32 também foi instalada em comunicação direta com o *datalogger* que reúne as informações da estação meteorológica, requisitando seus dados por meio de uma comunicação serial. Para a leitura dos dados da geração PV foi conectada uma *Raspberry Pi W 2* ao inversor conectado às placas PV, que realiza a requisição dos dados lidos por meio do protocolo Modbus RS-485. Por fim, os dados do consumo de energia são os únicos que atualmente não tem sua leitura realizada por um microcontrolador, de modo que, a leitura dos dados é feita por meio de um notebook que roda um algoritmo em *Python* funcionando como o mestre Modbus da rede para leitura dos dados de cada medidor.

O notebook em questão foi instalado na mesma sala de servidor localizada no prédio B na qual se situa o computador onde rodava o *software* de leitura proprietário

da fabricante dos medidores, se aproveitando do ponto de conexão serial previamente instalado ali. Esta decisão de utilizar um computador ao invés de um microcontrolador – situação ideal definida pela arquitetura – se deve à necessidade deste sistema em particular de possuir uma memória de longo prazo e mais confiável, já que o sistema realiza um *backup* dos dados antes de enviá-los à integração. Caso este problema seja resolvido no futuro, é encorajado que o notebook seja substituído por um microcontrolador, de modo a diminuir o custo geral de construção do sistema e também sua complexidade.

É importante destacar neste trecho do trabalho que os sistemas de monitoramento implementados para leitura dos dados de consumo de água, estação meteorológica e geração PV foram previamente realizados em trabalhos de conclusão de curso de outros alunos (MATOS, 2022; MORAES, 2023; UEMURA, 2023). O foco desta dissertação é na apresentação da implementação do monitoramento de consumo energético e apresentar análises, mesmo que iniciais, dos dados que o sistema de monitoramento coleta, de modo que, os três sistemas pré-existentes são apresentados para contextualizar sua existência e como eles funcionam, mas a contribuição do presente trabalho com relação a eles se dá por meio de análises conjuntas de seus dados. Para maiores detalhes do formato dos *frames* de comunicação adotado por cada um destes sistemas, consultar as referências citadas anteriormente.

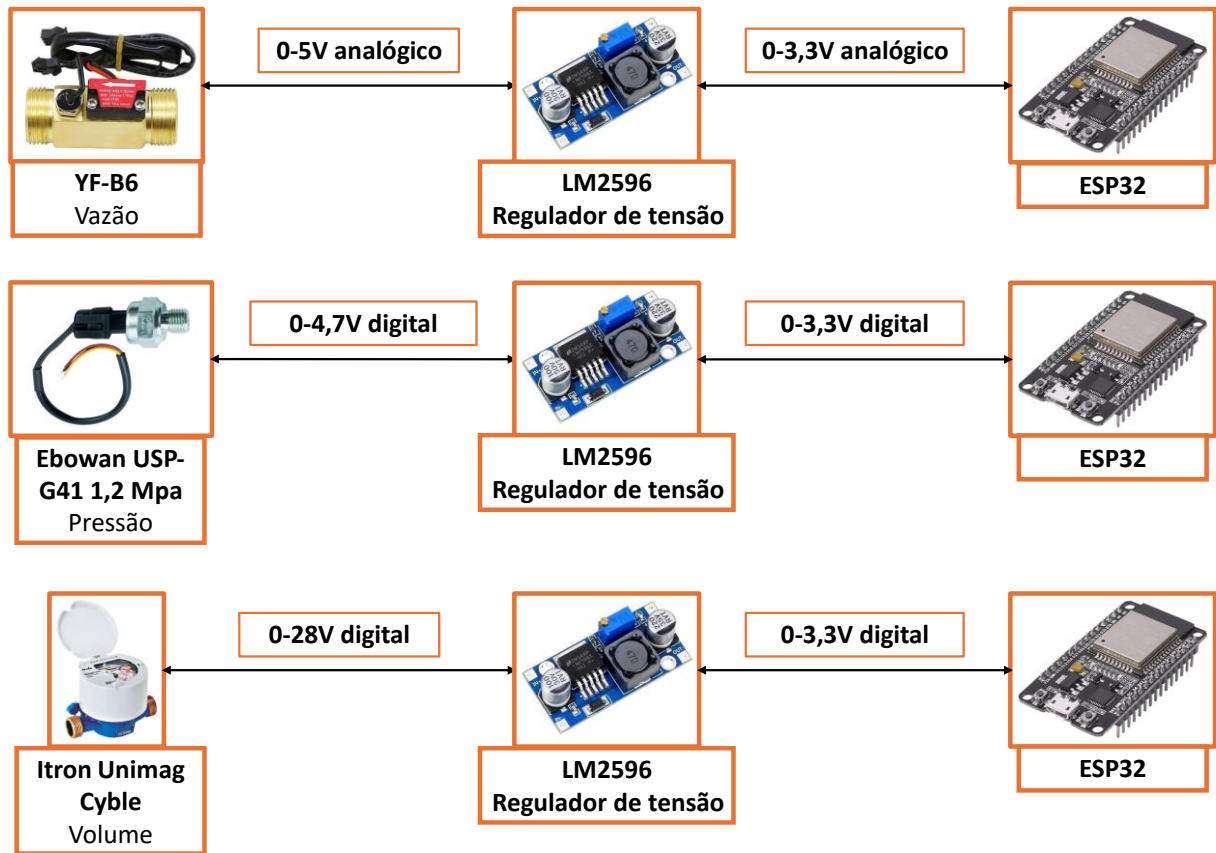
A Tabela 4 a seguir apresenta um resumo de cada um dos processos monitorados, os sensores e dispositivos adotados para isso além da comunicação adotada entre eles. Estas informações também são ilustradas nas Figura 3, Figura 4 e Figura 5 para os processos físicos de consumo de água, condições meteorológicas e geração PV, respectivamente. Para o monitoramento do consumo de energia este diagrama é abordado em seções posteriores do trabalho, podendo ser visto na Figura 9.

Tabela 4 – Resumo das camadas de Processo Físico e Leitura, processamento e transmissão de dados e da comunicação adotada entre elas

Sistema monitorado	Variáveis monitoradas	Sensores adotados	Dispositivos utilizados na leitura dos dados	Comunicação adotada entre processo físico e dispositivo
Consumo de água	Vazão de água	YF-B6	ESP32	0-5V analógico, por meio de um regulador de tensão abaixando para 0-3,3V
	Pressão da água	Ebowan USP-G41 1,2 Mpa	ESP32	0-4,7V digital, por meio de um regulador de tensão abaixando para 0-3,3V
	Volume de água	Hidrômetro Itron Unimag Cyble com sensor ótico	ESP32	0-28V digital, por meio de um regulador de tensão abaixando para 0-3,3V
Estação meteorológica	Temperatura do ar, radiação global, umidade relativa, velocidade do vento etc.	Smart Weather Sensor modelo WS502-UMB	ESP32, conectado ao Datalogger que extrai os dados da estação	Comunicação serial com o Datalogger
Sistema de Geração PV	Potências ativa, reativa e aparente, tensão de linha, eficiência, frequência da rede etc.	Inversos solar Huawei, modelo SUN2000-20KTL-M0	Raspberry PI Zero W 2	Comunicação serial via conversor Modbus RTU/RS-485 serial
Consumo de energia	Tensão eficaz, corrente, fator de potência, potências ativa, reativa e aparente, distorção harmônica de tensão e corrente, energia importada e exportada etc.	Medidores Sirax BM1200	Notebook	Comunicação serial via conversor Modbus RTU/RS-485 serial

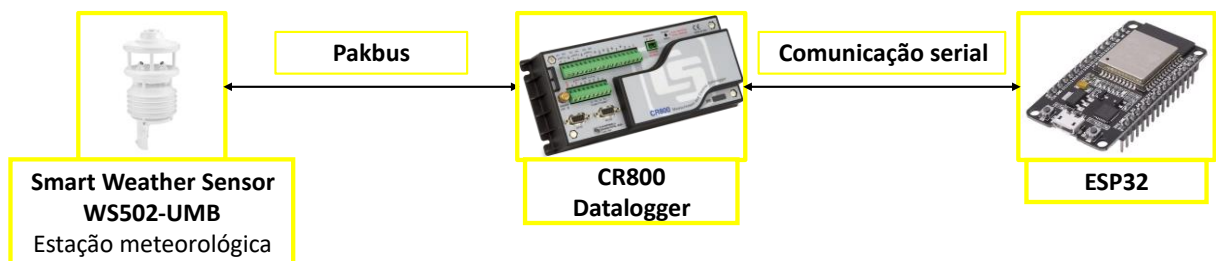
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3 – Diagrama das camadas mais baixas para o monitoramento do consumo de água



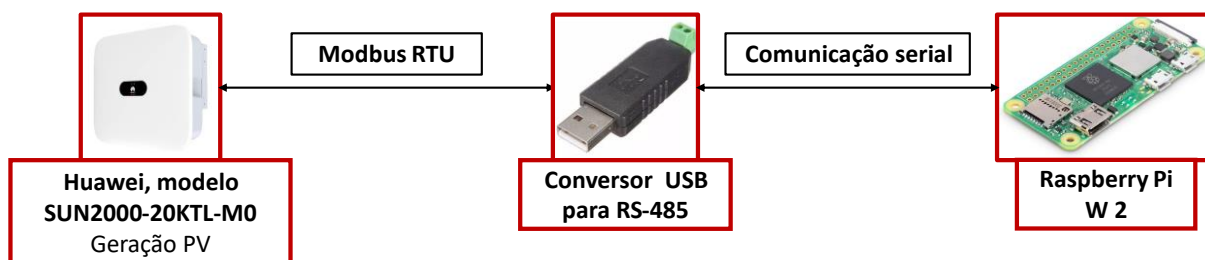
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4 – Diagrama das camadas mais baixas para o monitoramento das condições ambientais



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 – Diagrama das camadas mais baixas para o monitoramento da geração PV



Fonte: Elaborado pelo autor

Rede: esta camada é caracterizada pela rede de comunicação utilizada para transmissão dos dados entre as camadas de leitura, processamento e transmissão de dados e da integração. Após uma avaliação dos prós e contras das tecnologias disponíveis, a rede escolhida foi o Wi-Fi. As desvantagens associadas ao seu uso são baixo alcance quando uma rede *mesh* ou repetidores não estão disponíveis e o alto consumo dos dispositivos Wi-Fi (PERRY, 2022). A primeira delas não é um problema no contexto do ICTS, devido ao seu tamanho relativamente pequeno, e a segunda também possui pouco impacto no contexto do campus, já que os dispositivos de medição não estão posicionados em locais afastados e, portanto, não precisam contar com bateria para funcionarem, estando diretamente conectados a fontes de energia. Além disso, ao utilizar o Wi-Fi como rede de comunicação, a arquitetura se aproveita da infraestrutura da rede Wi-Fi pré-existente no campus, e possui conexão direta à integração, que roda em um servidor interno dedicado e que se localiza dentro da rede Wi-Fi, não podendo, portanto, ser acessado diretamente por outras redes de comunicação.

Outra alternativa disponível para a rede de comunicação é o *LoRaWAN*, que não possui as limitações previamente apresentadas do Wi-Fi, mas necessita de um *gateway* para transmitir os dados até o servidor da integração e não é recomendado em sistemas de monitoramento de dados em tempo real (PERRY, 2022). Devido às diferenças de prós e contras das duas tecnologias mencionadas, o sistema de monitoramento do consumo de água foi elaborado com comunicação via *LoRaWAN* – para um teste prático comparativo entre as redes –, enviando seus dados por meio de uma plataforma chamada *Kore*. O protocolo de comunicação adotado para ambas as redes foi o *MQTT*.

Integração: a camada de integração pode ser considerada o “coração” da operação da arquitetura, pois é responsável por receber os dados coletados, processados e enviados por seus dispositivos de leitura e processá-los novamente para depois escrever estes dados nos bancos de dados adotados. Para isso foi adotado o *Node-RED*, uma ferramenta de programação projetada para conectar dispositivos de *hardware*, *APIs* e serviços online, sendo um editor de fluxo em blocos baseado na web. Os dados são recebidos no formato *Json*, contendo campos adicionais que permitem sua caracterização. Os campos que são adicionados a cada um dos dados pelos dispositivos que os monitoram e seus tipos de variáveis são, respectivamente:

- ID: ID do dispositivo que gerou o dado em questão – *string*;
- Valor: valor da medição em si – *string*;
- Aplicação: número ou nome da aplicação onde está sendo feita a medição – *string*;
- Local: local do campus onde o dispositivo que gerou o dado está – *string*;
- Tipo: tipo de variável ou dispositivo que gerou o dado – *string*;
- Variável: qual a variável que está sendo enviada – *string*;
- Unidade: unidade de medida utilizada para quantificar a variável – *string*;
- Rede: qual rede de comunicação está sendo utilizada para envio deste dado – *string*;
- Professor: nome do professor responsável pela aplicação – *string*.

Este formato de envio dos dados foi definido na concepção do projeto devido ao banco de dados inicialmente adotado, que foi o *InfluxDB*. Como ele é um banco de dados de série temporal, todos os dados podem ser armazenados e integrados em um único *bucket* do banco – a estrutura do *Influx* análoga a uma tabela de um banco *SQL* –, sendo os campos definidos acima a ferramenta para que cada conjunto de dados do banco pudesse ser filtrado dos dados de outras aplicações presentes no banco. Além disso, graças à essa formatação e o modo como a integração foi construída, o *flow* para processamento e escrita dos dados no banco foi realizado com uma construção genérica, ou seja, uma única linha de código construída pode receber

o dado vindo de quaisquer aplicações e processá-lo, sem a necessidade de que novas lógicas sejam adicionadas no *flow* quando novas aplicações vierem a ser desenvolvidas e integradas na arquitetura apresentada, desde que elas enviem seus dados no formato predefinido. Desta forma, a integração consegue lidar com os dados vindos das aplicações sem ter de se preocupar com qual delas os estão enviando e o banco se mantém organizado e principalmente integrado.

Armazenamento de dados: esta é a camada na qual estão localizados os bancos de dados da arquitetura, utilizados para armazenamento dos dados coletados de todos os sistemas atualmente sendo monitorados. Inicialmente, na arquitetura proposta e implementada por Proença (PROENÇA, 2022), o banco de dados escolhido e utilizado foi o *InfluxDB*. Sua escolha se deve à sua característica de ser um banco de dados de séries temporais, o que significa que é um banco de dados otimizado para trabalhar com dados que possuam um *timestamp* ou séries temporais de dados – dados agregados ao longo do tempo e que a cada vez que são coletados possuem um *timestamp* associados a eles. Esta é exatamente a característica dos dados monitorados no campus, e por isso o *InfluxDB* foi uma boa escolha de banco para armazenamento dos dados monitorados.

Porém, ao longo da elaboração e implementação do monitoramento do consumo de energia, foi percebido que a característica de ser um banco de dados de séries temporais acaba sendo também uma desvantagem do *InfluxDB*. Isso porque, cada dado escrito no *Influx* possui uma coluna de *timestamp* associada a ele, e esta coluna só pode ser escrita pelo próprio banco e é escrita com o *timestamp* do horário no qual o dado foi escrito no banco. Esta característica faz com que, não só o dado possa ser escrito com um *timestamp* que não reflita necessariamente o horário da leitura do dado – caso ele chegue com atraso no banco – como também impede qualquer tipo de *backup* posterior de dados que possam ter sido perdidos por qualquer motivo. Quando algum dado é perdido e o banco utilizado é o *InfluxDB*, mesmo que o dispositivo possua um *backup* local, um dos seguintes cenários acontece:

- 1) O dado salvo é escrito no banco com o *timestamp* do momento no qual está sendo enviado ao banco, e, portanto, seu *timestamp* é totalmente ilegítimo;
- 2) O dado é coletado e salvo localmente, mas se torna inútil, pois não pode ser enviado com o *timestamp* correto para o banco e, portanto, não pode ser utilizado.

A solução para este problema, e que é uma das alterações/melhorias propostas como inovação da arquitetura original é a substituição do banco de dados *Influx* pelo uso do *MySQL*. Este banco foi adotado paralelamente ao *Influx* porque sua estrutura baseada em tabelas permite uma maior flexibilidade na definição das colunas e os dados inseridos nas mesmas. Sua adoção, porém, também vem com algumas desvantagens, da qual a principal é a maneira na qual suas *queries* para leitura e escrita de dados são elaboradas, o que impossibilita que um único *flow* genérico seja adotado na integração para processamento dos dados, o que acaba por tirar parte da generalidade ideal da arquitetura.

Interação: por fim é apresentada a interação, a camada de mais alto nível lógico e na qual é implementada uma interface para interação homem máquina (*HMI*), por meio de uma página web onde os principais dados coletados e armazenados são apresentados. A interface foi construída por meio da utilização do *Grafana*, uma aplicação web com funcionalidades para análise, monitoramento e visualização de gráficos, com intervalos de tempo customizados para visualização dos dados. O *Grafana* foi a plataforma escolhida porque é um *software open-source* que possui grande flexibilidade para construção de visualizações e configuração de alertas, sendo também compatível para trabalhar em conjunto com uma gama de diferentes bancos de dados, dentre os quais *InfluxDB* e *MySQL* estão inclusos. Esta *HMI* está sendo utilizada como o website do *Smart Campus* do ICTS, onde qualquer pessoa com acesso pode visualizar informações sobre o campus e consultar dados de diversas variáveis sob monitoramento. Alguns destes dados também são disponibilizados para download por meio da *HMI*, podendo ser utilizados nos mais variados estudos. Este também é um diferencial da arquitetura proposta, pois existe um consenso na literatura de que dados reais destes tipos são difíceis de encontrar e serem disponibilizados para uso, ainda mais quando se consideram grandes períodos de tempo.

O *broker MQTT* – um *broker Mosquitto* –, a integração do *Node-RED*, o banco de dados *InfluxDB* e o *Grafana* rodam em um servidor dedicado instalado no ICTS para implementação da arquitetura. Um *flow* paralelo do *Node-RED* para integração dos dados no banco *MySQL* e o próprio banco *MySQL* foram implementados em um servidor diferente, mas que também está instalado no ICTS. Já o *gateway LoRa*

utilizada de uma plataforma online, não sendo necessária nenhuma instalação adicional no campus para que funcione.

3.3.DADOS MONITORADOS

Após a definição da infraestrutura a ser adotada na arquitetura implementada, o próximo passo lógico foi a definição dos dados que são lidos de cada um dos sistemas monitorados. Este passo é muito importante porque define quais os dados de interesse para estudo e construção de um histórico de seu funcionamento. Como pode-se deduzir, nem todos os dados que são medidos pelos processos físicos são coletados pelos dispositivos de leitura dos dados e enviados para a integração, apenas os dados definidos como os principais.

Apesar disso, é importante destacar que a arquitetura é flexível e, portanto, caso algum dos parâmetros que atualmente não são monitorados tenha sua importância ressignificada e precise passar a ser medido, não existe restrição alguma com relação a isso, podendo sua adição no banco ser feita a qualquer momento. Analogamente, caso um dos parâmetros atualmente monitorados deixe de ser interessante para as aplicações planejadas, sua leitura também pode deixar de ser feita sem nenhuma dificuldade ou sendo prejudicial ao sistema. A seguir são indicadas as principais variáveis lidas por cada um dos sistemas e seus intervalos de leitura. A definição dos intervalos de leitura – que podem ser vistos na Tabela 5 – também está relacionada com as limitações dos *hardwares* utilizados como dispositivos de leitura dos dados em cada um dos sistemas e suas aplicações, mas é apresentada neste item por ser considerada como informação intrínseca a cada conjunto de dados lidos. A lista completa das variáveis atualmente coletadas pelas quatro aplicações pode ser vista no Apêndice B.

Tabela 5 – Intervalo de leitura de cada um dos sistemas monitorados

Sistema monitorado	Intervalo de leitura	Taxa relativa ao monitoramento do consumo de energia
Consumo de água	10 minutos	1:10
Estação meteorológica	10 segundos	6:1
Sistema de Geração PV	5 minutos	1:5
Consumo de energia	1 minuto	1:1

Fonte: Elaborado pelo autor

O primeiro sistema abordado é o monitoramento de consumo de água. Seus dados são coletados em intervalos de 10 minutos, e os parâmetros lidos atualmente são vazão, pressão e volume da água, sendo estas medições realizadas no hidrômetro de entrada do fornecimento de água do campus e em dois prédios, D e H.

O próximo sistema de monitoramento é o da estação meteorológica, cujos dados são lidos em intervalos de 10 segundos. Alguns de seus principais parâmetros sendo monitorados por seus dispositivos atualmente são temperatura do ar, radiação, pressão do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, chuva acumulada e radiação global. Ela está localizada no telhado do edifício H, o mais alto do campus.

O sistema de geração PV está localizado sobre os prédios E e F, e tem seus dados coletados em um intervalo de tempo baseado no intervalo de leitura adotado por seu *software* de monitoramento proprietário, sendo o intervalo de leitura deste *software* a cada 5 minutos. O sistema de monitoramento implementado em paralelo a este *software* proprietário possui o mesmo intervalo de leitura, de modo a aproveitar os momentos nos quais as linhas de comunicação do sistema de geração estão em estado de espera para requisitar suas próprias leituras. Algumas das variáveis lidas e que merecem destaque são energia gerada, tensão e corrente da rede às quais o inversor está conectado, potências ativa e reativa, temperatura interna e eficiência. A leitura das variáveis associadas ao sistema de geração PV poderia ser realizada por meio da instalação de um medidor de energia diretamente no barramento localizado entre a saída dos painéis PV e a entrada do inversor, de modo que, não existiria mais a necessidade de respeitar o intervalo de leitura do *software* proprietário, conectado ao inversor. Esta implementação, porém, não é interessante porque o inversor fornece

algumas variáveis interessante e que não podem ser medidas por meio de um medidor de energia conectado ao barramento, como por exemplo a temperatura interna do painel.

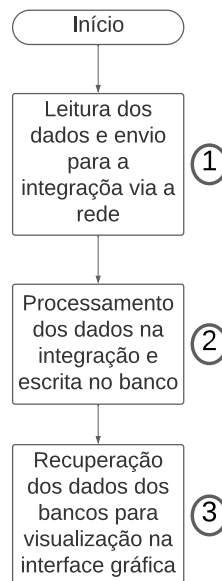
Por fim, podemos falar sobre os dados coletados pelo monitoramento do consumo de energia. Sua leitura é conduzida a cada minuto. Este sistema de leitura foi implementado em substituição ao *software* proprietário de leitura de dados da companhia que produz os medidores e que costumava rodar em um servidor no campus. Isso devido ao fato de os dados coletados e salvos por este *software* serem de difícil acesso e utilização posteriormente. Os principais parâmetros monitorados pelos dispositivos responsáveis pelo monitoramento do consumo de energia que podem ser destacados são tensão eficaz, corrente, potência ativa, potência reativa e potência aparente, fator de potência, energia importada e exportada, corrente do neutro, distorção harmônica total de tensão e corrente, entre outros, sendo a maioria destes medidos para cada uma das três fases disponíveis na rede.

3.4. FUNCIONAMENTO GERAL DA ARQUITETURA

Neste item são apresentados fluxogramas com o funcionamento geral da arquitetura, para um melhor entendimento do leitor de como os dados e processos lógicos são integrados dentro da mesma.

O fluxograma da Figura 6 apresenta o funcionamento geral da arquitetura, independente da aplicação da qual os dados estão vindo. O fluxo de operação da arquitetura é o seguinte: os dados do processo físico monitorados por seus sistemas de medição são solicitados pelos dispositivos localizados na camada de leitura, processamento e transmissão de dados, que os formatam e enviam pela rede para a integração – etapa 1 do fluxograma –; que por sua vez, processa os dados e os grava em ambos os bancos de dados – *InfluxDB* e *MySQL* – durante a etapa 2; por fim, a conexão configurada com ambos os bancos de dados no *Grafana* possibilita a recuperação dos dados para visualização a qualquer momento, bloco número 3 do fluxograma. Embora o fluxo de trabalho apresentado seja bastante simples, ele ilustra bem como é o processo da coleta, armazenamento e visualização dos dados. Apesar disso, é interessante analisar de maneira mais aprofundada o segundo e o terceiro bloco do fluxograma, respectivamente, o bloco de leitura de dados e a integração.

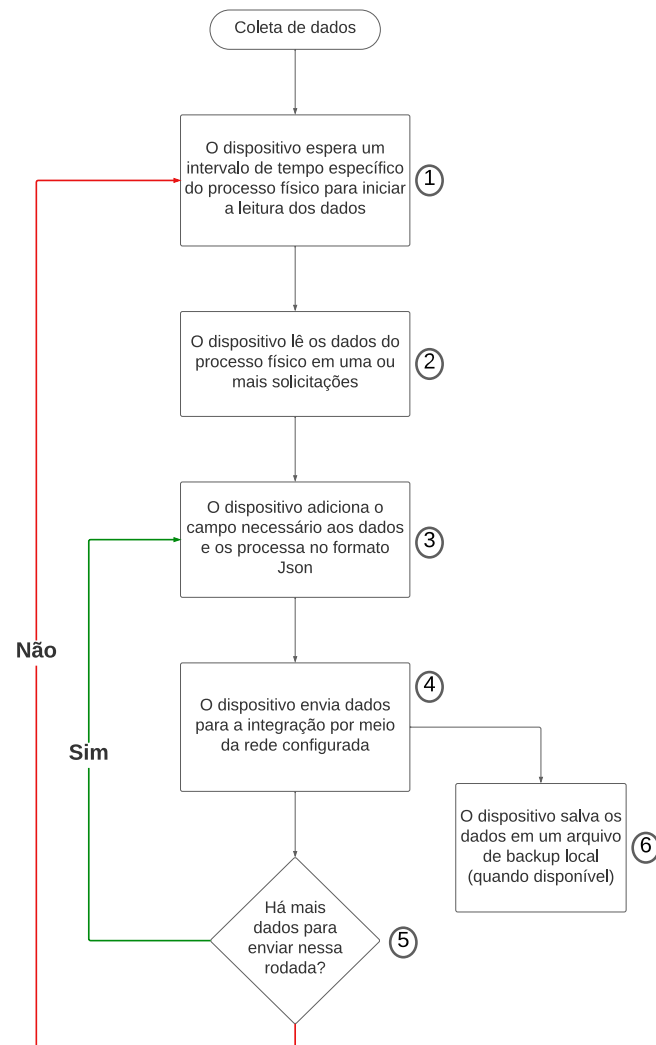
Figura 6 – Fluxograma do funcionamento geral da arquitetura IoT



Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira explicação aborda o bloco de leitura de dados, indicado pelo número 1 na Figura 6. Seu subfluxo pode ser visto na Figura 7. Os dispositivos de monitoramento do sistema físico medem e coletam os dados em tempo real – 24 horas por dia, 7 dias por semana. Os dispositivos conectados aos sistemas de monitoramento – consumo de água e energia, condições meteorológicas e geração PV – solicitam os dados periodicamente com base no intervalo de tempo de leitura determinado para cada sistema. Depois que os dispositivos coletam os respectivos dados – etapa 2 do fluxograma –, esses dados têm os campos adicionais necessários anexados a eles durante a etapa 3. O bloco de dados recém-formado é então convertido para o formato *Json* esperado na integração, também durante a etapa 3, momento em que é finalmente enviado para a integração por meio da rede configurada para o dispositivo – etapa 4 –, e é armazenado em paralelo no arquivo de *backup* local, quando existir um – etapa 6. A etapa 5 indica apenas o processo de confirmação do dispositivo de que todos os dados foram lidos para a rodada de leitura atual.

Figura 7 – Fluxograma geral de coleta de dados da arquitetura IoT



Fonte: Elaborado pelo autor

Para todos os sistemas que estão sob monitoramento, os dados são lidos em blocos durante a etapa 2 da figura – diversos parâmetros são requisitados a cada comunicação dos dispositivos com os instrumentos de medições do processo físico –, mas cada parâmetro lido é enviado individualmente para a integração. Isso quer dizer que cada parâmetro que tem sua leitura configurada e é recebido na linha de comunicação é empacotado com seus campos adicionais no formato *Json* e enviado isoladamente – etapas 3 e 4 da figura, respectivamente –, sendo que esse processo de leitura + envio só se completa após o envio do último parâmetro para a integração via rede, momento em que o dispositivo de leitura entra em estado ocioso até o próximo momento de leitura configurada – etapa 1. Esse envio individualizado de

informações é importante para garantir maior confiabilidade à arquitetura, uma vez que, em caso de falha na rede, nem todos os dados são perdidos para aquele *timestamp* específico.

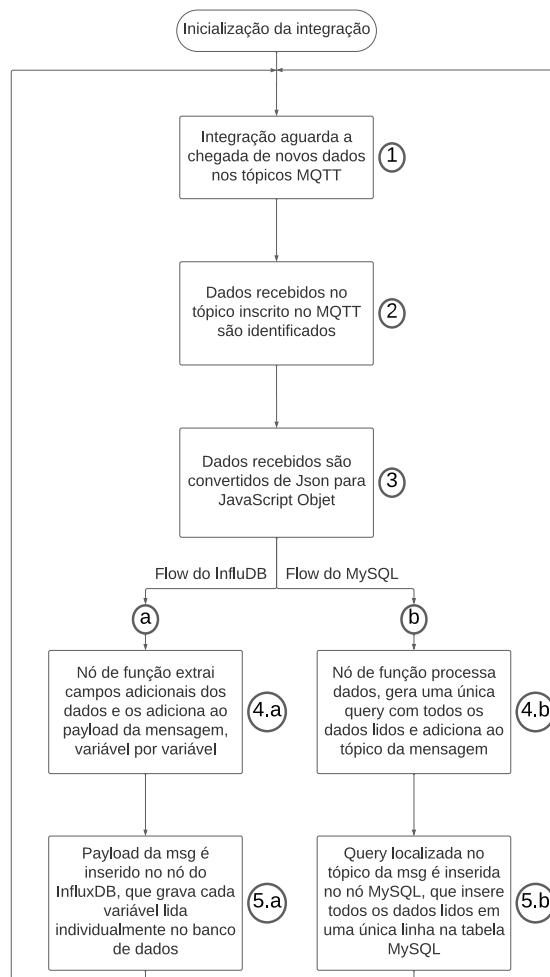
O sistema de monitoramento do consumo de energia, em oposição, envia todos os seus dados pela rede em um único bloco de arquivo *Json*. Isso é feito de forma diferente para esse sistema em particular porque os requisitos temporais são mais críticos do que os de confiabilidade. Inicialmente, quando os dados eram enviados individualmente, o tempo de leitura, processamento e envio de dados de todos os medidores para a integração somava um total de aproximadamente 3 minutos e 20 segundos, o que é muito superior ao ideal de 1 minuto apontado anteriormente. Além disso, quando novos medidores forem incluídos na arquitetura, o atraso das leituras aumentaria, criando dados tão espaçados temporariamente que algumas aplicações não seriam possíveis, além de dificultar a manutenção da mesma rotina de registro de data e hora para todos os medidores preexistentes.

Portanto, o processo de leitura de dados dos medidores de energia tem um fluxograma ligeiramente diferente. A diferença se encontra no loop da adição dos campos necessários aos dados e seu posterior envio à integração – etapas 3, 4 e 5. Para a medição de energia, após a adição de cada campo adicional aos dados, o dispositivo de leitura anexa esses dados a uma lista, que é mantida durante toda a execução desse loop. Todos os dados recebidos do processo físico são formatados e adicionados ao final da lista, até que o último dado tenha sido processado, momento em que a lista é finalmente convertida para o formato *Json* e enviada para a integração como um único arquivo. Outra diferença digna de nota entre esse fluxograma e o geral é que a leitura dos dados é feita em 4 requisições diferentes, já que o protocolo Modbus dos medidores de energia só permite a leitura de no máximo 20 parâmetros por requisição e o monitoramento de energia é a aplicação que requisita o maior número de dados atualmente – 58.

O fluxograma referente ao processamento de dados da integração, que é indicado pelo bloco número 2 da Figura 6, pode ser visto a seguir na Figura 8. O bloco com o número 2 indica a chegada de dados à integração, que chegam via *MQTT*, mesmo quando provenientes de processos que os enviam pela rede *LoRaWAN* – uma vez que o servidor on-line utilizado para essa rede está configurado para publicar os dados recebidos no *broker MQTT* via internet, de modo a integrar todos os dados em uma única rede na qual está localizado o servidor da integração e do banco de dados.

Portanto, o módulo inicial no fluxo do *Node-RED* é um nó de entrada *MQTT*, o que significa que ele tem um *broker MQTT* configurado e está inscrito em um tópico específico desse *broker*. Quando novos dados chegam a esse tópico, eles são capturados por esse nó e passados adiante no fluxo do *Node-RED*. O próximo nó localizado no fluxo recebe os dados no formato *Json* e os converte em um objeto *JavaScript* durante a etapa 3 indicada no fluxograma, para que possam ser manipulados dentro dos nós de função disponibilizados pelo aplicativo.

Figura 8 – Fluxograma geral do funcionamento da integração da arquitetura IoT



Fonte: Elaborado pelo autor

Esse objeto *JavaScript* é então inserido em um nó de função, que contém um código *JavaScript* interno onde o processamento de dados realmente acontece. Aqui

é o ponto em que o fluxograma tem suas ramificações entre os caminhos a e b, pois o processamento de dados ocorre de forma diferente para cada banco de dados.

Ao considerar o *InfluxDB*, essa função foi projetada para identificar cada um dos campos provenientes dos dados recebidos e, em seguida, extrair seu valor corretamente, durante a etapa 4.a. Todos esses campos de dados são adicionados ao *payload* da mensagem, separados por seu tipo de variável, e, em seguida, a mensagem é enviada com um único dado lido e seus campos para o próximo bloco de programa, que é um bloco de gravação de dados em um banco *InfluxDB*. Esse bloco identifica todos os campos no *payload* da mensagem e os utiliza para gravar os dados recebidos em uma nova linha no banco de dados, com o próprio banco gerando o registro de *timestamp* destes dados no momento da gravação. Todo esse processo está representado pela etapa 5.a.

Para o fluxo do *MySQL*, a função também processa os dados, mas de uma forma ligeiramente diferente, como indicado na etapa 4.b. Nesta parte do fluxo, os dados recebidos têm apenas os campos variável e valor extraídos. Em vez de enviar esses campos diretamente para a função de gravação no banco de dados individualmente, aqui eles são inicialmente adicionados a dois vetores diferentes: um contendo as variáveis, para identificação da coluna onde os dados serão inseridos, e outro contendo os valores a serem gravados nas colunas. Esses vetores são mantidos na memória da função até que todas as variáveis esperadas sejam recebidas, assim o algoritmo usa os vetores para criar uma *query SQL* que é adicionada ao tópico da mensagem, para encaminhar essa mensagem para o nó *MySQL*. Esse nó identifica a *query* no tópico da mensagem recebida e a executa, inserindo todas as variáveis no banco de dados na mesma linha – etapa 5.b. O registro de data e hora, nesse fluxo, é gerado pelo bloco de função quando o primeiro dado esperado é recebido.

Mais uma vez, os dados provenientes do sistema de medição de energia têm suas particularidades, mas apenas no fluxo do banco de dados *MySQL* – indicado pela letra b. Em primeiro lugar, isso se refere aos dados que chegam: para escrevê-los no banco de dados *MySQL*, eles são enviados à integração sem os campos adicionais determinados anteriormente. Trata-se apenas de um dicionário *Json* de pares chave-valor (*key-value*) contendo todas as variáveis do medidor em questão, sendo as chaves quem identifica as variáveis e os valores identificando quais valores foram lidos das variáveis. Além disso, a lista recebida possui dois campos adicionais: um carimbo de *timestamp*, gerado pelo dispositivo de leitura dos dados no momento

do recebimento dos primeiros dados solicitados ao medidor em questão, e um campo de ID para identificar qual medidor enviou os dados e, portanto, uma identificação de qual tabela do banco de dados os dados recebidos serão gravados.

Outro detalhe importante sobre a integração é o fato de que o fluxo do *Node-RED* utilizado para gravar as informações no banco de dados *InfluxDB* é totalmente generalizado. Isso significa que não importa qual seja a origem dos dados recebidos, nem se os dados *Json* recebidos são apenas uma variável ou uma lista de várias, o fluxo poderá extrair os campos relevantes e gravá-los no *bucket* correspondente. Essa é uma das características de generalização da arquitetura mencionadas anteriormente, pois se novos sistemas forem adicionados à arquitetura, desde que seus dados sejam enviados no mesmo formato, a integração e o banco de dados poderão gerenciá-los corretamente sem nenhuma alteração em seu código ou infraestrutura.

No caso do fluxo do *MySQL*, isso não pode ser feito devido à natureza do processamento de dados necessário para retornar uma *query SQL* e, portanto, é necessário criar um fluxo diferente para cada aplicativo inserido na arquitetura. Além disso, como cada aplicativo tem sua própria tabela, em vez de um *bucket* generalizado como no banco de dados *InfluxDB*, é necessário preparar a estrutura da tabela do banco de dados *MySQL* antes de adicionar novos sistemas de monitoramento. Caso os dados passem a ser enviados como um dicionário por todos os sistemas, assim como é feito pelo monitoramento de energia, isso possibilitaria que o bloco de processamento dos dados para o banco *MySQL* se tornasse generalizado também.

E, por fim, outro detalhe sobre a Figura 8: o fluxograma indica um retorno ou *feedback* após a gravação dos dados nos bancos de dados, mas esta é apenas uma ferramenta utilizada para ilustrar que esse é um processo executado continuamente. Na implementação real desse fluxo, ele tem apenas uma única linha de comunicação para encaminhar os dados, sem nenhum tipo de *feedback*.

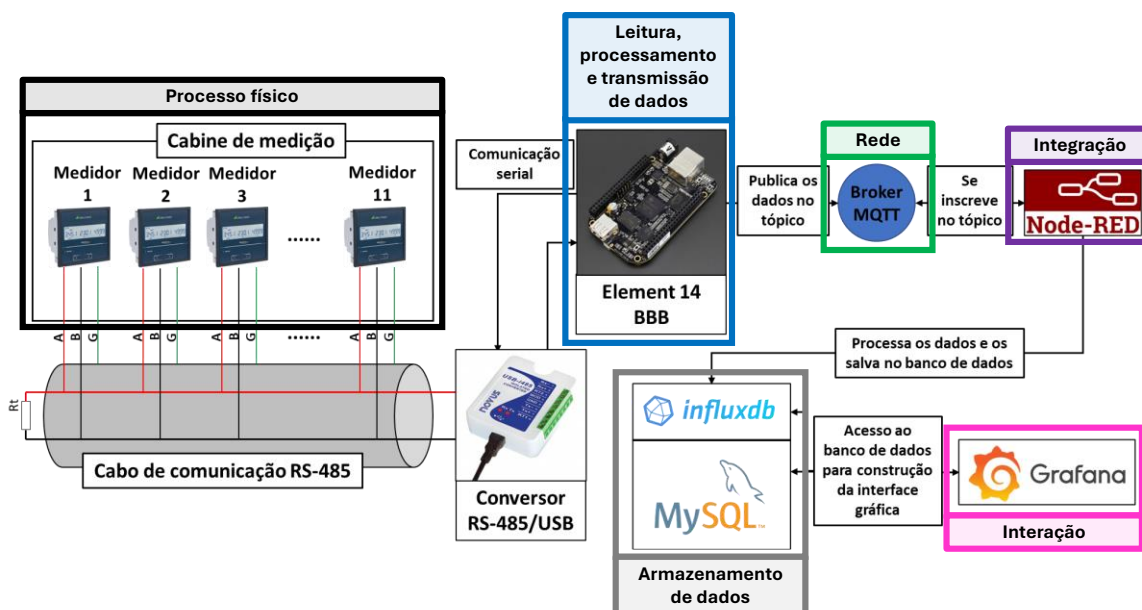
3.5.FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO

Os sistemas de coleta de dados do consumo de água, da estação meteorológica e do sistema de geração PV foram implementados em trabalhos anteriores por outros alunos (MATOS, 2022; MORAES, 2023; UEMURA, 2023),

portanto, o foco deste subitem e do próximo subitem do trabalho será, respectivamente, no funcionamento geral e em como se realizou a implementação do sistema de coleta dos dados dos medidores de energia instalados no campus e sua posterior integração com os outros sistemas, e durante as seções de resultados e discussões os sistemas serão avaliados em conjuntos.

A estrutura do sistema de medição e coleta dos dados dos medidores implementada e a localização de cada um de seus componentes dentro da arquitetura podem ser visualizadas na Figura 9. O servidor onde roda o algoritmo responsável pela leitura dos dados está indicado na figura como uma *Element 14 BBB*, mas roda atualmente em um notebook. A avaliação dos prós e contras de cada uma destas opções de servidor tornou possível concluir que o uso da Element 14 BBB é indicado como a melhor alternativa caso o projeto busque uma direção de aplicação de sistemas embarcados de menores custos, sem a necessidade de mudanças drásticas.

Figura 9 – Estrutura do sistema para coleta dos dados dos medidores



Fonte: Elaborado pelo autor

Este servidor requisita individualmente os dados de cada um dos medidores por meio de uma única linha de comunicação serial. O conversor RS-485/USB recebe esta requisição e converte a comunicação serial para RS-485, o padrão existente nos medidores, e os envia por meio de um cabo do tipo par trançado. A escolha do tipo do

cabo se deve principalmente por questões de comunicações em longas distâncias, que podem sofrer com ruídos ou interferências.

Os medidores, ao receberem o frame de requisição Modbus respondem com um frame com os dados requisitados, que são convertidos do padrão de comunicação RS-485 para serial e entregues ao algoritmo que os requisitou. O algoritmo então processa os dados, colocando-os no formato esperado pela integração, e os publica no respectivo tópico do *broker MQTT*, tópico no qual a integração está inscrita e, portanto, irá ver quando da publicação de novos dados neste tópico.

A integração então recebe os dados – em formato *Json* –, processa os dados para o formato definido no banco de dados e escreve cada um dos parâmetros lidos no banco de dados. A lista completa de parâmetros medidos ou calculados pelos medidores pode ser vista na tabela contida no Anexo B, na qual também são indicados quais destes parâmetros são atualmente coletados pelo sistema desenvolvido. Os dados, estando disponíveis no banco, podem ser acessados via *Grafana*, que possui uma conexão já configurada com o *InfluxDB* e com o *MySQL*, permitindo a criação de gráficos, de maneira a tornar possível uma visualização dos parâmetros com atualizações em tempo real.

3.6. IMPLEMENTAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA

Para a implementação do sistema de monitoramento de consumo dos medidores de energia, o primeiro passo foi a definição da linguagem de programação utilizada no algoritmo e o *hardware* que iria rodá-lo para requisição dos dados.

O sistema de leitura dos dados a ser instalado precisa ficar constantemente em funcionamento e requisitando os dados dos medidores. Por esse motivo é mais recomendado que o algoritmo criado para esta função possa rodar em *hardwares* de menor custo e capacidade computacional do que um computador – como por exemplo um *Raspberry Pi*. Esta foi uma das razões para a escolha do *python* como a linguagem de programação multiplataforma para a criação do já mencionado algoritmo.

Os outros motivos se devem à versatilidade da linguagem, à enorme quantidade de bibliotecas prontas que a linguagem oferece – que facilitam a execução das mais variadas tarefas que podem surgir na programação, pois entregam maneiras simples e diretas de executá-las – e a existência de trabalhos na literatura que já realizaram funções de comunicação similares – como o trabalho realizado em

(ARENAS, 2019) – e que tiveram seus códigos parcialmente compartilhados por seus autores, servindo como um ponto inicial da codificação. Para a programação foi utilizado também o editor de texto *Geany*, por ser gratuito, possuir um uso simples e funcionalidades poderosas.

Em seguida, foi necessário um estudo do endereçamento Modbus adotado pelos medidores, bem como o modelo de *frame* utilizado em sua comunicação, passo muito importante para saber quais dados requisitar e como requisitá-los. Isso foi possível por meio do manual fornecido pelo fabricante (AG, 2016), sendo identificado que os medidores utilizam o protocolo Modbus RTU, enviado por meio do padrão RS-485. Além da identificação da comunicação utilizada pelos medidores, o manual também fornece uma explicação detalhada da construção do frame de requisição de dados – demonstrada na Tabela 6 –, o formato do frame de resposta com os dados requisitados – demonstrada na Tabela 7 –, e o mapeamento dos parâmetros que podem ser requisitados nas memórias Modbus para sua leitura – Anexo B.

Tabela 6 – Formato detalhado do frame Modbus para requisição de dados

01 (Hex)	04 (Hex)	00 (Hex)	04 (Hex)	00 (Hex)	02 (Hex)	30 (Hex)	0A (Hex)
Endereço do dispositivo	Código da Função	Endereço de Início (mais significativo)	Endereço de Início (menos significativo)	Número de Registradores (mais significativo)	Número de Registradores (menos significativo)	CRC (menos significativo)	CRC (mais significativo)

Fonte: Adaptado de (AG, 2016)

Tabela 7 – Formato detalhado do frame Modbus respondido com os dados pelos medidores

01 (Hex)	04 (Hex)	04 (Hex)	43 (Hex)	5B (Hex)	41 (Hex)	21 (Hex)	6F (Hex)	9B (Hex)
Endereço do dispositivo	Código da Função	Contagem de Bytes	Registrador de Dados 1 (byte mais significativo)	Registrador de Dados 1 (byte menos significativo)	Registrador de Dados 2 (byte mais significativo)	Registrador de Dados 2 (byte menos significativo)	CRC (menos significativo)	CRC (mais significativo)

Fonte: Adaptado de (AG, 2016)

Assim como definido no padrão Modbus, os medidores possuem os endereços de memória 3X e 4X, que são, respectivamente, registradores de entrada com a possibilidade apenas de leitura e os chamados *holding registers*, que permitem leitura e escrita. Para a leitura dos dados, a única diferença é na definição do endereçamento, de modo que o modelo do *frame* de requisição e/ou resposta se mantém o mesmo, apenas mudando qual o endereço inicial para a leitura dos dados. Neste trabalho foi definida a utilização dos registradores 3X, os mesmos lidos pelo software proprietário dos medidores. Nos parágrafos a seguir, serão explicados em maiores detalhes os *frames* de requisição de dados e o *frame* de resposta com os dados.

O *frame* de requisição indicado na Tabela 6 é composto por oito pares de valores hexadecimais – ou oito bytes. O primeiro deles indica o endereço Modbus do medidor do qual os dados estão sendo requisitados. O próximo valor é utilizado para indicar qual o código da função Modbus executada pelo *frame* – no caso da leitura dos registradores 3X, o código é 0x04. Em seguida são utilizados dois bytes para a definição do endereço Modbus no qual a leitura deve ser iniciada, sendo que o primeiro byte indica quais são os oito bits mais significativos deste endereço e o segundo byte indica quais são os oito bits menos significativos do endereço. O último parâmetro definido manualmente na leitura são dois bytes que indicam o número de registradores requisitados na leitura. Da mesma maneira que na definição do endereço inicial, o primeiro byte é relativo aos oito bits mais significativos do número de registradores requisitados e o segundo byte é relativo aos oito bits menos significativos do número de registradores requisitados.

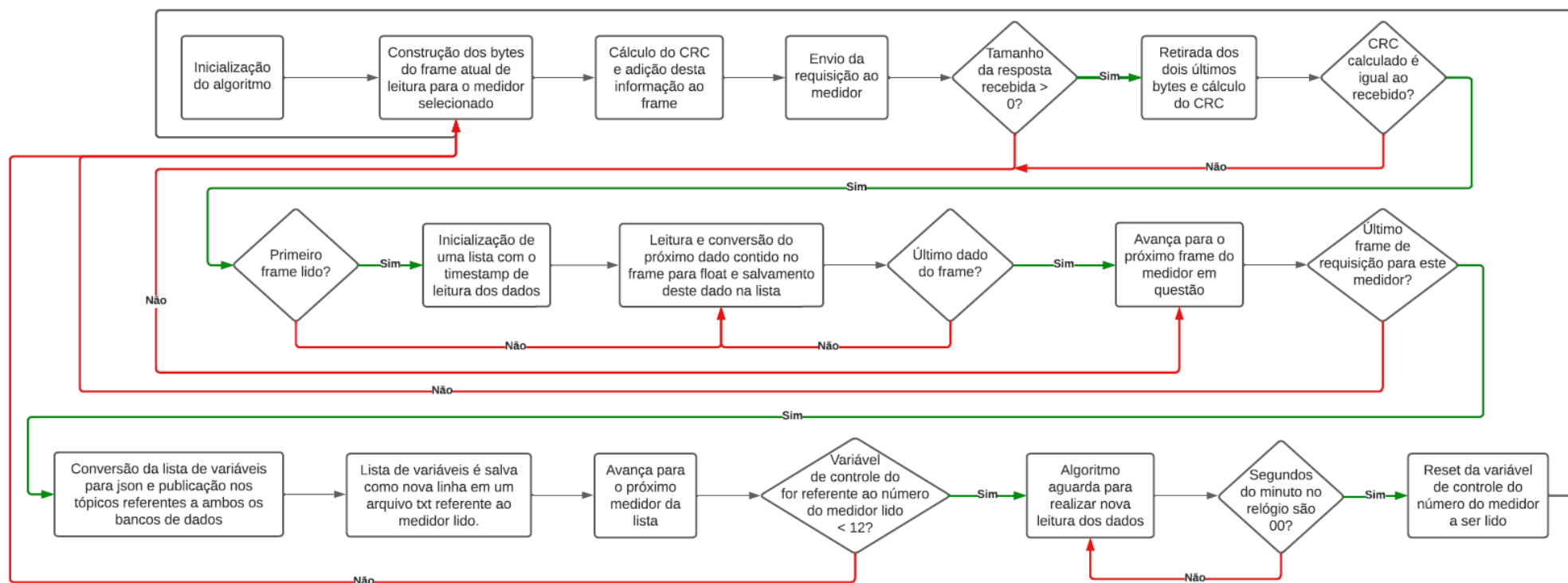
Aqui é importante destacar que dois registradores consecutivos de 16 bits representam um parâmetro, e, portanto, o valor enviado nestes dois bytes precisam ser duas vezes o número de parâmetros desejados na leitura. Além disso, de acordo com o manual dos medidores e com testes realizados, o máximo de parâmetros que podem ser requisitados por leitura são vinte. Exceder este número causa o retorno de um código de exceção Modbus. Os últimos dois bytes do *frame* a ser enviado são o CRC-16, um código gerado baseado nos seis bytes anteriores do *frame* e que é utilizado para que o receptor do *frame* possa conferir se os dados recebidos foram alterados ou não, calculando também o CRC baseado nos seis bytes de dados e comparando com o valor de CRC recebido. Seu formato, porém, é invertido com relação aos outros bytes enviados em pares: o primeiro byte contém os oito bits menos significativos do CRC e o segundo byte contém os oito bits mais significativos do CRC.

O *frame* de resposta – Tabela 7 – se baseia no mesmo formato do *frame* de requisição explicado anteriormente, porém logo após o byte que indica o código de função ele possui um byte para indicar o número de bytes recebidos na resposta, seguido pelos bytes com os dados lidos em si – sendo um mínimo de quatro bytes – e o CRC no final. Portanto, diferentemente do *frame* de requisição de dados, que possui um tamanho fixo, o *frame* de resposta tem um tamanho variando de acordo com o número de parâmetros lidos, sendo um mínimo de nove bytes e um máximo de oitenta e cinco, contando os dois relativos ao CRC.

A verificação da comunicação foi realizada de maneira prévia à instalação do servidor de monitoramento dos dados por meio de um medidor separado conectado ao *Hercules SETUP utility*, um terminal gratuito que pode ser utilizado para comunicação com uma porta serial ou comunicações UDP/IP e TCP/IP.

A Figura 10 mostra um fluxograma que explica o funcionamento do algoritmo desenvolvido para requisição dos dados dos medidores e seu envio para a integração.

Figura 10 – Fluxograma do funcionamento do algoritmo inicial de leitura dos dados dos medidores



Fonte: Elaborado pelo autor

Entrando agora em maiores detalhes sobre o algoritmo escrito para a leitura dos dados, deve ser destacado que ele foi desenvolvido para funcionar constantemente, portanto, após a inicialização dos parâmetros base do programa, como as configurações da porta serial de comunicação, os dados do broker *MQTT* ao qual serão enviados os dados e importação das bibliotecas que serão utilizadas no programa, o programa irá repetir seu funcionamento em intervalos fixos.

Para definição do intervalo de leitura foram realizados os cálculos teóricos – baseados na *baud rate* padrão utilizada de 9600 – dos tempos mínimo e máximo decorridos entre a primeira requisição enviada para o primeiro medidor e a última resposta vinda do último medidor, sendo estes, respectivamente, aproximadamente 7,526 segundos e 15,526 segundos. Os cálculos realizados podem ser vistos no Apêndice C. A teoria utilizada para embasamento dos cálculos exibidos está presente no Anexo C.

Considerando-se também o tempo de processamento dos dados pelo algoritmo – que não foi estimado por meio de contas – foi verificado empiricamente que o tempo real de leitura total dos dados é de aproximadamente 31 s, o que levou à definição do intervalo de leitura a cada minuto, mais especificamente a cada minuto cheio – por exemplo: 13:00:00, 13:01:00, 13:02:00, e assim por diante. Este intervalo foi definido considerando-se um período ocioso do algoritmo, de modo a evitar uma possível sobrecarga da memória RAM do servidor, a existência de uma janela que permita a inserção de mais medidores para leitura sem alteração do intervalo de leitura atual, e as aplicações que podem ser feitas com os dados sendo requisitados e salvos, já que, diferentes aplicações possuem requisições temporais distintas, e uma maior frequência de leitura dos dados – dentro das limitações do hardware – permite um controle da QEE mais granularizado.

Em cada repetição, o algoritmo requisita os dados para cada um dos medidores – atualmente 10 dos medidores estão online. Dos parâmetros disponíveis em cada medidor, foram selecionados 58 como os dados mais relevantes, dados estes que podem ser consultados na tabela presente no Anexo B. Os dados precisam ser requisitados em mais de uma comunicação, pois, além de serem em número maior do que o máximo de dados que podem ser enviados pelos medidores por *frame* de resposta – 20 parâmetros –, nem todos se encontram sequencialmente nos registradores de memória de cada medidor, de modo a ser necessário que sejam

requisitados separadamente para evitar a coleta excessiva de parâmetros intermediários não desejados.

O algoritmo, portanto, cria o *frame* de requisição, o envia ao respectivo medidor e aguarda sua resposta. Quando a comunicação serial é recebida, o programa confirma se efetivamente recebeu dados – checa se o tamanho da resposta recebida é maior do que zero – e se os dados são válidos – por meio do CRC. Caso alguma destas condições não seja satisfeita, o programa irá ignorar o *frame* recebido e continuar sua execução, mas caso o *frame* seja válido, sua próxima operação é a extração dos dados contidos neste *frame*, colocando-os em uma lista que ao final da “rodada” do programa respectiva àquele medidor conterà o *timestamp* da leitura dos dados e todos os dados lidos para aquele respectivo medidor.

Quando todas as requisições de dados de um medidor foram realizadas, as respostas recebidas e os dados processados, a lista de variáveis gerada é convertida para o formato *Json* – formato esperado na integração –, salva em um arquivo de texto relativo àquele dia e medidor específicos – para realização do armazenamento local (backup) dos dados paralelamente ao seu armazenamento em nuvem –, e publicada no tópico *MQTT* relativo ao bancos de dados, momento no qual a leitura e envio dos dados daquele medidor para esta “rodada” em específico é finalizada, partindo o programa para realização deste processo para o próximo medidor da lista ou ficando em espera até o próximo minuto/momento de leitura caso o medidor lido tenha sido o último.

3.7. ARMAZENAMENTO DE DADOS

Devido ao armazenamento de dados ser uma das principais diferenças da adoção da arquitetura *IoT* para monitoramento do consumo de energia, esta seção do trabalho explicará em maiores detalhes o armazenamento de dados adotado na implementação do SIMCCE e, principalmente, o porquê da adoção do *MySQL* em detrimento do *InfluxDB* como definido na ideia inicial da arquitetura, apontando primeiramente suas principais características e posteriormente as divergências que diferem a escolha de cada uma destas opções.

No tocante ao armazenamento dos dados, como indicado na explicação da arquitetura, o banco de dados escolhido inicialmente foi o *InfluxDB*, um banco de dados de séries temporais. De acordo com a referência (HAZELCAST, [s. d.]), um

banco de dados de série temporal é um banco de dados projetado para armazenar e recuperar dados que compõem uma série temporal, ou seja, dados que estão associados a um *timestamp*. Cada um destes *timestamps* fornece um contexto ao ponto a qual está associado e como cada um dos pontos está relacionado com os outros. Ele permite que grandes volumes de dados temporais sejam armazenados de uma forma que permite rápida inserção e recuperação, permitindo análises complexas sobre aqueles dados. É muito utilizado com dados contínuos, como por exemplo medidas retiradas de sensores.

Por ser um banco de dados de séries temporais, o *InfluxDB* possui uma grande liberdade sobre o tipo de informações que podem ser adicionadas em seus *buckets* – containers de objetos. Isso é por um lado uma de suas vantagens, pois torna o banco bem mais flexível e permite que os dados de diferentes aplicações sejam armazenados em um único *bucket*, porém por outro lado acaba sendo uma limitação do banco, pois, para que o banco de dados permaneça com a organização planejada é necessário que os dados sejam enviados em um formato específico. Um dado recebido de maneira errônea pode atrapalhar toda a organização do *bucket*.

Com isso foi definido o modelo padrão de formatação dos dados a serem enviados pela integração, de modo que os nós presentes na integração foram programados para lidar apenas com os dados recebidos neste formato, ignorando qualquer outro tipo de dado recebido. O formato consiste em um arquivo *Json* no qual devem ser enviadas nove variáveis, ou melhor especificando, nove campos relativos à identificação de uma variável enviada. Os nove campos em questão foram caracterizados anteriormente na explicação sobre a camada da integração.

É importante destacar também que as outras aplicações existentes na arquitetura apresentada por Proença (2022) enviam cada parâmetro lido de maneira individualizada para seu respectivo tópico no *broker MQTT*, mas foi comprovado empiricamente que para os medidores isso aumentaria o tempo total de leitura dos dados em aproximadamente 545% – 3 minutos e 20 segundos ao invés dos 31/32 segundos atuais. Por este motivo, a aplicação dos medidores em específico envia todos os dados em uma única postagem no *broker*, criando uma lista no formato *Json* com todas as variáveis lidas e formatadas de acordo com o padrão definido na integração para depois enviá-la de maneira única por leitura para cada medidor.

Apesar das vantagens associadas a seu uso, o modelo de banco de dados de séries temporais provou possuir uma limitação crítica ao projeto ao longo de semanas

de uso. Esta limitação consiste na falta de flexibilidade relacionada ao *timestamp* presente no banco de dados, já que esta coluna do banco é criada automaticamente quando o dado é escrito, o que em alguns casos não reflete o momento temporal exato no qual o dado foi lido, criando uma falsa imagem temporal daquele dado. Neste caso, quando por algum motivo o sistema perder sua conexão com o *broker MQTT* e deixar de enviar os dados, apesar destes dados estarem sendo salvos localmente nos arquivos de texto, eles não podem ser enviados posteriormente para o banco de dados, pois o *timestamp* a eles associado não será verdadeiro.

A criação de um campo específico para que o *timestamp* real fosse salvo como um valor inteiro em segundos desde 1970 (*epoch*) foi testada como uma possível solução, porém sem sucesso, pois acaba causando uma “dissociação” dos pontos relativos à medição de uma variável específica, de modo que, o *InfluxDB*, ao filtrar os dados relativos à essa medição, exibe pontos sem ligação entre si, como se fossem dados não correlatos.

Uma das contribuições desta dissertação é a solução deste problema, e para isso foi instaurado um servidor paralelo, posteriormente adotado como a fonte primária do armazenamento dos dados e que roda um banco de dados *MySQL*, que possui uma flexibilidade muito maior com relação à escrita de *timestamps* em suas colunas. Com isso os arquivos locais de texto com os dados lidos podem ser utilizados para *upload* posterior de dados registrados quando o sistema estava *offline* sem prejudicar o *timestamp* correto de sua leitura.

O banco de dados novo possui um tópico *MQTT* próprio para receber suas informações e uma integração nova, já que o processamento necessário para que a integração escreva em cada um dos bancos de dados difere entre si. A integração adicional possui nós para o processamento e salvamento no *MySQL* dos dados provenientes das outras aplicações, de modo a manter todos estes dados unificados e integrados em um único banco de fácil acesso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

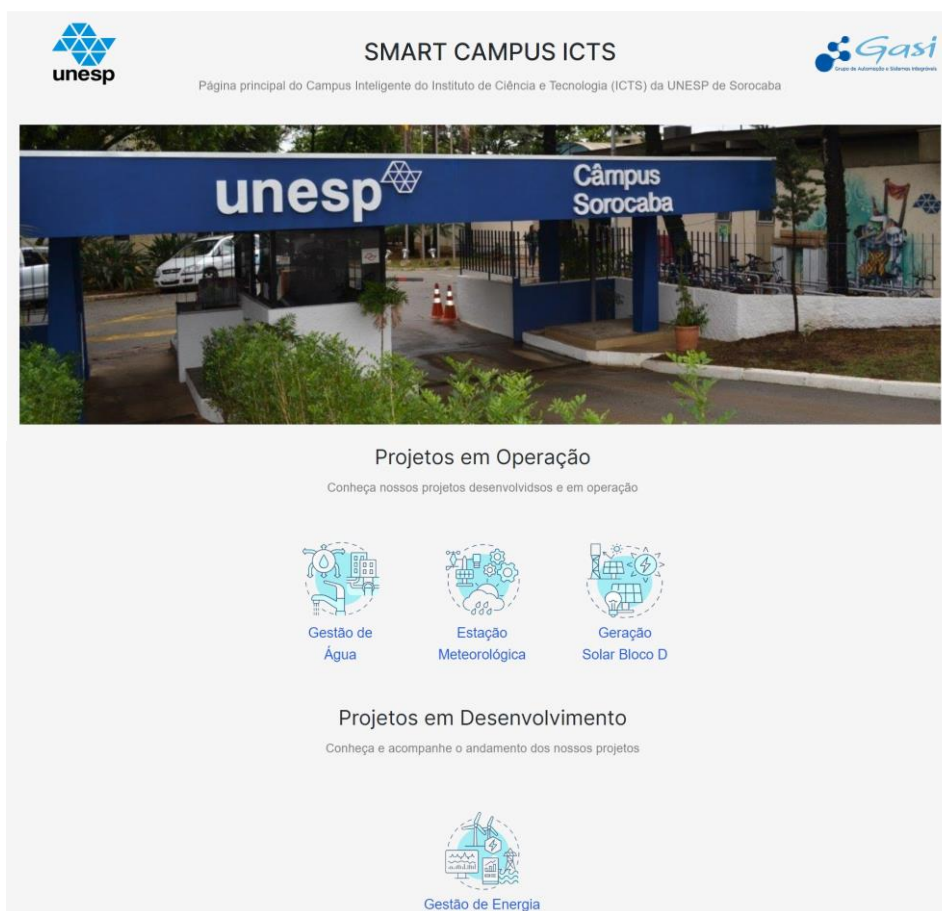
Por meio da realização do presente trabalho, obteve-se um sistema integrado de aquisição e armazenamento de dados do consumo energético desagregado do campus, mediante a aplicação do conceito de *IoT* e de acordo com a proposta idealizada na Figura 2. O sistema foi desenvolvido, implementado, e encontra-se em pleno funcionamento, integrando dados vindos de quatro diferentes fontes em um único banco de dados de fácil acesso e utilização.

Os principais resultados do presente trabalho são a implementação da arquitetura *IoT* e seu status funcional, principalmente com o monitoramento e a coleta de dados. Esses resultados mencionados podem ser considerados difíceis de se perceber, pois a visualização dos dados na interação não reflete a infraestrutura desenvolvida para tornar esse monitoramento possível, principalmente para alguém visitando o site sem conhecimento prévio do trabalho necessário para que os dados sejam coletados. Para visualizar melhor os dados coletados é apresentada a interface gráfica desenvolvida, disponível para acesso no link:

<http://smartcampus.sorocaba.unesp.br/d/dWueYo67k/tela-inicial?orgId=1>.

A interface gráfica para acesso dos usuários – desenvolvida na camada de interação da arquitetura – foi projetada para ser um site dedicado ao *smart campus* do ICTS em implementação, com informações gerais sobre o campus e algumas páginas específicas para cada dado do sistema. A interação, por enquanto, coleta e exibe os dados presentes no *InfluxDB*, porém a conexão com o *MySQL* já está configurada e funcional. A página inicial contém uma imagem da entrada do campus – Figura 11 –, informações gerais sobre o funcionamento e a arquitetura do *smart campus*, além de links para as páginas de dados monitorados de sistemas específicos e links para trabalhos publicados relativos à arquitetura.

Figura 11 – Print da página inicial do site do smart campus desenvolvido no ICTS

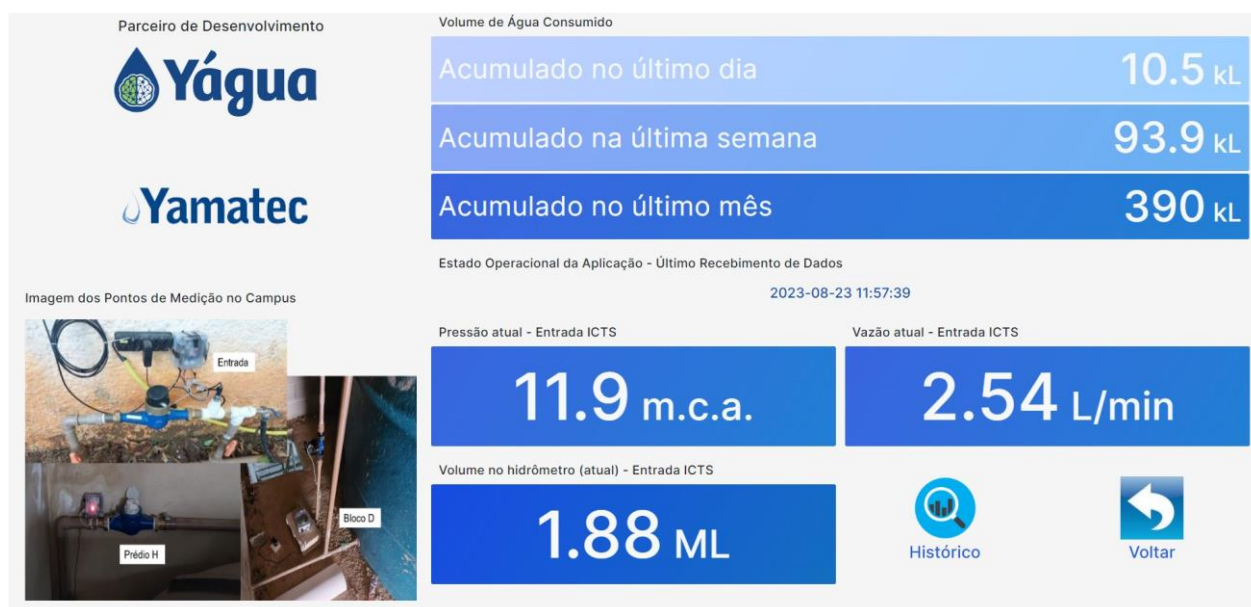


Fonte: Elaborado pelo autor

Além de ser importante para uma visualização mais clara dos dados, o site também é relevante para ajudar a promover o *smart campus* em desenvolvimento no ICTS, nacional e internacionalmente, já que o site possui uma versão em inglês implementada. Isso ajuda não apenas a atrair novos alunos e possíveis parcerias industriais, mas também a disseminar o conhecimento sobre a implementação do *smart campus* e seus pontos fortes, uma vez que esse conceito é definido por muitos como o futuro dos campi universitários, mas é pouco abordado no contexto brasileiro, menos ainda nesse grau de detalhamento. Outra contribuição importante com a implementação da arquitetura é tornar os dados coletados do campus disponíveis para qualquer pessoa, uma vez que os dados reais nos campi ou mesmo nas empresas raramente são compartilhados com comunidades externas, o que contribui para muitas lacunas existentes em estudos sobre dados reais.

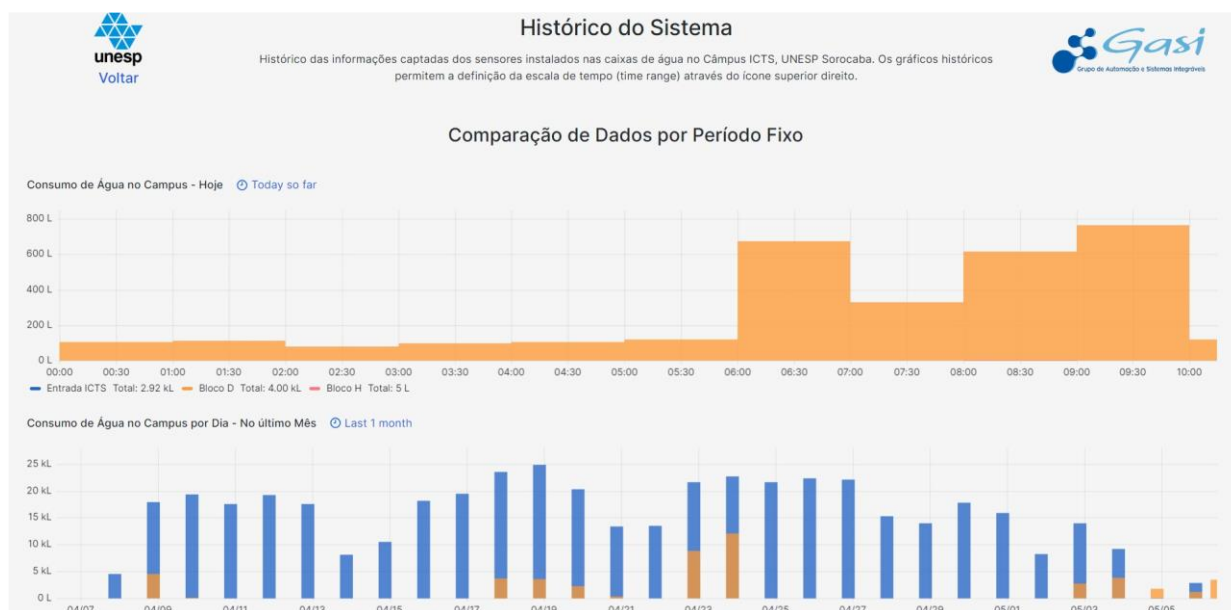
Cada sistema monitorado (energia, água, etc.) tem suas próprias páginas, sendo duas para cada um: uma página principal de dados e uma página de dados históricos. As páginas principais apresentam uma explicação sobre as características gerais de cada sistema, sua inserção na arquitetura, uma imagem do próprio sistema físico e alguns valores instantâneos das principais variáveis que estão sendo lidas, além de um link para acesso aos dados históricos. Nessa página de dados históricos, essas principais variáveis são apresentadas novamente, mas, dessa vez, com gráficos de séries temporais, mostrando o comportamento dos dados monitorados ao longo de determinados tempos, além de permitir uma filtragem por intervalo de tempo, de modo que a pessoa que visita o site pode alterar o intervalo de tempo de visualização dos dados ou alterar para uma data específica. Além disso, o *Grafana* permite o download desses dados no formato CSV, o que permite que esses dados sejam salvos localmente para a realização de estudos e análises mais aprofundados. As telas principais e de dados históricos, respectivamente para cada um dos sistemas podem ser vistos a seguir, da Figura 12 à Figura 19.

Figura 12 – Print da tela principal do consumo de água



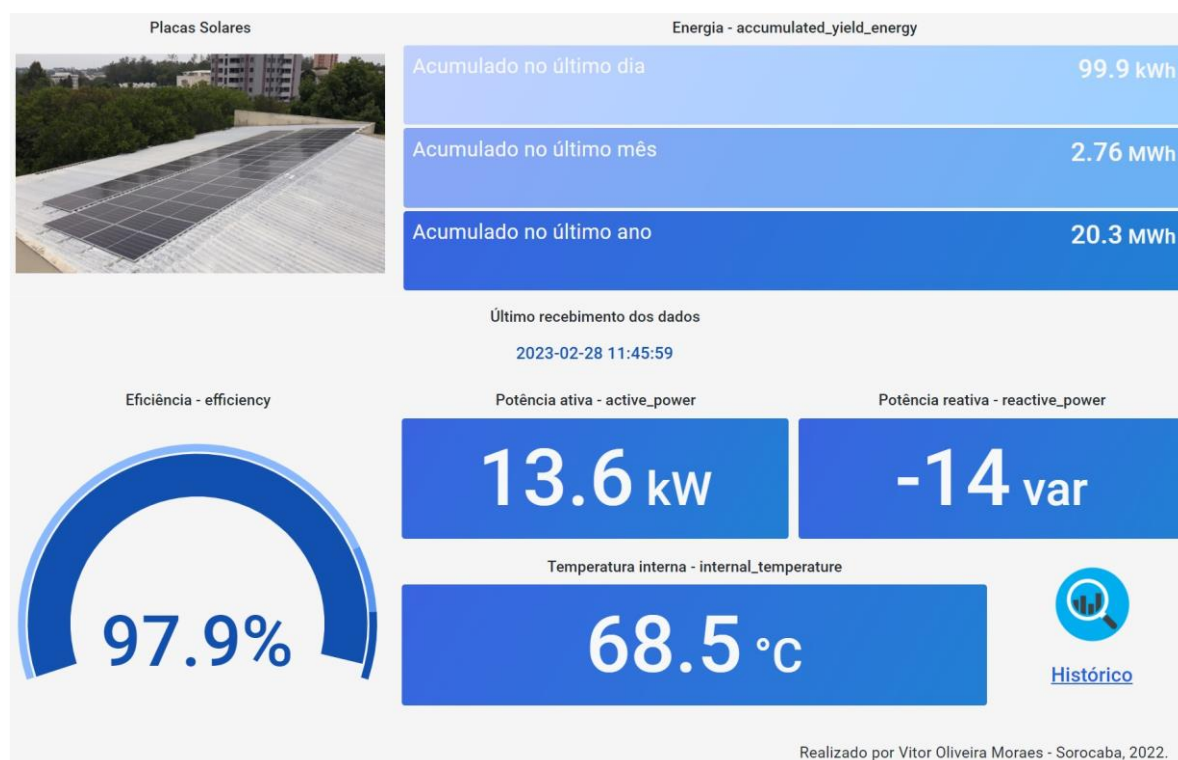
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 – Print da tela de dados do consumo de água



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 – Print da tela principal da geração solar



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 – Print da tela de dados da geração solar



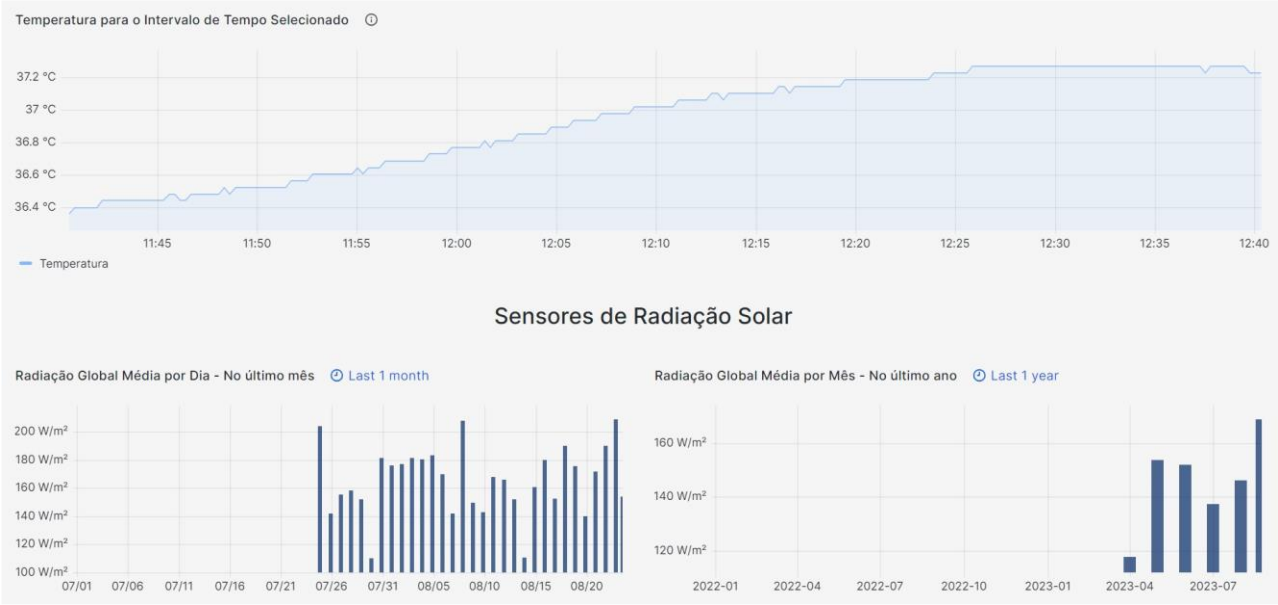
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16 – Print da tela principal da estação meteorológica



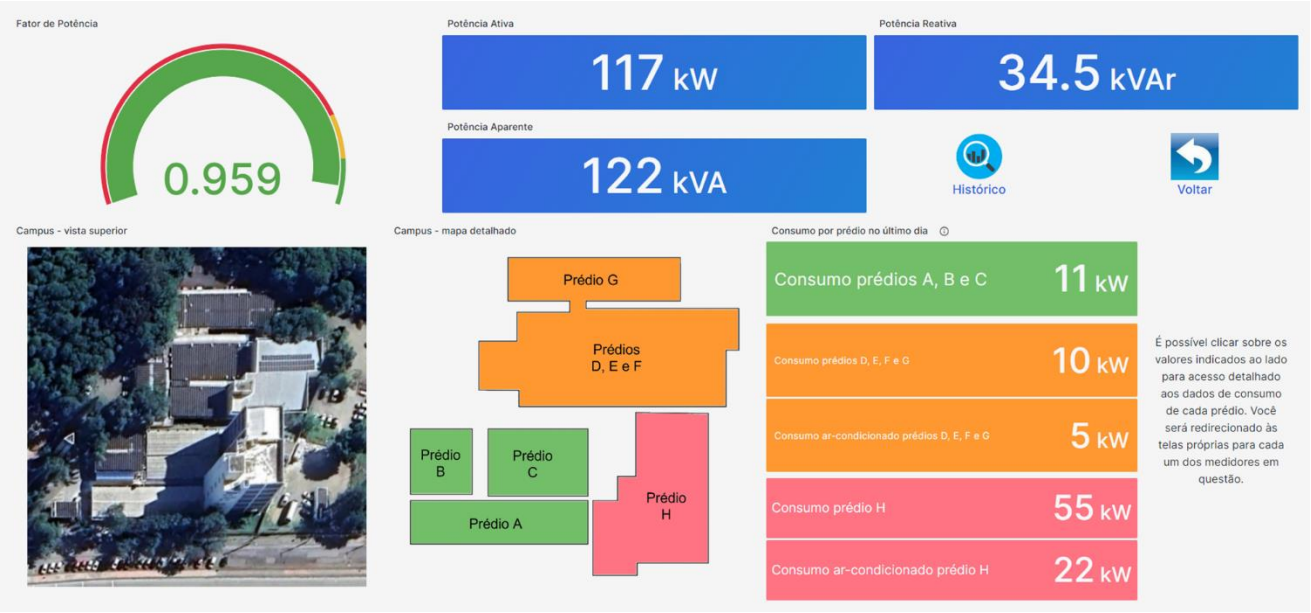
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17 – Print da tela de dados da estação meteorológica



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18 – Print da tela principal do consumo de energia do campus



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 – Print da tela de dados do consumo de energia do campus



Fonte: Elaborado pelo autor

O sistema de monitoramento de consumo de água é importante para entender o consumo da água no campus, identificando, por exemplo, os meses em que o consumo é maior ou menor, se a água está chegando com pressão suficiente dos canos da rua, quais prédios do campus têm o maior consumo e até mesmo destacando possíveis vazamentos, quando o consumo tem um aumento anormal e prolongado em seus níveis ou é igual a zero durante períodos da madrugada. Embora o consumo geral do campus seja claramente identificável pelo medidor de água principal e as contas mensais de água, as outras possibilidades citadas só podem ser totalmente alcançadas com medidores instalados em todos os edifícios do campus. Tudo isso gera economias financeiras para a administração do campus, buscando contribuir para o planeta ao evitar desperdícios desnecessários e uso excessivo, além de contribuir para uma menor quantidade de emissões.

A coleta de dados meteorológicos traz principalmente valor informativo, mas também valor econômico. Isso ocorre porque, com o acúmulo de dados climáticos históricos, é possível entender o comportamento do clima na região do campus, o que pode ser usado para planejar melhor a geração de energia fotovoltaica, bem como o uso de baterias junto com esse sistema, quando necessário. Em relação aos dados instantâneos, ele fornece informações sobre as características climáticas do campus para seus alunos e pode ter esses dados combinados em futuros sistemas

automáticos de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (do inglês, *HVAC*), caso venham a ser implementados no campus.

Adicionalmente, é difícil encontrar bancos de dados com dados climáticos históricos da região de Sorocaba, especificamente no entorno do ICTS, e com esses dados sendo monitorados, salvos e posteriormente disponibilizados para pessoas de fora do campus pela arquitetura *IoT*, abre-se uma grande quantidade de oportunidades para estudos climáticos históricos, ou como a mudança climática pode ser vista na região, ou ajudar em estudos de previsão climática, entre tantos outros estudos, que estão fora do escopo de um *smart campus* – e, portanto, não necessariamente agregam valor ao nosso banco de dados em si –, mas trazem valor para o mundo/comunidade, como um *smart campus* deve fazer.

O monitoramento dos dados de geração fotovoltaica é importante para entender os padrões gerais de geração. O padrão de geração solar é um consenso na literatura, com base na incidência de radiação solar nos painéis fotovoltaicos, mas é interessante estudar um caso real em complemento às teorias. Esses dados mostram momentos do dia, da semana ou até mesmo do ano em que a geração está em seu pico – e, portanto, contribuindo mais para reduzir a quantidade de energia comprada da concessionária –, ou quando não está gerando energia. Combinando esses dados com os dados meteorológicos registrados, é possível entender porque a geração teve um valor menor do que o esperado em determinados momentos do dia e gerar previsões mais precisas da energia gerada no futuro, com base em previsões de como o clima se comportará. Além disso, esses dados podem ser usados em conjunto com os dados de consumo de energia para estudar quanta energia o campus precisaria gerar para ser autossustentável em termos de energia, quantos novos painéis de geração PV seriam necessários para atingir esse status e quantas baterias teriam de ser instaladas no campus em conjunto com a geração PV para tornar isso viável – atualmente, a geração contribui com algo entre 5 a 11% da energia consumida pelo campus por mês, aproximadamente.

Relativo ao sistema de monitoramento de consumo de energia, os principais medidores de energia estão localizados nos barramentos que agrupam o consumo dos prédios A, B e C; do consumo dos prédios D, E, F e G; e do consumo do prédio H, sendo os dois principais barramentos o do prédio H e outro no qual estão contidos os sistemas do restante do campus. Na Figura 19, que apresenta um *print* da página de dados históricos do consumo de energia, é importante destacar que os dados

apresentados são gráficos de barras empilhadas, demonstrando o consumo dos dois principais barramentos do campus e com a geração sobre ambos. Esta informação da energia gerada não representa uma sobra de energia, mas sim é considerada como consumo adicional, seguindo-se a suposição de que não é registrada em nenhum dos dois barramentos principais. É justo dizer que esses dados podem ser considerados os mais interessantes para aplicações práticas. Os medidores instalados nos diferentes setores do campus fornecem uma visão geral do consumo de energia. Isso é importante para entender como a energia é utilizada de acordo com o local do campus que está sendo analisado, e também para entender como os laboratórios, a cantina ou a biblioteca, entre outros setores da universidade, impactam no consumo geral. Além dos medidores principais utilizados nos edifícios e definidos anteriormente, há outros medidores instalados em setores mais específicos, o que proporciona uma visão/compreensão mais granularizada desse consumo por setor ou aplicações.

Esses ganhos são informativos, mas com base neles é possível apontar também ganhos econômicos, ou seja: a identificação do local onde estão os maiores gargalos de consumo de energia na rede e o planejamento de estratégias que podem levar à economia de energia – como sistemas de controle automático de *HVAC*, por exemplo. Além disso, o histórico de consumo registrado pode ser usado para entender quanta energia é consumida em média, o que pode levar a uma renegociação da demanda atual contratada com a empresa de serviços públicos.

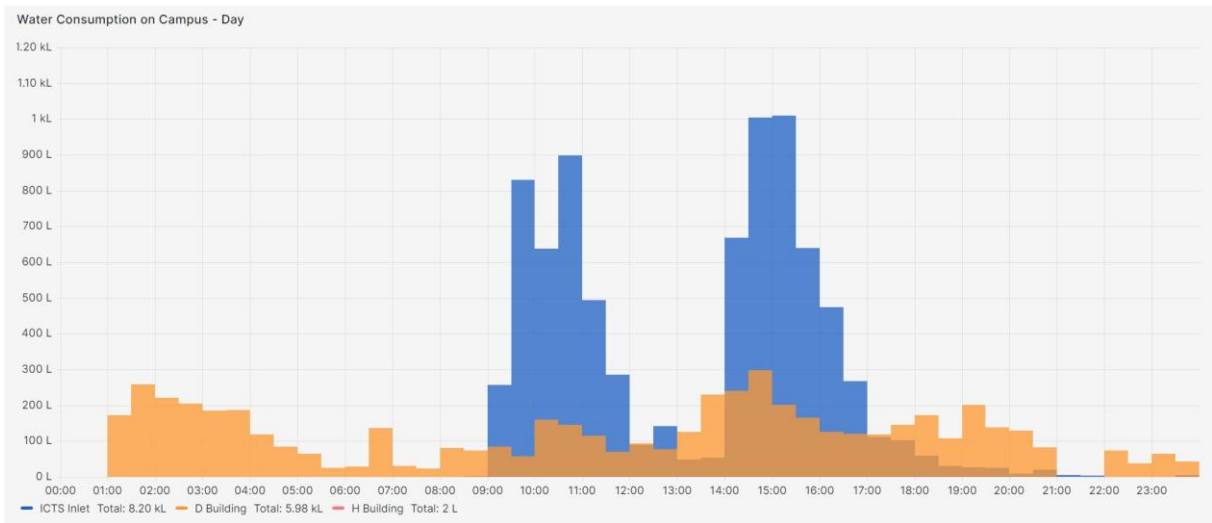
A observação de outros parâmetros de qualidade de energia da rede também traz muitas vantagens para o ICTS. Uma delas é o monitoramento da tensão eficaz, que pode mostrar se e quando a tensão do barramento extrapola os valores aceitáveis, ficando dentro de uma faixa precária ou crítica, de acordo com o PRODIST (ANEEL, 2018). Esta norma indica que para o nível de tensão eficaz de 127 V existente no campus, a tensão entregue é considerada como a adequada com valores entre 117 e 133 V; precária para valores entre 110 e 117 V, e entre 133 e 135 V; e crítica quando seus valores registrados estão abaixo dos 110 V ou acima dos 135 V. Ao longo de uma semana, considerando-se medições realizadas em intervalos de 10 minutos, caso a quantidade de amostras semanal tenha sido registrada em 3% ou mais do tempo na faixa precária, ou 0,5% ou mais do tempo na faixa crítica, a concessionária deve compensar financeiramente seus consumidores. Outro

parâmetro que é muito importante analisar quando se fala em qualidade de energia é a distorção harmônica total de tensão e corrente, que também está sendo monitorada.

Após apresentar comentários sobre a implementação em funcionamento da arquitetura *IoT* no início desta seção, agora são abordadas possíveis aplicações com os dados coletados e armazenados pela arquitetura. Todos os sistemas serão avaliados, mas um particular foco é dado ao monitoramento de consumo de energia e no uso integrado dos dados.

A Figura 20 a seguir demonstra o consumo de água registrados pelos medidores instalados no campus no dia 11 de outubro de 2023 – data escolhida de maneira aleatória. Por meio deste gráfico, é possível identificar a diferença na magnitude do volume de água registrado pelos medidores dos prédios D e H quando comparados entre si e com o volume de água no campus. Além disso, é possível notar que o volume de água entrando no campus possui picos e momentos nos quais é registrado como 0, e isso se deve à presença da caixa d'água presente no campus. Por fim, pode-se apontar que, caso o consumo no prédio D tivesse valores muito acima dos valores mais comuns de consumo e constantes, um aviso poderia ser configurado na interface, para que o *Grafana* alertasse – via e-mail, mensagem ou Telegram – que existe uma chance alta de que o prédio está com algum vazamento, tornando sua identificação muito mais rápida e precisa do que se fosse feita por meio de uma conta de água excessivamente alta no final do mês. Como valores de referência, no último mês de consumo registrado para o prédio D, seu pico de consumo diário chegou a 12 kL, com um valor próximo de 8,82 kL no dia anterior. Considerando o consumo por hora, seus picos de consumo podem chegar a aproximadamente 600 L. O bloco H, apesar de com um consumo com valores muito menores, também pode ser submetido a esse tipo de avaliação. Seu consumo de pico no último mês foi de 11 L, com ao menos dois dias registrando valores próximos – 9 L.

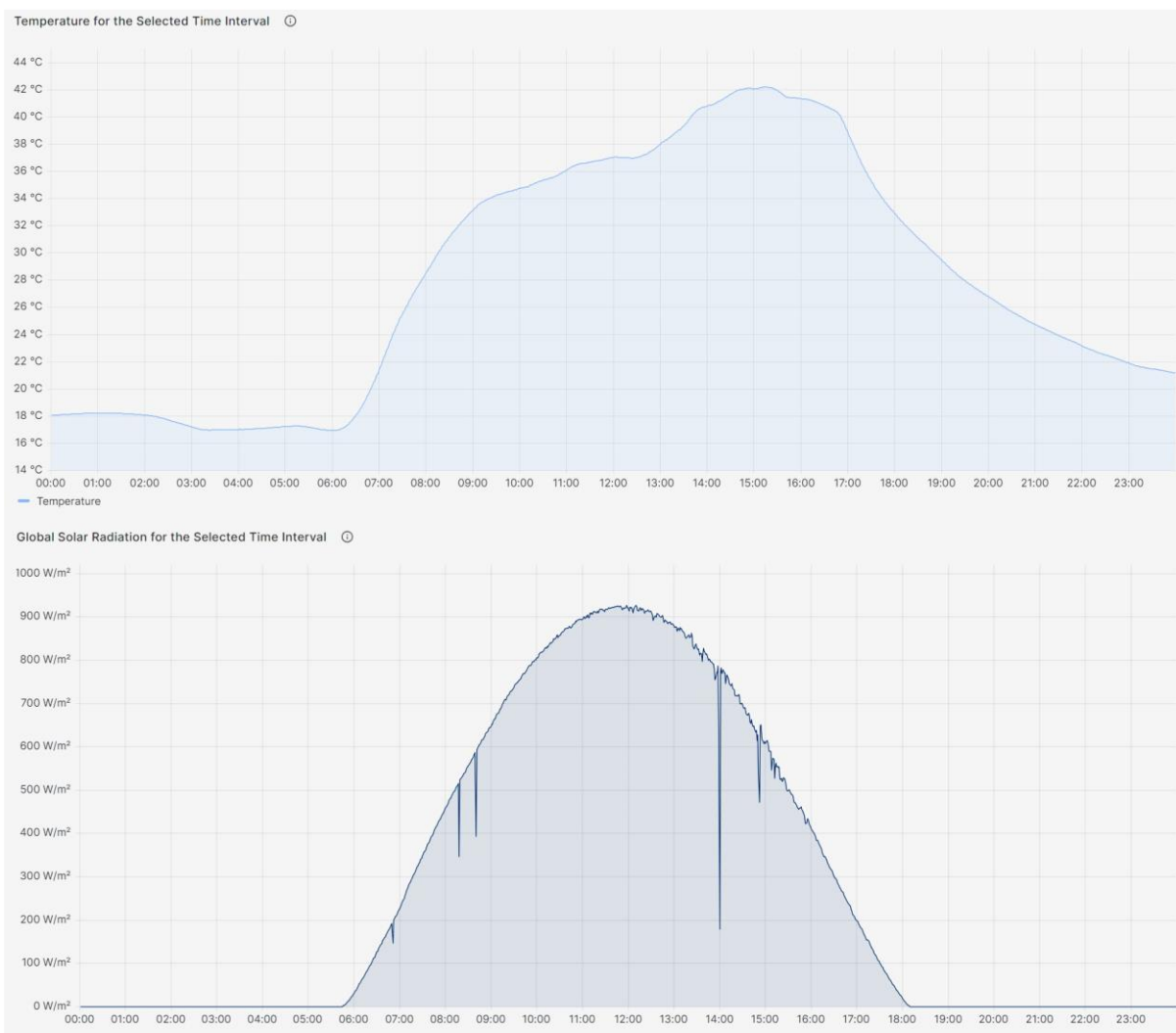
Figura 20 – Consumo de água ao longo do dia 11 de outubro de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 21 a seguir ilustra a variação de temperatura e de radiação solar no campus ao longo do dia 11 de outubro de 2023. Os gráficos demonstram como a temperatura cai bastante ao longo da noite, ficando em torno dos 18 °C, e volta a subir depois que a incidência de radiação solar começa no período da manhã. Além disso, pode-se perceber que foi um dia muito quente, com as medidas de temperatura atingindo 42°C. Esta informação pode ser utilizada para emissão de alertas relativos à utilização dos aparelhos de ar-condicionado no campus e/ou reforçar para seus integrantes a necessidade de que eles se mantenham hidratados, além de que estes alertas podem, futuramente, serem utilizados como sinais de controles para ligação do sistema automático de ar-condicionado do campus e controle de sua temperatura.

Figura 21 – Temperatura e radiação solar registrados pela estação meteorológica ao longo do dia 11 de outubro de 2023

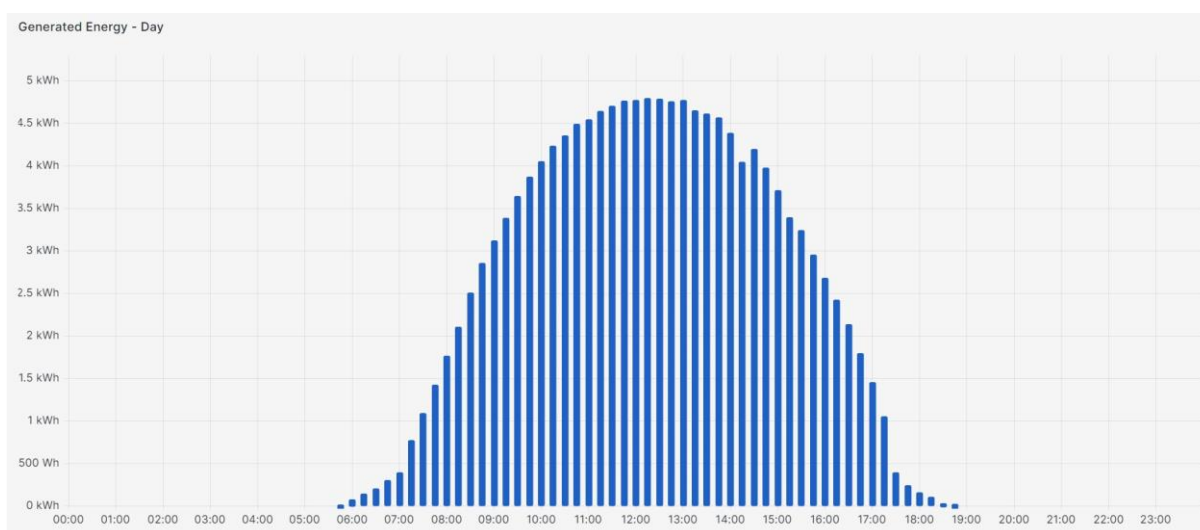


Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir é apresentada a Figura 22, sendo a geração PV registrada ao longo do dia 11 de outubro de 2023. Apesar da diferença de altura entre o prédio H – onde está a estação meteorológica – e dos prédios E e F – onde estão instalados os painéis solares –, e que influencia na quantidade de radiação que os painéis recebem, comparando os gráficos de geração e de radiação – apresentado anteriormente –, é possível visualizar que, assim como era esperado, as curvas se assemelham muito. Isso é esperado, pois a diferença de altura entre os prédios pode-se ser considerada irrelevante com relação a sua distância até o sol, e ambos os prédios não possuem nenhum obstáculo que possa interferir na radiação que chega a eles. Caso a curva de geração não fosse similar à de radiação em algum ponto, isso poderia ser um

indicativo de problemas de absorção da radiação por meio dos painéis, causados por sujeira ou problemas técnicos nos painéis ou erros de medição em algum dos sistemas. Além disso, considerando-se também o pico de temperatura do dia, é possível se ter uma noção básica de qual a tendência de geração aproximada em cada uma das estações, fazendo-se uma estimativa do comportamento do clima e da radiação solar nestas estações e utilizando-os para estimar a geração solar.

Figura 22 – Geração PV ao longo do dia 11 de outubro de 2023

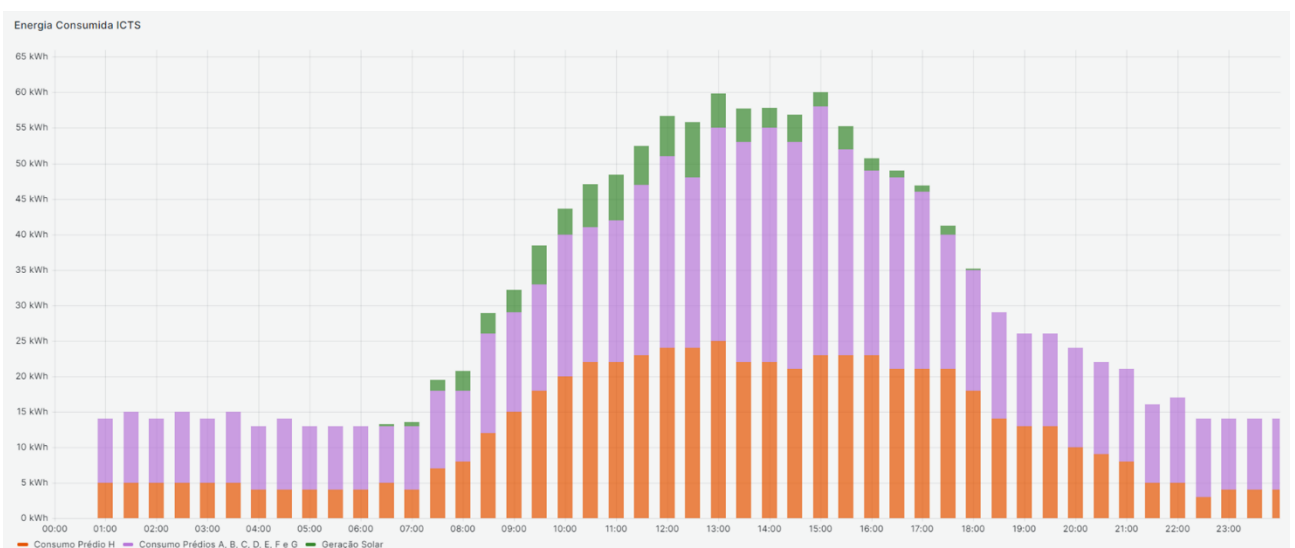


Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação ao monitoramento do consumo de energia do campus são apresentadas quatro telas retiradas da interação. A primeira delas, apresentada na Figura 23, é relativa ao consumo de energia do campus ao longo do dia 11 de outubro de 2023. Assim sendo, da Figura 23 a Figura 25, o consumo dos dois barramentos principais é ilustrado por meio de barras/colunas empilhadas, juntamente com os dados da geração, pois estes são considerados como não registrados nos medidores destes dois barramentos e, portanto, adicionados a seu consumo. É possível perceber, ao se comparar com as curvas de radiação e geração e com o consumo semanal e mensal – respectivamente Figura 24 e Figura 25 – que existe uma tendência semelhante entre os gráficos. Isso se deve ao fato de que, apesar dos cursos oferecidos pelo ICTS possuírem caráter integral – ou seja, com aulas podendo ocorrer em qualquer período do dia –, sua atividade começa a se intensificar a partir das 9:00 da manhã, e tende a ter um pico entre 11:00 e 17:00. O consumo ao longo destes horários não se deve apenas à concentração de aulas, mas também às

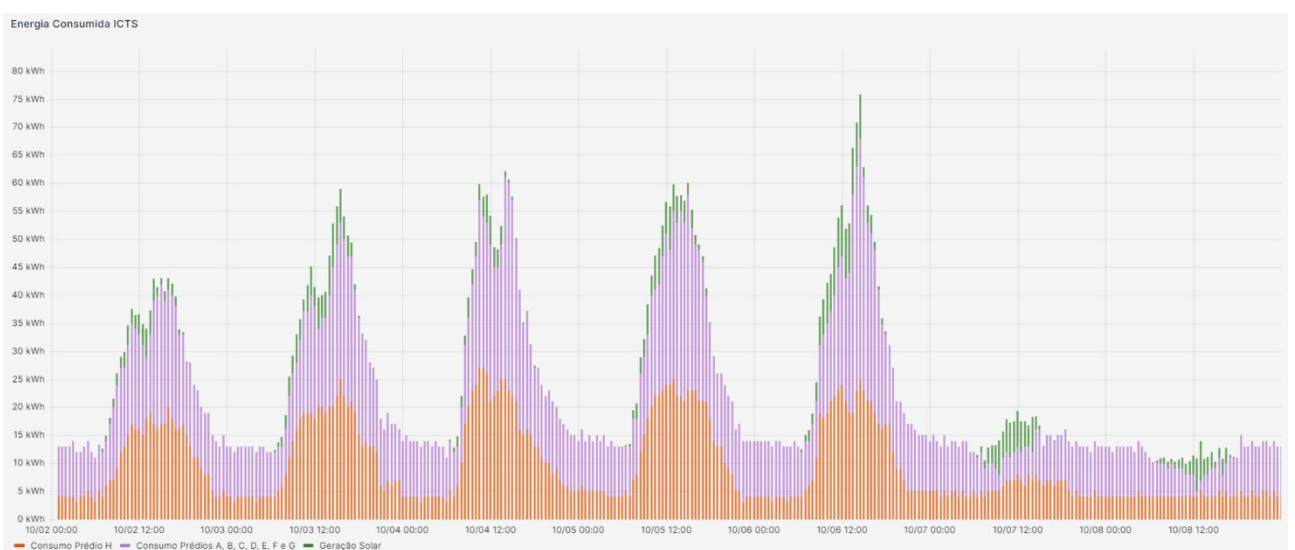
atividades da cantina e dos laboratórios de pesquisa. Tanto a cantina quanto a maioria dos laboratórios de pesquisa se localizam no prédio H e que, como pode ser notado na figura, é o maior responsável pelo aumento no consumo do campus no período entre 9:00 e 11:00. Isso se deve principalmente pelo fato de que é por volta deste horário que a maioria dos pesquisadores do campus iniciam suas atividades e, portanto, começam a utilizar os aparelhos de ar-condicionado presentes em suas salas e nos laboratórios.

Figura 23 – Consumo de energia do campus ao longo do dia 5 de outubro de 2023



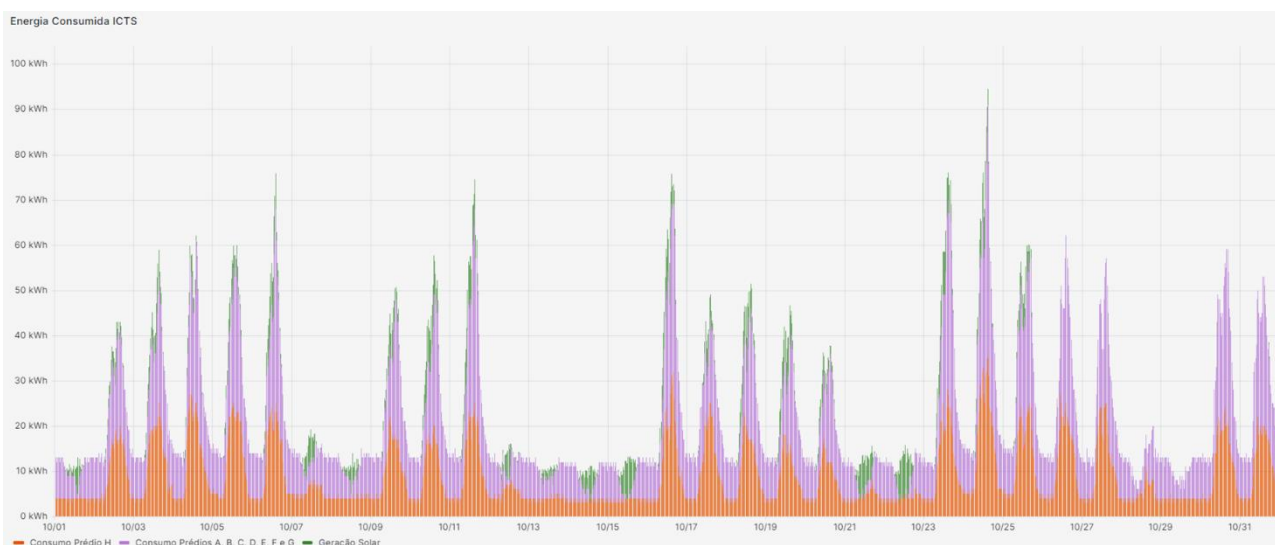
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24 – Consumo de energia do campus ao longo da semana do dia 5 de outubro de 2023 (2 a 8 de outubro)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 – Consumo de energia do campus ao longo do mês de outubro de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

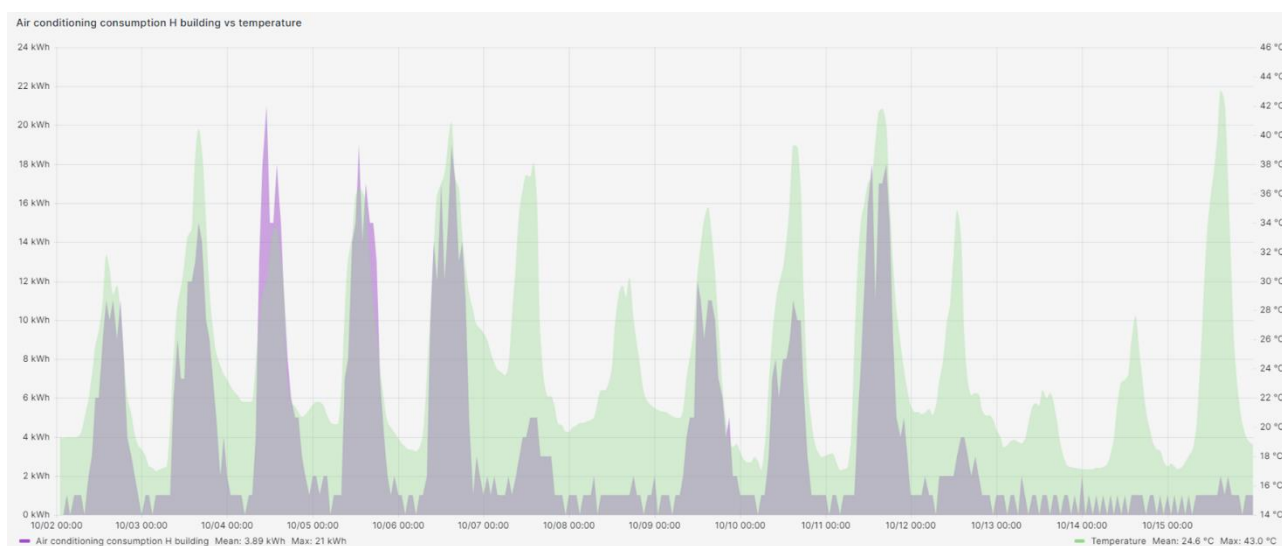
O próximo gráfico apresentado, na Figura 26, ilustra o consumo de ar-condicionado no prédio H do campus ao longo de duas semanas – 2 a 8, e 9 a 15 de outubro de 2023. Neste gráfico, mesmo sem aplicação de ferramentas de aprendizado de máquina, é possível identificar padrões de consumo nos dados e como eles tendem a se repetir de maneira cíclica, ou como o sistema se comporta quando está supostamente ocioso, ou seja, nos dias em que o campus está fechado. O gráfico possui informações importantes, como o valor de pico de consumo por hora registrado na semana, de 21 kWh, além do consumo médio por hora, de 3,89 kWh. O valor de pico ocorreu na quarta-feira da primeira semana, e é possível observar que em ambas as quartas o consumo apresentou um valor acima do registrado nas segundas e nas terças-feiras, que possuíam picos de consumo similares. Isso é um indicativo de que neste semestre em específico, o campus possuía mais atividades nas quartas.

Cada uma das variáveis analisadas possui sua própria escala, mas é interessante notar que a curva do consumo de energia “extrapola” a curva da temperatura apenas na quarta e na quinta-feira da segunda semana, e em todos os dias úteis o consumo de ar é proporcional e apresenta o mesmo padrão que a temperatura registrada. Esta informação está de acordo com a dedução lógica de que quanto mais quente o dia, maior o consumo de aparelhos de ar-condicionado.

Esse gráfico de consumo de ar no prédio H em particular é interessante porque o dia 12 de outubro é um feriado nacional e, como foi em uma quinta-feira, o campus também estava fechado na sexta-feira. Mesmo nos quatro dias em que o campus

estava fechado – o final de semana da primeira semana e de quinta a domingo na segunda semana –, há um padrão no uso do ar-condicionado. Isso ocorre porque no edifício H estão localizados a maioria dos laboratórios de engenharia ambiental, e que, dependendo das atividades que estão sendo realizadas nos laboratórios, precisam de determinadas condições de temperatura mesmo quando não estão sendo utilizados. Além disso, cada andar do prédio H possui salas onde estão localizados os racks de servidores do serviço técnico de informática (STI), e que possuem aparelhos de ar-condicionado ligados o tempo todo.

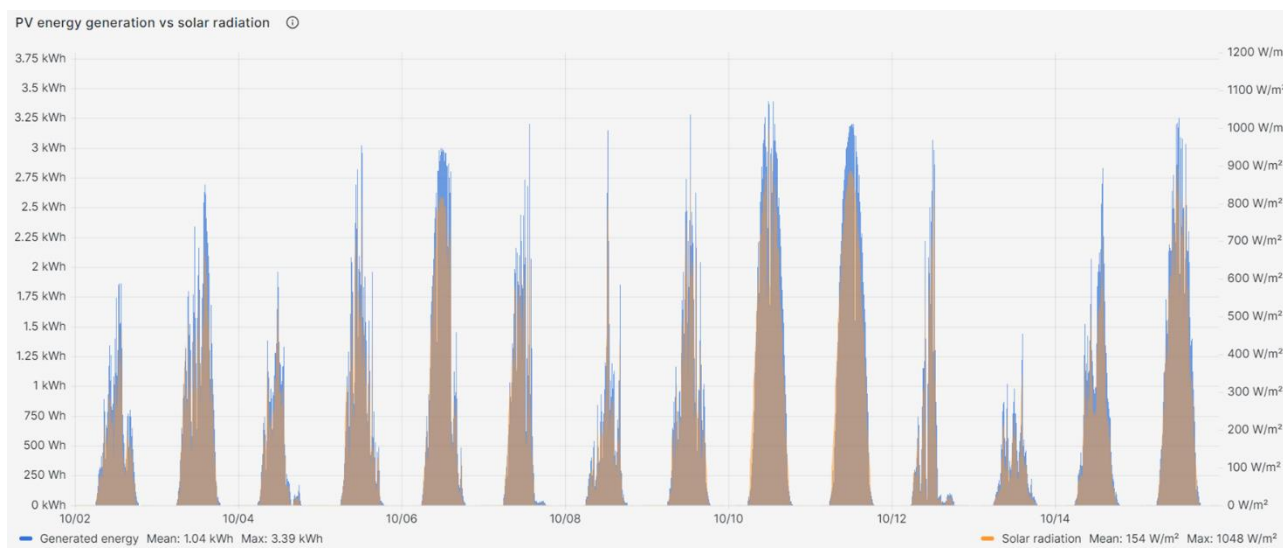
Figura 26 – Consumo de ar-condicionado no prédio H vs temperatura nas semanas de 2 a 8 e 9 a 15 de outubro de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

Outra avaliação composta dos dados que pode ser conduzida é a apresentada na Figura 27, onde a geração do sistema PV registrada é apresentada juntamente com a radiação ao longo das mesmas duas semanas – 2 a 8, e 9 a 15 de outubro de 2023. As curvas de cada sistema são bastante similares, o que já é esperado pois a geração solar é diretamente proporcional à radiação incidente nos painéis PV. Porém, caso as curvas possuíssem padrões diferindo entre si, isto poderia ser um indicativo de que o sistema de geração PV poderia estar sujo, o que prejudicaria sua capacidade de absorção de radiação, ou que sua capacidade de absorção está se deteriorando devido ao final de sua vida útil, ou ainda que algum dos sistemas de monitoramento estão com problemas e registrado dados coletados erroneamente.

Figura 27 – Geração do sistema PV registrada vs radiação nas semanas de 2 a 8 e 9 a 15 de outubro de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

Todos estes dados idealmente devem ser tratados – estudo de correlação entre variáveis, presença de outliers e/ou anomalias, modo de preenchimento dos dados que foram perdidos por problemas de leitura ou conexão de rede – e avaliados por meio de ferramentas estatísticas e computacionais – identificação de métricas como média, mediana, valores máximos e mínimos, quartis; ajuste de um modelo de previsão aos dados e sua aplicação para previsão de consumo de energia do campus –, de modo a extrair informações valiosas deles, mas devido ao prazo de execução da presente dissertação aliado à produção de artigos de maior densidade de conteúdo para as revistas, não foi possível a definição de quais ferramentas exatas aplicar aos dados e sua posterior aplicação. Apesar disso, aqui na sessão de discussões pode-se fazer uma avaliação conjunta de alguns destes dados mesmo sem a utilização destas ferramentas computacionais.

Como exemplo disso, são utilizadas como base as imagens presentes no Apêndice D, que consistem em telas apresentando o consumo de energia do campus, a temperatura, a radiação, a geração PV e consumo de água registrados ao longo de uma semana para as quatro diferentes estações do ano. Idealmente os dados seriam coletados ao longo de um único ano – 2023 –, porém devido a problemas de ausência de alguns dados associados ao início tardio das aulas, no ano de 2023 a única semana com dados completos de consumo no verão ocorreu em um dia de período não letivo, o que torna o consumo semanal relativamente mais baixo e não condizente com os

dados comparativos de outras estações, e, portanto, excepcionalmente para o verão, os dados são apresentados para duas semanas: uma em 2023, antes do início das aulas, e outra em 2024, na primeira semana de aulas.

O primeiro detalhe que chama a atenção ao comparar os cinco gráficos de consumo apresentados entre si é de que, independentemente da magnitude do consumo em cada um dos gráficos, todos possuem um padrão de consumo similar e que se repete ao longo da semana. O consumo diário nos dias úteis começa relativamente baixo, e por volta de 8:00 começa a aumentar, atingindo seu pico às 15:00/16:00 horas, momento no qual volta a diminuir, estacionando novamente no valor inicial por volta das 22:00. Durante os finais de semana, o padrão também se repete em cada gráfico, porém de maneira um pouco diferente do consumo nos dias úteis. Tanto no sábado quanto no domingo, a tendência do consumo é de diminuição em um período da manhã e depois retorno a um valor maior de consumo, que é o consumo mínimo nos dias de semana.

De maneira auxiliar, são apresentadas a Tabela 8, a Tabela 9 e a Tabela 10 a seguir, com os dados de consumo, temperatura, radiação e geração médios e máximos para cada um dos gráficos, além do consumo total semanal e médio de água por semana. Essas informações também podem ser visualizadas nas imagens do anexo em questão.

Tabela 8 – Média e máximo de consumo de energia ao longo de uma semana para cada estação do ano

Estação e ano no qual o consumo foi registrado	Consumo médio calculado a cada hora prédio H (kWh)	Consumo médio calculado a cada hora restante do campus (kWh)	Consumo médio total calculado a cada hora do campus (kWh)	Consumo máximo prédio H (kWh)	Consumo máximo restante do campus (kWh)
Verão de 2023	13,1	22,5	35,6	35	57
Outono de 2023	14,5	19,0	33,5	40	45
Inverno de 2023	11,9	18,4	30,3	30	62
Primavera de 2023	16,4	22,5	49,2	61	84
Verão de 2024	27,6	34,7	62,3	75	110

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 9 – Dados meteorológicos e de geração para cada estação do ano

Estação e ano no qual o dado foi registrado	Temperatura média da semana em questão (°C)	Temperatura máxima da semana em questão (°C)	Radiação média da semana em questão (W/m ²)	Radiação máxima da semana em questão (W/m ²)	Geração média calculada a cada 10 minutos da semana em questão (kWh)	Geração máxima da semana em questão (kWh)
Verão de 2023	26,4	41,7	182	1098	1,15	4,79
Outono de 2023	22,5	37,1	128	866	1,00	4,49
Inverno de 2023	22,8	39,3	184	812	1,32	3,24
Primavera de 2023	24,4	45,7	212	982	1,36	3,31
Verão de 2024	29,1	41,1	375	893	1,20	2,63

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 10 – Dados de consumo de água para cada estação do ano

Estação e ano no qual o dado foi registrado	Consumo médio de água calculado a cada hora na semana em questão (L)	Consumo máximo da semana em questão (kL)
Verão de 2023	557	2,73
Outono de 2023	497	1,64
Inverno de 2023	315	1,93
Primavera de 2023	312	2,12
Verão de 2024	456	2,09

Fonte: Elaborado pelo autor

O dado mais importante que se pode retirar da Tabela 8 e da observação dos gráficos é que, de acordo com a média de consumo, calculado a cada hora, os maiores consumos aconteceram em, na ordem crescente: inverno, outono, verão de 2023, primavera e verão de 2024. Esta ordenação de maior consumo por estação é esperada porque durante as estações mais quentes a tendência é de um grande aumento na utilização dos aparelhos de ar-condicionado, presentes nos laboratórios, cantina, biblioteca, salas de aula e nas salas de professores e demais funcionários. O consumo médio do verão de 2023 é menor do que o da primavera no primeiro ano não porque foi uma estação mais amena, mas devido ao fato apontado anteriormente de que a semana em específico para o qual estes dados são apresentados é uma semana na qual o período letivo ainda não havia começado, de modo que, nenhuma aula aconteceu e apenas os funcionários administrativos, professores, pesquisadores, etc. estavam no campus. Mesmo com um número consideravelmente menor de pessoas frequentando o campus, o consumo médio desta semana é maior do que o registrado no inverno e no outono, demonstrando como o uso de ar-condicionado contribui bastante para o consumo de energia do campus, mesmo quando utilizado por menos pessoas e em menos ambientes.

Outro dado importante sobre o consumo registrado no verão é de que os dados para o verão de 2024 são coletados referentes à primeira semana de aula do campus, de modo que, há uma tendência para a presença de um número maior de pessoas no campus, já que, o primeiro semestre do ano tende a possuir turmas maiores devido

às novas turmas que estão iniciando o curso pós vestibular, e estas turmas tendem a ir diminuindo à medida que os semestres do curso avançam.

A tendência dos dados de consumo máximo no prédio H seguem a mesma ordenação crescente do consumo máximo – à exceção do consumo médio do verão de 2023 ser menor do que no outono do mesmo ano –, mas para o restante do campus, o consumo máximo registrado ao longo de uma hora na semana sem ocorrência de aulas é o menor de todos. Isso se deve ao fato de que, no dia 31 de agosto – uma quinta feira de inverno –, é possível identificar no gráfico um pico maior de consumo e que não condiz com o restante da semana. Os dados de consumo máximo registrados não são somados entre si de maneira similar ao consumo médio total porque o *Grafana* não indica se estes consumos máximos ocorrem em momentos simultâneos.

Outro apontamento interessante sobre os dados é de que o consumo do prédio H é menor que o consumo do restante do campus independentemente da estação na qual os dados são comparados, porém a diferença entre estes consumos não é tão significativa assim – variando entre 0,58 e 0,79 quando calculando-se uma razão de consumo do prédio H para o restante do campus. Para alguém externo ao campus, pode soar estranho um único prédio possuir um consumo relativamente alto com relação ao restante do campus, porém isso se deve ao fato de que o prédio H possui 6 andares e em um deles está localizado o refeitório do campus. A presença do refeitório também é um indicativo de porque a razão de consumo do prédio H para o restante do campus é menor na semana de verão de 2023, justamente a mesma na qual ainda não estavam ocorrendo aulas e, portanto, o refeitório possuía um número bem menor de pessoas o frequentando e, por consequência, também uma produção menor de refeições.

A avaliação dos gráficos em conjunto, além dos dados apresentados nas tabelas demonstra aplicações práticas que podem ser feitas com o uso conjunto dos dados. As curvas de temperatura e de radiação são bastante similares – algo que faz bastante sentido, já que são parâmetros diretamente relacionados entre si –, e os padrões observados nas curvas de radiação se repetem de maneira quase idêntica nas curvas da geração PV, demonstrando, de maneira prática, como estes dados são diretamente proporcionais e como os painéis de geração solar estão com pleno funcionamento e manutenção em dia. Os dados de consumo observados também possuem curvas com maiores consumos em dias úteis nos quais as temperaturas

registradas foram mais elevadas, demonstrando como a maior parte do consumo é relativa ao uso dos aparelhos de ar-condicionado. A geração PV registrada sempre é consumida no mesmo dia devido à ausência de baterias no campus, e, portanto, apesar de não ilustrado nos gráficos de consumo, caso a energia gerada e consumida não seja registrada nos medidores do sistema de monitoramento do consumo de energia, seus kWh gerados são adicionados ao consumo do campus, e como a geração também é maior nos dias com maiores temperaturas e radiação, ela incrementa mais ainda o consumo nestes dias.

Por meio da Tabela 9 é possível comparar também as temperaturas e radiações médias registradas com a geração média de cada semana. As semanas com maiores médias de temperatura, de maneira crescente são: outono, inverno, primavera, verão de 2023 e verão de 2024, o que era o esperado, a exceção do outono com temperaturas menores do que no inverno, mas isso pode ser explicado pelo fato de invernos no Brasil não serem tão frios assim. Já com relação à radiação média, a ordem crescente é outono, inverno, verão de 2023, primavera e verão de 2024. É bastante interessante notar que a semana registrada no verão de 2023 possui uma média de temperatura 2°C acima da média da primavera – 26,4 e 24,4, respectivamente – no mesmo ano, porém uma radiação média menor. Isso pode ser explicado pelos momentos de queda nos principais picos de temperatura registrados na segunda-feira e no sábado da semana em questão – vistos na Figura D.2 –, e que se devem, provavelmente, à passagem de nuvens e que diminuíram a radiação e a temperatura.

Os dados de geração PV média, calculada a cada 10 minutos, por semana registrados são, de maneira crescente: outono, verão de 2023, verão de 2024, inverno e primavera. Estes dados, quando comparados com a radiação média por semana, são bastante interessantes devido ao fato de que a semana registrada no verão de 2024 possui os maiores valores médios de radiação, mas geração média menor do que duas outras estações. Porém, como pode ser visto na figura respectiva aos seus dados meteorológicos – Figura D.18 –, a estação apresentou problemas na coleta de dados nesta semana, registrando dados apenas para a segunda-feira, de modo que, mesmo com as curvas de geração ao longo da semana possuindo valores bastante similares em todos os dias – o que é um indicativo de que os dados de radiação devem seguir a mesma tendência –, os dados de temperatura e radiação média foram

calculados com base em apenas um dia, não refletindo a característica real da radiação solar ao longo da semana.

No tocante ao consumo de água, a observação dos gráficos do Apêndice D demonstram que este é o sistema com menor confiabilidade no envio dos dados, possuindo diversos *gaps* de informações recebidas em determinados intervalos, o que torna mais difícil a análise de seus dados. À exceção do consumo apresentado no verão de 2023, todos os gráficos demonstram um certo padrão no consumo de água, e que se assemelha ao padrão de consumo de energia – consumo começando durante a manhã e crescente, com picos durante a tarde e posterior redução de consumo.

De acordo com a média de consumo de água, calculada por hora, a cada semana observada na Tabela 10, a ordenação, de maneira crescente, do consumo de água semanal é: primavera de 2023, inverno de 2023, verão de 2024, outono de 2023 e verão de 2023. A métrica comparativa de média permite um certo grau de avaliação dos dados, por considerar todos os dados existentes, mesmo assim é possível notar que em cada um dos gráficos existe um maior ou menor grau de informações faltantes, o que prejudica em sua análise e torna difícil qualquer suposição sobre os dados. Apesar disso, com base neste consumo médio apresentado, é possível a identificação de que o consumo de água, ao menos aparentemente, não possui relação direta com a temperatura média de cada semana, como poderia ser esperado – partindo do pressuposto de que quanto maior o calor, mais água precisa ser ingerida pelas pessoas no campus –, precisando-se de ferramentas adicionais de avaliação de correlação para um melhor entendimento de como as outras variáveis e o consumo de água se relacionam entre si. Como apontado anteriormente, a presença da caixa d'água também pode exercer influência sobre a curva de dados na entrada de água do campus e é um fator não contabilizado em nenhum dos dados coletados.

A observação do padrão de consumo apontada anteriormente – consumo crescente ao longo do dia até seu pico por volta das 15:00/16:00 horas – também demonstra que a energia contratada pelo campus junto à CPFL pode ser alterada de uma demanda fixa mensal para a bandeira branca – um modelo de tarifa que é cobrada de acordo com o horário no qual o consumo foi registrado –, já que a maior parte do consumo diário ocorre no horário fora de ponta – 22h às 16h –, e o restante do maior consumo no horário intermediário – 16h às 18h. Caso as aulas comecem a

ser realocadas para ocorrerem majoritariamente durante o período da manhã, o pico de consumo pode ser deslocado e fazer com que o consumo ocorra majoritariamente no horário de fora de ponto. Este é um outro estudo que merece bastante destaque no sentido de benefícios econômicos trazidos ao campus.

De acordo com os autores das referências (SUN *et al.*, 2020; ZHAO; MAGOULÈS, 2012), a previsão do consumo de energia se mostra cada vez mais relevante no contexto atual, pois permite uma melhora na performance energética dos prédios nos quais o consumo é previsto, de modo a permitir uma maior conservação de energia e redução do impacto ambiental, além da previsão de consumo ser considerada como uma ferramenta para a melhor seleção de métodos de conservação de energia. É por isso que o principal uso dos dados coletados é sua utilização para previsão de consumo do campus, o que permitirá a implementação de políticas para maior controle de consumo e ajuste à bandeira tarifária mais vantajosa oferecida pela CPFL. Para a previsão de consumo, os dados coletados de cada uma das variáveis monitoradas deverão ser estudados minuciosamente, de modo a entender quais dados possuem correlações significativas com o consumo de energia e potencial de previsão, além de quais possuem problemas relacionados a multicolinearidade, e quais precisam passar por tratamentos prévios de seleção de *features*, além de tratamento de *outliers* e dados faltantes. Com a avaliação de todas essas informações, também deverão ser avaliadas as melhores opções de ferramentas de previsão de séries temporais para aplicação nos dados.

As ferramentas de previsão também podem ser aplicadas aos dados de geração PV, permitindo um maior planejamento de utilização desta energia, aplicação de baterias para armazenamento da energia quando ela não é utilizada em sua totalidade e uma utilização conjunta à previsão de consumo para um estudo aprofundado sobre a geração necessária para que o campus se torne autônomo energeticamente falando, ou seja, produza por meio de seus painéis solares toda a energia que consome, deixando de comprar energia da concessionária e até mesmo exportando/revendendo energia a ela.

Um estudo de caso adicional pode ser realizado comparando os dados de consumo de energia registrados em diferentes contextos: um dia útil, um dia de final de semana e um dia de férias. O Apêndice E apresenta 8 gráficos, que representam:

1. consumo para um dia útil no meio do segundo semestre de 2023 (14 de setembro),

2. consumo de um dia do final semana desta mesma semana (17 de setembro),
3. consumo para um dia útil na semana de provas finais do segundo semestre de 2023 (14 de dezembro),
4. consumo de um dia do final de semana desta mesma semana (17 de dezembro),
5. consumo de um dia útil nas férias do meio do ano de 2023 (20 de julho),
6. consumo de um dia do final de semana desta mesma semana (17 de setembro),
7. consumo de um dia útil nas férias do final do ano de 2023 (28 de dezembro)
8. consumo de um dia do final de semana desta mesma semana no final de ano de 2023 (31 de dezembro).

Todos os consumos em dias úteis foram coletados em quintas-feiras, enquanto os consumos dos finais de semana foram aos domingos. Um resumo dos dados pode ser encontrado na Tabela 11. Para facilitar a interpretação da tabela, o consumo dos dias úteis estão destacados em laranja, sendo o laranja mais escuro para dias úteis durante o semestre letivo e o laranja mais claro para dias úteis nas férias. De maneira similar, as datas de consumo destacadas em azul são relativas a finais de semana, com azul mais escuro indicando finais de semana durante o semestre letivo e azul mais claro finais de semana nas férias. O objetivo é analisar como o consumo de energia varia nesses diferentes períodos, identificando padrões e diferenças significativas entre dias úteis, finais de semana e períodos de férias.

Tabela 11 – Resumo dos dados de consumo apresentados no Apêndice E

Data de registro do consumo	Consumo total prédio H (kWh)	Consumo total restante do campus (kWh)	Consumo total do campus (kWh)	Consumo médio prédio H por hora (kWh)	Consumo médio restante do campus por hora (kWh)
14 de setembro	371	592	963	16,1	25,7
17 de setembro	184	287	471	8	12,5
14 de dezembro	630	749	1379	27,4	32,6
17 de dezembro	222	294	516	9,65	12,8
20 de julho	273	330	603	11,9	14,3
23 de julho	165	222	387	7,17	9,65
28 de dezembro	176	269	445	7,65	11,7
31 de dezembro	137	218	355	5,96	9,48

Fonte: Elaborado pelo autor

O primeiro comparativo realizado é entre dias úteis durante o semestre e seus respectivos finais de semana, utilizando os dados coletados no meio do semestre, apresentados nas Figura E.1 e Figura E.2. Ao analisar esses gráficos e os dados resumidos na Tabela 11, observa-se que o consumo registrado nos dois principais barramentos do campus em um dia útil é aproximadamente o dobro do consumo registrado no domingo, o dia com menor atividade ao longo da semana. Além disso, como esperado devido à maior quantidade de setores monitorados, o consumo registrado no barramento do medidor 9 (coluna de consumo total do restante do campus na Tabela 11) é maior do que o consumo do prédio H. Nos dias úteis, os padrões de consumo seguem a tendência previamente estabelecida, consumo reduzido pela manhã, aumento gradual ao longo do dia até o pico por volta das 16:00 horas, e uma diminuição para níveis similares aos da manhã no restante do dia. Para os finais de semana, os padrões de consumo são mais distintos: no prédio H, o consumo permanece praticamente constante ao longo do dia, enquanto para o restante do campus, o padrão visto é o oposto do padrão dos dias úteis, com o consumo diminuindo durante o período do meio do dia e aumentando novamente no final da tarde.

Em seguida, analisamos as Figura E.3 e Figura E.4. Aqui, os consumos registrados nos dias úteis são maiores do que duas vezes o consumo dos finais de

semana, e em ambos os casos os consumos registrados são maiores do que os consumos coletados no meio do semestre. Isso é explicado pelo fato de que os dados coletados em dezembro foram coletados na semana de exames finais. Ao longo do semestre é natural que muitos alunos acabem faltando nas aulas por motivos variados, além da possibilidade de que alguma das aulas do dia 14 de setembro pode ter sido cancelada neste dia específico, ou terminado mais cedo. Na semana de exames finais, porém, a necessidade de realização dos exames faz com que todos os alunos compareçam às aulas, e a tendência é de que elas possam se estender por todo seu período.

Durante o final de semana o consumo também é atipicamente maior, e isso provavelmente devido às atividades da pós-graduação, com um maior uso dos laboratórios da pós-graduação (engenharia ambiental e elétrica) e dos aparelhos de ar-condicionado, algo refletido por um aumento considerável do consumo de energia do prédio H (onde se localizam a maioria dos laboratórios da pós-graduação) em comparação ao outro domingo e que não foi acompanhado na mesma proporção no aumento do consumo do restante do campus. Isso também pode ser visto no gráfico de consumo do prédio H, que possui um padrão similar ao do padrão de consumo durante a semana, em oposição ao consumo praticamente constante no domingo do meio do semestre. Adicionalmente, os dados de setembro foram coletados durante o inverno, em oposição aos dados de dezembro que foram coletados na primavera, e que como comprovado anteriormente, foi uma estação bem mais quente, necessitando de um maior uso dos aparelhos de ar-condicionado. Outra possibilidade é a ocorrência de concursos públicos da Vunesp na Unesp, que costumam ser realizados em domingos.

Em seguida, podemos avaliar como é o consumo de energia nos diferentes períodos de férias do campus. Começando com os dados relativos ao consumo nas férias de meio do ano, Figura E.5 e Figura E.6. Nestes dias, os consumos registrados são menores do que os consumos relativos aos mesmos dias da semana, mas que foram coletados durante o semestre, algo natural pois durante as férias a atividade no campus diminui. É interessante notar que o consumo do prédio H no dia útil em questão diminuiu menos do que o consumo do restante do campus, um indicativo de que os laboratórios de pós-graduação (que em sua maioria ficam no prédio H) ainda costumam continuar suas atividades nos períodos de férias dos alunos, mesmo que de maneira reduzida, além do fato das aulas ocorrerem em sua maioria nos outros

blocos do campus (apenas 11 das 27 aulas deste semestre ocorreram no prédio H) e os laboratórios estarem localizados no barramento do medidor 9. Além disso, pela queda de consumo no dia útil, os dados de consumo na quinta-feira são consideravelmente mais próximos dos dados de consumo registrados no domingo – que também sofrem uma diminuição. O padrão de consumo apontado anteriormente para o restante do campus agora já não se destaca mais para o consumo na quinta-feira, com uma diminuição de consumo no meio do dia.

Falando agora sobre o consumo registrado em um dia útil e em um domingo nas férias de final de ano (dezembro) temos, respectivamente, a Figura E.7 e a Figura E.8. Estes dados são bastante interessantes pois correspondem a última semana de 2023 e, portanto, a semana de recesso. Devido a esse fato, pode-se notar que o consumo registrado na quinta-feira, dia 28, é bastante similar ao consumo visto nos finais de semana de julho (férias do meio do ano) e setembro (meio do semestre letivo), indicando que neste período de recesso (dezembro), o campus possui um funcionamento mínimo similar a um domingo. Isso pode ser visto não apenas na comparação dos valores de consumo, mas também no gráfico, que possui a tendência similar a um domingo, principalmente para o consumo do restante do campus. Já o consumo do domingo desta semana é o menor registrado dentre todos os apresentados. É natural que alguns funcionários poderiam estar presentes e conduzindo atividades no campus nesta data, mas considerando-se que estes dados foram recuperados para a véspera de ano novo, é justo pressupor que este consumo total apresentado é algo muito próximo do consumo mínimo de energia para o funcionamento normal do campus sem nenhuma atividade ocorrendo ou pessoal presente.

Este estudo é muito importante dentro do contexto de *smart campus*, pois revela o comportamento geral de consumo no campus. Quando aliado a dados de consumo com maior granularização por setor, pode identificar a contribuição específica do período das aulas e de cada setor para o gasto energético total do campus. Além disso, esses dados ainda podem ser usados em um estudo aprofundado, utilizando ferramentas estatísticas, para realizar ações que tragam benefícios e economias ao campus. Assim, incentivar a universidade a investir em equipamentos melhores e implementar ações de redução do consumo de energia elétrica. Estudos aprofundados que atestem, de forma numérica, a viabilidade

econômica e gerencial desses investimentos são fundamentais para justificar e orientar essas decisões estratégicas.

Outra aplicação interessante decorrente dos dados coletados pelos medidores de energia é sua utilização para a realização dos cálculos propostos no padrão IEEE 1459-2010 (IEEE STANDARD ASSOCIATION, 2010), a partir dos parâmetros predefinidos no *firmware* de cada medidor. Esta norma surgiu com o intuito de correlacionar termos de potência devido à presença de componentes harmônicos nas tensões e correntes do sistema trifásico, assim como os possíveis desequilíbrios nas tensões e desbalanços no consumo das fases. Nesse sentido, com os dados base coletados pelos medidores, já estão sendo calculadas manualmente por meio de um algoritmo externo escrito em *python*, a maioria das grandezas presentes no padrão IEEE 1459-2010 – Tensão fundamental (V1), Corrente da fundamental (I1), Tensão aparente (VH), Corrente aparente (IH), Potência aparente (S), Potência ativa (P), Potência não ativa (N), Potência aparente fundamental (S1), Potência aparente não fundamental (SN), Potência de distorção de corrente (DI), Potência de distorção de tensão (DV), Potência aparente de distorção (SH), Potência de distorção (DH) –, que poderão ser comparadas com os valores medidos pelos medidores, os quais utilizam métodos clássicos para seus cálculos das parcelas de potências elétricas. Este estudo contribui para demonstrar como as medições podem diferir de acordo com o modo como são feitos os cálculos pelos medidores comerciais existentes.

4.1. DIFICULDADES E LIMITAÇÕES ENCONTRADAS NA REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Com relação às dificuldades relacionadas a integração de dados apontadas na introdução deste trabalho, as resoluções que foram adotadas são:

- **Sistemas:** a principal dificuldade relativa aos sistemas foi a compreensão de como cada um dos diferentes dados são coletados e podem ser requisitados em cada um dos pontos de medição, além da definição da formatação necessária para que os dados possam ser salvos em um mesmo banco de dados. É muito importante entender como os dados são gerados por cada sistema e como podem ser requisitados para que fossem instaladas as placas de leitura destes dados com algoritmos que fizessem esta requisição de acordo, além da programação de como estes dados deveriam ser

formatados antes do envio à integração, de modo a sobrepor esta dificuldade;

- Motivos lógicos: esta dificuldade, principalmente relacionada a tipos diferentes de bancos de dados foi solucionada com a utilização de bancos de dados unificados para armazenamento de todos os dados. Mesmo considerando-se o uso de dois bancos de dados com estruturas diferentes – *InfluxDB* e *MySQL* –, os dados são coletados e enviados de maneira padronizada, e exibidos de maneira unificada por meio do *Grafana*;
- Motivos administrativos: no contexto do ICTS podem ser considerados como inexistentes, pois é do interesse da administração e de toda a comunidade do campus a implementação das melhorias e sistemas propostos, devido à sua contribuição para uma evolução cada vez mais acelerada do ICTS em direção de se tornar um *smart campus*, trazendo benefícios diretos a todas as pessoas de sua comunidade.

A seguir são citadas as principais limitações encontradas ao longo da realização do estudo e comentários adicionais:

- Para o envio dos dados de consumo de energia, foi definido o modelo de envio ideal levando-se em conta confiabilidade dos dados vs tempo de leitura. Idealmente, cada dado medido é requisitado e enviado individualmente para a integração, de modo que, caso a comunicação se perca, apenas uma variável terá seu valor perdido e não o pacote inteiro das variáveis. Mas para a aplicação dos medidores, como definido na caracterização do sistema, isso aumentaria muito o tempo da requisição dos dados, e, portanto, eles são requisitados em blocos e passaram a ser compactados em um único pacote a ser enviado ao *broker MQTT*, diminuindo sua confiabilidade, porém ganhando muito em tempo;
- Com relação a uma eventual perda de dados dos medidores por queda do servidor que roda o *broker*, ou o do servidor do banco de dados, ou da conexão com a internet de qualquer um dos componentes do sistema, o computador que roda o algoritmo de leitura dos dados salva todos os dados em arquivos de texto antes de enviá-los à integração, de modo que, caso os dados não tenham sido escritos no banco de dados, os arquivos de texto podem ser utilizados por um outro algoritmo externo para leitura e escrita no banco de dados a qualquer momento. Caso o computador seja

substituído por uma *Raspberry Pi*, este é um processo que precisará ser estudado, pois, além de cartões de memória possuírem uma memória mais limitada do que o HD de um computador, possuem limites de número de escritas antes de perderem sua funcionalidade, o que dificultaria seu uso para escrita em 11 arquivos a cada minuto, já que isso aceleraria sua aproximação do final de sua vida útil. Relativo a isso, a inexistência de *backups* nos outros sistemas também é problemática, como pode ser notado nos gráficos da Figura D.18;

- No tocante a possíveis quedas de energia e perda de comunicação serial, um código condicional que evite erros no funcionamento no algoritmo de leitura dos dados dos medidores foi incorporado a ele, de modo a evitar que, possíveis falhas na comunicação causem quebras na execução do código. Os sistemas de leitura do sistema de geração fotovoltaica e da estação meteorológica possuem códigos que permitem que sua execução seja reiniciada em caso de reinício das placas que rodam estes códigos, algo que futuramente também deve ser incorporado no dispositivo que estiver rodando o código de leitura dos dados dos medidores;
- Apesar de consideravelmente grandes, os históricos dos dados coletados possuem alguns “buracos” devidos a problemas de conexão ou funcionamento dos sistemas de leitura, e esta ausência de dados pode ser um problema para a utilização dos dados para, por exemplo, decomposição de séries temporais para previsão de curto prazo. A quantidade de dados, intervalo de leitura, tratamento de *outliers* e de dados faltantes precisa ser estudada com bastante detalhamento previamente a qualquer utilização dos dados nas previsões de consumo e geração sugeridas anteriormente;
- No tocante à sincronização, o algoritmo de leitura dos dados de água requisita os dados a cada 10 minutos, o algoritmo de leitura dos dados da estação meteorológica requisita os dados a cada 10 segundos, o algoritmo dos medidores a cada 1 minuto e o algoritmo do sistema de geração PV a cada 5 minutos. O intervalo de leitura de cada uma destas requisições foi determinado de acordo com as limitações de comunicação de cada um dos sistemas. A sincronização dos dados vindos dos últimos três sistemas é muito importante para seu uso conjunto, e, pode ser realizada com a definição de um mesmo momento para leitura de todos os dados. Este

refinamento de sincronização, porém, dificilmente pode ser alcançado. Isso se deve ao fato de que a leitura dos dados do sistema de geração PV precisa ser realizada nos intervalos ociosos do software proprietário de leitura dos dados do inversor, de modo que, o final desta comunicação é o gatilho para o início da leitura dos próximos dados;

- Outro fator que dificulta esta sincronização é o fato de os medidores terem seus dados lidos por um único algoritmo centralizado. Isso faz com que os dados de um medidor só possam ser lidos após a finalização da leitura dos dados do medidor anterior, defasando a leitura dos dados de um medidor para o próximo em poucos segundos ou em muitos segundos – para o caso de medidores não subsequentes. Esta sincronização em específico pode ser alcançada com a implementação de uma placa de leitura de dados para cada um dos medidores, com um relógio interno sincronizado, porém isso adicionaria maior complexidade ao sistema e principalmente custo, tornando sua realização inviável no contexto atual. A mudança dos intervalos de leitura deve ser posteriormente estudada para o sistema de geração PV, mas para os medidores ainda pode ser melhorada com a mudança para uma maior *baud rate* – os cálculos do Apêndice C também apresentam o ganho temporal com a adoção da maior *baud rate* aceita pelos medidores;
- Dentro dos intervalos especificados atualmente, porém, é possível encontrar uma “falsa sincronia” entre os dados, pois eles podem ser filtrados de acordo com parte de seu *timestamp*, ou seja, apenas horas e minutos, descartando os segundos da leitura, pois para determinadas aplicações e avaliações, esta discrepância do tempo de leitura em alguns segundos não é prejudicial;
- Ainda no tocante a sincronia e utilização conjunta dos dados, as implicações da adição de mais medidores ao sistema futuramente precisam ser avaliadas, bem como a sincronia da leitura entre as aplicações integradas para avaliação mais sólida e conjunta dos dados extraídos do campus; a confiabilidade das máquinas que rodam o algoritmo de leitura e o servidor do banco de dados *MySQL*, além da substituição da primeira por uma *Raspberry Pi*; adição de uma reinicialização automática no código de leitura dos dados dos medidores quando da ocorrência de algum problema, assim

como existente nos códigos do sistema de geração PV e da estação meteorológica, e por fim o uso efetivo dos dados advindos dos medidores, do sistema de geração PV e da estação meteorológica conjuntamente, de modo a realmente tornar o ICTS em um *smart campus* do ponto de vista energético.

5. CONCLUSÃO

A realização do presente trabalho permitiu a implementação de um sistema integrado de monitoramento e coleta do consumo energético (SIMCCE) no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS). Este sistema permite a coleta de dados e seu armazenamento de modo a preencher um banco de dados, bem como permitir um monitoramento remoto dos medidores previamente instalados no campus. O sistema implementado demonstrou ser confiável, intuitivo e, principalmente uma base sólida para a implementação de aplicações que tornem o ICTS em um *smart campus* do ponto de vista energético.

Do ponto de vista teórico, a implementação do SIMCCE proporciona um entendimento aprofundado de coleta e monitoramento de dados, bem como possíveis pontos positivos – como por exemplo uma melhor compreensão dos padrões de consumo, e como as condições climáticas influenciam no consumo de energia e na geração PV – e dificuldades – como por exemplo como os diferentes sistemas monitorados possuem maneiras próprias para coleta de suas informações, além de diferentes taxas de amostragem, e como aumentar a confiabilidade da leitura dos dados – que possam existir em sua realização.

A utilização sinérgica dos dados coletados e armazenados pelo SIMCCE permite um melhor entendimento da interdependência entre eles, destacando a importância da coleta individual e a significativa agregação de valor e inteligência resultante da sua análise conjunta. Além disso, o SIMCCE gradualmente enriquece os conhecimentos relacionados à concepção de um *smart campus*, evidenciando sua relevância interdisciplinar. Embora o conceito seja muito abordado na literatura recente, ele não possui um número grande de aplicações no cenário nacional, e carece de documentação adequada.

Já do ponto de vista prático, o sistema integrado de medição será a base para implementação de técnicas estatísticas, de inteligência artificial e aprendizado de máquina. Isso permitirá um controle mais eficaz do consumo e da geração de energia do ICTS, possibilitando previsões de consumo e geração precisas, identificação de padrões de consumo e otimização do uso de recursos. Essas aplicações impulsionaram a transição do ICTS para um modelo energético inteligente e sustentável, potencialmente catalisando melhorias em outros domínios. Adicionalmente a abundância de dados gerados preenche uma lacuna significativa na

disponibilidade de dados reais de consumo e geração para estudos, pois estes são pouco divulgados de maneira geral, enquanto as avaliações dos parâmetros elétricos da STD IEEE 1459-2010 abrem novas oportunidades de pesquisa.

As principais contribuições deste trabalho residem na melhoria da arquitetura em camadas proposta e implementada em (PROENÇA, 2022), destacando principalmente o uso integrado dos dados coletados pelos diferentes sistemas monitorados via arquitetura e sua disponibilidades aberta. A arquitetura proposta pode ser replicada em outros campi em vias de se tornarem inteligentes, totalmente baseada em tecnologias *open source*, proporcionando acesso transparente aos dados que estão sendo monitorados. Embora algumas dessas propostas já tenham sido abordadas separadamente na literatura, sua integração completa, aliada à disponibilidade total dos dados, representa uma contribuição deste trabalho.

A implementação da arquitetura no campus do ICTS, após vários meses de execução, valida seu propósito, fornecendo um sistema de *smart campus* robusto e de fácil acesso, com monitoramento de dados contínuo (quase em tempo real), apresentando-os de maneira simples e integrando perfeitamente os dados de diferentes fontes – medidores de consumo de água e energia, estação meteorológica e painéis de geração PV –, processos e *hardwares*. A arquitetura final construída agrega valor informativo e econômico à administração do campus e a todos os seus membros.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

No tocante a possíveis trabalhos que possam ser desenvolvidos com base no que aqui foi apresentado, algumas sugestões são apresentadas.

A primeira que pode ser destacada é estudos posteriores sobre o aumento da confiabilidade dos sistemas de leitura dos dados, como por exemplo adição do backup local de dados nos sistemas de monitoramento do consumo de água, estação meteorológica e geração PV, substituição do notebook que lê os dados do consumo de energia por um microcontrolador ou um notebook com sistema operacional Linux – mais confiável do que o Windows –, e a expansão dos sistemas – com adição de novos painéis de geração PV e medidores em outros pontos do campus.

Em seguida é possível destacar a aplicação de ferramentas estatísticas e de aprendizado de máquina nos dados coletados e armazenados no banco de dados,

pois isso permite, entre outras coisas: melhor entendimento de padrões nos dados, observações e análises estatísticas, inferências, previsões de consumo, previsões de geração de acordo com os dados da estação meteorológica – que fazem sentido apenas quando considerando a instalação de sistemas de bateria no campus –, identificação de aplicações com maior consumo do campus e gerenciamento de seu uso para diminuição do consumo, análise do consumo geral para possivelmente fechar um novo contrato com a CPFL com demandas contratadas mais favoráveis à Unesp, identificação de padrões de consumo para melhor planejamento de utilização energética, entre outras. Dentro desta linha de estudo, é importante também avaliar como a não sincronia dos dados provenientes dos sistemas pode influenciar em sua análise posterior.

Outra possibilidade que foi apenas destacada ao longo do documento e merece bastante destaque é a utilização dos dados de consumo de energia para realização de cálculos relacionados ao padrão IEEE 1459-2010. Como identificado anteriormente, este padrão de medição foi publicado para fornecer maneiras mais precisas e corretas de calcular os parâmetros de potência de um sistema elétrico na presença de harmônicas, e os dados coletados pelo SIMCCE permitem os cálculos da maior parte dos parâmetros elétricos referentes a este padrão, o que permite a comparação dos valores calculados com estes mesmos valores medidos de acordo com o algoritmo implementado nos medidores – que ainda não são produzidos realizando suas medições de acordo com esta norma –, o que pode acrescentar muito na maneira como é realizada a coleta e cobrança da energia entregue.

Por fim, podem ser sugeridos como próximos trabalhos o desenvolvimento de sistemas adicionais para instalação no *smart campus* em desenvolvimento do ICTS, como por exemplo monitoramento de ambientes, monitoramento da qualidade do ar e controle automatizado dos aparelhos de ar-condicionado. Cada sistema adicional contribui para o aumento da inteligência do campus, trazendo ao mesmo e seus integrantes benefícios econômicos, informacionais e de qualidade de vida.

5.2. TRABALHOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS

A realização da presente dissertação proporcionou a elaboração de dois artigos acadêmicos submetidos, aceitos e apresentados em congressos; além de um artigo baseado na dissertação submetido a uma revista de alcance internacional.

- B. O. Zarpellon, A. O. F. José, A. Luis de Oro, E. P. Godoy, F. P. Marafão and H. K. Morales-Paredes, "**Arquitetura IoT Para Integração de Dados no Contexto de um Smart Campus**," 2023 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), São Bernardo do Campo, Brasil, 2023, pp. 1561-1568, doi: 10.1109/INDUSCON58041.2023.10374701.
- Bruno O Zarpellon, Luis de Oro Arenas, Eduardo P Godoy, Fernando P Marafao, Helmo KM Paredes, "**Sistema de Monitoramento do Consumo Energético no Contexto de Smart Campus**", X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE) 2023, Manaus, Brasil.
- Bruno O Zarpellon, Luis de Oro Arenas, Eduardo P Godoy, Fernando P Marafao, Helmo KM Paredes, "**Design and implementation of a smart campus flexible Internet of Things architecture on a Brazilian university**", IEEE Access – IEEE, submetido.

REFERÊNCIAS

AG, C. B. M. Device handbook SIRAX BM1200. [s. l.], p. 39, 2016.

AGARWAL, Prashant; RAVI KUMAR, G. V. V.; AGARWAL, Pooja. IoT based framework for smart campus: COVID-19 readiness. **Proceedings of the World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability, WS4 2020**, [s. l.], p. 539–542, 2020.

ALGHAMDI, A.; SHETTY, S. Survey: Toward a smart campus using the internet of things. *In*: IEEE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE INTERNET OF THINGS AND CLOUD, FICLOUD 2016, 2016, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2016. p. 235–239.

ANEEL. Prodist, Módulo 8. Dispõe sobre processo de atualização periódica do Rol de Procedimentos e Eventos em Saúde, no âmbito da Agência Nacional de Saúde Suplementar. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**: 8, p. 88, 2018.

ARENAS, L. A. de O. **Medidor inteligente de energia elétrica embarcado em FPGA**. 2019. 1–103 f. - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, [s. l.], 2019.

AWUZIE, B.; NGOWI, A. B.; OMOTAYO, T.; OBI, L.; AKOTIA, J. Facilitating successful smart campus transitions: A systems thinking-SWOT analysis approach. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1–20, 2021.

BAKKEN, J. P.; USKOV, V. L.; KUPPILI, S. V.; USKOV, A. V.; GOLLA, N.; RAYALA, N. Smart university: software systems for students with disabilities. *In*: SMART UNIVERSITIES: CONCEPTS, SYSTEMS, AND TECHNOLOGIES. [S. l.]: Springer, 2017. p. 87–128.

BANDARRA, P.; VALDEZ, M. T.; PEREIRA, A. Solutions for monitoring and analysing for energy consumption - Energy management systems. *In*: 51ST INTERNATIONAL UNIVERSITIES POWER ENGINEERING CONFERENCE, UPEC 2016, 2016, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2016. p. 1–5.

CARAGLIU, A.; DEL BO, C.; NIJKAMP, P. Smart cities in Europe. **Journal of Urban Technology**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 45–59, 2009.

CHAGNON-LESSARD, N.; GOSSELIN, L.; BARNABE, S.; BELLO-OCHEDE, T.; FENDT, S.; GOERS, S.; SILVA, L. C. P. Da; SCHWEIGER, B.; SIMMONS, R.; VANDERSICKEL, A.; ZHANG, P. Smart campuses: Extensive review of the last decade of research and current challenges. **IEEE Access**, [s. l.], v. 9, p. 124200–124234, 2021.

DASH, S.; SAHOO, N. C. Electric energy disaggregation via non-intrusive load monitoring: A state-of-the-art systematic review. **Electric Power Systems Research**, [s. l.], v. 213, n. June, p. 108673, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108673>.

DE MELO, G. C. G.; TORRES, I. C.; DE ARAÚJO, Í. B. Q.; BRITO, D. B.; BARBOZA, E. de A. A low-cost iot system for real-time monitoring of climatic variables and photovoltaic generation for smart grid application. **Sensors**, [s. l.], v. 21, n. 9, 2021.

DE PAOLA, A.; GIAMMANCO, A.; LO RE, G.; ANASTASI, G. Detection of points of interest in a smart campus. *In*: 5TH INTERNATIONAL FORUM ON RESEARCH AND TECHNOLOGIES FOR SOCIETY AND INDUSTRY: INNOVATION TO SHAPE THE FUTURE, RTSI 2019 - PROCEEDINGS, 2019, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2019. p. 155–160.

DOAN, A.; HALEVY, A.; IVES, Z. **Principles of Data Integration**. [S. l.]: Morgan Kaufmann, 2012. 2012.

DONG, Z. Y.; ZHANG, Y.; YIP, C.; SWIFT, S.; BESWICK, K. Smart campus: Definition, framework, technologies, and services. **IET Smart Cities**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–12, 2020.

FACENS. **Institucional - Facens**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://facens.br/a-facens/institucional/#:~:text=Em uma área de 100,atualizada e área de esportes>. Acesso em: 6 dez. 2023.

FORTES, S.; SANTOYO-RAMÓN, J. A.; PALACIOS, D.; BAENA, E.; MORA-GARCÍA, R.; MEDINA, M.; MORA, P.; BARCO, R. The campus as a smart city:

University of Málaga environmental, learning, and research approaches. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 23, 2019.

GIFFINGER, R.; FERTNER, C.; KRAMAR, H.; MEIJERS, E. **City-ranking of European medium-sized cities**Centre of Regional Science, Vienna UT. [S. l.: s. n.], 2007.

HAZELCAST. **Hazelcast Glossary Terms: Time Series Database**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://hazelcast.com/glossary/time-series-database/#:~:text=A time-series database lets,for each point in time>. Acesso em: 1 dez. 2022.

HUAWEI TECHNOLOGIES CO. SUN2000-12-20KTL Manual. [s. l.], p. 98–99, 2019.

IEEE STANDARD ASSOCIATION. **IEEE Std. 1459-2010IEEE**. [S. l.: s. n.], 2010.

KHAN, F.; SIDDIQUI, M. A. B.; REHMAN, A. U.; KHAN, J.; ASAD, M. T. S. A.; ASAD, A. IoT based power monitoring system for smart grid applications. **2020 International Conference on Engineering and Emerging Technologies, ICEET 2020**, [s. l.], p. 1–5, 2020.

KHAN, K. R.; SIDDIQUI, M. S.; SAAWY, Y. Al; ISLAM, N.; RAHMAN, A. Condition monitoring of a campus microgrid elements using smart sensors. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 163, p. 109–116, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.092>.

LIANG, Y.; CHEN, Z. Intelligent and real-time data acquisition for medical monitoring in smart campus. **IEEE Access**, [s. l.], v. 6, p. 74836–74846, 2018.

LIU, Z.; HAN, C. An IoT-based smart campus monitoring system. **Proceedings - 2022 International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2022**, [s. l.], p. 395–396, 2022.

LUFFT. **WS502-UMB Smart Weather Sensor**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.lufft.com/products/compact-weather-sensors-293/ws502-umb-smart-weather-sensor-1838/>. Acesso em: 8 fev. 2023.

MATOS, L. F. P. de. **Dispositivo remoto com comunicação LoRaWAN para monitoramento de variáveis para gestão de água**. 2022. 55 f. [s. l.], 2022.

MERAZ, M. S.; GUTIERREZ, M. G. J.; JUAREZ, I. M. Air quality monitoring in a smart campus. **2020 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2020**, [s. l.], 2020.

MIN-ALLAH, N.; ALRASHED, S. Smart campus—A sketch. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 59, n. May, p. 15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102231>.

MIT ICAMPUS. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <http://icampus.mit.edu>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MODBUS PROTOCOL DESCRIPTION. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.modbustools.com/modbus.html>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MODBUS RTU. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: https://ozeki.hu/p_5854-modbus-rtu.html. Acesso em: 15 fev. 2023.

MORAES, V. O. **Sistema embarcado para a coleta de dados de geração fotovoltaica para campus inteligente**. 2023. 75 f. [s. l.], 2023.

MUHAMAD, W.; KURNIAWAN, N. B.; SUHARDI, S.; YAZID, S. Smart campus features, technologies, and applications: A systematic literature review. *In*: 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY SYSTEMS AND INNOVATION, ICITSI 2017 - PROCEEDINGS, 2017, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 384–391.

NETTO, R. S.; FARIA, L. de A.; LOCHTER, J. Von; FILHO, E. R.; RODRIGUES, G. A. de A. **Facens smart campus integrated dashboard: A use case applied for energy efficiency**. [S. l.: s. n.] 2022.

NG, J. W. P.; AZARMI, N.; LEIDA, M.; SAFFRE, F.; AFZAL, A.; YOO, P. D. The intelligent campus (iCampus): End-to-end learning lifecycle of a knowledge ecosystem. *In*: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ENVIRONMENTS, IE 2010, 2010, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2010. p. 332–337.

NODE-RED. **Node-RED**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://nodered.org/>. Acesso em: 1 dez. 2022.

PAGLIARO, F.; MATTONI, B.; GUGLIERMENTI, F.; BISEGNA, F.; AZZARO, B.; TOMEI, F.; CATUCCI, S. A roadmap toward the development of Sapienza Smart Campus. *In: IEEEIC 2016 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING*, 2016, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.]: IEEE, 2016. p. 6.

PERRY, T. **Zigbee vs Z-Wave vs WiFi vs Bluetooth: What's Best?!** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.smarthomepoint.com/%0Azigbee-zwave-wifi-bluetooth-comparison/>. Acesso em: 29 jan. 2024.

PRINCIPAL - SMART CAMPUS FACENS. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://smartcampus.facens.br/>. .

PROENÇA, M. H. **Arquitetura IoT para aplicação em smart campus**. 2022. 74 f. - UNESP - Universidade Estadual Paulista, [s. l.], 2022.

SANZ, R.; CORREDERA, Á.; HERNÁNDEZ, J. L.; SAMIENGO, J.; VICENTE, J. M.; BUJEDO, L. A. Towards the integration of monitoring systems to support the evaluation of nearly Zero Energy Buildings through Key Performance Indicators. *In: 2015 IEEE WORKSHOP ON ENVIRONMENTAL, ENERGY, AND STRUCTURAL MONITORING SYSTEMS, EESMS 2015 - PROCEEDINGS*, 2015, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2015. p. 90–95.

SARI, M. W.; CIPTADI, P. W.; HARDYANTO, R. H. Study of smart campus development using internet of things technology. **IAES International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics**, [s. l.], v. 190, 2016.

SASTRA, N. P.; WIHARTA, D. M. Environmental monitoring as an IoT application in building smart campus of Universitas Udayana. **2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems: Advancing Smart and Green Technology to Build Smart Society, ICSGTEIS 2016 - Proceedings**, [s. l.], n. October, p. 85–88, 2017.

SMART CAMPUS - UNICAMP. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://smartcampus.prefeitura.unicamp.br/>. Acesso em: 1 dez. 2022.

SUN, Y.; HAGHIGHAT, F.; FUNG, B. C. M. A review of the-state-of-the-art in data-driven approaches for building energy prediction. **Energy and Buildings**, [s. l.], v.

221, p. 110022, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110022>.

SUPANGKAT, S. H.; ARMAN, A. A.; NUGRAHA, R. A.; FATIMAH, Y. A. The implementation of Garuda Smart City framework for smart city readiness mapping in Indonesia. **Journal of Asia-Pacific Studies**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 169–176, 2018. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/159504667.pdf>.

TECHNOLOGY, I. **Baud rate**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.influxtechnology.com/post/ baud-rate>. Acesso em: 15 fev. 2023.

UEMURA, L. **Sistema embarcado para a coleta de dados de estação meteorológica para campus inteligente**. 2023. 66 f. - UNESP - Universidade Estadual Paulista, [s. l.], 2023.

UNICAMP. **Conheça o campus - Unicamp**. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: [https://www.comvest.unicamp.br/ingresso-2022/ vestibular-2022/manual-de-ingresso-2022/conheca-o-campus/#:~:text=O principal campus da Unicamp,de 559 mil metros quadrados](https://www.comvest.unicamp.br/ingresso-2022/ vestibular-2022/manual-de-ingresso-2022/conheca-o-campus/#:~:text=O principal campus da Unicamp,de 559 mil metros quadrados. Acesso em: 6 dez. 2023). Acesso em: 6 dez. 2023.

VERSTAEVEL, N.; BOES, J.; GLEIZES, M. P. From smart campus to smart cities issues of the smart revolution. *In*: 2017 IEEE SMARTWORLD UBIQUITOUS INTELLIGENCE AND COMPUTING, ADVANCED AND TRUSTED COMPUTED, SCALABLE COMPUTING AND COMMUNICATIONS, CLOUD AND BIG DATA COMPUTING, INTERNET OF PEOPLE AND SMART CITY INNOVATION, SMARTWORLD/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI 2017 -, 2017, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 6.

YANG, J.; KWON, Y.; KIM, D. Regional smart city development focus: The South Korean National Strategic Smart City Program. **IEEE Access**, [s. l.], v. 9, p. 7193–7210, 2021.

ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.

ZHAMANOV, A.; SAKHIYEVA, Z.; SULIYEV, R.; KALDYKULOVA, Z. IoT smart campus review and implementation of IoT applications into education process of

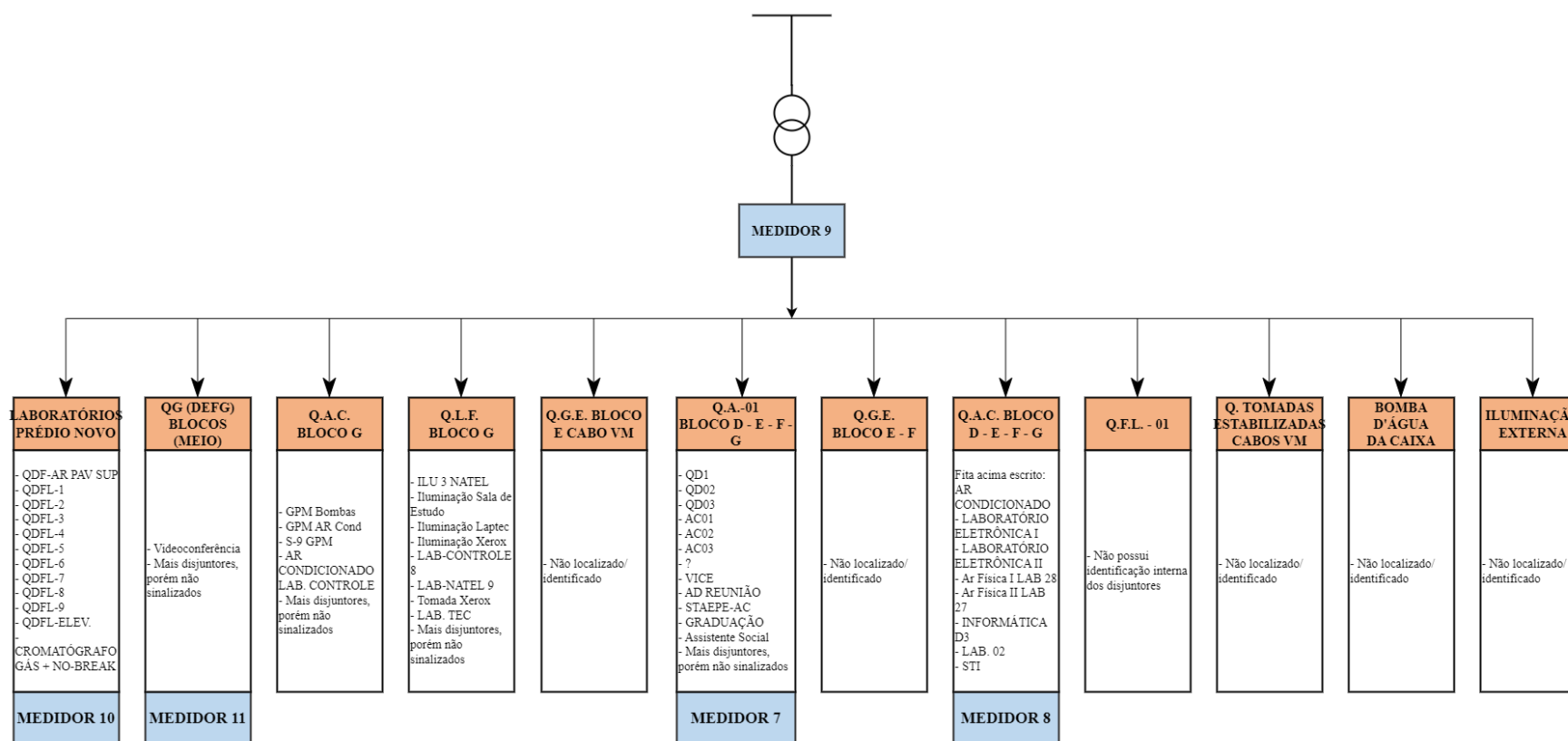
university. *In*: 2017 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMPUTER AND COMPUTATION, ICECCO 2017, 2017, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 4.

ZHAO, H. X.; MAGOULÈS, F. A review on the prediction of building energy consumption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 3586–3592, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049>.

ZHU, Y.; DONG, Z.; CHENG, Z.; HUANG, X.; DONG, Y.; ZHANG, Z. Neural network extended state-observer for energy system monitoring. **Energy**, [s. l.], v. 263, n. PA, p. 125736, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125736>.

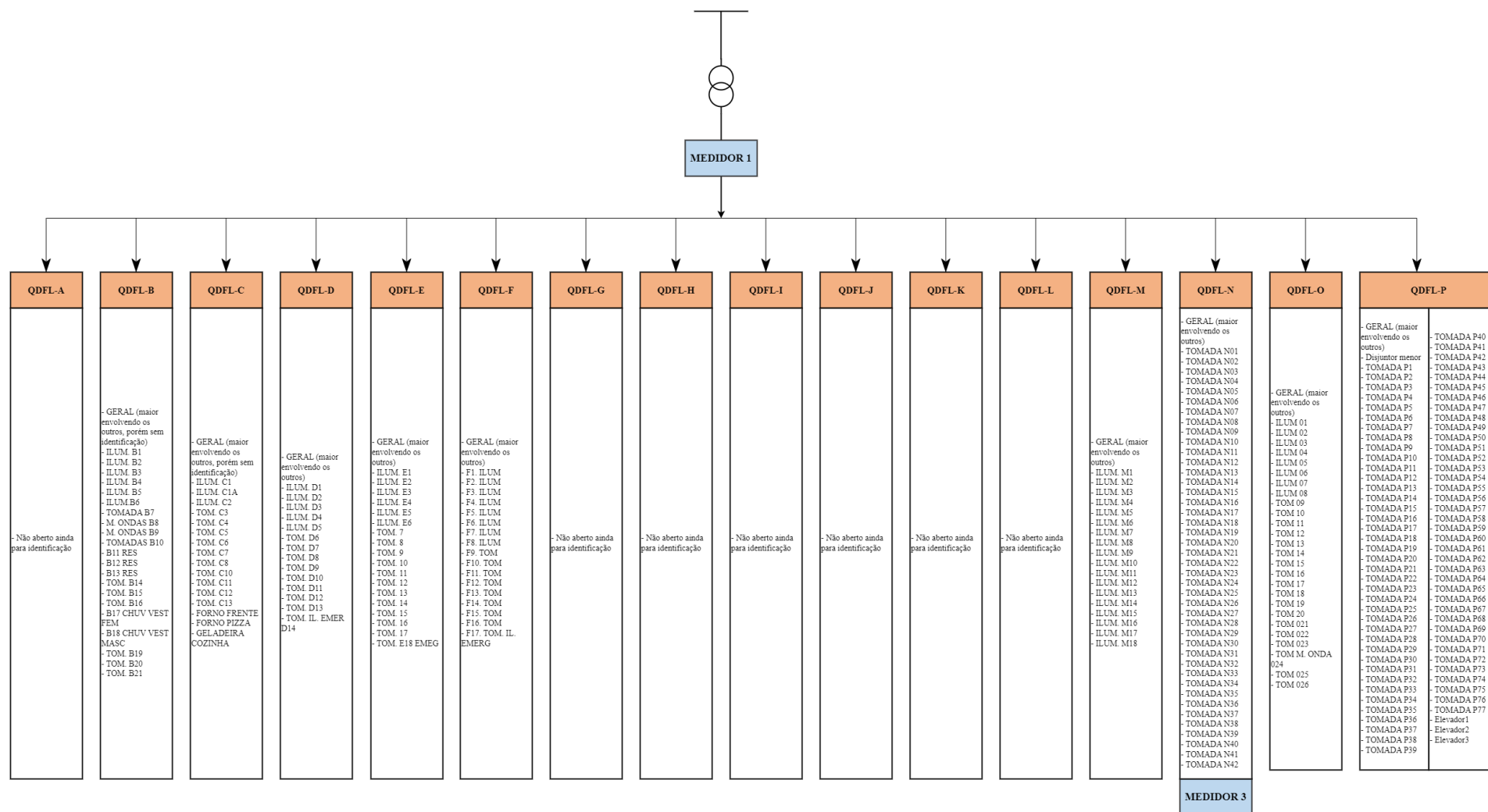
APÊNDICE A – DIAGRAMAS UNIFILARES DOS DOIS PRINCIPAIS QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO DO CAMPUS, COM IDENTIFICAÇÃO DOS MEDIDORES SOB ELES

Figura A.1– Quadro geral de distribuição 1: quadro que contém todos os subsistemas elétricos do campus, à exceção dos sistemas presentes no prédio H



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura A.2 – Quadro geral de distribuição 2: quadro que contém todos os subsistemas elétricos do prédio H



Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B – LISTA DE VARIÁVEIS MONITORADAS PELOS QUATRO SISTEMAS

Sistema	Parâmetros lidos	Comentários adicionais
Consumo de água	Vazão de água Pressão da água Volume da água	Dados coletados na entrada de água do campus, e nos prédios D e H.
Estação meteorológica	Temperatura do ar Radiação global Relação da resistência de meia ponte 1 Relação da resistência de meia ponte 2 Sensor de radiação Sensor de irradiação Temperatura interna do painel Pressão atmosférica Umidade relativa Medidor de temperatura de contato 1 Medidor de temperatura de contato 2 Medidor de chuva Direção do vento Sensor de velocidade do vento 1 Sensor de velocidade do vento 2 Nível da bateria	Por meio da leitura da relação de meia ponte é possível calcular a resistência de meia ponte, que pode levar ao cálculo de parâmetros adicionais que torna possível o cálculo da temperatura de contato. Estas variáveis são todas salvas no banco de dados, mas não são indicadas aqui, já que são calculadas de outras variáveis, e não lidas da estação.
Geração de energia PV	Potência nominal Potência ativa máxima Potência aparente máxima Potência reativa máxima de saída Potência reativa máxima de entrada Potência de entrada Potência ativa Potência reativa Pico de potência ativa do dia Tensão da rede Tensão de linha AB Tensão de linha BC Tensão de linha CA Tensão das fases A, B e C Corrente da rede Corrente das fases A, B, C Frequência da rede Eficiência Temperatura interna Energia acumulada	Como indicado pelas letras A, B e C, algumas das variáveis são coletadas separadamente para cada fase conectada ao inversor.
Consumo de energia	Tensões 1, 2, 3 Correntes 1, 2, 3 Potências ativas 1, 2, 3 Potências aparentes 1, 2, 3 Potências reativas 1, 2, 3 Fatores de potência 1, 2, 3 Ângulos de fase 1, 2, 3 Tensão média, soma Corrente média, soma	Como indicado pelos números 1, 2 e 3, a maioria das variáveis são coletadas separadamente para cada fase conectada a cada medidor.

	Potência ativa média, soma Potência aparente média, soma Potência reativa média, soma Fator de potência médio, soma Ângulo de fase médio, soma Frequência Watt-hour import Watt-hour export Tensão de linha 1-2, 2-3, 3-1 Distorção harmônica total da tensão em % 1, 2, 3 Distorção harmônica total da corrente em % 1, 2, 3 THD de tensão do sistema (%) THD de corrente do sistema (%) Corrente neutro	
--	--	--

APÊNDICE C – CÁLCULOS TEÓRICOS DO TEMPO DE COMUNICAÇÃO (REQUISIÇÃO + RESPOSTA) COM OS MEDIDORES

Os cálculos aqui realizados possuem embasamento na teoria apresentada no Anexo C deste documento.

- *Baud rate* escolhida: 9600
- Tempo máximo de resposta: 200 ms
- Cada mensagem possui 2 caracteres hexadecimais, em cada campo de 8 bits da mensagem. Cada hexadecimal são 4 bits
- *Bytes* de dados: 4 bytes (32 bits) por parâmetro. Dois registradores consecutivos de 16 bits representam um parâmetro. Então são 4 pares de hexadecimal
- *Error checking*: 2 bytes CRC (*cyclical redundancy check*) – 16 bits
- Formato de *byte*: 1 start bit, 8 data bits, least significant bit sent first, 1 bit for even/odd parity, 1 stop bit if parity is used; 1 or 2 bits if no parity
 - Padrão: No 1: no parity with one stop bit
 - Tamanho do Character (byte): **10** bits (1 + 8 + 1)
- Frame de envio possui: 8 pares de hex, ou 8 bytes, ou 64 bits
- Frame de resposta: mínimo 9 pares de hex, ou 9 bytes, ou 72 bits.
- Aumenta de acordo com a quantidade de parâmetros requisitados, sendo +4 bytes (32 bits) por parâmetro. No caso de requisição de 20 parâmetros (máximo), o frame fica: 85 pares de hex, ou 85 bytes, ou 680 bits
- Número de parâmetros requisitados nos frames enviados: 20, 20, 1 e 17

$$tempo\ de\ envio\ de\ 1\ bit = \frac{1}{baud\ rate} = \frac{1}{9600} = 104,167\ \mu s$$

$$t_{char} = size_{char} * t_{bit} = 10 * 104,17\mu s = 1041,67\ \mu s = 1,04167\ ms$$

$$t_{3,5} = 3,5 * t_{char} = 3,5 * 1041,67\ \mu s = 3,6458\ ms$$

$$t_{1.5} = 1,5 * t_{char} = 1,5 * 1041,67 \mu s = 1,5625 ms$$

$$t_{requisição} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{requisição} = 8 * 1,04167ms + 7 * 1,5625ms$$

$$t_{requisição} \approx 19,27 ms$$

$$t_{resposta20} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{resposta20} = 85 * 1,04167ms + 84 * 1,5625ms$$

$$t_{resposta20} \approx 219,79ms$$

$$t_{resposta1} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{resposta1} = 9 * 1,04167ms + 8 * 1,5625ms$$

$$t_{resposta1} \approx 21,875ms$$

$$t_{resposta17} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{resposta17} = 73 * 1,04167ms + 72 * 1,5625ms$$

$$t_{resposta17} \approx 188,54ms$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$= 4 * t_{requisição} + 2 * t_{resposta20} + t_{resposta1} + t_{resposta17}$$

$$+ (n_{comunicações} - 1) * t_{3.5}$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$= 4 * 19,27 ms + 2 * 219,79ms + 21,875ms + 188,54ms + (8 - 1) * 3,6458 ms$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$= 4 * 19,27 ms + 2 * 219,79ms + 21,875ms + 188,54ms + 7 * 3,6458 ms$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}} \approx 752,6ms$$

$$t_{leitura_{min_total}} = n_{medidores} * t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$t_{leitura_{min_total}} = 10 * 752,6ms$$

$$\bullet \quad t_{leitura_{min_total}} \approx 7,526s$$

•

Para o pior caso, soma-se o tempo máximo de resposta Modbus:

$$t_{leitura_{máx_total_1medidor}} = t_{leitura_{min_total_1medidor}} + n_{requisições} * t_{resposta_{máx}}$$

$$t_{leitura_{máx_total_1medidor}} = 752,6ms + 4 * 200ms$$

$$t_{leitura_{máx_total_1medidor}} \approx 1,5526s$$

$$t_{leitura_{máx_total}} = n_{medidores} * t_{leitura_{máx_total_1medidor}}$$

$$t_{leitura_{máx_total}} = 10 * 1,5526s$$

$$t_{leitura_{máx_total}} \approx 15,526s$$

Cálculos considerando a Baud Rate mais rápida disponível, 38400 – 4 vezes a de 9600 utilizada atualmente

- Para este caso, de acordo com as referências, os valores de $t_{1,5}$ e $t_{3,5}$ são fixos: 750 μs e 1,750 ms, respectivamente
- Caso não fossem fixos, o tempo de leitura seria 4 vezes menor. Como não são, isso não é bem verdade. O tempo de leitura então deve ser recalculado:

$$tempo\ de\ envio\ de\ 1\ bit = \frac{1}{baud\ rate} = \frac{1}{38400} = 26,042\ \mu s$$

$$t_{char} = size_{char} * t_{bit} = 10 * 26,042\mu s = 260,417\ \mu s = 0,260417\ ms$$

$$t_{3,5} = 1,75\ ms$$

$$t_{1.5} = 750 \mu s = 0,75 ms$$

$$t_{requisição} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{requisição} = 8 * 0,260417ms + 7 * 0,75ms$$

$$t_{requisição} \approx 7,33 ms$$

$$t_{resposta20} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{resposta20} = 85 * 0,260417ms + 84 * 0,75ms$$

$$t_{resposta20} \approx 85,13ms$$

$$t_{resposta1} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{resposta1} = 9 * 0,260417ms + 8 * 0,75ms$$

$$t_{resposta1} \approx 8,344ms$$

$$t_{resposta17} = n_{bytes} * t_{char} + n_{intervalos} * t_{1.5}$$

$$t_{resposta17} = 73 * 0,260417ms + 72 * 0,75ms$$

$$t_{resposta17} \approx 73,01ms$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$= 4 * t_{requisição} + 2 * t_{resposta20} + t_{resposta1} + t_{resposta17}$$

$$+ (n_{comunicações} - 1) * t_{3.5}$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$= 4 * 7,33 ms + 2 * 85,13ms + 8,344ms + 73,01ms + (8 - 1) * 1,75 ms$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$= 4 * 7,33 ms + 2 * 85,13ms + 8,344ms + 73,01ms + 7 * 1,75 ms$$

$$t_{leitura_{min_total_1medidor}} \approx 293,2ms$$

$$t_{leitura_{min_total}} = n_{medidores} * t_{leitura_{min_total_1medidor}}$$

$$t_{leitura_{min_total}} = 10 * 293,2ms$$

$$\mathbf{t_{leitura_{min_total}} \approx 2,932s}$$

Para o pior caso, soma-se o tempo máximo de resposta Modbus:

$$t_{leitura_{máx_total_1medidor}} = t_{leitura_{min_total_1medidor}} + n_{requisições} * t_{resposta_{máx}}$$

$$t_{leitura_{máx_total_1medidor}} = 293,2ms + 4 * 200ms$$

$$\mathbf{t_{leitura_{máx_total_1medidor}} \approx 1,0932s}$$

$$t_{leitura_{máx_total}} = n_{medidores} * t_{leitura_{máx_total_1medidor}}$$

$$t_{leitura_{máx_total}} = 10 * 1,0932s$$

$$\mathbf{t_{leitura_{máx_total}} \approx 10,932s}$$

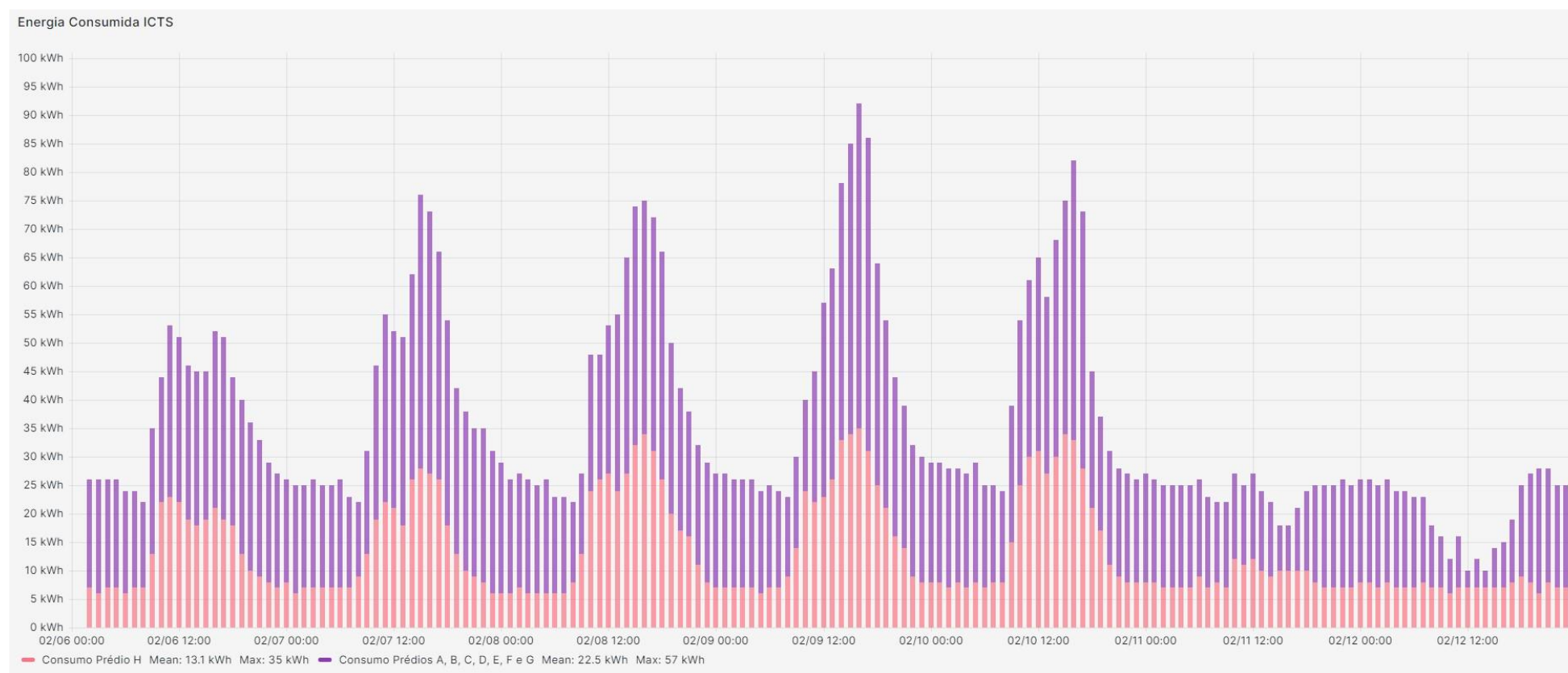
Comparativo:

$$\begin{aligned}
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmin}_{\%} \\
 &= \frac{t_{\text{leitura}_{\text{min_total_br9600}}} - t_{\text{leitura}_{\text{min_total_br38400}}}{t_{\text{leitura}_{\text{min_total_br9600}}}} * 100 \\
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmin}_{\%} = \frac{7,526s - 2,932s}{7,526s} * 100 \\
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmin}_{\%} = 0,6104 * 100 \\
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmin}_{\%} \approx \mathbf{61,04\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmáx}_{\%} \\
 &= \frac{t_{\text{leitura}_{\text{máx_total_br9600}}} - t_{\text{leitura}_{\text{máx_total_br38400}}}{t_{\text{leitura}_{\text{máx_total_br9600}}}} * 100 \\
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmáx}_{\%} = \frac{15,526s - 10,932s}{15,526s} * 100 \\
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmáx}_{\%} = 0,2959 * 100 \\
 & \text{Ganho_temporal_comunicação_tmáx}_{\%} \approx \mathbf{29,59\%}
 \end{aligned}$$

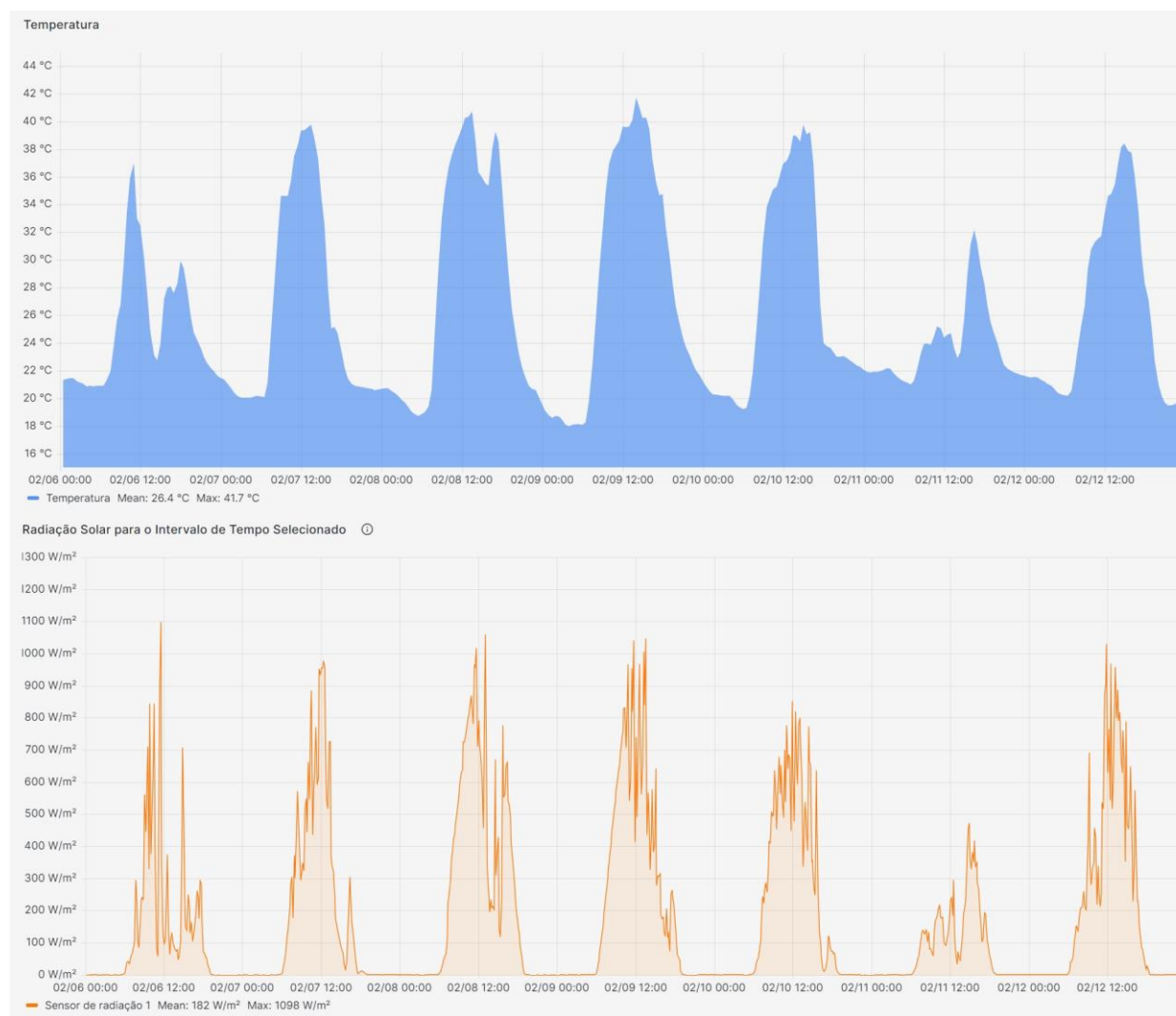
APÊNDICE D – DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA, TEMPERATURA, RADIAÇÃO SOLAR, GERAÇÃO PV E CONSUMO DE ÁGUA DO CAMPUS AO LONGO DE UMA SEMANA EM CADA UMA DAS ESTAÇÕES

Figura D.1 – Consumo de energia Verão, 6 a 12 de fevereiro de 2023



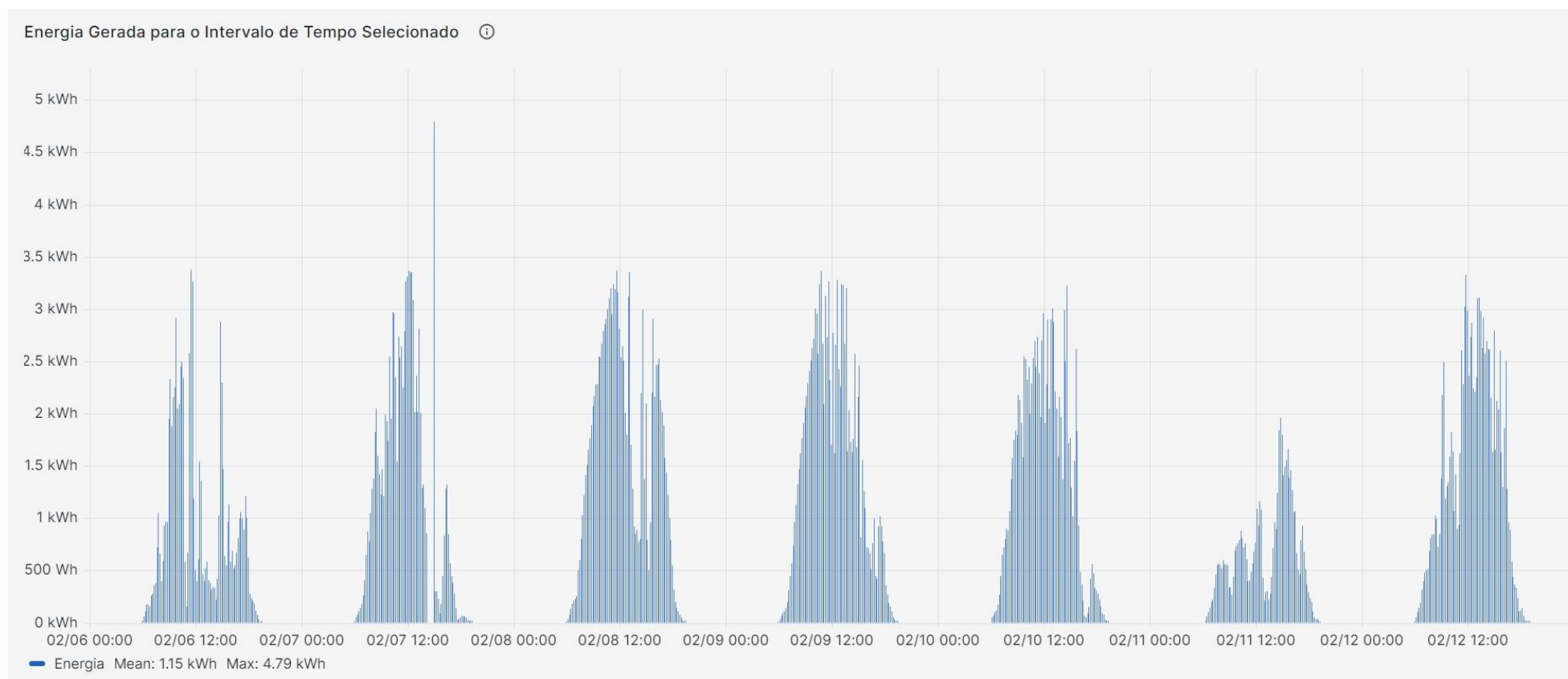
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.2 – Temperatura e radiação Verão, 6 a 12 de fevereiro de 2023



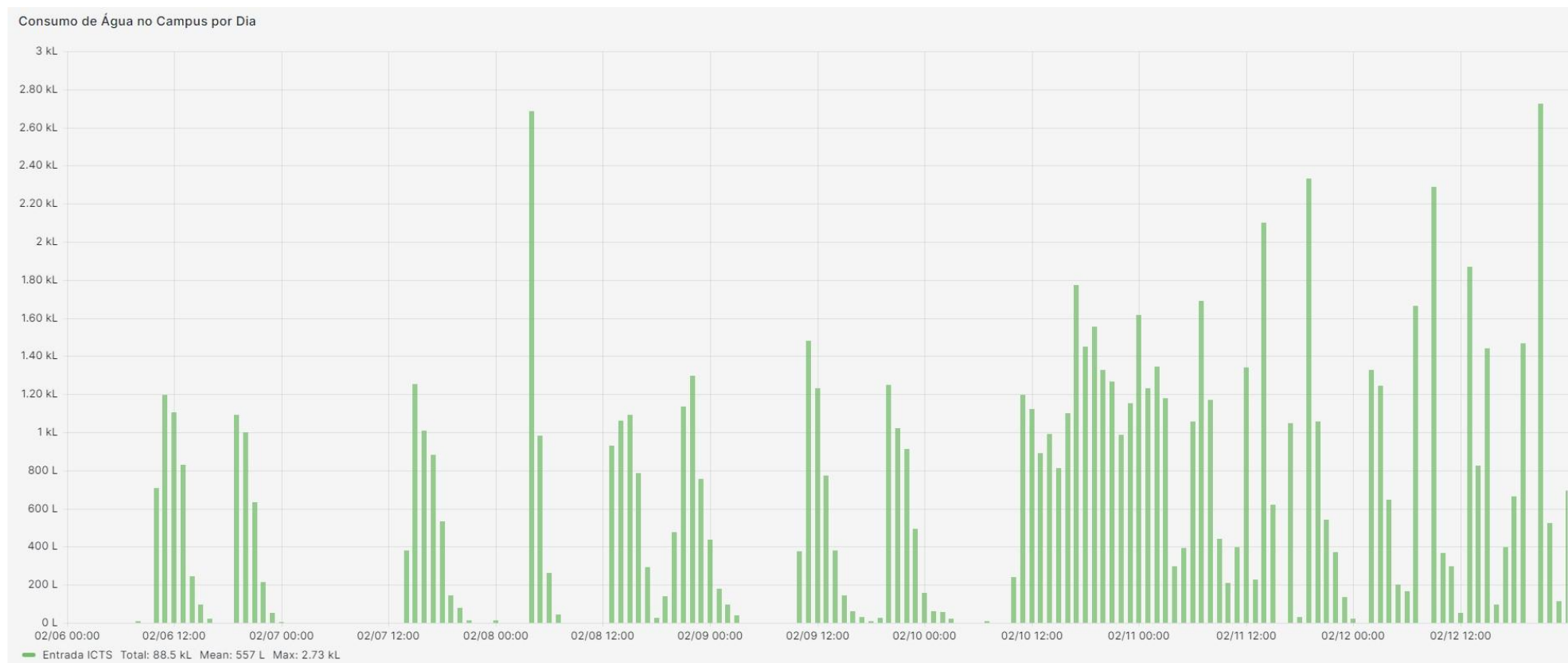
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.3 – Geração PV Verão, 6 a 12 de fevereiro de 2023



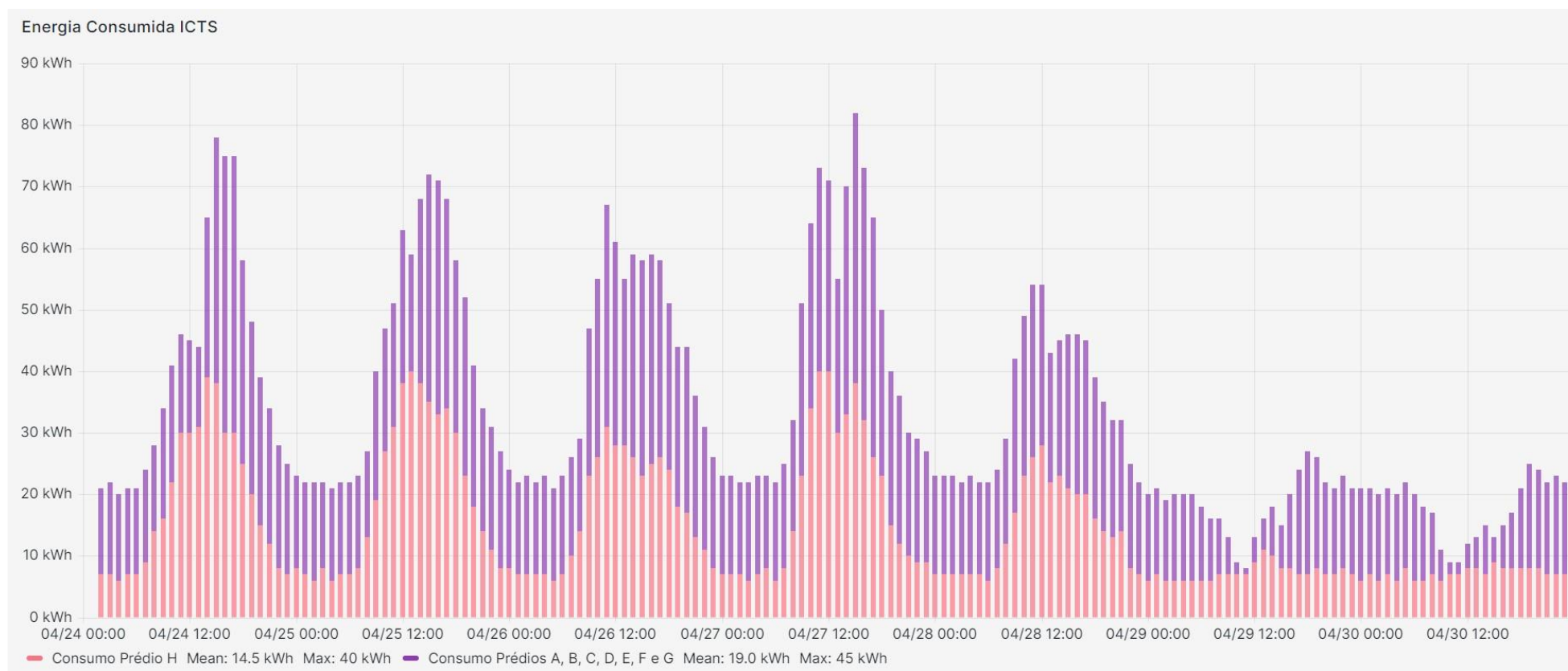
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.4 – Consumo de água Verão, 6 a 12 de fevereiro de 2023



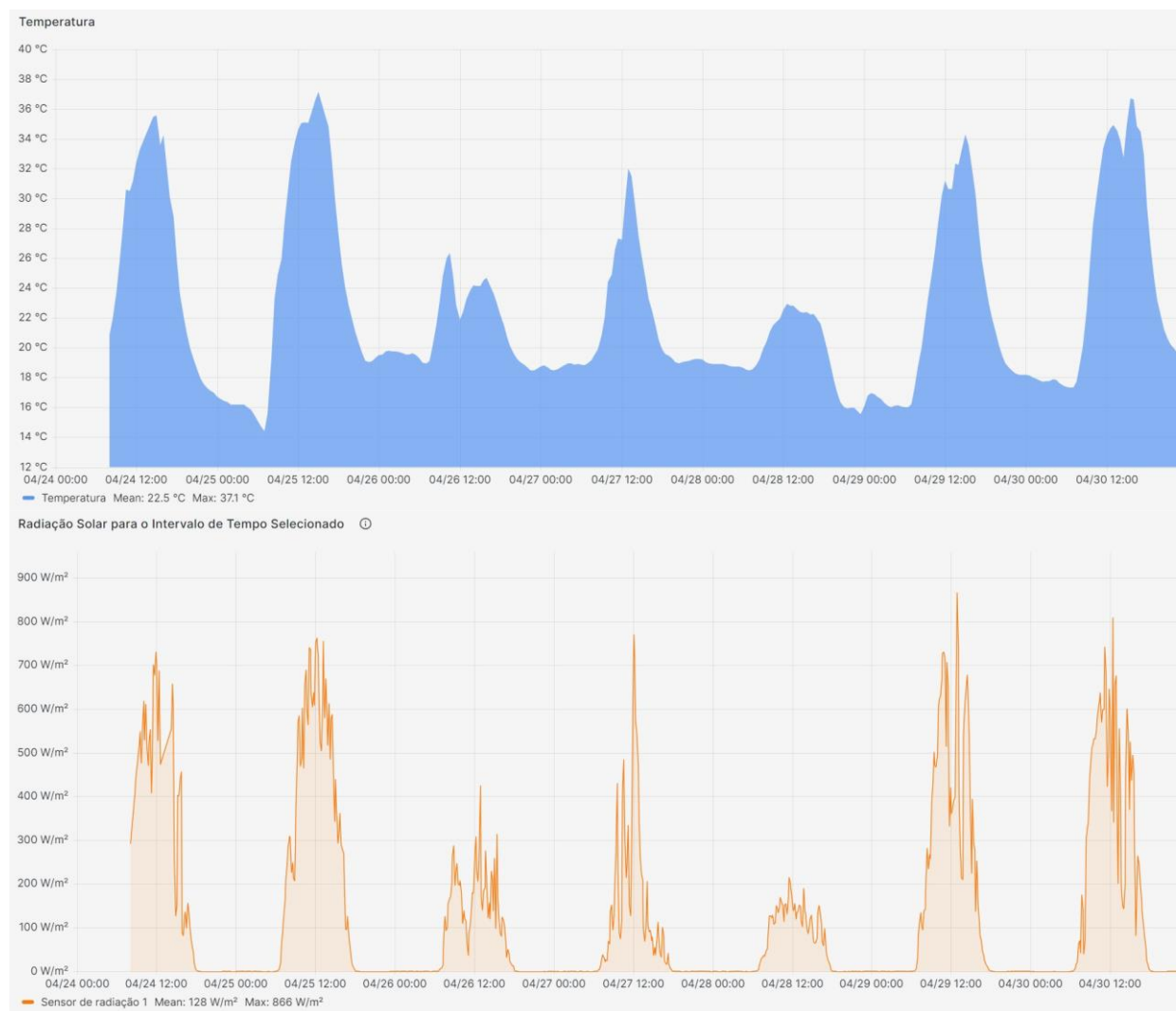
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.5 – Consumo de energia Outono, de 24 a 30 de abril de 2023



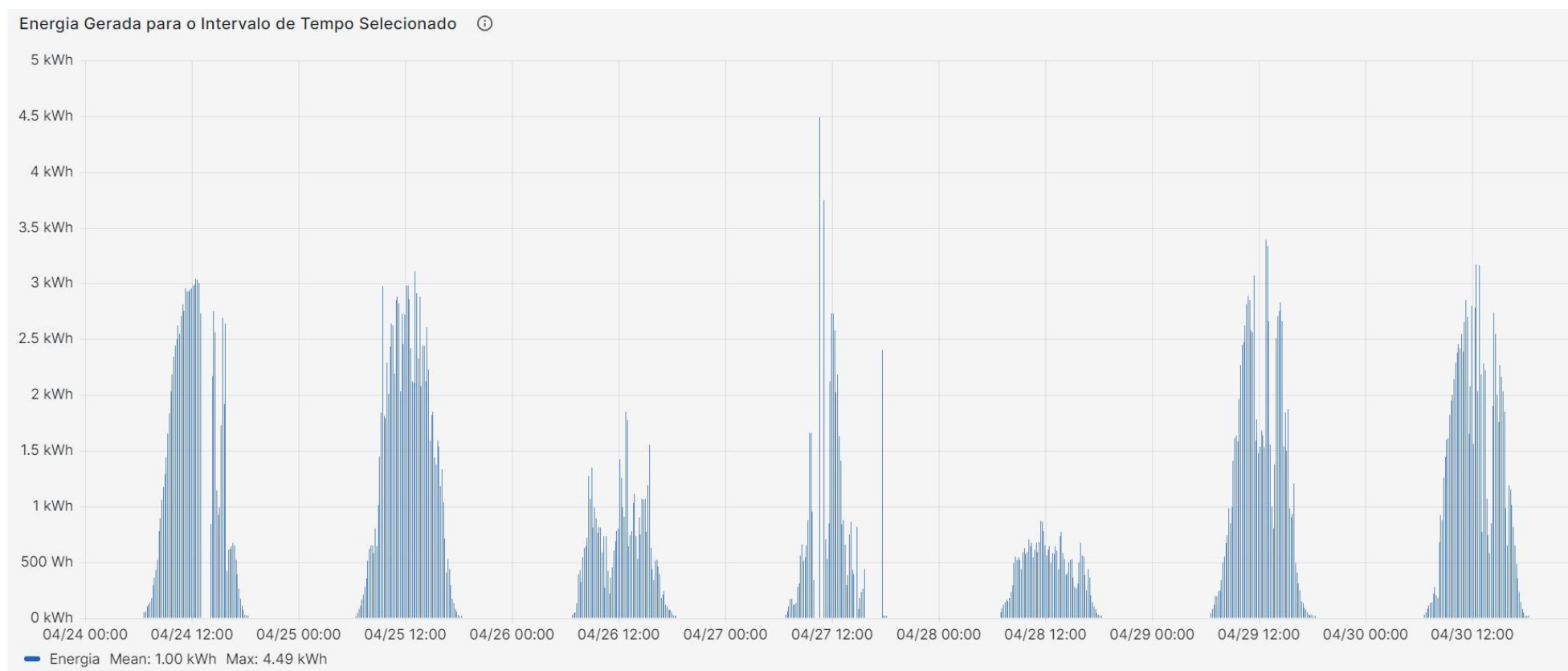
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.6 – Temperatura e radiação Outono, de 24 a 30 de abril de 2023



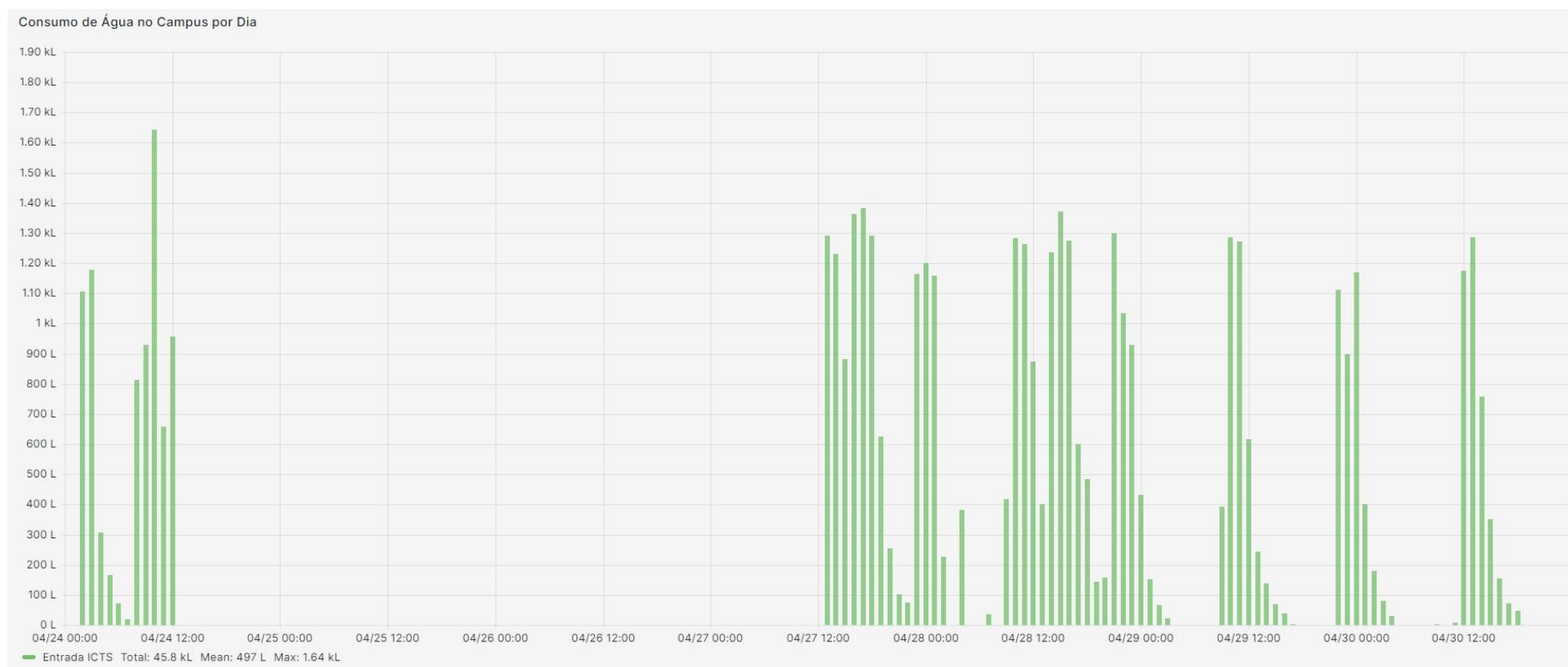
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.7 – Geração PV Outono, de 24 a 30 de abril de 2023



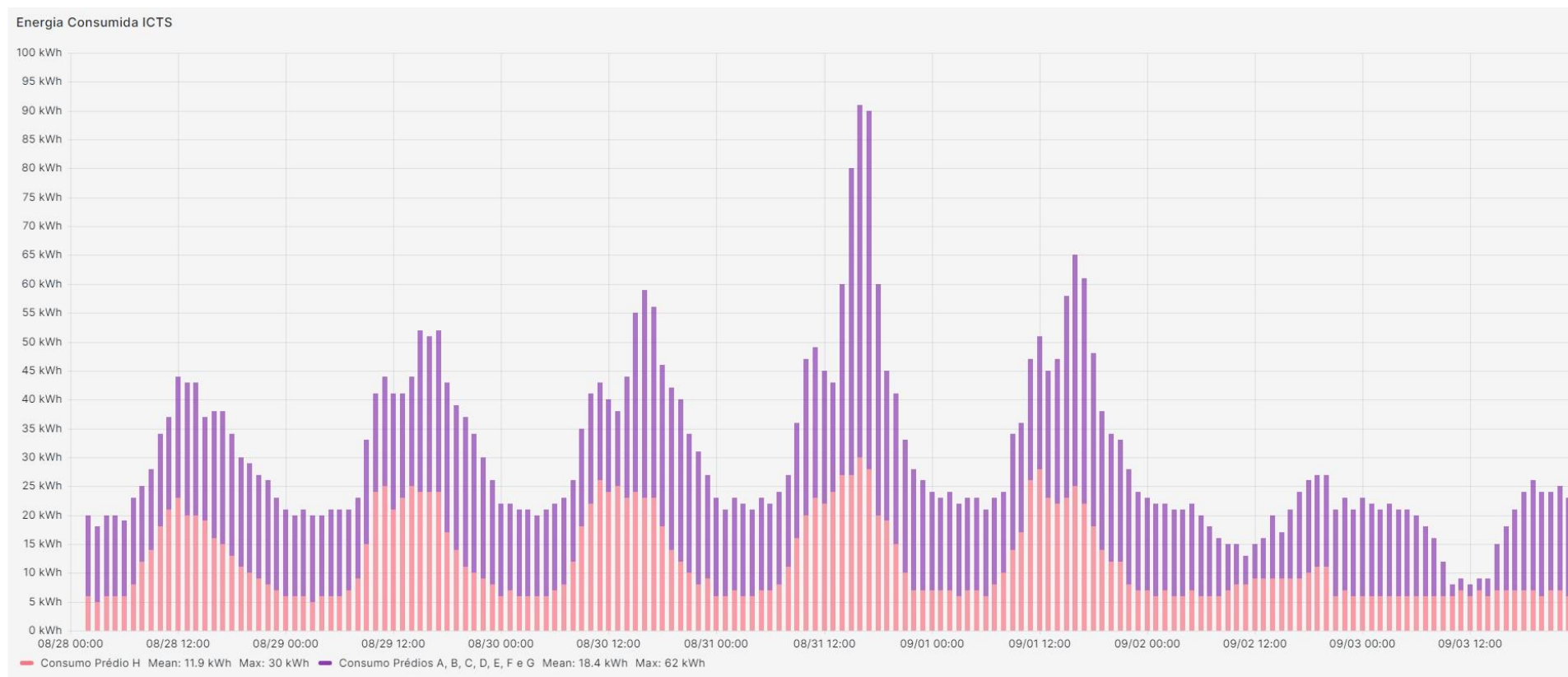
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.8 – Consumo de água Outono, de 24 a 30 de abril de 2023



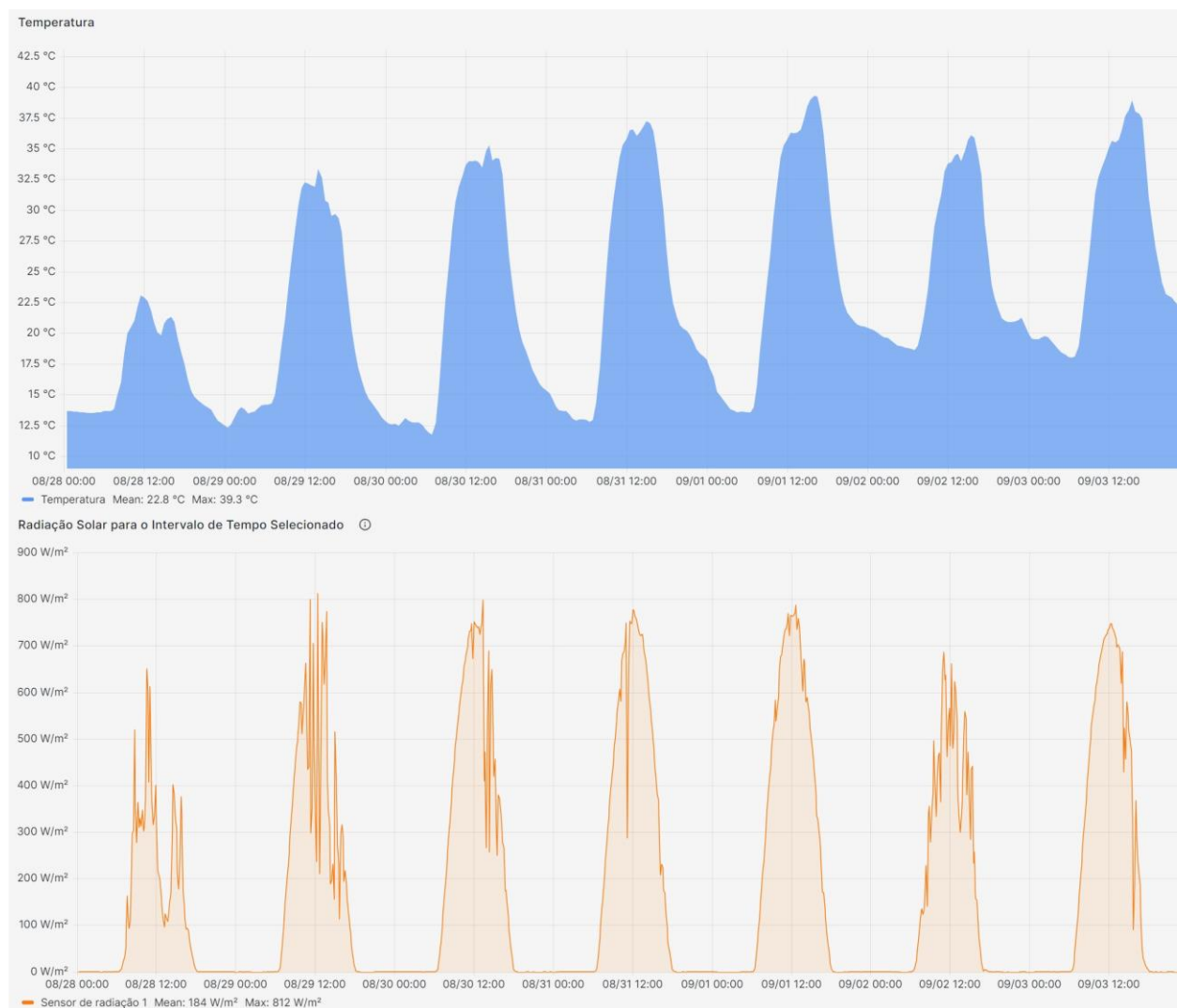
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.9 – Consumo de energia Inverno, de 28 de agosto a 3 de setembro de 2023



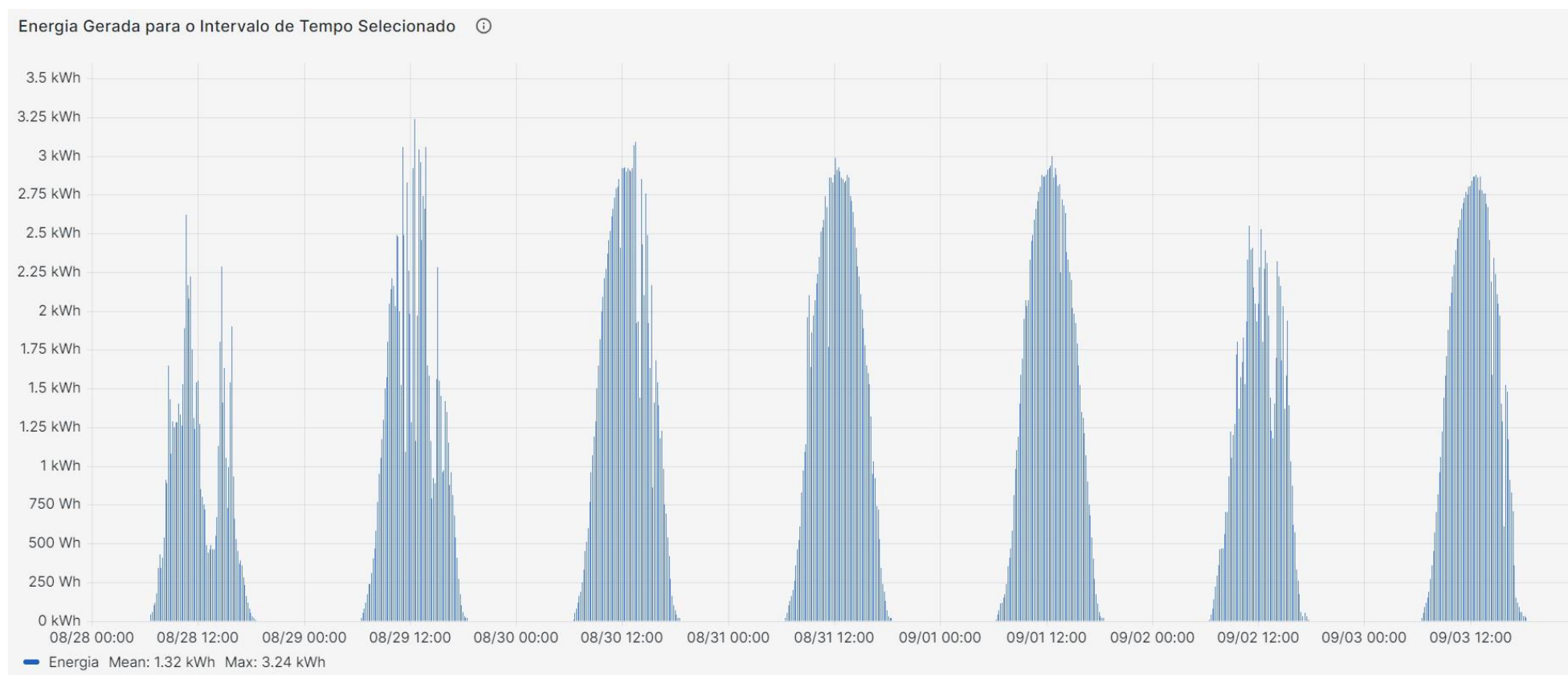
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.10 – Temperatura e radiação Inverno, de 28 de agosto a 3 de setembro de 2023



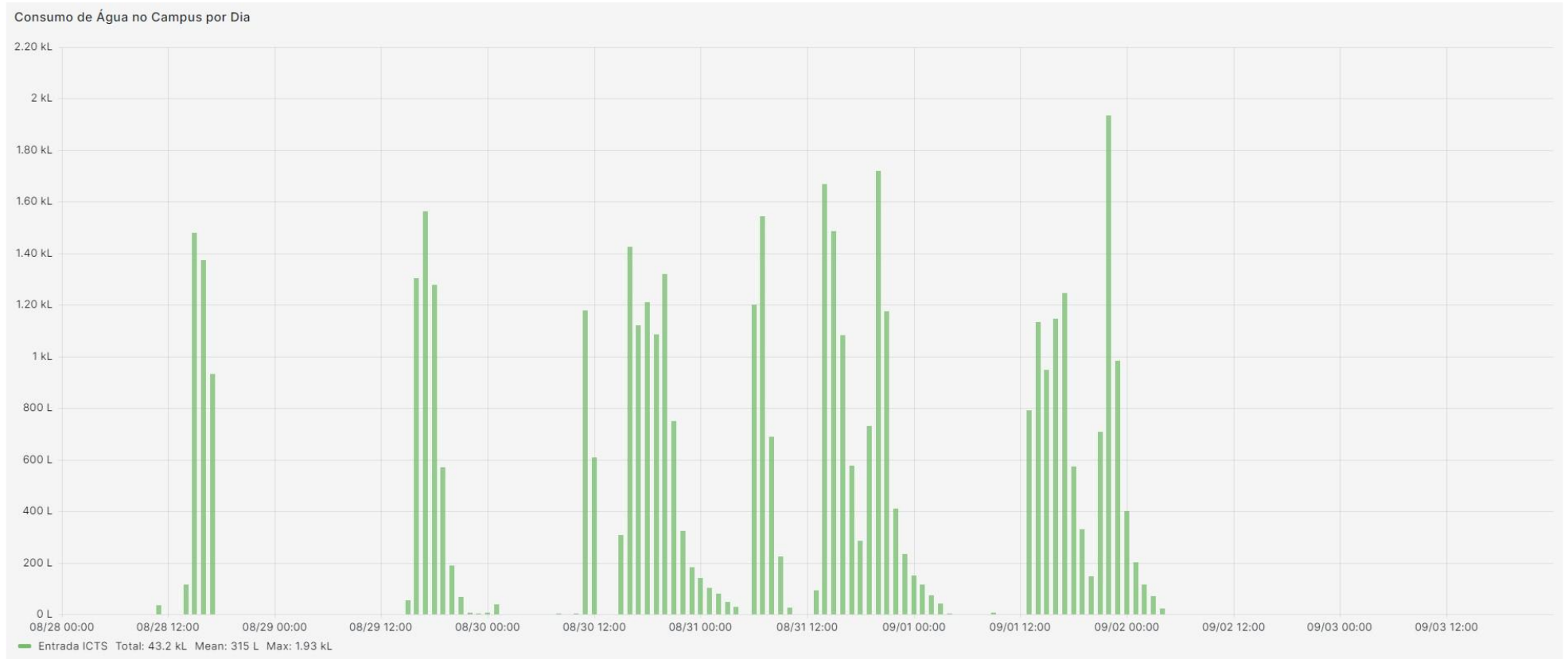
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.11 – Geração PV Inverno, de 28 de agosto a 3 de setembro de 2023



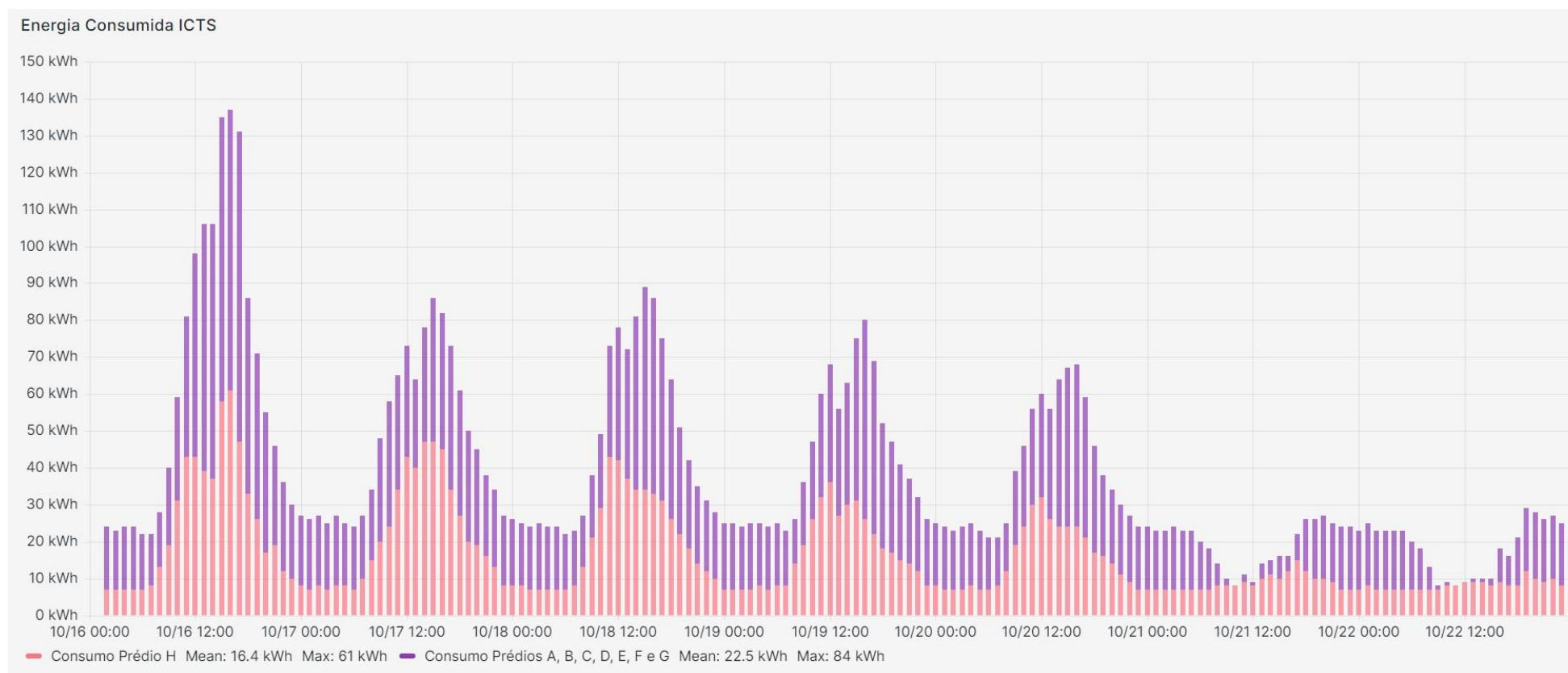
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.12 – Consumo de água Inverno, de 28 de agosto a 3 de setembro de 2023



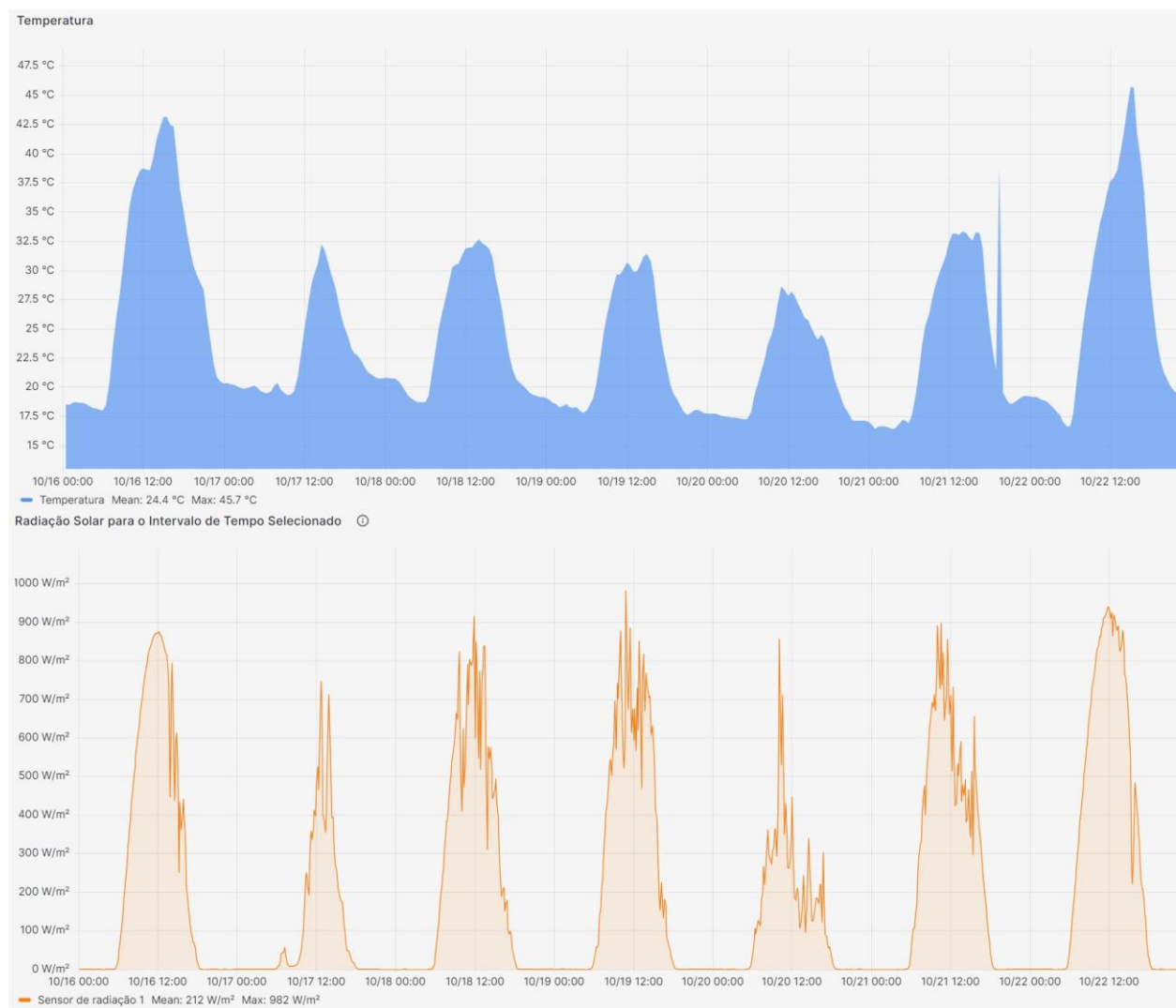
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.13 – Consumo de energia Primavera, de 16 a 22 de outubro de 2023



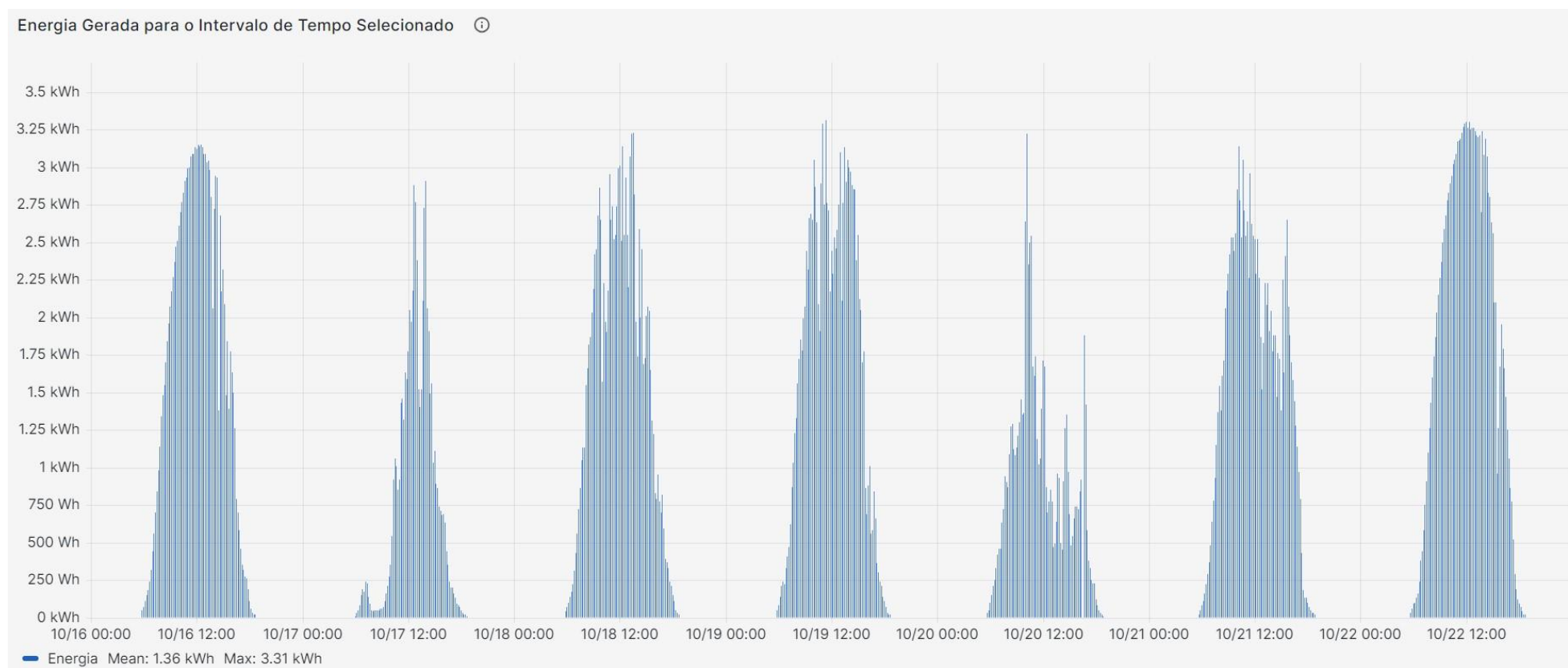
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.14 – Temperatura e radiação Primavera, de 16 a 22 de outubro de 2023



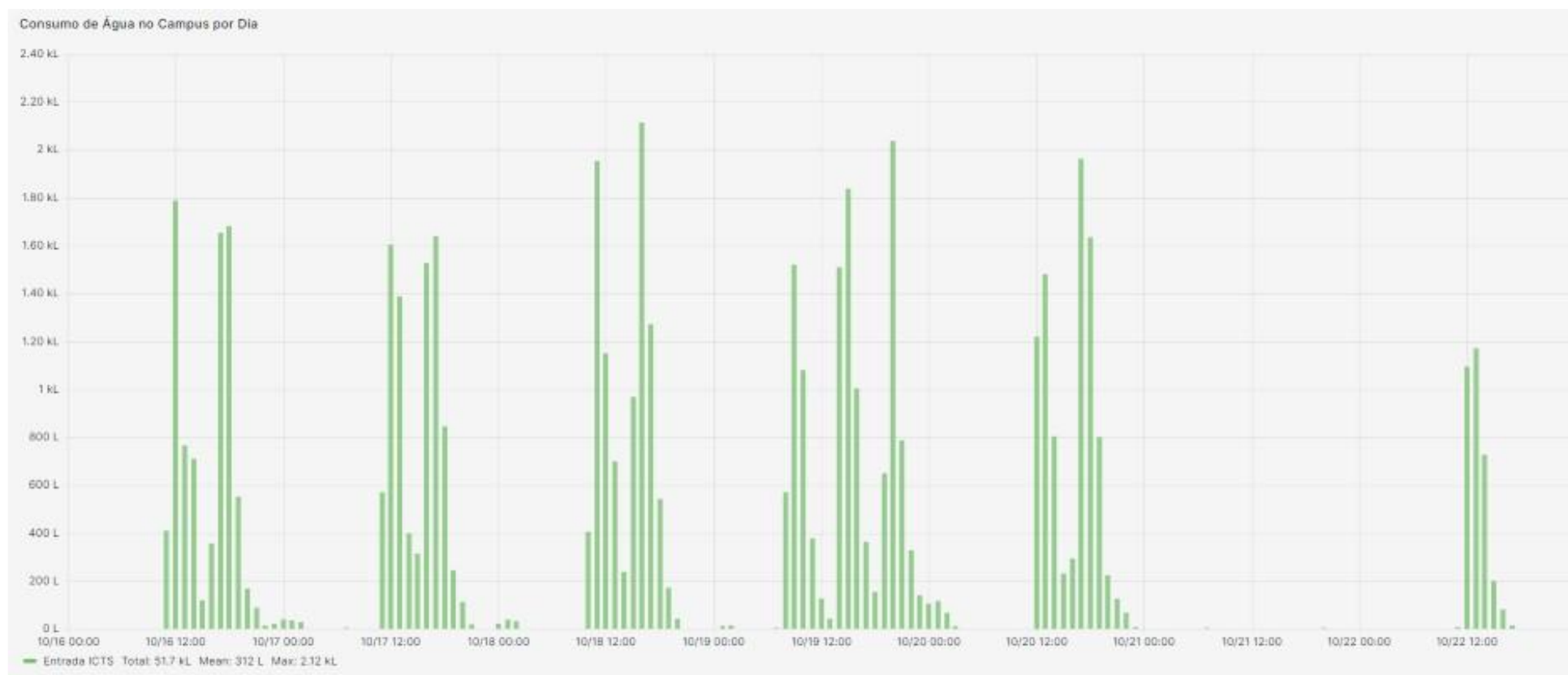
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.15 – Geração PV Primavera, de 16 a 22 de outubro de 2023



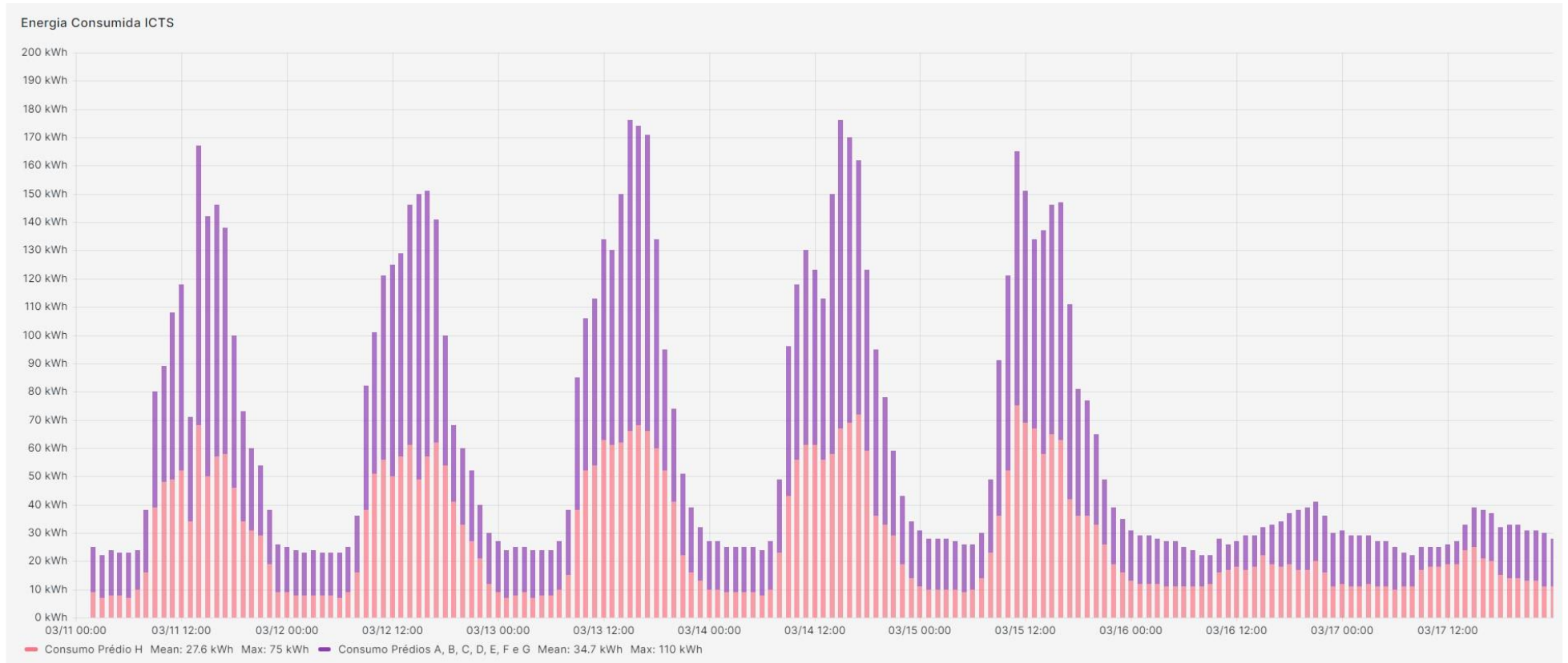
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.16 – Consumo de água Primavera, de 16 a 22 de outubro de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.17 – Consumo de energia Verão, de 11 a 17 de março de 2024



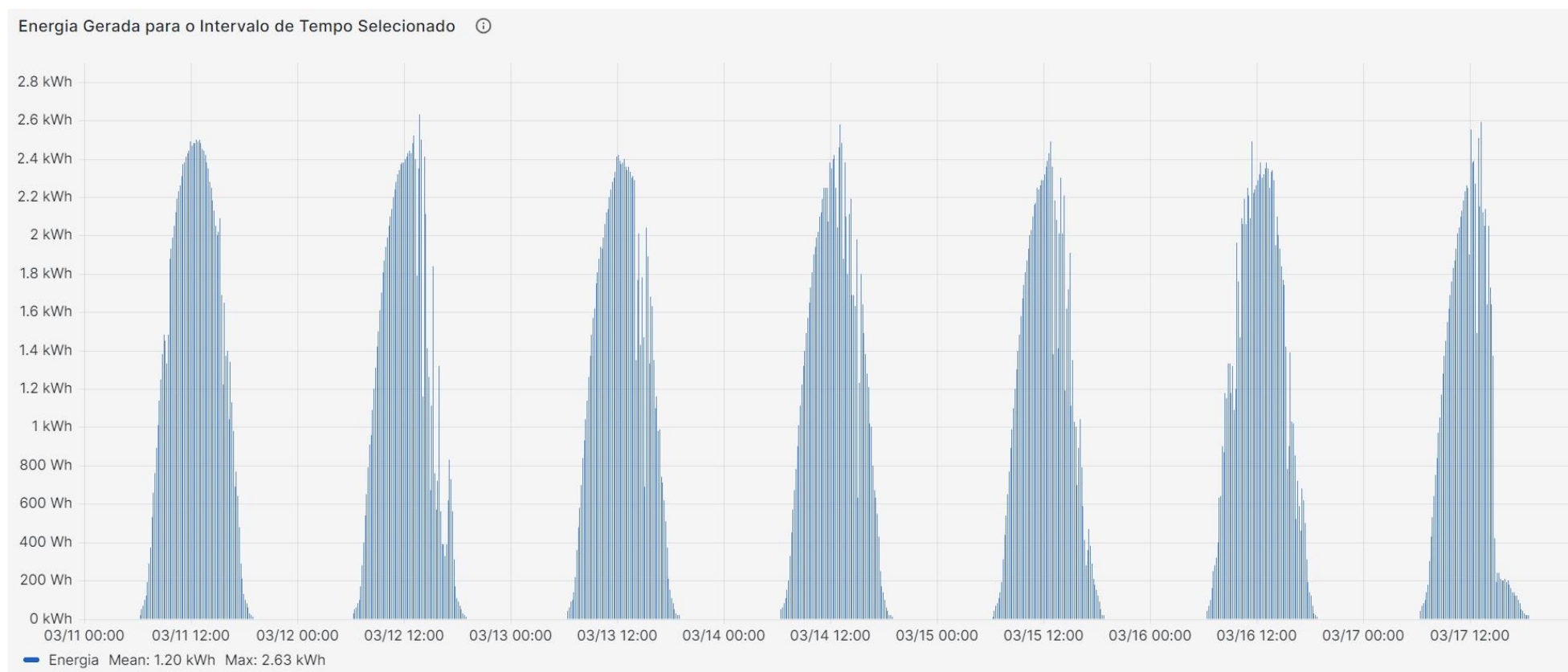
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.18 – Temperatura e radiação Verão, de 11 a 17 de março de 2024



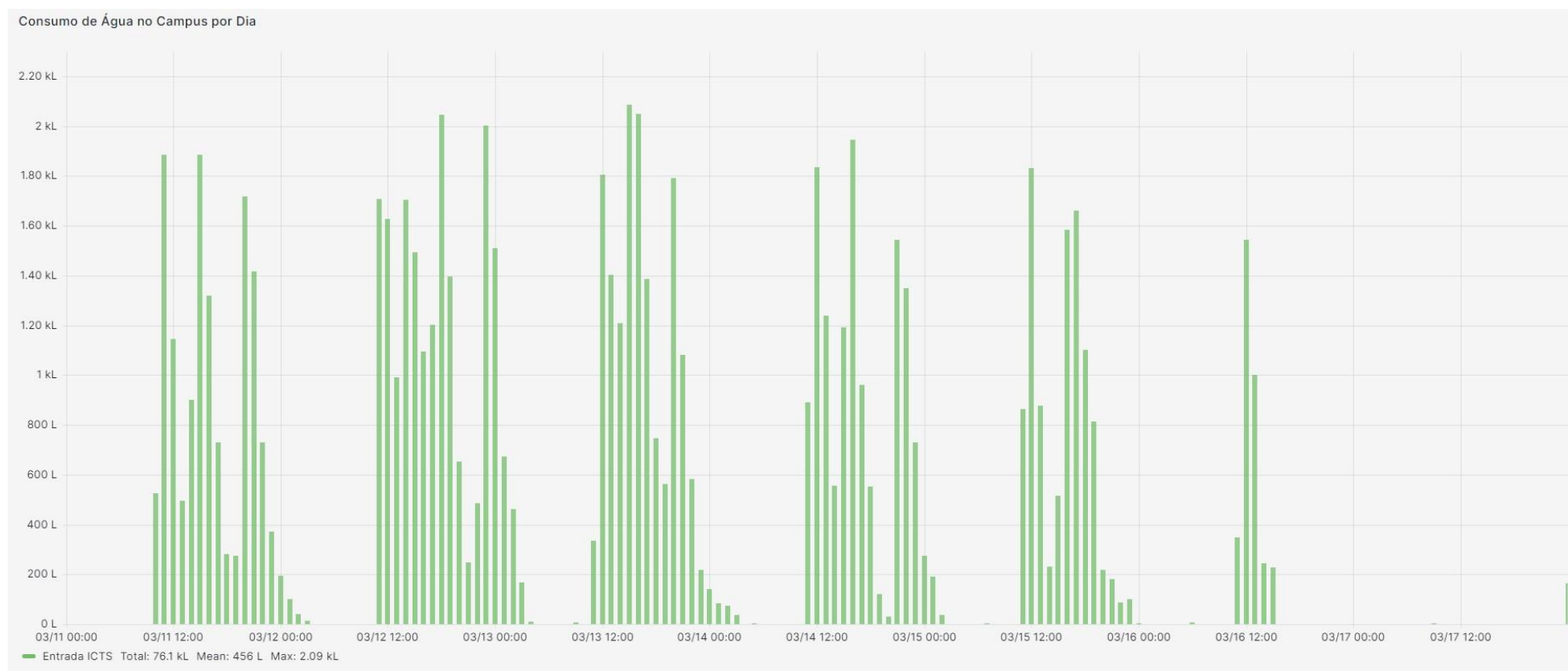
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura D.19 – Geração PV Verão, de 11 a 17 de março de 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

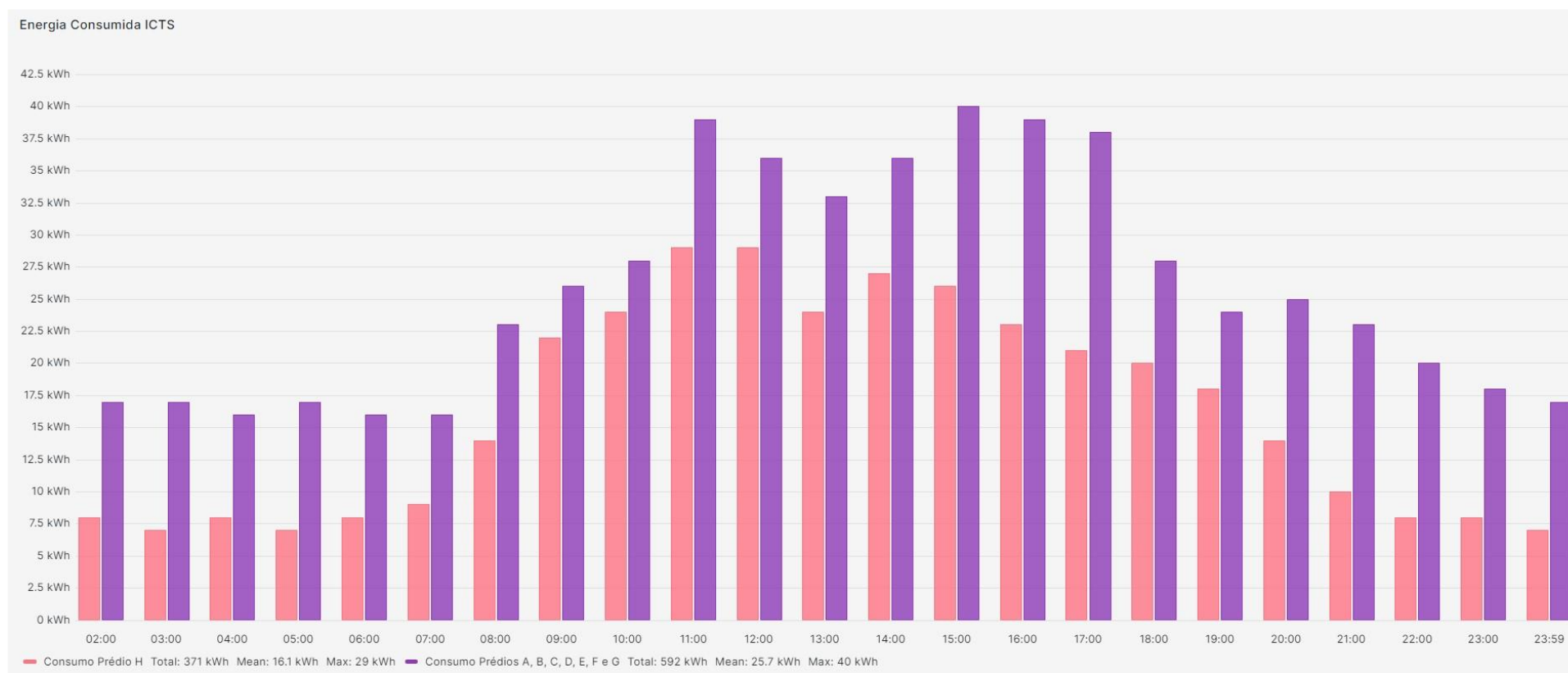
Figura D.20 – Consumo de água Verão, de 11 a 17 de março de 2024



Fonte: Elaborado pelo autor

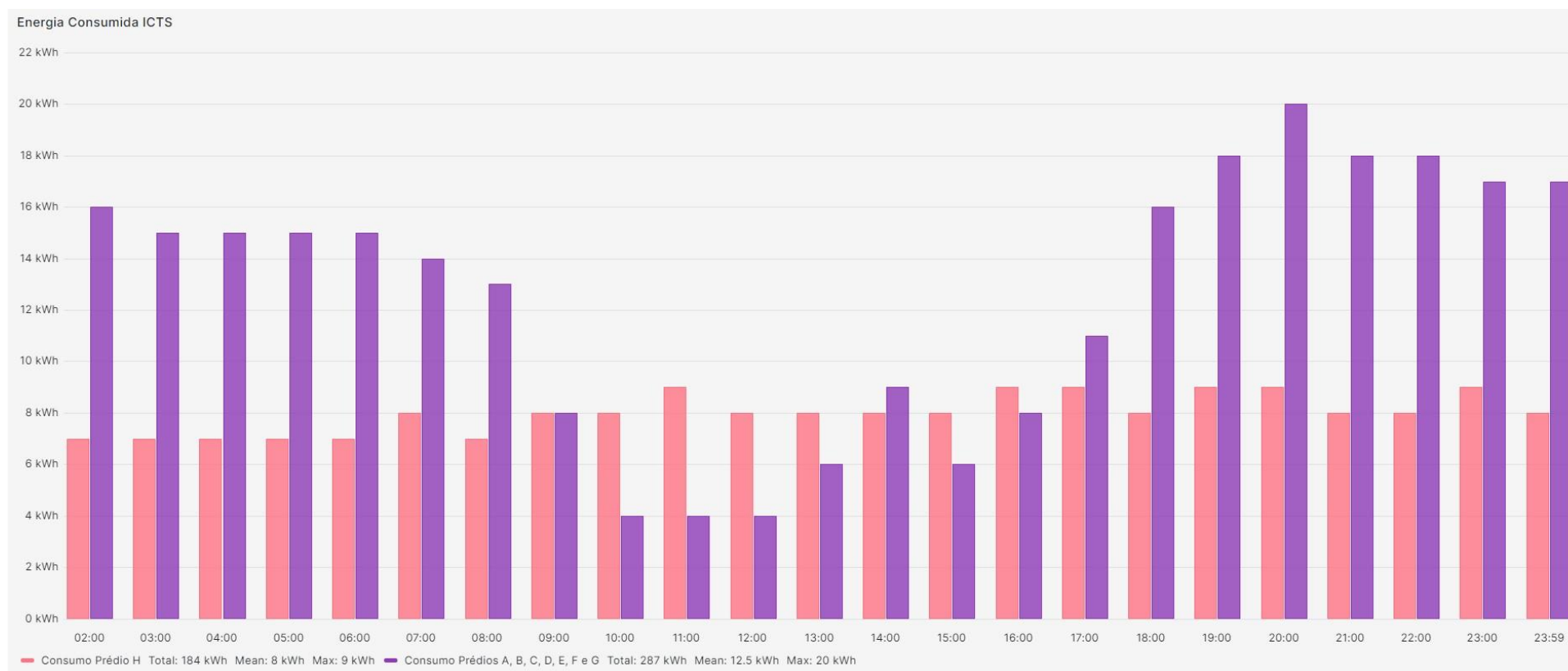
APÊNDICE E – DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA EM DIAS ÚTEIS, SEUS RESPECTIVOS FINAIS DE SEMANA, DIAS ÚTEIS NAS FÉRIAS E SEUS RESPECTIVOS FINAIS DE SEMANA

Figura E.1 – Consumo de energia no dia 14 de setembro de 2023 (quinta-feira)



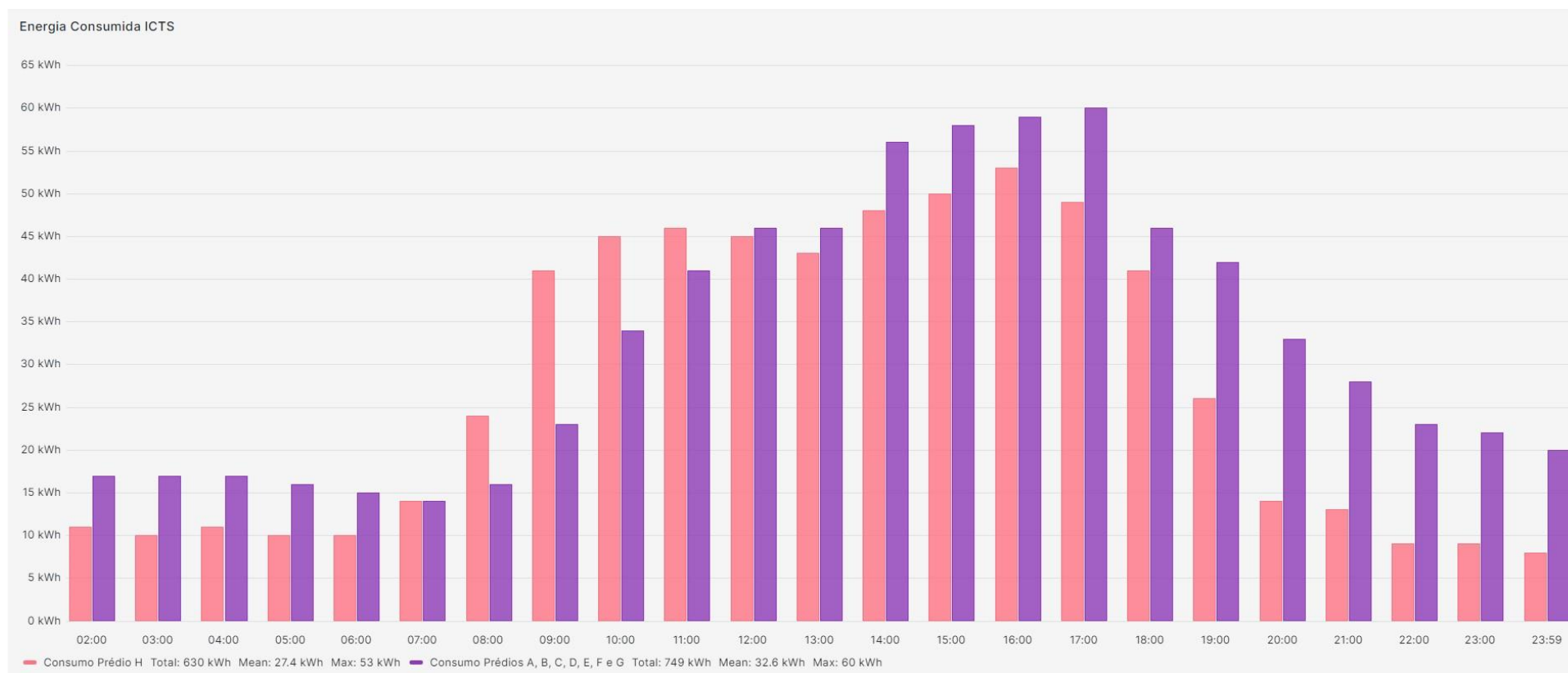
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura E.2 – Consumo de energia no dia 17 de setembro de 2023 (domingo)



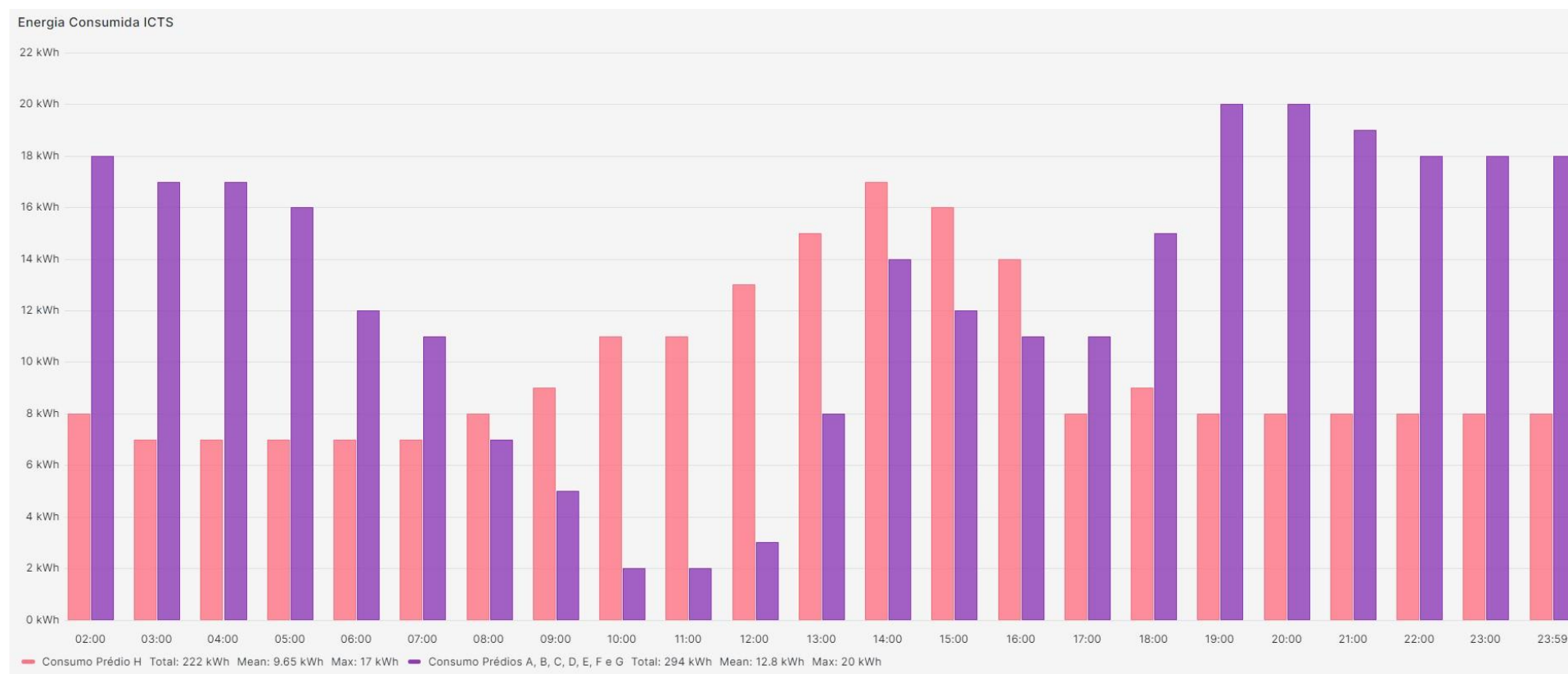
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura E.3 – Consumo de energia no dia 14 de dezembro de 2023 (quinta-feira)



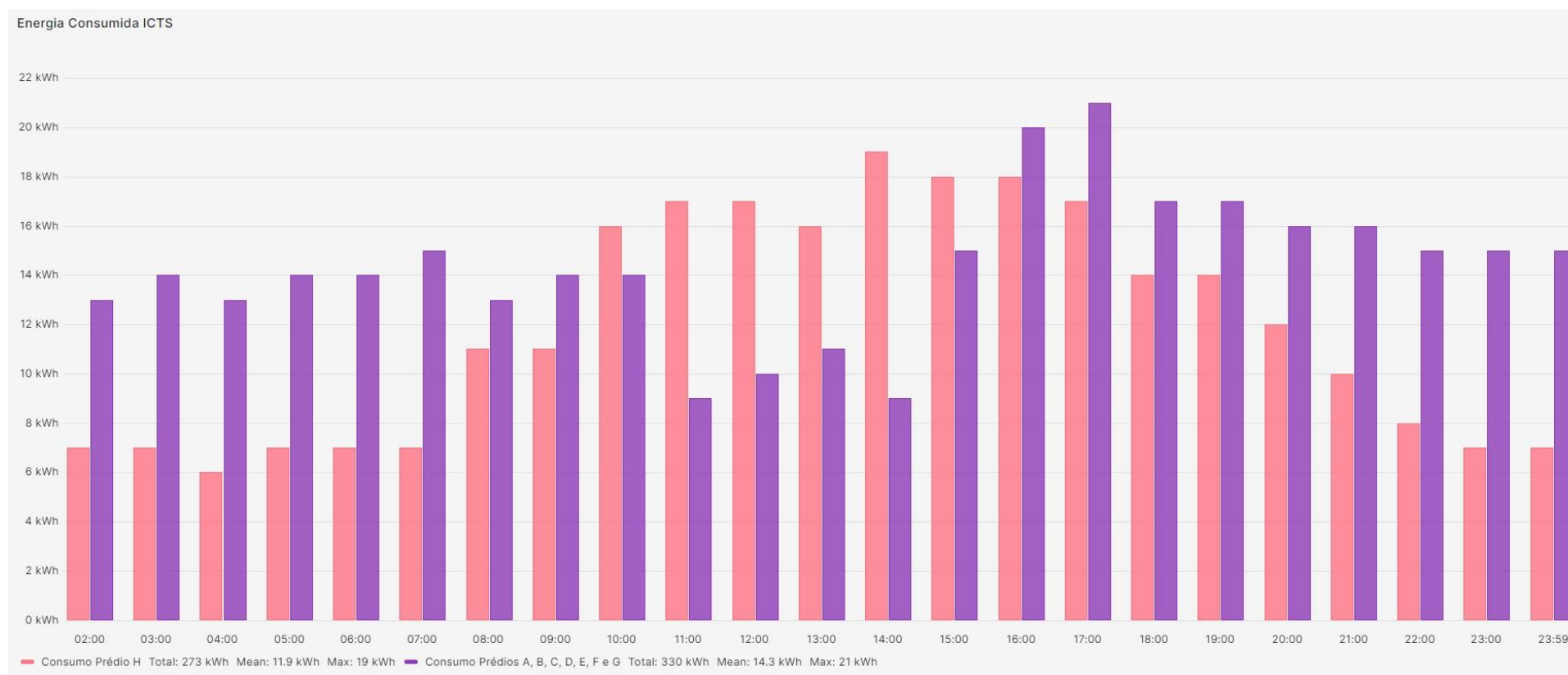
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura E.4 – Consumo de energia no dia 17 de dezembro de 2023 (domingo)



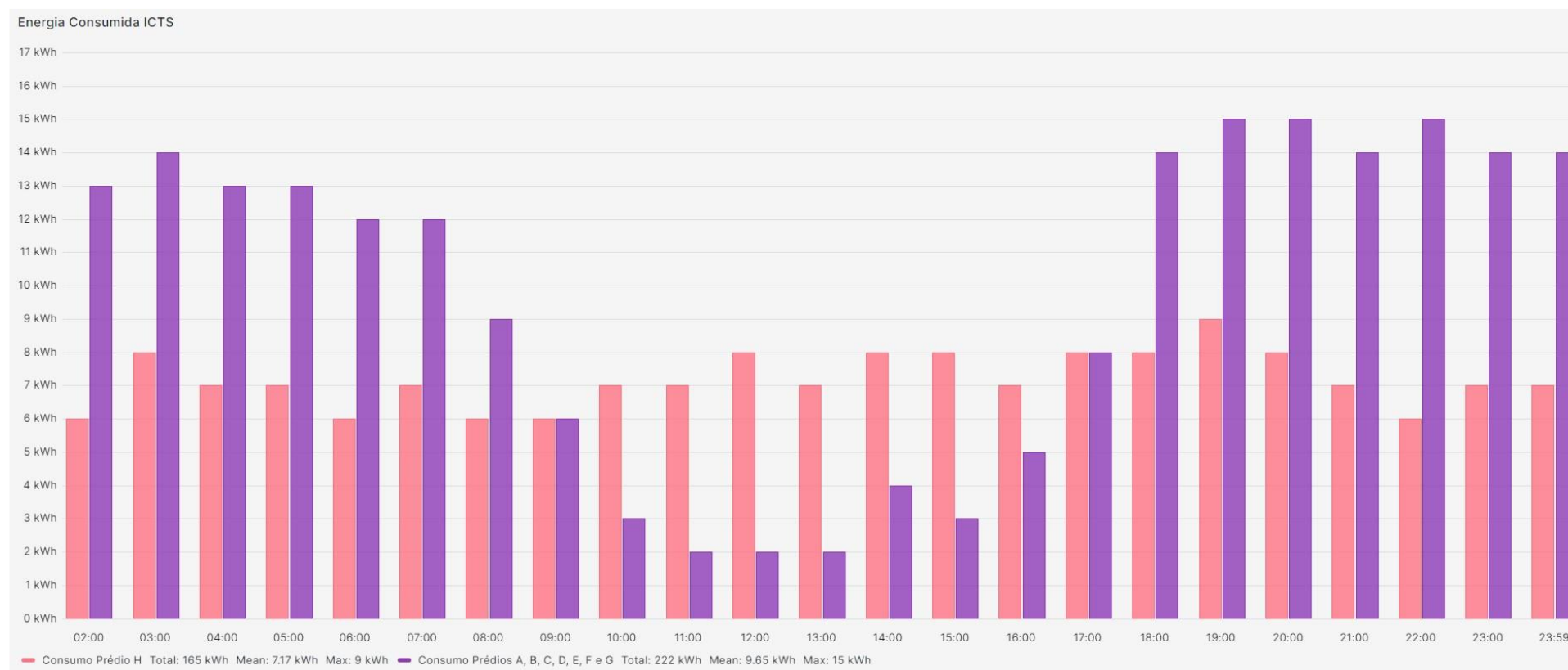
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura E.5 – Consumo de energia no dia 20 de julho de 2023 (quinta-feira)



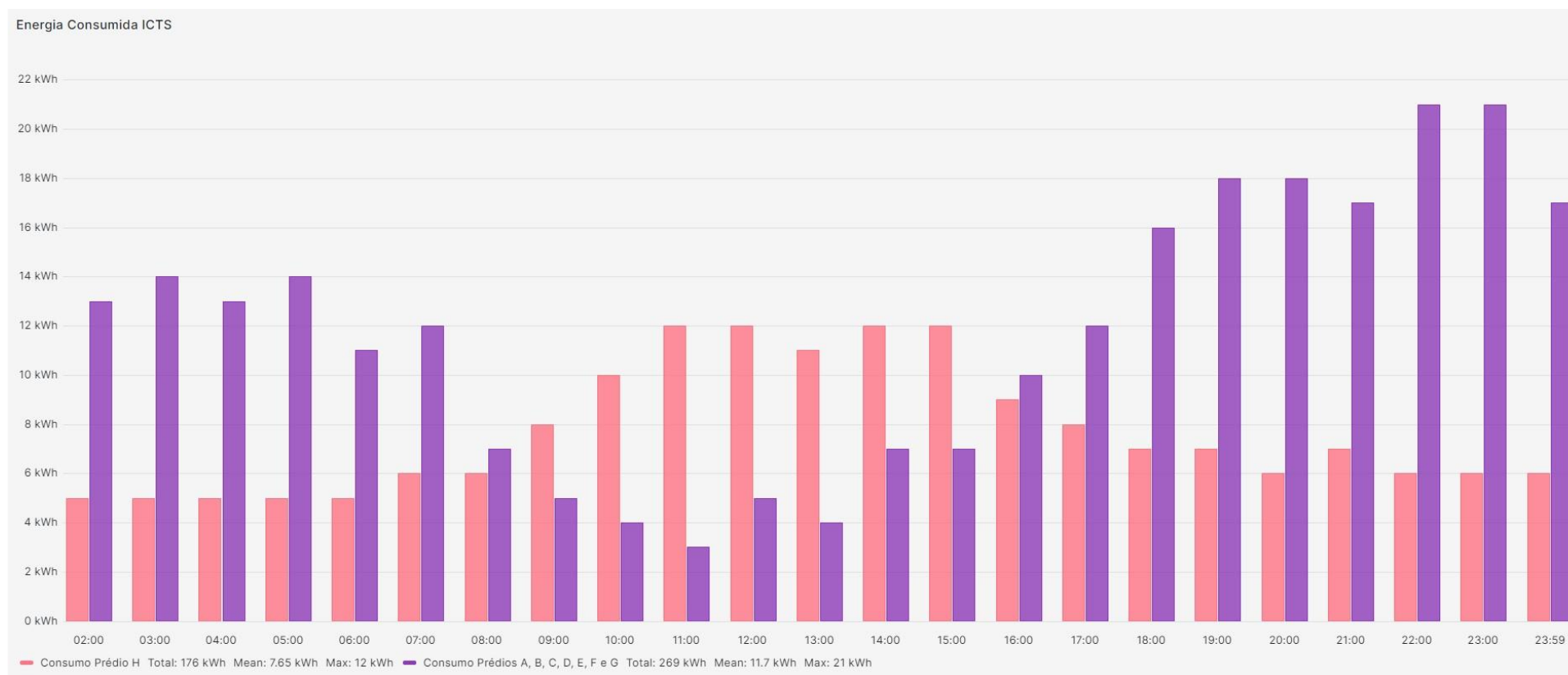
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura E.6 – Consumo de energia no dia 23 de julho de 2023 (domingo)



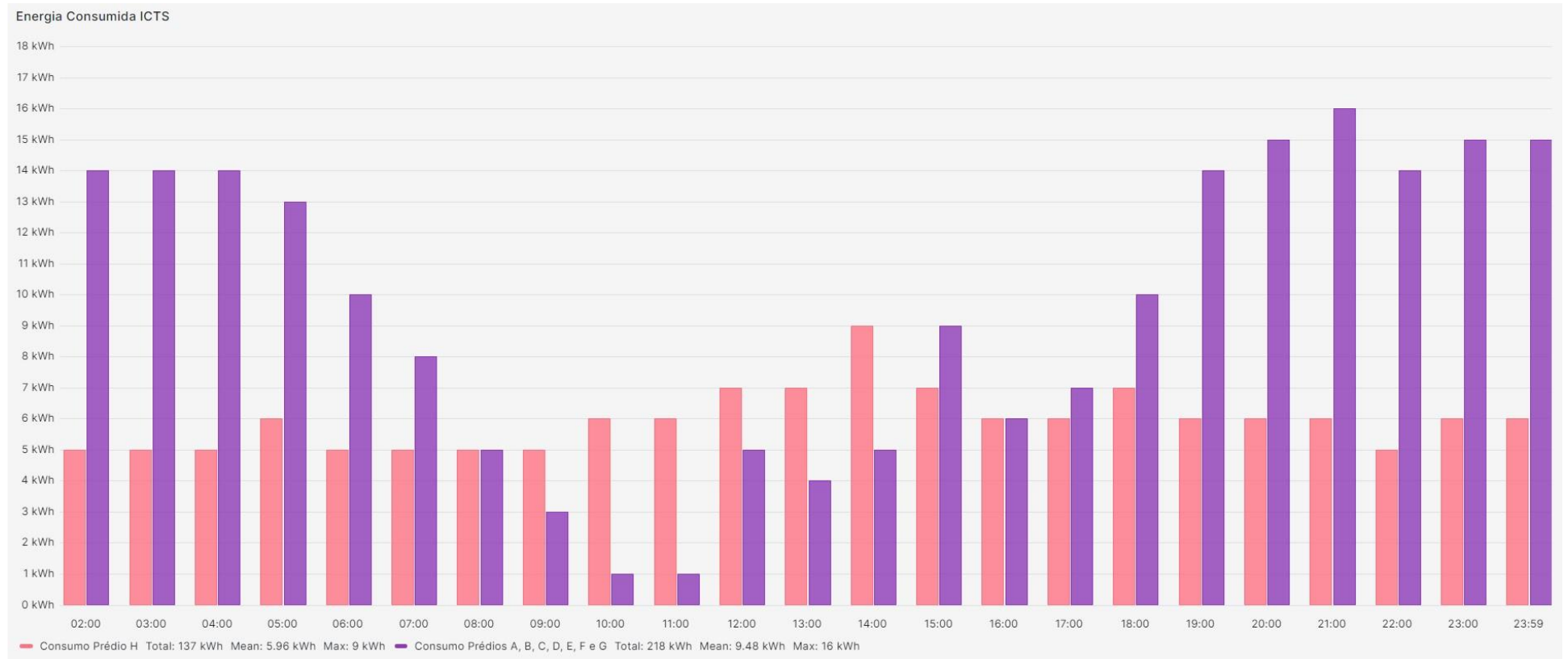
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura E.7 – Consumo de energia no dia 28 de dezembro de 2023 (quinta-feira)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura E.8 – Consumo de energia no dia 31 de dezembro de 2023 (domingo)



Fonte: Elaborado pelo autor

ANEXO A – PRINCIPAIS DADOS TÉCNICOS DOS MEDIDORES, DO INVERSOR DO SISTEMA PV E DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

WS502-UMB Smart Weather Sensor – retirado de (LUFFT, [s. d.])

- Alimentação: 11...32 VDC
- Temperatura de operação: -50...60°C
- Umidade relativa de operação: 0...100% UR
- Normas/regulamentações: De acordo com IEC 61724-1:2017 Classe C
- Variáveis medidas: temperatura, umidade relativa, pressão do ar, direção do vento, velocidade do vento, radiação
- Tecnologias de medição: ultrassônico/vento, NTC/T, capacitivo/RH, MEMS capacitivo/pressão, Lufft piranômetro/radiação
- Outras características relevantes: detecção de ventos com construção à prova de pássaros, sensor compacto *all-in-one*, baixa potência, aquecedor, proteção contra radiação aspirada, operação livre de manutenção, protocolo de comunicação aberto
- Interface: RS485, 2 fios, half-duplex
- Protocolos suportados: UMB-Binary, UMB-ASCII, Modbus-RTU, Modbus-ASCII, XDR e SDI-12

Inversor Weg Huawei SUN2000-20KTL-M0 – retirado de (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2019)

- Máxima tensão de entrada: 1080 V DC
- Máxima corrente de entrada: 22 A / 22 A
- Tensão de saída nominal: 230 / 400 Va.c; 3(N)
- Frequência de operação nominal: 50 / 60 Hz
- Potência de saída nominal: 20 kVA
- Máxima potência aparente de saída: 22 kVA
- Máxima corrente de saída: 33,5 A
- Fator de potência: 0,8 (atrasado) até 0,8 (adiantado)
- Temperatura de operação: -25 até 60 °C
- Comunicação: RS485 / WLAN

Medidores Sirax BM1200 415V 5/1A 60-300VAC/DC 485 – retirado de (AG, 2016)

Sistema

- Tipos de conexão: monofásica a 2 fios; trifásica a 3 fios com carga desbalanceada e trifásica a 4 fios com carga desbalanceada
- Frequência nominal: 45 ... 50/60 ... 65 Hz
- Medida TRMS: Até a 15ª harmônica
- Comunicação: RS485 via Modbus, com baud rate de 4800, 9600, 19200 e 38400 (programável)

Entradas

- Corrente nominal: 1A/5A AC RMS
- Corrente máxima: 120% do valor nominal
- Tensão nominal: 1. 110 V_{L-L} (63,5 V_{LN}); 2. 230 V_{L-L} (133 V_{LN}); 3. 415 V_{L-L} (239,6 V_{LN})
- Tensão máxima: 120% do valor nominal

Alimentação

- Tensão nominal: 60...300V AC/DC
- Alimentação auxiliar: +/- 5% aprox.
- Valor nominal: 23V AC/DC; 50/60Hz para aux. AC

Faixas de operação para medição

- Tensão com aux. externo: 50 ... 120% do valor nominal
- Corrente: 1ª – 20mA a 1,2A; 5A – 100mA a 6A
- Frequência: 50 Hz/60Hz
- Fator de potência: 0,5 atrasado ... 1 ... 0,8 adiantado

Precisão

- Condições de referência: de acordo com IEC 62053-21, temperatura ambiente em 23°C +/- 2°
- Tensão/corrente: +/- 0,5% (do valor nominal)
- Potência ativa: +/- 0,5% (do valor nominal em $\cos\phi=1$)
- Potência reativa: +/- 1,0% (do valor nominal em $\sin\phi=1$)
- Potência aparente: +/- 0,5% (do valor nominal)

- Fator de potência/ângulo de fase: $\pm 3^\circ$
- Frequência: $\pm 0,2\%$ (de frequência média)
- THD (tensão/corrente): $\pm 2\%$

Condições ambientais:

- Temperatura de operação: -10 a 55°
- Umidade relativa: $0 \dots 90\%$ UR

ANEXO B – LISTA DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS MEDIDAS OU CALCULADAS PELOS MEDIDORES

Medidores Sirax BM1200 415V 5/1A 60-300VAC/DC 485 – retirado de (AG, 2016)

Endereço (Registrador)	Parâmetro N°	Parâmetro	Endereço Inicial Modbus Hex		Parâmetro atualmente sendo coletado?
			Byte Mais significativo	Byte Menos significativo	
30001	1	Volts 1	00	0	Sim
30003	2	Volts 2	00	2	Sim
30005	3	Volts 3	00	4	Sim
30007	4	Current 1	00	6	Sim
30009	5	Current 2	00	8	Sim
30011	6	Current 3	00	A	Sim
30013	7	W1	00	C	Sim
30015	8	W2	00	E	Sim
30017	9	W3	00	10	Sim
30019	10	VA 1	00	12	Sim
30021	11	VA 2	00	14	Sim
30023	12	VA 3	00	16	Sim
30025	13	VAR 1	00	18	Sim
30027	14	VAR 2	00	1A	Sim
30029	15	VAR 3	00	1C	Sim
30031	16	PF 1	00	1E	Sim
30033	17	PF 2	00	20	Sim
30035	18	PF 3	00	22	Sim
30037	19	Phase Angle 1	00	24	Sim
30039	20	Phase Angle 2	00	26	Sim
30041	21	Phase Angle 3	00	28	Sim
30043	22	Volts Avg	00	2A	Sim
30045	23	Volts Sum	00	2C	Sim
30047	24	Current Avg	00	2E	Sim
30049	25	Current Sum	00	30	Sim
30051	26	Watt Avg	00	32	Sim
30053	27	Watt Sum	00	34	Sim
30055	28	VA Avg	00	6	Sim
30057	29	VA Sum	00	38	Sim
30059	30	VAR Avg	00	3A	Sim

30061	31	VAR Sum	00	3C	Sim
30063	32	PF Avg	00	3E	Sim
30065	33	PF Sum	00	40	Sim
30067	34	Phase Angle Avg	00	42	Sim
30069	35	Phase Angle Sum	00	44	Sim
30071	36	Freq	00	46	Sim
30073	37	Wh Import / Utility	00	48	Sim
30075	38	Wh Export / Gen	00	4A	Sim
30077	39	Capacitive / Utility VARh	00	4C	Sim
30079	40	Inductive / Gen VARh	00	4E	Sim
30081	41	VAh / Vah Utility	00	50	Sim
30085	43	W Demand (Import / Utility / Gen)	00	54	Não
30087	44	W Max Demand (Import / Utility)	00	56	Não
30089	45	W Demand (Ex- port)	00	58	Não
30091	46	W Max Demand (Export / Gen)	00	5A	Não
30093	47	Old W Max De- mand (Import / Utility)	00	5C	Não
30095	48	Old W Max De- mand (Export / Gen)	00	5E	Não
30097	49	Old VA Utility Max Demand	00	60	Não
30099	50	Old A Utility Max Demand	00	62	Não
30101	51	VA Demand (Utility / Gen)	00	64	Não
30103	52	V A Max Demand (Utility)	00	66	Não
30105	53	A Demand (Utility / Gen)	00	68	Não
30107	54	A Max Demand (Utility)	00	6A	Não

30109	55	Wh Import / Utility Overflow count	00	6C	Não
30111	56	-	-	-	Não
30113	57	Wh Export / Gen Overflow count	00	70	Não
30115	58	-	-	-	Não
30117	59	Capacitive / Utility VARh Overflow count	00	74	Não
30119	60	-	-	-	Não
30121	61	Inductive / Gen VARh Overflow count	00	78	Não
30123	62	-	-	-	Não
30125	63	Vah / VAh Utility Overfl ow count	00	7C	Não
30127	64	-	-	-	Não
30131	66	-	-	-	Não
30133	67	System Max Vol- tage	00	84	Não
30135	68	System Min Vol- tage	00	86	Não
30137	69	RPM	00	88	Não
30141	71	System Max Curr- rent	00	8C	Não
30143	72	System Min Cur- rent	00	8E	Não
30145	73	Wh Import / Utility depending on up- date rate	00	90	Não
30147	74	Wh Export / Gen depending on up- date rate	00	92	Não
30149	75	Capacitive / Utility VARh depending on update rate	00	94	Não
30151	76	Inductive / Gen VARh depending on update rate	00	96	Não

30153	77	VAh / VAh Utility depending on up- date rate	00	98	Não
30157	79	Wh Import / Utility Overflow count de- pending on update rate	00	9C	Não
30159	80	Wh Export / Gen Overfl ow count depending on update rate	00	9E	Não
30161	81	Capacitive / Utility VARh Overfl ow count depending on update rate	00	A0	Não
30163	82	Inductive / Gen VARh Overfl ow count depending on update rate	00	A2	Não
30165	83	VAh Utility Overfl ow count depend- ing on update rate	00	A4	Não
30169	85	Old Wh Import / Utility Overfl ow count	00	A8	Não
30173	87	Old Wh Export / Gen Overfl ow count	00	AC	Não
30177	89	Old Capacitive / Utility VARh Overfl ow count	00	B0	Não
30179	90	Old Capacitive / Utility VARh	00	B2	Não
30181	91	Old Inductive / Gen VARh Overfl ow count	00	B4	Não
30183	92	Old Inductive / Gen VARh	00	B6	Não

30185	93	Old VAh / VAh Utility Overfl ow count	00	B8	Não
30187	94	Old VAh / VAh Uti- lity	00	BA	Não
30193	97	VA Max Demand (Gen)	00	C0	Sim
30195	98	A Max Demand (Gen)	00	C2	Sim
30197	99	Old VA Max De- mand (Gen)	00	C4	Sim
30199	100	Old A Max De- mand (Gen)	00	C6	Sim
30201	101	VL 1 - 2 (Calcula- ted)	00	C8	Sim
30203	102	VL 2 - 3 (Calcula- ted)	00	CA	Sim
30205	103	VL 3- 1 (Calcula- ted)	00	CC	Sim
30207	104	V1 THD (%)	00	CE	Sim
30209	105	V2 THD (%)	00	D0	Sim
30211	106	V3 THD (%)	00	D2	Sim
30213	107	I1 THD (%)	00	D4	Sim
30215	108	I2 THD (%)	00	D6	Sim
30217	109	I3 THD (%)	00	D8	Sim
30219	110	System Voltage THD (%)	00	DA	Sim
30221	111	System Current THD (%)	00	DX	Sim
30225	113	I Neutral	00	E0	Sim
30227	114	Run Hour Utility	00	E2	Não
30229	115	On Hour Utility	00	E4	Não
30231	116	No. of Interrup- tions Utility	00	E6	Não
30247	124	Old Wh Import / Utility	00	F6	Não
30249	125	Old Wh Export / Gen	00	F8	Não

30251	126	Old Run Hour Utility	00	FA	Não
30255	128	Old On Hour Utility	00	FE	Não
30263	132	Old No. of Interruptions Utility	01	06	Não
30267	134	Relay Output 1 Status	01	0A	Não

ANEXO C – EMBASAMENTO TEÓRICO PARA OS CÁLCULOS DE TEMPO DE COMUNICAÇÃO COM OS MEDIDORES

De acordo com (TECHNOLOGY, 2021):

Baud rate é a taxa na qual uma informação é transferida em um canal de comunicação. Generalizando, é a velocidade ou taxa na qual dados são transmitidos em uma rede. Ela é expressa em bits por segundo. Portanto, o número de bits que transita em uma rede de comunicação em um segundo é a *baud rate*.

Utilizando-se de fórmulas simples, é possível calcular o tempo aproximado de transmissão de um *frame* qualquer por meio da *baud rate* da linha de comunicação. Por exemplo, um *frame* CAN contém aproximadamente 125 bits. Supondo que sua taxa de transmissão seja de 250 kbits/s:

$$\text{bit time} = 1 / \text{bit rate} = 1 / (250 * 1000) \text{ s} = 4 \mu\text{s}$$

Portanto, 1 bit levará 4 μs para ser transferido no barramento quando se utilizando uma taxa de 250 kbits/s.

E o tempo aproximado para transmissão de um *frame* é:

$$(4 \mu\text{s/bit} * 125 \text{ bit}) = 500 \mu\text{s}$$

Baseado na referência (MODBUS PROTOCOL DESCRIPTION, 2023):

Quando o controlador de uma rede Modbus é configurado para se comunicar no modo RTU (*Remote Terminal Unit*), cada *byte* de oito bits em uma mensagem irá possuir dois caracteres hexadecimais de quatro bits cada. A principal vantagem deste modo é que sua maior densidade de caracter permite uma melhor transmissão de dados do que o ASCII para a mesma *baud rate*. Cada mensagem deve ser transmitida em um fluxo contínuo.

O sistema de codificação de um *byte* em Modbus RTU é definido da seguinte maneira:

- Binário de oito bits, hexadecimal: 0 ... 9. A ... F
- Dois caracteres hexadecimais contidos em cada campo de oito bits da mensagem
- Bits por *byte*:
 - 1 start bit
 - 8 bits de dados, menos significativo enviado primeiro
 - 1 bit for even / odd parity, nenhum bit para no parity

- 1 stop bit se parity for utilizada, 2 bits caso no parity
- Conferência de erro:
- Cyclical Redundancy Check (CRC)

Por fim, com relação ao cálculo em si (MODBUS RTU, [s. d.]):

Framing da mensagem Modbus RTU:

Uma mensagem MODBUS é colocada pelo dispositivo que a transmite em um *frame* que possui um ponto de início e um ponto final bem definidos. Isto permite que os dispositivos que receberam o *frame* comecem sua leitura no início da mensagem e saibam quando ela foi completada. Mensagens parciais devem ser detectadas e erros devem ser definidos como resultados.

No modo RTU, os *frames* das mensagens são separados entre si por um intervalo de tempo pelo menos 3,5 caracteres ($t_{3.5}$), como pode ser visto na Figura C.1.

Figura C.1 – Frame da mensagem RTU com caracteres de start e stop

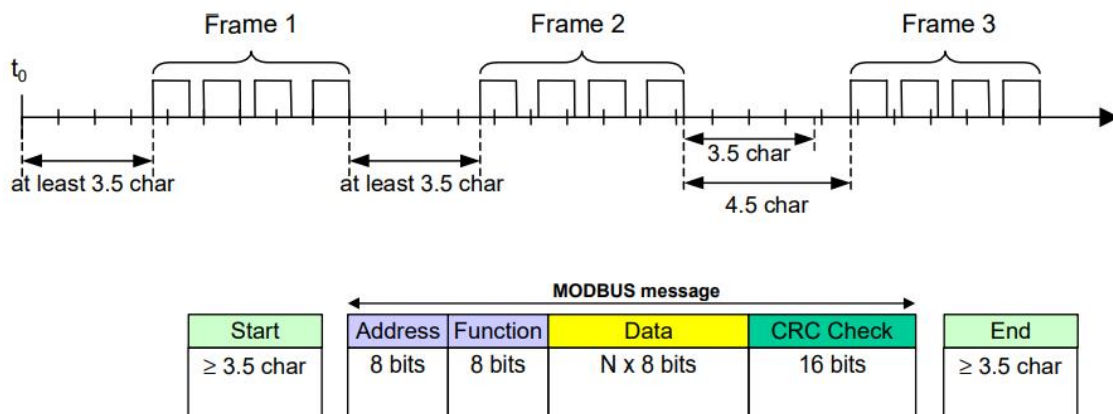
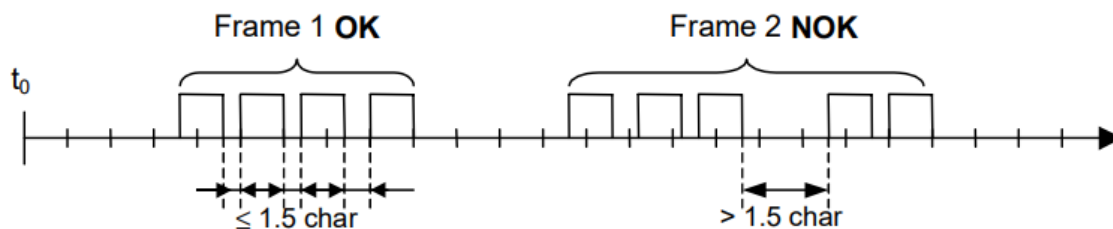


Figure 13: RTU Message Frame

Fonte: (MODBUS RTU, [s. d.])

O *frame* inteiro da mensagem deve ser transmitido como um fluxo contínuo de caracteres. Se um intervalo silencioso maior do que o tempo de 1,5 caractere ($t_{1.5}$) ocorrer entre dois caracteres, o *frame* da mensagem é declarado como incompleto e deve ser descartado pelo receptor. Isto pode ser visto na Figura C.2.

Figura C.2 – Frames de mensagens RTU



Fonte: (MODBUS RTU, [s. d.])

Nota:

A implementação de um *driver* de recepção RTU pode implicar no gerenciamento de diversas interrupções devido aos *timers* $t_{1.5}$ e $t_{3.5}$. Com *baud rates* de comunicação maiores, isso acarreta em alta carga da CPU. Como consequência, estes dois *timers* devem ser estritamente respeitados quando a *baud rate* for igual ou menor a 19200 Bps (bits por segundo). Para *baud rates* maiores do que 19200 Bps, valores fixos para os dois *timers* devem ser utilizados: é recomendado o uso do valor de $750\mu\text{s}$ para o *time-out* entre caracteres ($t_{1.5}$) e um valor de 1.75 ms para o atraso entre *frames* ($t_{3.5}$).