



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

MATEUS SILVA DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E
GERENCIAMENTO PARA MICRORREDES RESIDENCIAIS DOTADAS DE
GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE
ENERGIA POR BATERIA**

Recife
2023

MATEUS SILVA DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E
GERENCIAMENTO PARA MICRORREDES RESIDENCIAIS DOTADAS DE
GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE
ENERGIA POR BATERIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia de
Controle e Automação da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
de Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Dr. José Filho da Costa Castro

Coorientador: Prof. MSc. Davidson da Costa Marques

Recife
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Oliveira, Mateus Silva de.

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E
GERENCIAMENTO PARA MICRORREDES RESIDENCIAIS DOTADAS
DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMA DE
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA POR BATERIA / Mateus Silva de
Oliveira. - Recife, 2023.

73 : il., tab.

Orientador(a): José Filho da Costa Castro

Coorientador(a): Davidson da Costa Marques

(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e
Geociências, , 2023.

1. Microrrede. 2. Gerenciamento Energético. 3. Sistema de
Armazenamento. 4. Monitoramento. 5. Internet of Things. I. Costa Castro,
José Filho da. (Orientação). II. Marques, Davidson da Costa. (Coorientação). III.
Título.

MATEUS SILVA DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E
GERENCIAMENTO PARA MICRORREDES RESIDENCIAIS DOTADAS DE
GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE
ENERGIA POR BATERIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia de
Controle e Automação da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
de Controle e Automação.

Aprovado em: 02/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Filho da Costa Castro (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. MSc. Davidson da Costa Marques (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro André Carvalho Rosas (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Douglas Contente (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que ao criar o universo do nada e transformar o caos em ordem, estava fazendo o trabalho de um engenheiro; que por sua graça e misericórdia me salvou; que me deu forças, inteligência, sabedoria, e vontade durante toda essa jornada na graduação em engenharia de controle e automação. Por meio da engenharia, obra de Suas mãos, posso glorificá-lo de acordo com Sua vontade, visando o bem da natureza e promovendo o bem da humanidade. Este trabalho, portanto, é o resultado e minha oferta de gratidão por tudo que Ele tem feito em minha vida.

Agradeço também, em especial, a meus pais, Samuel e Núbia, que me ajudaram e me deram suporte para conclusão do curso de graduação em todo o momento e sempre buscaram o meu melhor e a meu irmão, Luca, pelo companheirismo.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. José, que sempre esteve solícito em me ajudar e se dispor em me orientar no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço a Deus por sua vida.

Agradeço também a meu coorientador e amigo MSc. Davidson, o qual esteve comigo nos anos finais da graduação e durante o desenvolvimento deste trabalho, me proporcionando oportunidades, momentos alegres e ensinamentos que levarei comigo para a vida.

Agradeço a meus amigos que fiz durante este período de graduação em especial: Anna, João, Layanne, Michelle e Victor, companheiros de disciplinas; Caio, Clara, Eliana, Gabriel, Gustavo, Josafá, companheiros de laboratório e projeto de pesquisa.

Agradeço também ao professor Dr. Pedro Rosas pela estruturação do Laboratório de Armazenamento de Energia, o qual me proporcionou a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço a oportunidade de ter feito meu trabalho no Laboratório de Armazenamento e Mobilidade, financiado pela CPFL Energia via Programa de P&D da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com recursos obtidos no âmbito do projeto Chamada Estratégica da ANEEL: PD-0397-3026/2017 - “Inserção de Sistema de Armazenamento em Configurações Múltiplas Para Suporte à Geração Eólica” e do projeto “PA3059 - Soluções de Apoio à Expansão da Infraestrutura de Recarga de Veículos Elétricos: Estações de Carregamento Integradas à Tecnologia de Baterias e Sistemas Fotovoltaicos (PV)”.

Agradeço ao Programa de P&D da ANEEL e CPFL Energia pelo apoio financeiro para aquisição dos equipamentos que permitiram a elaboração deste trabalho, em particular aos engenheiros Guilherme Rissi e Amanda Lopes Fernandes da CPFL Energia pelo apoio para concretização das aquisições dos equipamentos do laboratório.

Grandes são as obras do SENHOR, dignas de estudo para quem as ama. Salmo 111: 2.

RESUMO

Com a crescente adesão a formas alternativas de produção e acesso à energia elétrica respaldadas pela regulamentação técnica vigente, em função da constante redução dos custos associados à geração fotovoltaica e sistemas de armazenamento de energia por meio de baterias eletroquímicas (BESS – *Battery Energy Storage System*), bem como o intenso desenvolvimento tecnológico observado nos últimos anos, é cada vez mais comum a existência de unidades consumidoras dotadas de geração própria com sistema de armazenamento. Diante da modernização dos sistemas de energia, os sistemas fotovoltaicos (FVs) híbridos, integrados com armazenamento de energia em baterias, podem ser considerados a nova fronteira técnica e comercial. Com o crescimento da geração distribuída, é essencial obter um sistema que possibilite um gerenciamento e acoplamento de potência entre geração e consumo de energia. Neste contexto, o trabalho proposto apresenta a implementação de um sistema robusto de integração e monitoramento para equipamentos e subsistemas de microrredes (MR), visando contribuir para o desenvolvimento sustentável no longo prazo do potencial de unidades consumidoras autônomas. Neste trabalho de conclusão de curso propõe-se a utilização de software de código aberto para desenvolvimento de sistema para monitoramento, análise, diagnóstico e controle otimizados da MR, em conceito associado à utilização de tecnologias de *Internet of Things* (IoT) ou *Home Assistant* para redes inteligentes associadas a microrredes de unidades consumidoras. Para fins de validação, utilizou-se como *case* de estudo o Laboratório de Armazenamento e Mobilidade (LAM), localizado no Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Palavras-chave: Microrrede; Gerenciamento Energético; Sistema de Armazenamento; Monitoramento; *Internet of Things*; *Home Assistant*.

ABSTRACT

With the growing adoption of alternative forms of electricity production and access supported by current technical regulations, coupled with the constant reduction in costs associated with photovoltaic generation and electrochemical battery energy storage systems (BESS), as well as the intense technological development observed in recent years, it is increasingly common for consumers to have their own electricity generation and storage systems. Hybrid photovoltaic systems integrated with energy storage in batteries are considered the new technical and commercial frontier as energy systems are modernized. With the growth of distributed generation, it is essential to have a system that enables power management and coupling between energy generation and consumption. In this context, this proposed work presents the implementation of a robust integration and monitoring system for microgrid equipment and subsystems, aiming to contribute to the long-term sustainable development potential of autonomous consumer units. This thesis proposes the use of open-source software for the development of a system for optimized monitoring, analysis, diagnosis, and control of microgrids, associated with the use of Internet of Things (IoT) or *Home Assistant* technologies for intelligent networks associated with microgrids of consumer units. The Laboratory of Storage and Mobility (LSM), located at the Center for Technology and Geosciences of the Federal University of Pernambuco (UFPE), was used as a case study for validation purposes.

Keywords: Microgrid; Energy Management System (EMS); Battery Energy Storage Systems (BESS); Monitoring; Internet of Things; Home Assistant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Crescimento de Micro e Minigeração Distribuída.	18
Figura 2 – Circuito elétrico equivalente de célula solar fotovoltaica.	23
Figura 3 – Exemplo de aplicação do MPPT.	25
Figura 4 – Representação esquemática da célula presente no BESS.	26
Figura 5 – Layout da microrrede do LAM.	27
Figura 6 – Microrrede do LAM.	28
Figura 7 – Quadro elétrico da Microrrede.	29
Figura 8 – Quadro de Automação.	30
Figura 9 – Cerbo GX.	31
Figura 10 – Resumo das conexões do Cerbo GX.	31
Figura 11 – Pilha de camadas do Modelo TCP/IP para comunicação MQTT.	35
Figura 12 – Processo de publicação de mensagem MQTT.	38
Figura 13 – Sequência de comunicação MQTT.	38
Figura 14 – Exemplo de <i>Dashboard</i> do <i>Home Assistant</i>	41
Figura 15 – Exemplo de criação de lista em YAML.	42
Figura 16 – Arquitetura da configuração.	43
Figura 17 – Linha de comando do <i>Home Assistant</i>	46
Figura 18 – Tela de cadastro do <i>Home Assistant</i>	46
Figura 19 – Ativação do protocolo MQTT no Cerbo GX.	47
Figura 20 – Automação para mensagem keepalive.	47
Figura 21 – Configuração para o Mosquitto Broker.	48
Figura 22 – Conexão com o Broker GX.	49
Figura 23 – Configuração do banco de dados.	50
Figura 24 – Configuração da fonte de dados do Grafana.	52
Figura 25 – <i>Query Editor</i>	53
Figura 26 – Cartões para adição à visualização na <i>Dashboard</i> Visão Geral.	53
Figura 27 – Exemplo de visualização do cartão "tesla style solar power card".	54
Figura 28 – Fluxos de potência.	56
Figura 29 – Fluxograma para Fluxo I.	56
Figura 30 – Fluxograma para Fluxo II.	57
Figura 31 – Fluxograma para Fluxo III.	57

Figura 32 – Fluxograma para Fluxo IV.	58
Figura 33 – Fluxograma para Fluxo V.	58
Figura 34 – Fluxograma para Fluxo VI.	59
Figura 35 – Fluxograma para Fluxo VII.	59
Figura 36 – Cálculo da energia do sistema FV para as cargas.	60
Figura 37 – Exemplo da <i>Dashboard</i> Energia.	61
Figura 38 – Configuração da <i>Dashboard</i> Energia.	61
Figura 39 – Configuração dos medidores de energia.	62
Figura 40 – <i>Dashboard</i> dos parâmetros elétricos do inversor <i>on-grid</i>	63
Figura 41 – <i>Dashboard</i> BESS.	64
Figura 42 – <i>Dashboard</i> da produção diária do Sistema FV.	65
Figura 43 – <i>Dashboard</i> da produção semanal do sistema FV.	65
Figura 44 – <i>Dashboard</i> da produção mensal do sistema FV.	66
Figura 45 – <i>Dashboard</i> da produção anual do inversor Fronius.	66
Figura 46 – <i>Dashboard</i> de Fluxos de Potência e Contabilidade diária de Energia.	67
Figura 47 – <i>Dashboard</i> Visão Geral.	68
Figura 48 – <i>Dashboard</i> Energia.	69
Figura 49 – Comparativo de produção e consumo de energia.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Camadas do modelo OSI e protocolo Ethernet	34
Tabela 2 – Códigos e respostas de retorno.	36
Tabela 3 – Tópicos disponíveis.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BESS	<i>Battery Energy Storage System</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
EMS	<i>Energy Management System</i>
ETIPS	<i>European Technology & Innovation Platforms</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
FV	Sistema Fotovoltaico
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HA	<i>Home Assistant</i>
HAOS	<i>Home Assistant Operating System</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LAM	Laboratório de Armazenamento e Mobilidade
LAN	<i>Local Area Network</i>
LSM	<i>Laboratory of Storage and Mobility</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MR	Microrrede
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PWM	<i>Power Width Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RED	Recursos Energéticos Distribuídos
SME	<i>Small and Medium Size Enterprises</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
SoC	<i>State of Charge</i>
SSL	<i>Secure Sockets Layer</i>
TCP	<i>Transport Control Protocol</i>
TELNET	<i>Teletype Network</i>
VDI	<i>Virtual Disk Image</i>

VE	Veículo Elétrico
VM	<i>Virtual Machine</i>
YAML	<i>YAML Ain't Markup Language</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

i_{pv}	Corrente de saída
i_g	Corrente gerada pela absorção dos fótons de luz solar
i_d	Corrente de junção p–n
R_s	Perda por dissipação
R_p	Perda por dissipação
v_{pv}	Tensão de saída

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Geral	19
1.1.2	Específicos.....	19
1.2	MOTIVAÇÃO.....	20
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	21
2	MICRORREDES – SUBSISTEMAS DE GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO E ELEMENTOS DE MONITORAMENTO.....	22
2.1	COMPONENTES DE MICRORREDES.....	22
2.1.1	Módulos Fotovoltaicos	22
2.1.2	Inversores	23
2.1.2.1	<i>Inversores Aplicados em Sistemas Conectados à Rede.....</i>	<i>23</i>
2.1.2.2	<i>Inversores Aplicados em Sistemas Autônomos com Baterias</i>	<i>24</i>
2.1.3	Controladores de Carga	24
2.1.3.1	<i>Controlador On-Off.....</i>	<i>24</i>
2.1.3.2	<i>Controlador com PWM</i>	<i>25</i>
2.1.3.3	<i>Controlador com MPPT.....</i>	<i>25</i>
2.1.4	Sistema de Armazenamento de Energia em Bateria	26
2.2	LAYOUT DA MICRORREDE DO LAM.....	27
2.3	CONECTIVIDADE DOS COMPONENTES DA MR.....	30
2.3.1	Cerbo GX	30
2.3.2	Redes e Protocolos	32
2.3.2.1	<i>Protocolo VE.Can</i>	<i>32</i>
2.3.2.2	<i>Protocolo VE.Bus</i>	<i>32</i>
2.3.2.3	<i>Modelo de Referência OSI</i>	<i>32</i>
2.3.2.4	<i>Modelo de Referência e protocolo TCP/IP</i>	<i>33</i>
2.3.2.5	<i>Protocolo Ethernet</i>	<i>34</i>
2.3.2.6	<i>Protocolo MQTT</i>	<i>35</i>
3	METODOLOGIA PARA INTEGRAÇÃO DE MICRORREDE	40
3.1	<i>HOME ASSISTANT</i>	<i>40</i>
3.2	<i>INTEGRAÇÃO HOME ASSISTANT E MICRORREDE</i>	<i>43</i>
4	DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA DE INTEGRAÇÃO	45
4.1	INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO INICIAL DO <i>HOME ASSISTANT</i>	45
4.2	INTEGRAÇÃO MQTT.....	46
4.3	ARMAZENAMENTO DOS DADOS	50
4.4	VISUALIZAÇÃO DOS DADOS	51

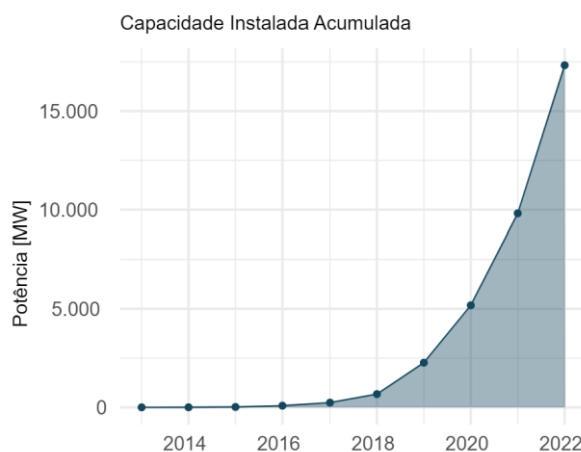
4.5	FLUXOS DE POTÊNCIA	54
4.6	CONTABILIDADE DE ENERGIA	60
4.6.1	Dashboard Energia	60
5	RESULTADOS DA APLICAÇÃO – ESTUDO DE CASO DO LAM	63
5.1	DASHBOARDS DE PARÂMETROS.....	63
5.2	DASHBOARD VISÃO GERAL E ENERGIA.....	67
6	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE	71

1 INTRODUÇÃO

No que diz respeito à produção de energia renovável no contexto da geração distribuída, residências, pequenas e médias empresas e entidades públicas podem desempenhar um papel de destaque [1]. Um estudo realizado pela *European Technology & Innovation Platforms* (ETIPS) estima que a participação de energias renováveis na matriz de geração de eletricidade poderá atingir 57% em 2030 e até 81-85% em 2050. Inserida neste grupo de fontes renováveis, o estudo projeta que a participação da geração do tipo solar fotovoltaica pode atingir 11% em 2030 até 16% em 2050 da matriz energética global. O grupo de consumidores de pequeno e médio porte (denominados SMEs - *Small and medium-size enterprises*) pode ser responsável pela produção local e de forma distribuída de cerca de 1.500 TWh de energia solar fotovoltaica e eólica, equivalente a 32% da produção de energia renovável total até 2050 [2].

No Brasil, a geração distribuída associada a fontes do tipo micro e minigeração têm apresentado crescimento significativo nos últimos anos, superando a marca de 15 GW de capacidade instalada em 2022, como ilustrado por meio do gráfico da Figura 1 [3].

Figura 1 – Crescimento de Micro e Minigeração Distribuída.



Fonte: [3].

De forma adicional, tem se tornado cada vez mais comum a utilização de sistemas de armazenamento por bateria (BESS - *Battery Energy Storage System*), os quais têm auxiliado os sistemas fotovoltaicos (FV) durante os períodos de pico de demanda e no gerenciamento de energia, habilitando algumas instalações para operação ilhada, formando uma microrrede (MR) local. A utilização de MRs traz consigo diversos benefícios como a possibilidade de desconexão

da distribuidora para evitar danos aos equipamentos em casos de faltas ou curto-circuitos na rede, obtendo maior confiabilidade e segurança no suprimento elétrico às cargas críticas essenciais [4].

1.1 Objetivos

Esta seção apresentará os objetivos geral e específicos deste trabalho.

1.1.1 Geral

A utilização de diferentes fontes energéticas para produção de energia impõe o desafio para integrá-las e combiná-las em um sistema unificado com possibilidades de gerenciamento e controle. Desta forma, a primeira etapa deste trabalho busca garantir o monitoramento dos dispositivos de diferentes fabricantes bem como da produção de geração, das grandezas elétricas – tais como tensão, corrente, frequência e fluxos de potência e energia acumulada. Em seguida, os dados coletados são concentrados em um sistema de gerenciamento de energia (EMS – *Energy Management System*). Em vista disso, este trabalho de conclusão de curso propõe a utilização do software de automação residencial de código aberto *Home Assistant* (HA) como central de gerenciamento de microrredes. O objetivo geral do trabalho é apresentar o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento para MRs por meio de software de código aberto, visando flexibilidade para ajustes e adaptações para aplicações futuras.

1.1.2 Específicos

Este trabalho busca também os seguintes objetivos específicos:

- Descrever o LAM e os componentes instalados na sua MR;
- Apresentar o software *Home Assistant* e suas funcionalidades (conceitos e terminologia, linguagem de programação e integrações);
- Apresentar e estabelecer comunicação com a MR por meio de protocolo de comunicação MQTT (do inglês, *Message Queue Telemetry Transport*);

- Configurar a interface do *Home Assistant*, desenvolvendo *Dashboards* customizáveis para o sistema de gerenciamento energético da microrrede híbrida LAM;
- Validação da plataforma no LAM.

1.2 Motivação

A implantação de sistemas de gerenciamento de energia e monitoramento em aplicações residenciais no contexto de microrredes tem sido objeto de diversos estudos e pesquisas nas últimas décadas. Esses sistemas visam aprimorar o uso de fontes de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica, e otimizar o consumo de energia, contribuindo para a sustentabilidade energética em longo prazo.

Entre as principais motivações para a implantação de sistemas de gerenciamento de energia em microrredes residenciais estão: (1) possibilidade de redução de custos com energia, (2) a redução de emissões de gases de efeito estufa e (3) a garantia de suprimento elétrico com confiabilidade em situações de emergência [5]. A instalação de sistemas de geração de energia renovável, como os painéis solares, requer um sistema de monitoramento e gerenciamento eficiente para maximizar o uso da energia gerada.

No contexto da modernização de instalações elétricas, a adoção de microrredes residenciais tem crescido devido à capacidade de integrar fontes de energia renovável e armazenamento de energia, e a implantação de sistemas de monitoramento e gerenciamento tem como principal motivação garantir a segurança, confiabilidade e eficiência do sistema de energia, uma vez que a utilização de sistemas de gerenciamento inteligente pode reduzir o consumo de energia e minimizar as flutuações de energia na rede [6].

A implantação de sistemas de gerenciamento de energia em microrredes residenciais com monitoramento contínuo da rede permite identificação de falhas e a otimização do consumo de energia, possibilitando uma gestão mais eficiente e sustentável do sistema [7].

Nos últimos anos tem se tornado cada vez mais evidente a importância dos sistemas de gerenciamento de energia e monitoramento em aplicações residenciais no contexto de microrredes – visando garantir um uso mais eficiente e sustentável da energia elétrica, contribuindo para a redução de custos, a eficiência energética, a segurança e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, além de proporcionar uma gestão mais inteligente e eficiente do sistema de energia.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho foi dividido em capítulos. No Capítulo 1, foi apresentado um contexto sobre MRs, como também a motivação para o trabalho e os objetivos desejados. No Capítulo 2, será introduzido a teoria utilizada no desenvolvimento do trabalho como: os componentes especificados para formação de uma microrrede e modos de funcionamento; os protocolos de comunicação disponíveis, mais especificamente, o protocolo MQTT. No Capítulo 3, será apresentado a metodologia para a produção deste trabalho, enquanto o desenvolvimento do sistema de gerenciamento será apresentado no Capítulo 4. O Capítulo 5 apresentará os resultados obtidos e por fim, o Capítulo 6 apresentará a conclusão do trabalho e propostas de continuidade do mesmo.

2 MICRORREDES – SUBSISTEMAS DE GERAÇÃO E ARMAZENAMENTO E ELEMENTOS DE MONITORAMENTO

O presente capítulo apresenta a base teórica necessária para o entendimento deste trabalho. Inicialmente, a Seção 2.1 trata dos componentes que formam uma microrrede (MR) e suas configuração. Em seguida, a Seção 2.2 apresenta o layout da microrrede do Laboratório de Armazenamento e Mobilidade (LAM), com seus componentes, equipamentos de conexão elétrica e equipamentos referente ao sistema de gerenciamento. Por fim, a Seção 2.3 descreve a conectividade entre os equipamentos da MR e os protocolos de comunicação disponibilizados pelo Cerbo GX.

2.1 Componentes de Microrredes

Microrredes têm se tornada cada vez mais difundidas em face evolução da automação e controle e da eletrônica de potência, passando então a representar uma alternativa para o suprimento de energia exclusivo pela rede. Dentre as configurações existentes de MRs, pode-se classificar as que possuem pelo menos um sistema FV como alternativa de geração, havendo também, a capacidade de integração com diferentes tipos de recursos energéticos distribuídos (RED), como sistemas de armazenamento de energia e micro turbinas.

É necessário portanto, apresentar a fundamentação teórica dos equipamentos que compõem a MR (mais especificamente a MR instalada no LAM) de acordo com suas funções. Assim, os próximos tópicos detalharão os componentes e suas configurações.

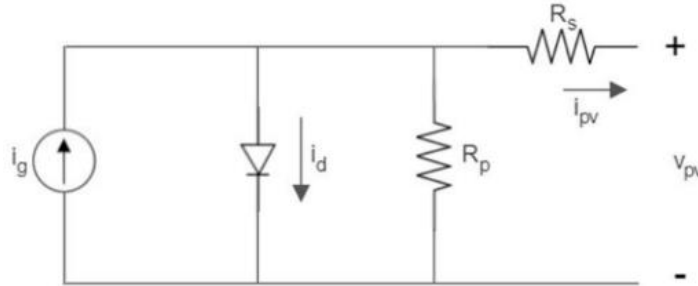
2.1.1 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é um dispositivo que converte a energia da luz do sol em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, onde cada célula fotovoltaica absorve fótons de luz solar e liberam elétrons, gerando uma corrente elétrica [4].

Uma célula fotovoltaica pode ser modelada por um circuito elétrico visto na Figura 2. Onde i_{pv} e v_{pv} são, respectivamente, a corrente e tensão de saída. A corrente de saída pode ser representada matematicamente pela diferença entre a corrente i_g , gerada pela absorção dos

fótons de luz solar, e a corrente i_d de junção p-n, representada pelo diodo. A resistência R_s e R_p representam as perdas por dispersão [8, 4].

Figura 2 – Circuito elétrico equivalente de célula solar fotovoltaica.



Fonte: [8].

2.1.2 Inversores

Para cargas que demandam corrente alternada, faz-se necessário a conversão da corrente contínua fornecida pelos módulos FVs (ou do sistema de armazenamento) para corrente alternada. Para isso, são os inversores CC/CA são inseridos ao sistema da MR.

Inversores são dispositivos compostos por circuito com tiristores ou transistores os quais atuam como chaves eletrônicas mudando de estado entre condução e bloqueio da corrente advinda dos terminais CC [9, 4]. Segundo [4], os inversores podem ser classificados como Inversores Aplicados em Sistemas Conectados à Rede e Inversores Aplicados em sistemas Autônomos com Baterias, os quais serão apresentados a seguir.

2.1.2.1 Inversores Aplicados em Sistemas Conectados à Rede

Nesta configuração, o inversor converte a corrente contínua proveniente da usina FV para corrente alternada em um barramento CA conectado às cargas e a rede elétrica. Diferentemente dos inversores *off grid*, que podem apenas demandar energia da rede caso possuam entrada para a mesma, os inversores *on grid* são habilitados para injetar energia na rede e são comutados pela rede, atuando como uma fonte de corrente, injetando o excesso ou compensando o complemento para alimentar as cargas [4].

2.1.2.2 Inversores Aplicados em Sistemas Autônomos com Baterias

Na configuração em que o sistema autônomo com bateria está isolado da rede da distribuidora, o inversor atua como fonte de tensão e converte a corrente CC da bateria em CA, alimentando as cargas em períodos do dia em que não há geração FV. Neste tipo de configuração, os inversores podem exercer a função de carregador da bateria, carregando-a a partir da geração FV ou da rede quando não existe excedente não demandado pelas cargas [9, 4].

2.1.3 Controladores de Carga

Também denominados de “gerenciador de carga” ou “regulador de carga”, os controladores de carga são equipamentos que gerenciam e controlam o fluxo de potência entre o sistema FV e o sistema de armazenamento. Além disso, são responsáveis pela proteção da bateria contra sobrecarga e de descargas profundas decorrentes de um longo período sem geração FV [9, 4].

Ainda sobre os controladores de carga, além da proteção contra sobrecarga, onde os controladores impedem que a bateria continue carregando ao atingir seu limite de tensão de carga, esse equipamento pode gerenciar o carregamento de acordo com o algoritmo específico do armazenador e proteger a bateria contra descargas excessivas a partir do monitoramento da tensão em seus terminais, impedindo que fique abaixo do recomendado [4].

De acordo com as aplicações, podem ser escolhidos diferentes tipos de controladores de carga.

2.1.3.1 Controlador On-Off

Este tipo de controlador aplica diretamente a tensão e a corrente do painel sobre a bateria, sem qualquer tipo de regulação, portanto, não existe um gerenciamento refinado. Assim, a estratégia de controle dos controladores *on-off* está baseada somente na tensão instantânea nos terminais da bateria [9].

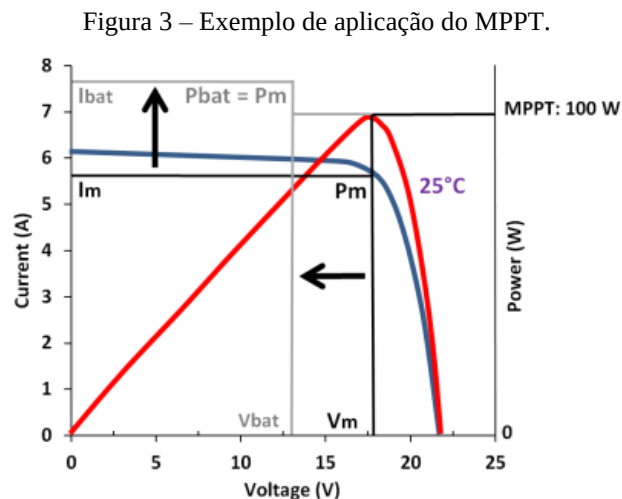
2.1.3.2 Controlador com PWM

Neste tipo de controlador, o gerenciamento de corrente de carga é realizado por meio de uma lógica de controle da largura do pulso resultante. Controladores com essa tecnologia de controle são os mais recomendados para sistemas *off-grid* e surgiram como primeiro avanço na realização de carga de baterias [4, 10].

2.1.3.3 Controlador com MPPT

Controladores de carga com MPPT rastreiam o ponto de máxima potência dos módulos FV, ou seja, ele identifica a quantidade de potência produzida por um módulo de acordo com a quantidade de trabalho que este módulo pode produzir quando iluminado pela luz solar. Portanto, é possível determinar a potência nominal do módulo a partir da multiplicação da tensão no ponto de máxima potência pela corrente de máxima potência [10].

Como exemplo, a Figura 3 a seguir, ilustra as curvas $I \times V$ e $P \times V$ de um módulo FV de 100W com MPPT onde a corrente e tensão máximas são $I_{mp} = 5,56A$ e $V_{mp} = 18V$. Assim, a área do retângulo em preto se refere à potência ($P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp}$).



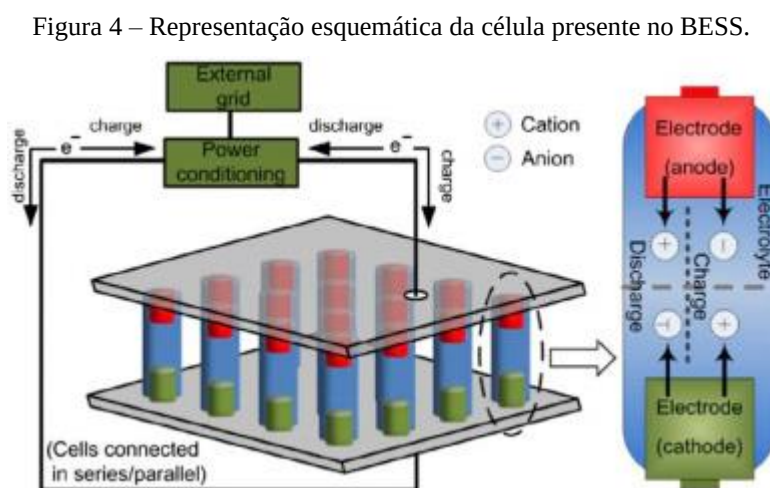
Fonte: [11].

2.1.4 Sistema de Armazenamento de Energia em Bateria

A tecnologia de armazenamento de energia empregada na microrrede do LAM se refere à de forma eletroquímica e em vista deste fato, este tópico irá apresentar unicamente este método de armazenamento de energia, mais especificamente, armazenamento por meio de baterias eletroquímicas de Íon Lítio (Li-íon).

As baterias são compostas por células que realizam reações eletroquímicas, convertendo energia elétrica em energia química e vice-versa. Essas células, por sua vez, são constituídas por um cátodo, um ânodo e um eletrólito, e podem ser conectadas em série ou em paralelo para fornecer a capacidade e a tensão desejadas para o sistema de armazenamento de energia (BESS) [12].

A Figura 4 apresenta uma representação esquemática de uma célula presente no BESS.



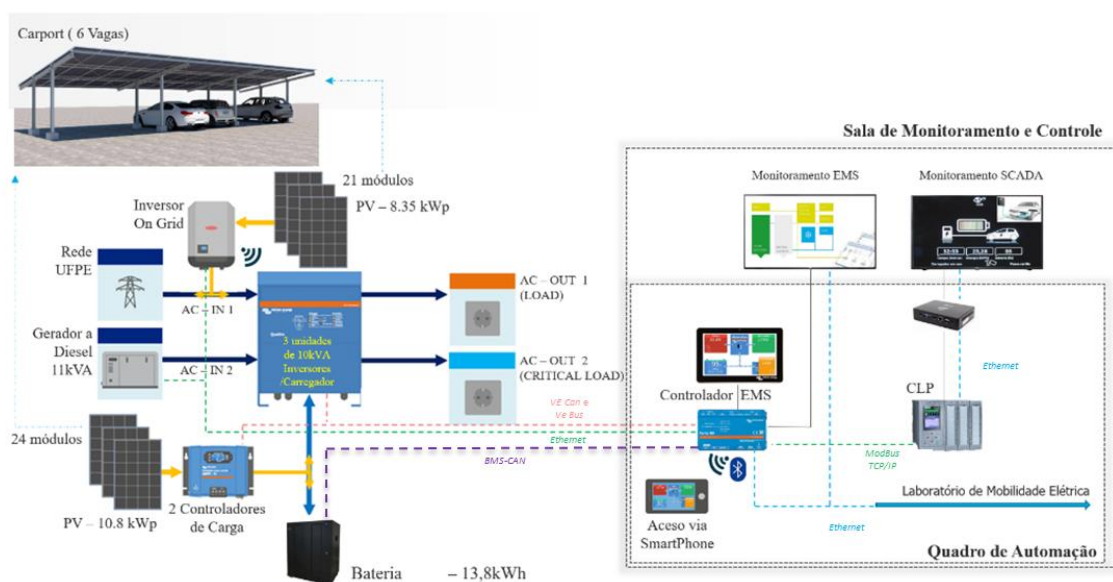
Fonte: [13].

2.2 Layout da Microrrede do LAM

Tendo em vista a possibilidade de integração de REDs e contribuição na operação da rede elétrica, o Departamento de Engenharia Elétrica da UFPE em parceria com a CPFL foi contemplado com a concepção do laboratório de armazenamento e mobilidade (LAM) por meio dos projetos P&D: PD-0397-3026/2017 – "Inserção de Sistema de Armazenamento em Configurações Múltiplas para Suporte à Geração Eólica" e CS3059 – “Desenvolvimento de um sistema para carregamento veicular com integração de um sistema solar fotovoltaico”. Logo, o LAM tem como objetivo simular condições de operação do BESS integrado a sistemas FV *on-grid* e *off-grid* (instalados em uma estrutura *Carport*), cargas e estação de recarga para veículos elétricos, como apresentado na Figura 5.

Ressalta-se, portanto, que o laboratório foi utilizado para legitimação do sistema de gerenciamento de MR, o qual será apresentado nos capítulos posteriores, demonstrando a flexibilidade e interoperabilidade com dispositivos de diferentes fabricantes.

Figura 5 – Layout da microrrede do LAM.



Fonte: [4].

A Figura 5 possibilita demonstrar de forma visual o sistema real da Figura 6, onde estão destacados o inversor *on-grid* (1), os três inversores/carregadores (2), os dois controladores de carga (3), o sistema de armazenamento (4) e o gerador (5) [4].

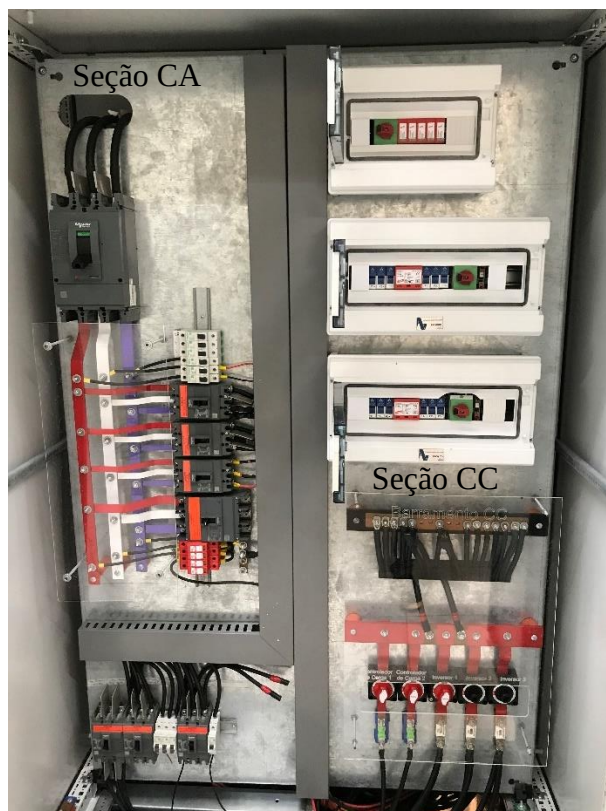
Figura 6 – Microrrede do LAM.



Fonte: [4].

De outra forma, a Figura 7 apresenta o quadro elétrico em que os equipamentos são integrados fisicamente. No quadro portanto, estão dispostos os barramentos dos circuitos de corrente alternada e de corrente contínua.

Figura 7 – Quadro elétrico da Microrrede.



Fonte: Próprio Autor.

Além do quadro elétrico, a MR conta com o quadro de automação (Figura 8), o qual, além do Controlador Lógico Programável (CLP), abriga o sistema de monitoramento chamado de Cerbo GX do fabricante Victron Energy [14].

Assim sendo, o ponto central do próximo tópico consistirá em abordar a conectividade entre os equipamentos da MR.

Figura 8 – Quadro de Automação.



Fonte: Próprio Autor.

2.3 Conectividade dos Componentes da MR

A partir da estrutura geral da MR do LAM, pode-se apresentar a descrição técnica e especificações de conectividade dos equipamentos escolhidos; uma etapa necessária para o desenvolvimento do sistema de gerenciamento próprio no HA.

2.3.1 Cerbo GX

Cerbo GX (Figura 9) é o dispositivo central da MR do LAM. Neste caso então, ele funciona como EMS (do inglês: *Energy Management System* – Sistema de Gerenciamento de Energia) da MR. Nele, todos os equipamentos do sistema – inversor *on-grid*, inversores/carregadores, controladores de carga e o BESS – estão conectados, como apresentado na Figura 10.

Figura 9 – Cerbo GX.



Fonte: [14].

Figura 10 – Resumo das conexões do Cerbo GX.



Fonte: Próprio Autor.

De acordo com a Figura 10, pode-se verificar os diferentes tipos de protocolos de comunicação disponíveis no Cerbo GX como: VE.Can, VE.Bus, BMS-Can, Ethernet e MQTT; os quais serão descritos nos tópicos a seguir.

2.3.2 Redes e Protocolos

Diante dos diferentes tipos de protocolos de comunicação disponíveis, faz-se necessário analisar e descrevê-los.

2.3.2.1 Protocolo VE.Can

O protocolo de comunicação VE.Can (protocolo CAN Bus da fabricante Victron Energy) é utilizado na comunicação entre os controladores de carga e Cerbo GX e se baseia nos protocolos NMEA2000 e SAE (Sociedade de Engenheiros Automotivos) J1939 [15]. CAN Bus (do inglês: *Controller Area Network*) é um padrão para comunicação veicular projetado para comunicação de microcontroladores e dispositivos sem a necessidade de computador [16]. Segundo a [17], os padrões NMEA2000 e SAE J1939 são estruturados e baseados no protocolo CAN Bus e possuem um foco na indústria marítima e em redes de comunicação de ônibus e caminhões, respectivamente. Adicionalmente, o protocolo BMS-Can, utilizado para comunicação entre Cerbo GX e o BESS, também é baseado no protocolo CAN Bus.

Nota-se, portanto, que o intuito da utilização deste protocolo pela Victron Energy é a possibilidade de instalação de seus equipamentos na solução de produção de energia a bordo de veículos automotivos e embarcações [18, 19].

2.3.2.2 Protocolo VE.Bus

VE.Bus é um protocolo desenvolvido pela Victron Energy e destinado para comunicação de seus inversores/carregadores [15].

2.3.2.3 Modelo de Referência OSI

Como será descrito, o protocolo Ethernet se baseia no modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection*). O modelo OSI foi desenvolvido pela ISO (*International Standards Organization*) e trata da interconexão de sistemas abertos à comunicação [20, 21]. O modelo OSI possui sete camadas:

- Camada física: Trata da transmissão de bits por um canal de comunicação;

- Camada de enlace de dados: Transforma um canal de transmissão em uma linha livre de erros de transmissão para a camada de rede;
- Camada de rede: Realiza o controle da operação da sub-rede, determinando como os pacotes de dados são roteados da origem até o destino;
- Camada de transporte: Função de aceitar os dados da camada superior a ela, dividi-los em unidades de tamanho menor, repassar para a camada de rede e assegurar que os pacotes chegarão à outra extremidade;
- Camada de sessão: Possibilita que usuários de diferentes dispositivos estabeleçam sessões entre eles;
- Camada de apresentação: Tem função principal de realizar a movimentação de bits de acordo com a sintaxe e semântica das informações transmitidas;
- Camada de aplicação: Contém uma série de protocolos para usuários como o HTTP, por exemplo [20].

2.3.2.4 Modelo de Referência e protocolo TCP/IP

O modelo de referência TCP/IP foi criado com o objetivo de conectar várias redes de uma maneira uniforme. Ele foi definido pela primeira vez por Cerf e Kahn, e possui a capacidade de tornar as conexões estáveis mesmo que algumas máquinas ou conexões intermediárias deixem de operar repentinamente [20].

Em comparação com o modelo OSI, o modelo de referência possui as seguintes camadas:

- Camada inter-redes: Permite que os *hosts* insiram pacotes em qualquer rede, garantindo que trafeguem independentemente até o destino. Define o formato do pacote e o protocolo chamado IP (*Internet Protocol*), entregando os pacotes IP onde são necessários;
- Camada de transporte: Permite que as entidades pares dos *hosts* de origem e destino mantenham-se conectados. Define o protocolo TCP (*Transport Control Protocol* – Protocolo de controle de transmissão), protocolo esse que permite a entrega sem erros de um fluxo de bytes originário;

- Camada de aplicação: Contém os protocolos de nível alto como: TELNET (protocolo de terminal virtual), FTP (protocolo de transferência de arquivo) e SMTP (protocolo de correio eletrônico) [20].

2.3.2.5 Protocolo Ethernet

O protocolo Ethernet é uma tecnologia LAN (do inglês: *Local Area Network*) que permite a conexão entre vários dispositivos juntos. Segundo [22], o protocolo Ethernet pode ser descrito como um conjunto de regras que administram a maneira como os dispositivos em uma rede se comunicam com outros dispositivos. Estas regras definem as camadas físicas e de controle de acesso ao meio (MAC) do modelo de referência OSI [23].

Assim, o modelo OSI torna-se uma referência para a comunicação em redes de computadores e para o protocolo Ethernet [23]. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as camadas do modelo OSI e protocolo Ethernet. Nota-se, portanto, que, na camada de enlace de dados, o protocolo Ethernet utiliza o conceito de quadros Ethernet, os quais encapsulam os dados que serão transmitidos pela rede. Um quadro Ethernet contém o endereço MAC do destinatário, o endereço MAC do remetente e os dados. De outra forma, na camada física, o protocolo se utiliza do cabo Ethernet, como o cabo de par trançado ou cabo coaxial para conexão dos dispositivos à rede; utiliza padrões de codificação para envio de dados e interfaces de rede, que são responsáveis por conectar os dispositivos à rede, podendo ser incorporadas ao hardware do dispositivo (placas de rede) ou dispositivos externos (*switches* e *hubs*).

Tabela 1 – Camadas do modelo OSI e protocolo Ethernet

Camadas do Modelo de referência OSI	Camadas do protocolo Ethernet
Aplicação	
Apresentação	
Sessão	
Transporte	
Rede	
Enlace de dados	Quadros Ethernet
Física	Cabo Ethernet, padrões de codificação e interfaces de rede.

Fonte: Adaptado de [23].

2.3.2.6 Protocolo MQTT

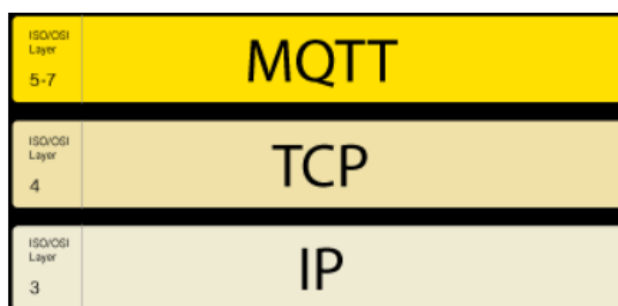
Sendo um dos protocolos disponíveis para comunicação com o Cerbo GX, MQTT é um protocolo leve e flexível que permite a implementação tanto em hardware de dispositivos fortemente restrito quanto em redes de latência alta ou instáveis. Em adição a isso, sua flexibilidade possibilita o suporte a diversos cenários para dispositivos e serviços IoT. O MQTT, portanto, é utilizado em uma ampla gama de aplicativos de IoT, incluindo monitoramento de sensores, automação residencial e industrial [24].

MQTT se tornou um padrão para comunicações IoT, permitindo a conexão de dispositivos com a internet, com outros dispositivos e com serviços *backend*. Este protocolo foi originalmente desenvolvido pela IMB em 1999 com aplicação original de conectar sensores em oleodutos com satélites. Ele se baseia em assinatura de tópicos, onde os dispositivos se inscrevem em tópicos específicos para receber as mensagens publicadas nesses tópicos. As mensagens são enviadas com um *payload* (conteúdo) e um tópico que especifica o assunto da mensagem. Além disso, o protocolo possui recursos de QoS (Qualidade de Serviço), o qual permitem que os dispositivos garantam a entrega de mensagens [25, 26, 24].

2.3.2.6.1 Comunicação MQTT

Como principais componentes estão o cliente MQTT, o *broker* MQTT e os tópicos MQTT. Como mencionado anteriormente, a conexão entre clientes e *broker* é estabelecida por meio do protocolo TCP/IP, exigindo que ambas as partes possuam uma pilha TCP/IP, como observado na Figura 11. Essa conexão é sempre estabelecida entre o cliente e o *broker*. Portanto, os clientes nunca se conectam entre eles diretamente [26].

Figura 11 – Pilha de camadas do Modelo TCP/IP para comunicação MQTT.



Fonte: [26].

Para iniciar uma conexão, o cliente envia uma mensagem *CONNECT* para o *broker*. O *broker* por sua vez, responde com uma mensagem *CONNACK* (*Acknowledgement* - Reconhecimento) e com um código de status. Uma vez que a conexão é estabelecida, o *broker* mantém-la aberta até que o cliente envie um comando de desconexão [26, 25]. Um cliente de “boa reputação” enviará uma mensagem de conexão (*CONNECT*) com o seguinte conteúdo:

- *ClientId*: O identificador cliente identifica cada cliente MQTT que se conecta com um *broker* MQTT, que por sua vez, identifica o estado atual do cliente;
- *Clean Session*: A *flag Clean Session* diz ao *broker* qual cliente deseja estabelecer uma sessão permanente ou não. Em uma sessão permanente, o *broker* armazena todas as inscrições para o cliente e todas as mensagens perdidas para o cliente que se inscreveu com QoS nível 1 ou 2;
- *Username/Password*: Nome do usuário e senha para autenticação e autorização;
- *Will Message*: Esta mensagem notifica outros clientes quando um cliente desconecta de forma repentina;
- *KeepAlive*: Determina o intervalo de tempo em segundos que o cliente especifica ao *broker* quando a conexão é estabelecida. Este intervalo define o maior período de tempo em que o *broker* e cliente podem permanecer conectados sem envio de mensagens [26].

O *broker* por sua vez, ao receber a mensagem *CONNECT*, é obrigado a responder com a mensagem *CONNACK*, a qual contém os seguintes dados:

- *Session Present Flag*: Avisa ao cliente se o *broker* já possui uma sessão permanente disponível baseada em interações anteriores com o cliente;
- *Connect Acknowledge Flag*: Contém um código que retorna ao cliente se a tentativa de conexão foi bem sucedida [26, 25]. A Tabela 2 apresenta os códigos de retorno disponíveis.

Tabela 2 – Códigos e respostas de retorno.

Código de retorno	Resposta do código de retorno
0	Conexão aceita
1	Conexão recusada, versão de protocolo não aceita
2	Conexão recusada, identificador rejeitado
3	Conexão recusada, servidor indisponível

4	Conexão recusada, mau <i>username</i> ou senha
5	Conexão recusada, não autorizado

Fonte: Adaptado de [26].

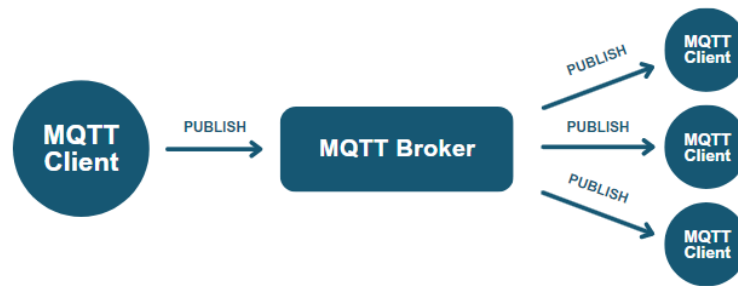
2.3.2.6.2 Publicação e Inscrição MQTT

MQTT utiliza uma filtragem baseada em tópicos das mensagens no *broker* e cada mensagem deve conter um tópico que o *broker* pode utilizar para repassar aos clientes interessados. Uma mensagem *PUBLISH* (Publicação) possui os seguintes atributos:

- *Topic Name*: *String* estruturada hierarquicamente com barras (“/”) como delimitadores. Exemplo: “sistema/dc/bateria/soc”;
- *QoS*: *Quality of Service Level* (Nível de qualidade de serviço), indica três valores: 0, 1 e 2. Este valor determina que tipo de garantia que uma mensagem chegou no cliente ou *broker* pretendido. 0: Mensagem enviada no máximo uma vez. 1: Mensagem enviada pelo menos uma vez. 2: Mensagem enviada exatamente uma vez;
- *Retain Flag*: Define se a mensagem é armazenada pelo *broker* como o último valor condizente de um tópico específico;
- *Payload*: O real conteúdo da mensagem. Ressalta-se que o protocolo MQTT permite o envio de imagens, textos, dados encriptados e dados binários;
- *Packet Identifier*: Identifica uma mensagem à medida que flui entre o cliente e o *broker*;
- *DUP Flag*: Indica que a mensagem foi duplicada e reenviada porque o receptor pretendido não reconheceu a mensagem original [26].

A Figura 12, portanto, apresenta o fluxo de publicação de uma mensagem MQTT. Nota-se que o cliente que publica a mensagem se propõe a entregar a mensagem ao *broker*. Uma vez que o *broker* recebe a mensagem, é de sua responsabilidade entregar aos clientes inscritos.

Figura 12 – Processo de publicação de mensagem MQTT.



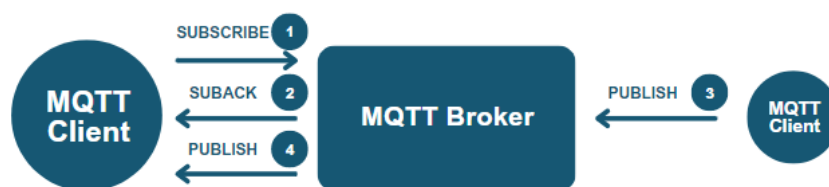
Fonte: Próprio Autor.

De outra forma, para recebimento de mensagens em tópicos de interesse, o cliente envia uma mensagem de inscrição (*SUBSCRIBE*) para o *broker*. Ela contém os seguintes atributos:

- *Packet Identifier*: Identifica uma mensagem à medida que flui entre o cliente e o *broker*;
- *List of Subscriptions*: Lista de inscrições de um cliente. Cada inscrição é formada por um tópico e um QoS [26, 25];

Para confirmação de cada inscrição, o *broker* envia uma mensagem de reconhecimento para o cliente, chamada *SUBACK*. Esta mensagem contém o *Packet Identifier* da mensagem de inscrição e uma lista de códigos de retorno; cada código de retorno refere-se ao par tópico/QoS que o *broker* retorna ao cliente inscrito. Assim, a Figura 13 apresenta a sequência de comunicação MQTT.

Figura 13 – Sequência de comunicação MQTT.



Fonte: Próprio Autor.

Por fim, nota-se que a implementação de uma comunicação com o protocolo MQTT se torna vantajosa por ser um protocolo leve que utiliza o mínimo de largura de banda para

transmitir dados; escalável, possibilitando comunicação eficiente em grandes redes de dispositivos; confiável, garantindo qualidade no envio das mensagens; seguro, provendo serviços de segurança e autenticação [27, 28].

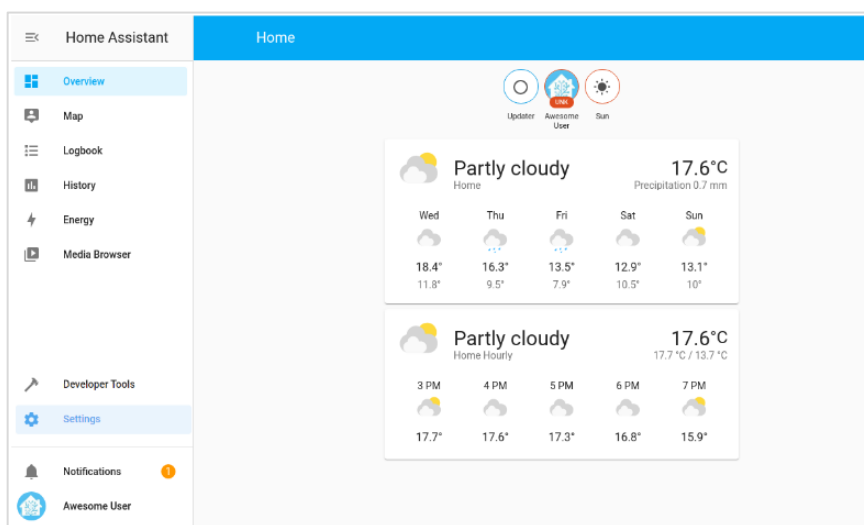
3 METODOLOGIA PARA INTEGRAÇÃO DE MICRORREDE

O presente capítulo apresenta a metodologia adotada neste trabalho. A Seção 3.1 aborda especificamente o sistema *Home Assistant* (HA), expondo os conceitos, operação e formas de instalação. Em seguida, na Seção 3.2 são apresentados os métodos de integração do HA com a microrrede.

3.1 *Home Assistant*

Visando a integração do usuário com os dispositivos instalados na MR, a plataforma *Home Assistant* pode ser utilizada como central de gerenciamento, monitoramento e controle energético da microrrede. O HA é um software gratuito e de código aberto designado para automação residencial, integrando dispositivos e possibilitando concentração de controle de equipamentos de diferentes fabricantes em uma aplicação, dado que cada fabricante costuma fornecer seu próprio aplicativo para controle de seus dispositivos. O software tem como conceito a utilização de *Dashboards*, Integrações, Dispositivos e Entidades, Automações, *Scripts* e Add-ons [29, 30].

A personalização da interface do sistema se dá por meio do uso das *Dashboards*, os quais apresentam páginas customizáveis que apresentam informações requeridas pelo usuário. Por padrão, existem duas *Dashboards*: Visão Geral e Energia. As *Dashboards* possibilitam a configuração e posicionamento de diversos tipos de Cartões, que apresentam diferentes tipos de dados requeridos em diferentes temas [29]. A Figura 14 ilustra um exemplo de *Dashboard*.

Figura 14 – Exemplo de *Dashboard* do *Home Assistant*.

Fonte: [29].

Para conexão com softwares e plataformas de terceiros, o HA utiliza o conceito de Integrações. Uma vez que uma Integração é adicionada, os dados e hardware terceiro é representado como Dispositivo e Entidade.

Dispositivos são um grupo lógico de uma ou mais Entidades. Um Dispositivo pode representar um dispositivo físico e pode ter um ou mais sensores, os quais aparecem como Entidades associadas a este dispositivo. Adicionalmente, as Automações são ações que se repetem e são formadas por três componentes:

1. *Triggers*: Evento ou eventos que iniciam a regra de automação;
2. *Condition*: Teste opcional que limita a regra de automação a funcionar em casos específicos. Uma condição irá testar o estado atual do sistema, tal como a variável de tempo, estados de dispositivos ou de sensores;
3. *Action*: A ação é acionada de acordo com o evento de gatilho e após estabelecida e verificada determinada condição pré-configurada [29].

Um outro conceito importante para o entendimento do funcionamento do *Home Assistant* é o conceito de *Scripts*. Similar às Automações, *Scripts* são utilizados particularmente para especificar uma sequência de ações a serem executadas pelo HA. Os *Scripts* são configurados na sintaxe YAML [29].

A sintaxe YAML (“YAML Ain’t Markup Language”) é um formato de serialização de dados inspirado em linguagens como XML, C, Python, Perl, desenvolvida para ser amigável ao ser humano, sendo proposta por Clark Evans, Ingy döt Net e Oren Bem-Kiki em 2001 [31]. O

padrão YAML utiliza caracteres Unicode (UTF-8 ou UTF-16) atingindo uma minimização na quantidade de caracteres estruturais e permitindo que os dados sejam apresentados de forma natural e significativa. Um exemplo disto é a utilização de recuo (indentação) para estrutura, dois pontos (“ : ”) separam pares chave/valor e hífen (“ - ”) para criação de listas, como ilustra a Figura 15. YAML foi criado para funcionar bem em casos de uso comum como em arquivos de configuração, de log e depuração de estruturas complexas de dados, tornando a programação uma tarefa mais fácil [31].

Figura 15 – Exemplo de criação de lista em YAML.

```
american:  
  - Boston Red Sox  
  - Detroit Tigers  
  - New York Yankees  
national:  
  - New York Mets  
  - Chicago Cubs  
  - Atlanta Braves
```

Fonte: [31].

Em adição, Add-ons são aplicativos, complementos de terceiros que fornecem funcionalidades adicionais ao *Home Assistant* [29].

Por fim, em relação à instalação do sistema operacional para o *Home Assistant*, existem duas opções disponíveis: a primeira é o *Home Assistant Operation System* (HAOS), que é o próprio sistema operacional desenvolvido especificamente para o *Home Assistant*. A segunda opção é o *Home Assistant Container*, que é uma instalação autônoma baseada em *container* do *Home Assistant Core*, utilizando tecnologias como o Docker, por exemplo. Tais instalações podem ser feitas por meio de uma máquina virtual em um computador convencional com sistemas operacionais já embarcados ou em placa Raspberry Pi, por exemplo. Para o caso deste trabalho, adotou-se a criação de uma máquina virtual carregada com o HAOS por meio do software VirtualBox distribuído de forma gratuita pela empresa Oracle [32].

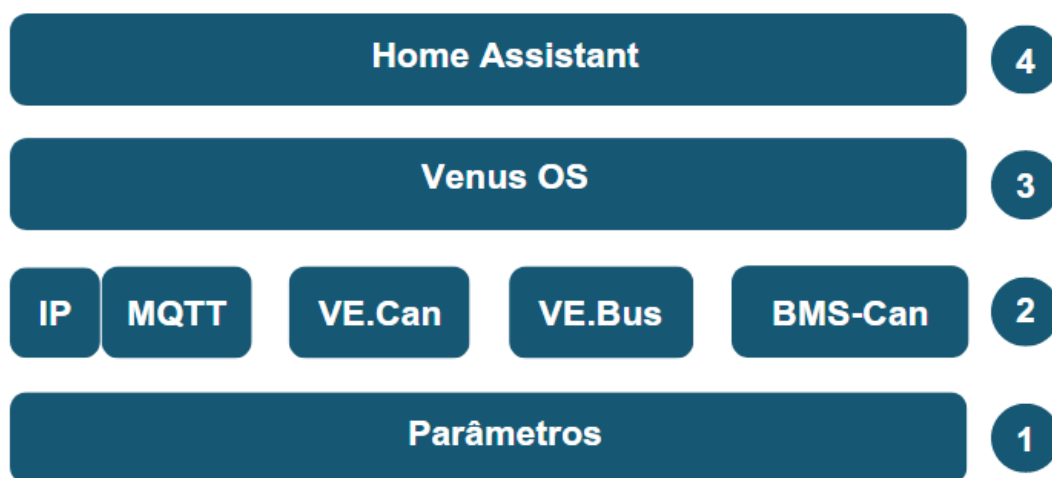
3.2 Integração *Home Assistant* e Microrrede

A integração e comunicação do HA com os dispositivos da microrrede se dá por meio do Cerbo GX da Victron Energy, sendo este o responsável por gerenciar inicialmente a microrrede, monitorando os parâmetros elétricos. O *Home Assistant* é inserido, portanto, como uma plataforma independente de sistema de gerenciamento de microrrede, aproveitando as informações do dispositivo Cerbo GX, possibilitando a aplicação em diversos cenários e atualização da microrrede para um sistema confiável, sustentável e seguro com flexibilidade para implantação de automações.

A Figura 16 apresenta uma visão da arquitetura de configuração. No nível 1 estão todos os parâmetros elétricos da microrrede que serão analisados e utilizados pelo sistema de gerenciamento. O nível 2 representa as camadas de transporte e protocolos de comunicação utilizados. O nível 3 implementa uma lógica mais complexa; representa o sistema operacional Venus OS, utilizado no dispositivo Cerbo GX. Finalmente, o nível 4 implementa uma lógica ainda mais complexa, com a diferença de não ser uma ação crítica.

Mais especificamente, a comunicação entre *Home Assistant* e Cerbo GX é feito por meio do protocolo MQTT. O dispositivo Cerbo GX incluem um *broker* MQTT embutido que pode ser ativado em suas configurações, como será visto no desenvolvimento deste trabalho no próximo capítulo.

Figura 16 – Arquitetura da configuração.



Fonte: Próprio Autor.

Este capítulo apresentou a descrição da metodologia de integração por meio da plataforma HÁ via protocolo MQTT. O Capítulo 4 a seguir descreve a implantação e estudo de caso considerando a estrutura disponibilizada no LAM.

4 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA DE INTEGRAÇÃO

Este capítulo descreve o processo de desenvolvimento da integração da microrrede do LAM na estrutura proposta anteriormente. Primeiramente, na Seção 4.1, será descrito o método de instalação e configuração do sistema *Home Assistant*. A Seção 4.2 apresenta a integração e comunicação por meio do protocolo de comunicação MQTT entre *Home Assistant* e Cerbo GX. A Seção 4.3 descreve o método de armazenamento dos dados, neste caso, utilizando um banco de dados. Por sua vez, a Seção 4.4 apresenta os mecanismos utilizados para realizar a visualização dos dados da MR. A Seção 4.5 expõe a importância da utilização de dados dos fluxos de potência em uma microrrede no que diz respeito a seu monitoramento e o modo como foram obtidos. Por fim, a Seção 4.6 apresenta o método de obtenção das contabilizações de energia de consumo e de energia gerada/produzida pelo sistema fotovoltaico.

4.1 Instalação e Configuração inicial do *Home Assistant*

Como descrito anteriormente no Capítulo 3, a primeira etapa para o desenvolvimento deste projeto é a instalação do HAOS em computador, o que foi realizada em uma máquina virtual por meio do software VirtualBox da empresa ORACLE.

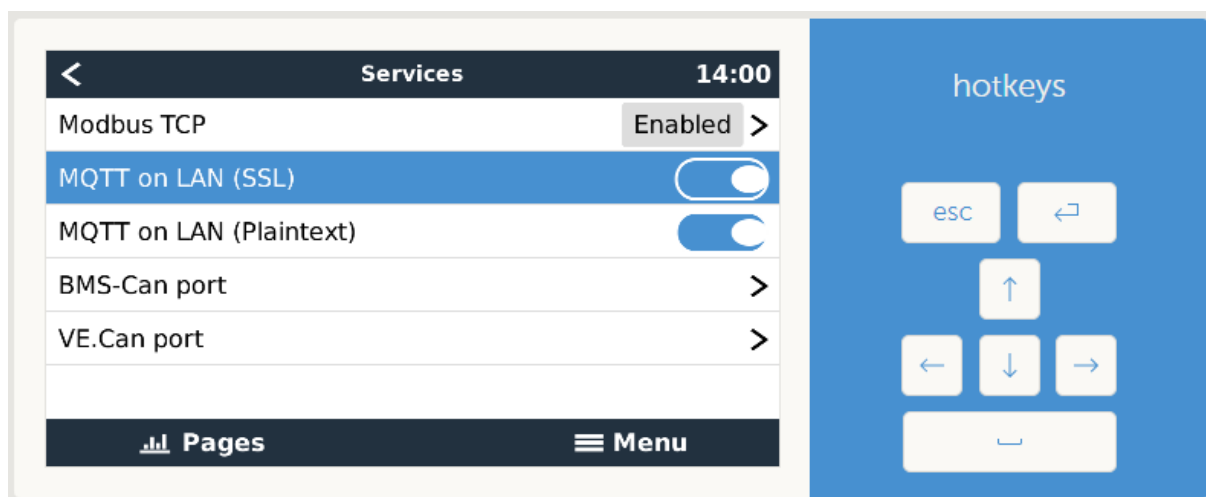
Feito o *download* da imagem do HAOS no site do *Home Assistant* e instalação no VirtualBox, criou-se uma instância de Máquina Virtual (VM, do inglês *Virtual Machine*) com o arquivo do HAOS. Definiu-se, portanto, o sistema operacional como Linux (64-bit), utilizando 2 processadores e 4096 MB (Megabytes) de memória RAM, habilitou-se o EFI (*Extensible Firmware Interface*) e configurou-se a placa de rede para se conectar em modo *bridge*.

O site do *Home Assistant* disponibiliza um arquivo no formato de imagem virtual de disco (VDI, do inglês *Virtual Disk Image*,) contendo o sistema operacional. Assim, ao criar a VM, é possível selecioná-lo como imagem de disco e o sistema pode ser considerado habilitado para utilização.

Com o sistema em execução, é possível iniciar a utilização no navegador por meio das informações de URL, IP e porta, como apresentado por meio da Figura 17. Acessando a interface, o *Home Assistant* solicita o cadastro de um usuário, como mostra a Figura 18. Então, criou-se um usuário administrador para utilização do *Home Assistant* e deu-se início ao desenvolvimento do projeto.

configuração **Plaintext**, a qual não requer autenticação de usuário e senha, utilizando a porta 1883.

Figura 19 – Ativação do protocolo MQTT no Cerbo GX.



Fonte: Próprio Autor.

Segundo [33], o *broker* MQTT do Cerbo GX necessita que seja enviada, a cada 30 segundos, uma mensagem chamada *keepalive*, para que a conexão não seja desativada. Esse mecanismo evita excesso de tráfego no servidor do fabricante. Portanto, criou-se uma automação no HA que envia esta mensagem a cada 30 segundos, sendo necessário a identificação do endereço MAC do dispositivo Cerbo GX. A Figura 20 apresenta tal configuração.

Figura 20 – Automação para mensagem keepalive.

```
/config/automations.yaml
1 - id: '1673445825855'
2   alias: mqtt keep alive
3   description: ''
4   trigger:
5     - platform: time_pattern
6       seconds: /30
7   condition: []
8   action:
9     - data:
10       - topic: R/102c6b9d30f3/system/0/Serial
11       - service: mqtt.publish
12     - mode: single
```

Fonte: Próprio Autor.

Como próximo etapa, faz-se necessário utilizar a Integração MQTT disponibilizada pelo *Home Assistant*. Esta Integração implementa mensagens de publicação e inscrição, bastando apenas configurá-lo para apontar para o endereço IP do Cerbo GX (192.168.1.164, neste caso) na porta 1883. A partir deste ponto, este *broker* será chamado de Broker GX [34].

Considerando conexões com outros dispositivos por meio do protocolo MQTT, fez-se necessário adicionar um Add-on *broker* MQTT, chamado Mosquitto Broker. Após a instalação, foi necessário realizar uma conexão entre os *brokers* para que o Mosquitto Broker colete os tópicos publicados pelo Broker GX. Nesta configuração, o Mosquitto Broker agirá apenas como “ponte”, passando os tópicos inscritos. A Figura 21 apresenta esta configuração, onde a instrução **connection** é um nome de escolha pessoal; **address** é o endereço IP do Broker GX e porta 1883. A parte dos tópicos (**topic**) definem: 1. O que se deseja estabelecer comunicação na entrada e saída do modo de recebimento (N); 2. Requisição de leitura (R); 3. Requisição de escrita (W).

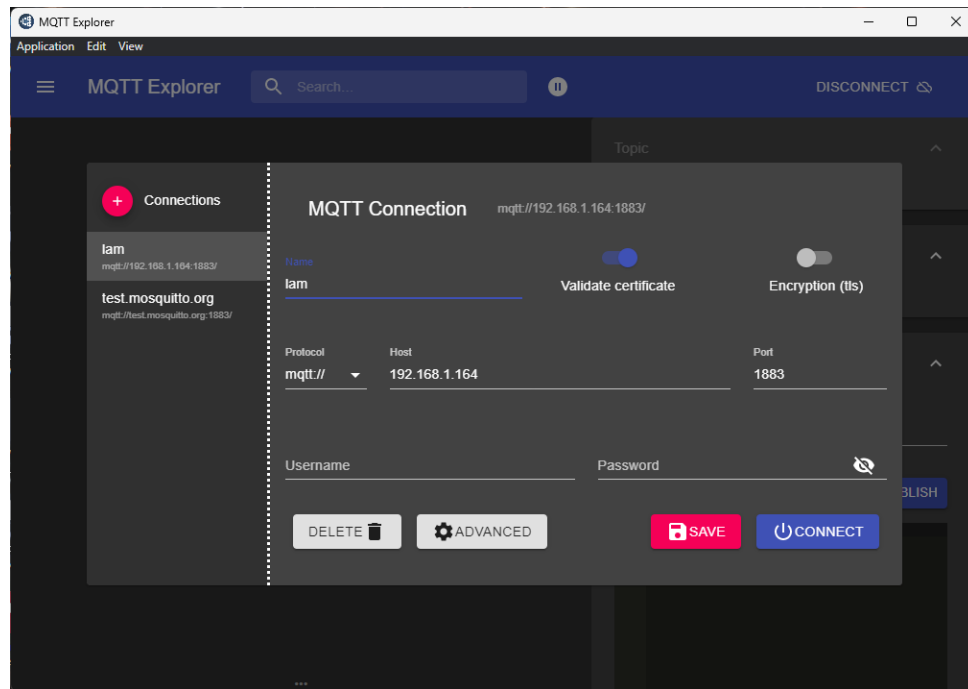
Figura 21 – Configuração para o Mosquitto Broker.

```
1 connection lam
2 address 192.168.1.164:1883
3 topic N/102c6b9d30f3/# in
4 topic R/102c6b9d30f3/# out
5 topic W/102c6b9d30f3/# out
```

Fonte: Próprio Autor.

Após inicialização e checagem da Integração e Add-on, fez-se uso do programa MQTT Explorer, utilizado para visualização de tópicos MQTT de dispositivos conectados a *brokers*. Esta etapa foi necessária dado a existência de diversos tópicos disponíveis e publicados pelo Cerbo GX, assim, é possível navegar entre os tópicos de interesse de forma acessível [35, 36]. A Figura 22 demonstra a realização da comunicação com o Broker GX, inserindo seu endereço IP e porta. De outra forma, a Tabela 3 apresenta alguns tópicos disponíveis para seleção. Por fim, criou-se um arquivo em formato YAML para realizar a inscrição nos tópicos desejáveis.

Figura 22 – Conexão com o Broker GX.



Fonte: Próprio Autor.

Tabela 3 – Tópicos disponíveis.

Caminho do Tópico	Descrição
/Ac/Out/L1/P	Output power 1
/Ac/Out/L2/P	Output power 2
/Ac/Out/L3/P	Output power 3
/Dc/0/Voltage	Battery voltage
/Dc/0/Current	Battery current
/Ac/ActiveIn/ActiveInput	Active input
/Soc	VE.Bus state of charge
/Dc/0/Voltage	Battery voltage
/Dc/1/Voltage	Starter battery voltage
/Soc	State of charge
/Relay/0/State	Relay status
/TimeToGo	Time to go
/Soh	State of health
/Ac/L1/Power	L1 Power
/Ac/L1/Energy/Forward	L1 Energy
/Ac/L2/Power	L2 Power
/Ac/L2/Energy/Forward	L2 Energy
/Ac/L3/Power	L3 Power
/Ac/L3/Energy/Forward	L3 Energy
/Ac/L1/Energy/Forward	L1 Energy
/Ac/L2/Energy/Forward	L2 Energy

/Ac/L3/Energy/Forward	<i>L3 Energy</i>
/Ac/Power	<i>Total Power</i>
/Ac/MaxPower	<i>Maximum Power Capacity</i>
/Ac/PowerLimit	<i>Power limit</i>
/Ac/L1/Power	<i>Total Energy from net</i>
/Ac/L2/Power	<i>Total Energy to net</i>
/Ac/L3/Power	

Fonte: Próprio Autor.

4.3 Armazenamento dos dados

Visando armazenar os valores obtidos na leitura dos tópicos de cada parâmetro, fez-se uso do Add-on InfluxDB, um banco de dados externo e gratuito disponibilizado pela empresa influxdata, por se tratar de um banco de dados otimizado para lidar com dados de tempo real e alta frequência [37, 38]. Para a configuração do InfluxDB, criou-se um banco de dados chamado “lam” com uma política de retenção infinita, ou seja, os dados serão armazenados num período indefinido localmente na máquina física, dependendo apenas da quantidade de espaço livre disponível para armazenamento.

Em seguida, após a criação do banco de dados, fez-se a configuração no arquivo de configuração do *Home Assistant*, como apresentado na Figura 23. Na configuração aponta-se para o endereço IP do *Home Assistant* e porta, nome do banco de dados, usuário e senha, número de tentativas de reconexão após falha na rede e unidade de medida dos dados que serão armazenados.

Figura 23 – Configuração do banco de dados.

```

/config/configuration.yaml
1  ↵
2  # Loads default set of integrations. Do not remove.
3  default_config:
4  ↵
5  ↵
6  #Banco de Dados
7  influxdb:
8    host: 192.168.2.6
9    port: 8086
10   database: lam
11   username: lam
12   password: senha
13   max_retries: 3
14   default_measurement: state

```

Fonte: Próprio Autor.

O armazenamento de dados de uma microrrede é uma funcionalidade desejada, uma vez que permite a criação de históricos que podem ser utilizados para comparações e análise mais detalhadas de distúrbios, consumo de energia, armazenamento de energia e identificação de problemas. Adicionalmente, é útil para a operação em tempo real, oferecendo subsídios para as decisões tomadas.

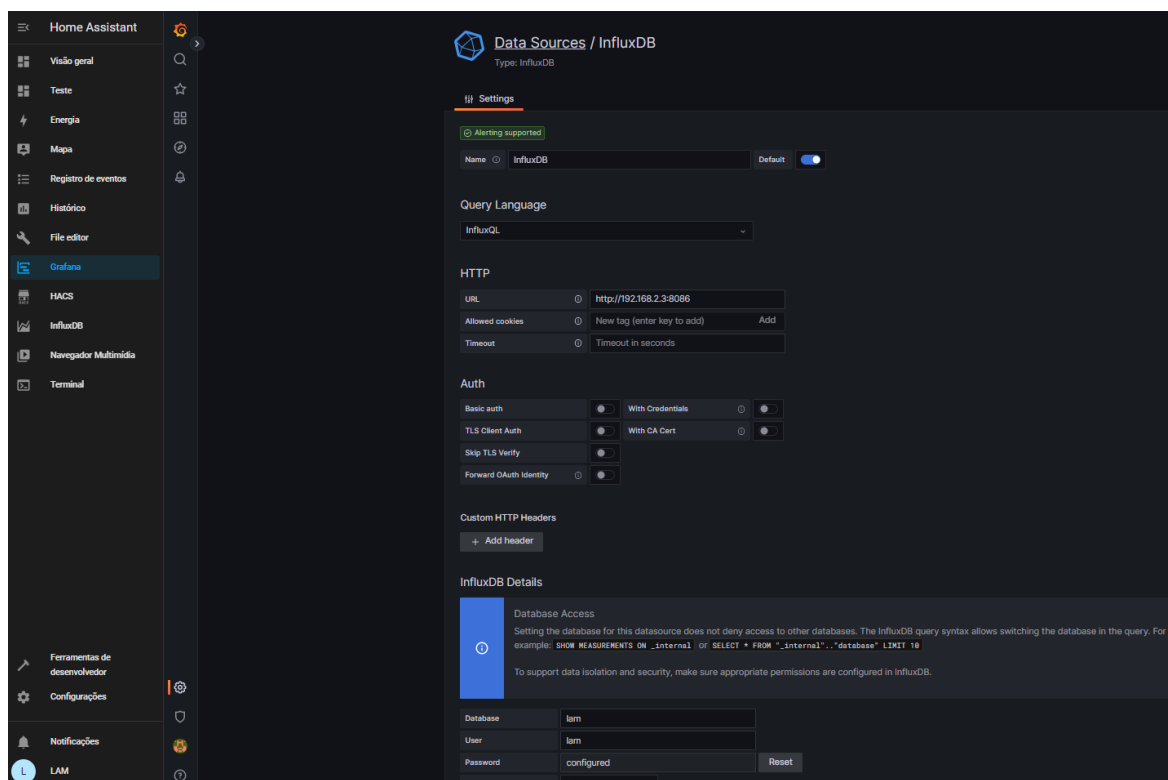
4.4 Visualização dos dados

A visualização dos parâmetros lidos é indispensável para o gerenciamento energético dado que há uma grande quantidade de dados coletados, os quais necessitam ser entendidos e interpretados. Para isto, fez-se uso do Add-on Grafana. Grafana é uma aplicação de código aberto que tem como objetivo a visualização e monitoramento de dados. Em adição, o Grafana oferece suporte a diversos bancos de dados, incluindo o InfluxDB, facilitando a integração de dados da microrrede [39].

Outra vantagem do Grafana é sua flexibilidade em relação à visualização de dados, sendo possível criar visualização de dados em tempo real, históricos, tabulares, gráficos e mapas, por exemplo. Com isso, a análise dos dados a partir de diferentes maneiras, permite extrair informações úteis para tomada de decisões.

Em sua configuração, foi necessário indicar o endereço IP do *Home Assistant* e o nome do banco de dados que servirá como fonte de dados, como demonstrado na Figura 24.

Figura 24 – Configuração da fonte de dados do Grafana.

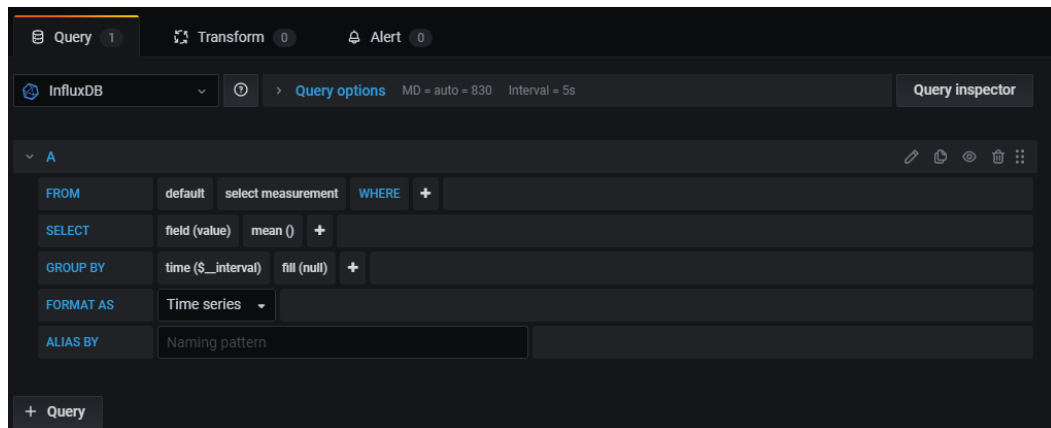


Fonte: Próprio Autor.

O Grafana permite a configuração dos tipos de visualização de dados como: Visualização em série temporal, gráfico em barras, valores estáticos, *Gauge*, tabela, gráfico pizza, por exemplo. Os gráficos então são adicionados em painéis. Para este projeto, utilizou-se gráficos em série temporal, em barras e de valores estáticos.

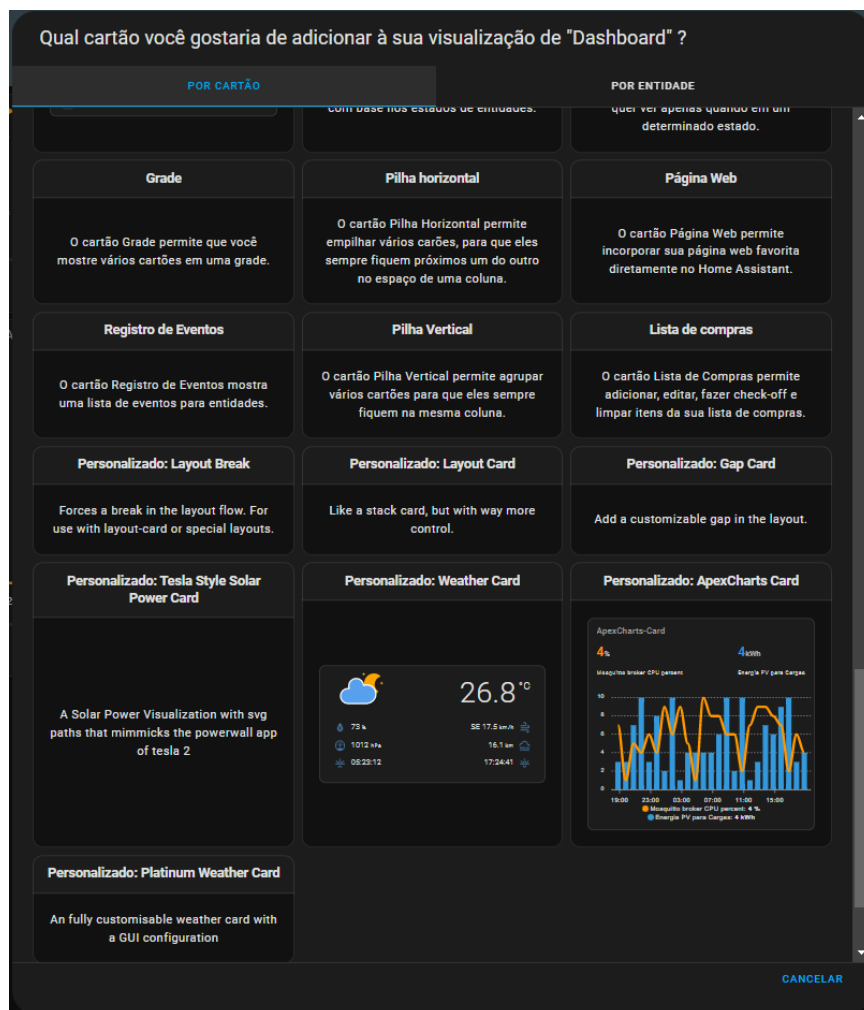
A edição dos painéis ocorre por meio de editores de consulta, chamados de *Query Editors*. Tais editores são escritos em linguagem *query* e disponibilizam a configuração da fonte do dado a ser visualizado, frequência, agrupamento e limite de dados coletados, por exemplo, como visto na Figura 25 [40].

Figura 25 – Query Editor.



Fonte: [40].

Além da utilização do Grafana para visualização de dados, fez-se uso dos cartões disponibilizados pelo HA. A Figura 26 apresenta alguns cartões que estão disponíveis.

Figura 26 – Cartões para adição à visualização na *Dashboard* Visão Geral.

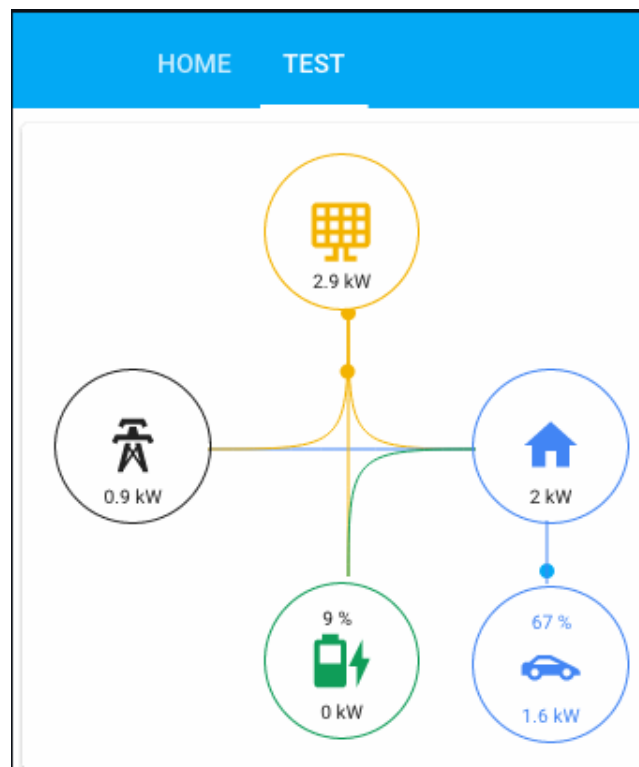
Fonte: Próprio Autor.

4.5 Fluxos de Potência

A partir do monitoramento de grandezas elétricas como tensão, corrente e fluxos de potência, é possível alcançar maior confiabilidade e segurança no suprimento de energia. Mais especificamente, o estudo de fluxos de potência em microrredes conectadas ou não à rede e/ou com cargas variáveis é de extrema importância [41, 4].

Tendo isso em vista, foi implementado ao sistema o “tesla style solar power card”. O “tesla style solar power card” é um cartão de interface gráfica do usuário (GUI) utilizado no *Home Assistant* para monitoramento, controle e otimização de energia. O cartão pode exibir informações em tempo real sobre produção de energia solar, armazenamento de energia no BESS e consumo de energia. Além disto, permite controle e definição de limites para produção de energia solar e envio de alertas quando a produção ou consumo de energia atinjam determinados níveis [42]. A Figura 27 apresenta um exemplo do cartão.

Figura 27 – Exemplo de visualização do cartão "tesla style solar power card".



Fonte: [42].

Os quatro principais valores exibidos são a soma dos fluxos de e para rede (**Grid**), geração FV (**Generation**), carga (**House**) e BESS (**Battery**). Adicionalmente, duas aplicações

opcionais podem ser configuradas, sendo estas para consumo de um veículo elétrico (VE) ou aquecedor, por exemplo. Os mesmos indicando apenas o consumo.

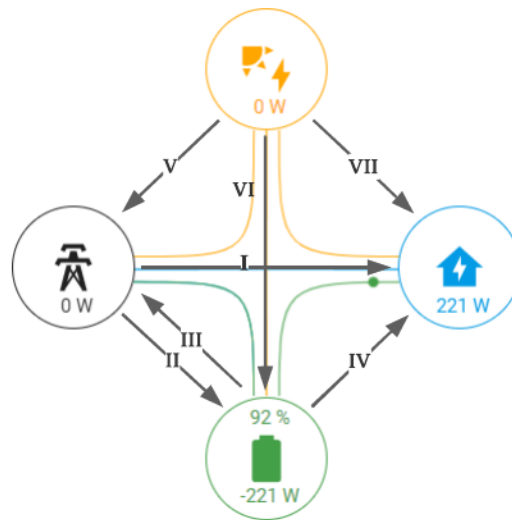
Existem sete fluxos principais [42]. São eles:

- **generation_to_grid_entity**: Fluxo de potência da geração FV para a rede;
- **generation_to_battery_entity**: Fluxo de potência da geração FV para o BESS;
- **generation_to_house_entity**: Fluxo de potência da geração FV para a(s) cargas;
- **grid_to_battery_entity**: Fluxo de potência da rede para o BESS;
- **grid_to_house_entity**: Fluxo de potência da rede para a(s) cargas;
- **battery_to_grid_entity**: Fluxo de potência do BESS para a rede;
- **battery_to_house_entity**: Fluxo de potência do BESS para a(s) cargas.

Assim, A Figura 28 apresenta os fluxos de potência. As lógicas para cada fluxo são demonstradas pelas Figuras 29, 30, 31, 32, 33, 34 e 35. Onde:

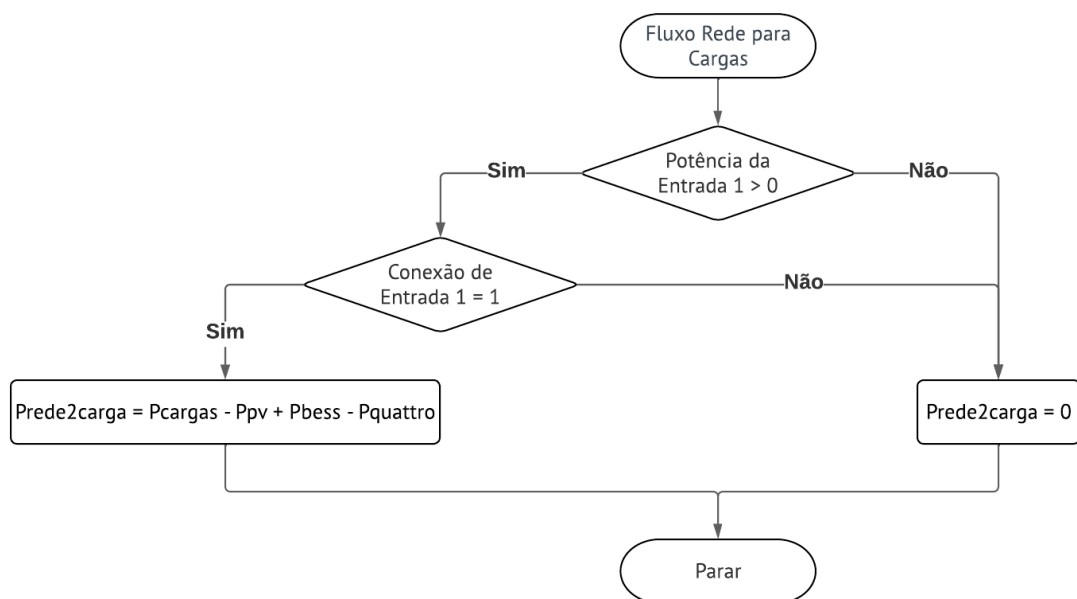
- **Prede2carga**: Fluxo de potência da rede para as cargas;
- **Prede2bess**: Fluxo de potência da rede para o BESS;
- **Pbess2rede**: Fluxo de potência do BESS para a rede;
- **Pbess2carga**: Fluxo de potência do BESS para as cargas;
- **Psolar2rede**: Fluxo de potência do sistema FV para a rede;
- **Psolar2bess**: Fluxo de potência do sistema FV para o BESS;
- **Psolar2carga**: Fluxo de potência do sistema FV para as cargas;
- **Pcargas**: Potência das cargas;
- **Ppv**: Potência gerada pelo sistema FV;
- **Pbess**: Potência do BESS;
- **Pquattro**: Consumo do inversor Quattro;
- **Pcontroladores**: Potência gerada pelos controladores de carga;
- **Pfronius**: Potência gerada pelo inversor Fronius.

Figura 28 – Fluxos de potência.



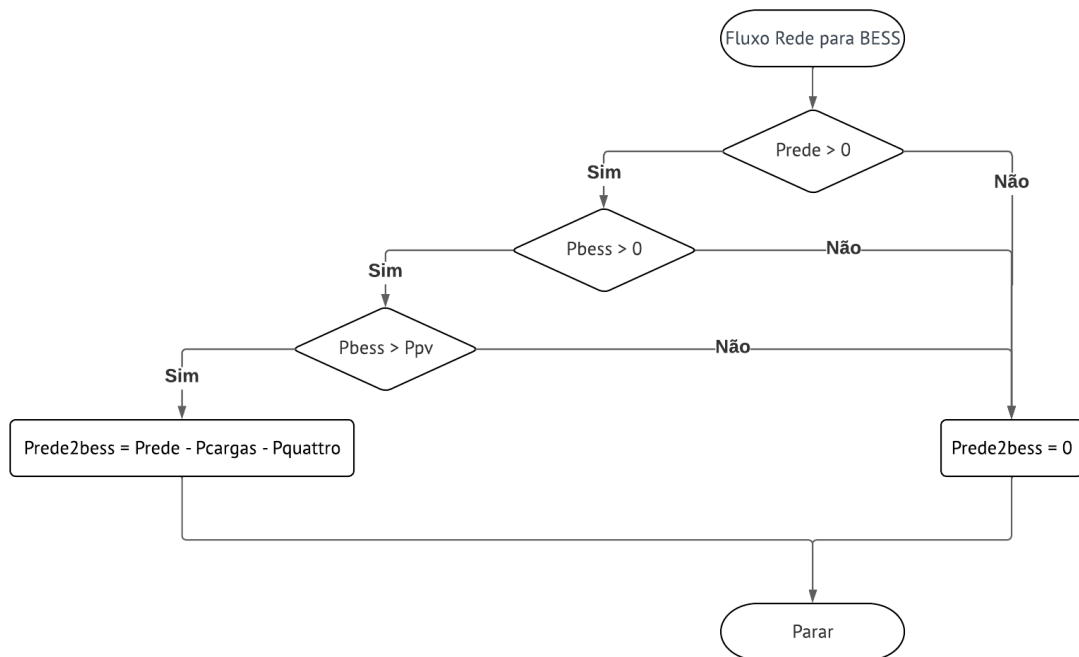
Fonte: Próprio Autor.

Figura 29 – Fluxograma para Fluxo I.



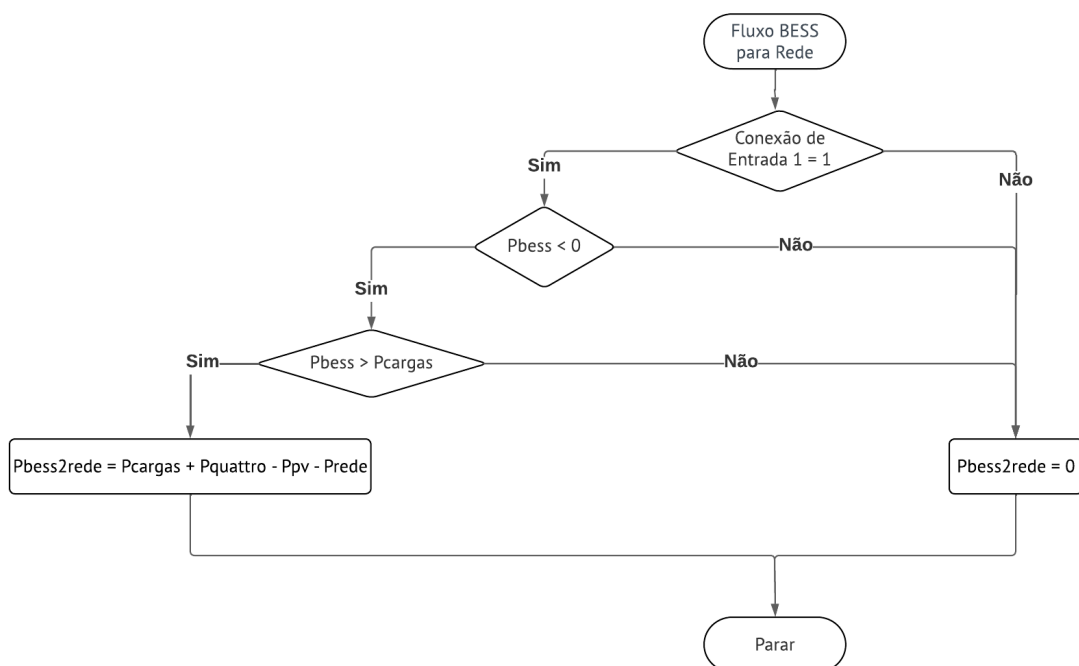
Fonte: Próprio Autor.

Figura 30 – Fluxograma para Fluxo II.



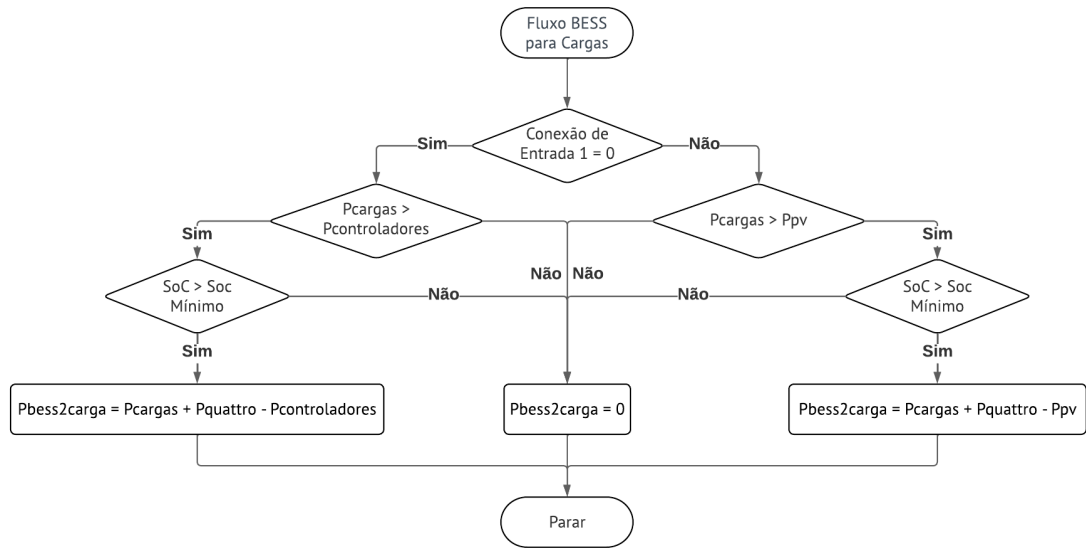
Fonte: Próprio Autor.

Figura 31 – Fluxograma para Fluxo III.



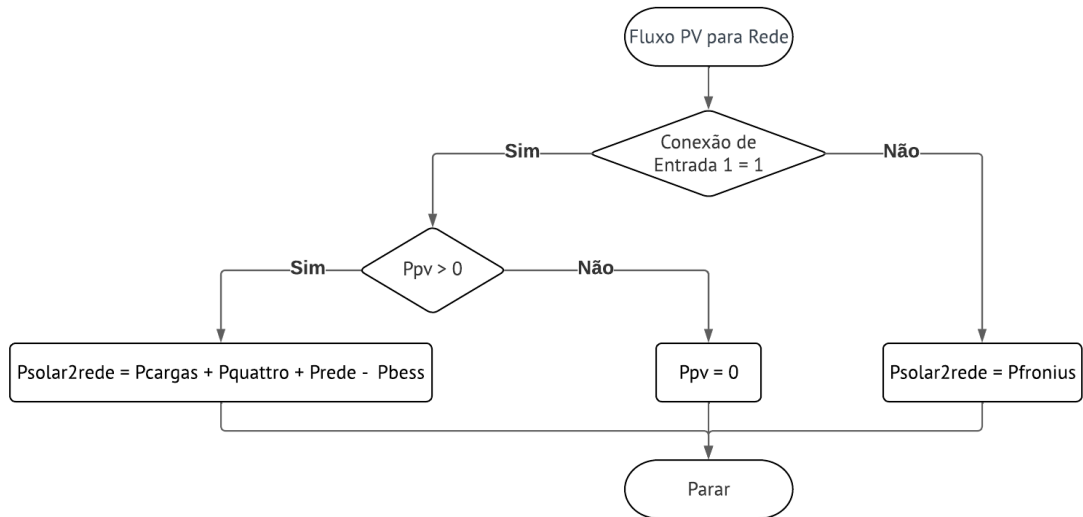
Fonte: Próprio Autor.

Figura 32 – Fluxograma para Fluxo IV.



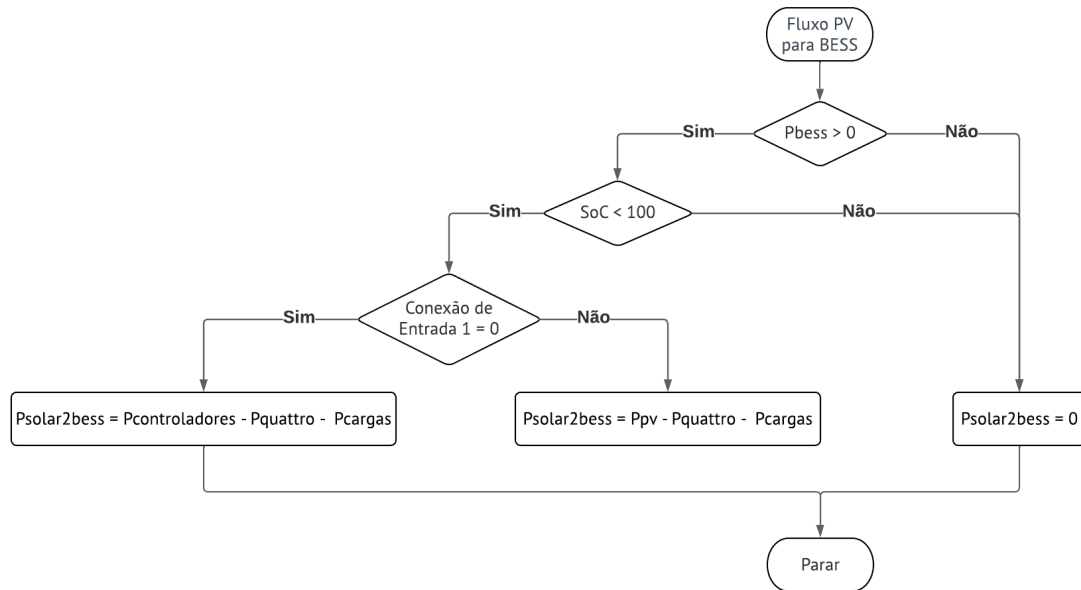
Fonte: Próprio Autor.

Figura 33 – Fluxograma para Fluxo V.



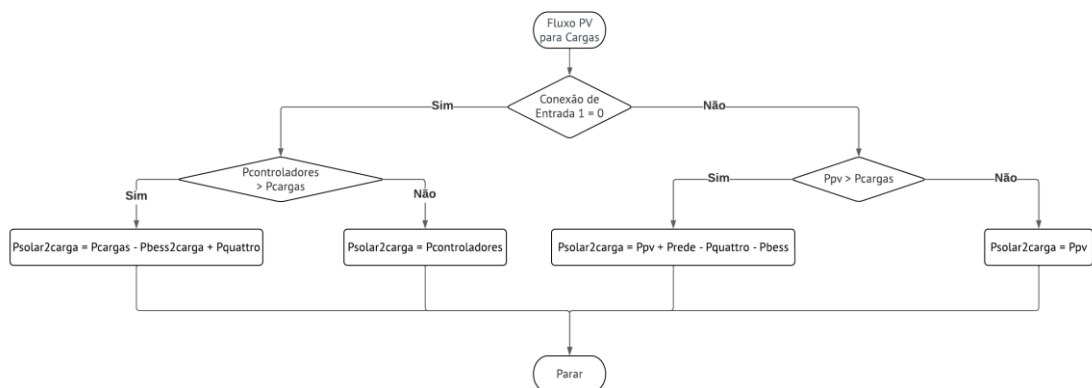
Fonte: Próprio Autor.

Figura 34 – Fluxograma para Fluxo VI.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 35 – Fluxograma para Fluxo VII.



Fonte: Próprio Autor.

O diagrama dos fluxos de potência expressa o que é necessário medir; quanto de potência os módulos FV ou rede estão produzindo, o consumo da(s) cargas, e a potência do BESS que pode ser positiva (carregando) ou negativa (descarregando). Baseado nos tópicos disponibilizados pelo Cerbo GX, pôde-se configurar, em linguagem YAML, um código para os fluxos no arquivo **configuration.yaml**. Por fim, o cartão foi adicionado na *Dashboard* Visão Geral.

4.6 Contabilidade de Energia

Com base nos fluxos de potência, pôde-se calcular as energias relacionadas a eles. Para isto, é necessário multiplicar a potência produzida pelo tempo que foi produzida, que se refere à integral da potência pelo tempo. Caso a energia fosse produzida ou consumida de forma constante ao longo do tempo, poder-se-ia apenas multiplicar uma pela outra, porém, ambas se alteram rapidamente e por isso é preciso utilizar uma função de integração. Com esse fim, utilizou-se a Integração ***Integration – Riemann sum integral***. Essa Integração fornece uma soma de Riemann (uma aproximação de uma integral por uma soma finita) dos valores de leitura de um parâmetro [43]. Nela, é possível escolher a regra (trapezoidal, esquerda ou direita) que será utilizada. Para este trabalho, utilizou-se a soma com a regra a esquerda, onde a função é aproximada pelos valores de extremidade esquerda dos subintervalos. A Figura 36, portanto, apresenta um dos cálculos para contabilidade de energia consumida das cargas pelo sistema FV.

Figura 36 – Cálculo da energia do sistema FV para as cargas.

```
sensor:~
- - platform: integration~
- - source: sensor.solar2carga~
- - method: left~
- - unit_prefix: k~
- - name: Energia PV para Cargas~
```

Fonte: Próprio Autor.

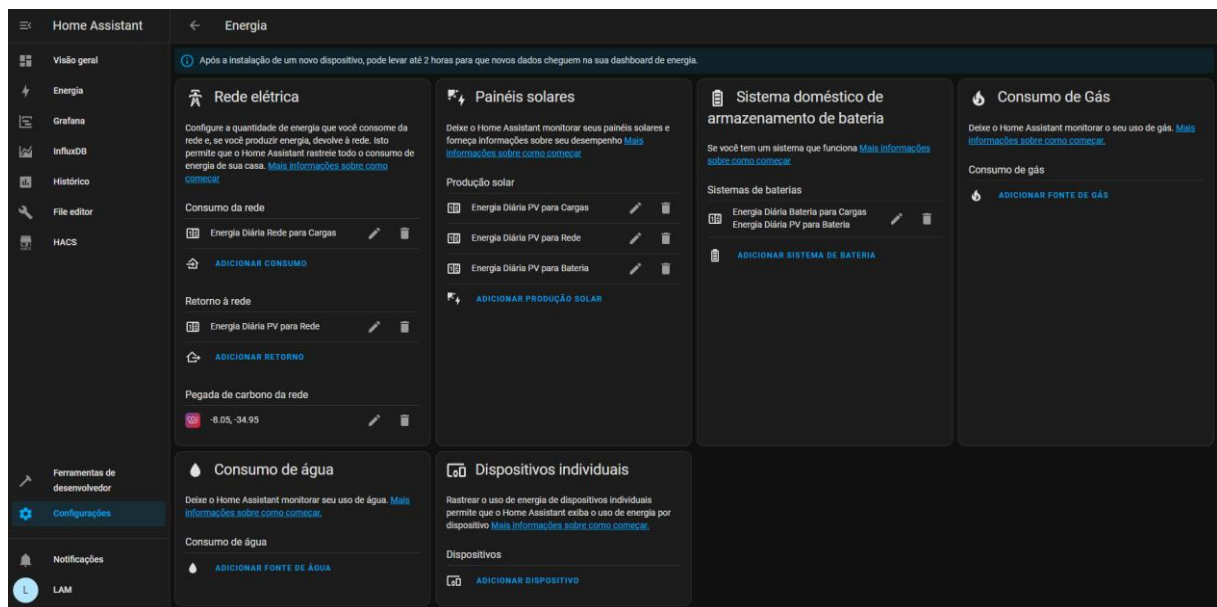
4.6.1 Dashboard Energia

A utilização da *Dashboard Energia* do HA é conveniente, permitindo a visualização do quanto é produzindo e consumido e para onde a energia está sendo destinada. Em adição a isto, é possível realizar o monitoramento de energia consumida cargas individualmente e comparação com dados anteriores. A Figura 37 apresenta um exemplo da *Dashboard Energia* [44].

Figura 37 – Exemplo da *Dashboard Energia*.

Fonte: [44].

Assim, os valores de energia relacionados aos fluxos de potência foram adicionados à *Dashboard Energia*, como mostra a Figura 38.

Figura 38 – Configuração da *Dashboard Energia*.

Fonte: Próprio Autor.

Ressalta-se que os valores utilizados pela *Dashboard Energia* são internos ao HA e, portanto, não são disponíveis para edição. Diante disto, fez-se uso da Integração **Utility Meter**, o qual permite rastrear os consumos de energia [45]. A Figura 39 apresenta um exemplo da

configuração realizada para medição da energia diária do sistema FV consumido pelas cargas e pelo BESS.

Figura 39 – Configuração dos medidores de energia.

```
utility_meter:~  
  ...daily_energy_generation_to_house:~  
  ...source:sensor.energia_pv_para_cargas~  
  ...name:Energia Diária PV para Cargas~  
  ...cycle:daily~  
  ...daily_energy_generation_to_battery:~  
  ...source:sensor.energia_pv_para_bateria~  
  ...name:Energia Diária PV para Bateria~  
  ...cycle:daily~
```

Fonte: Próprio Autor.

5 RESULTADOS DA APLICAÇÃO – ESTUDO DE CASO DO LAM

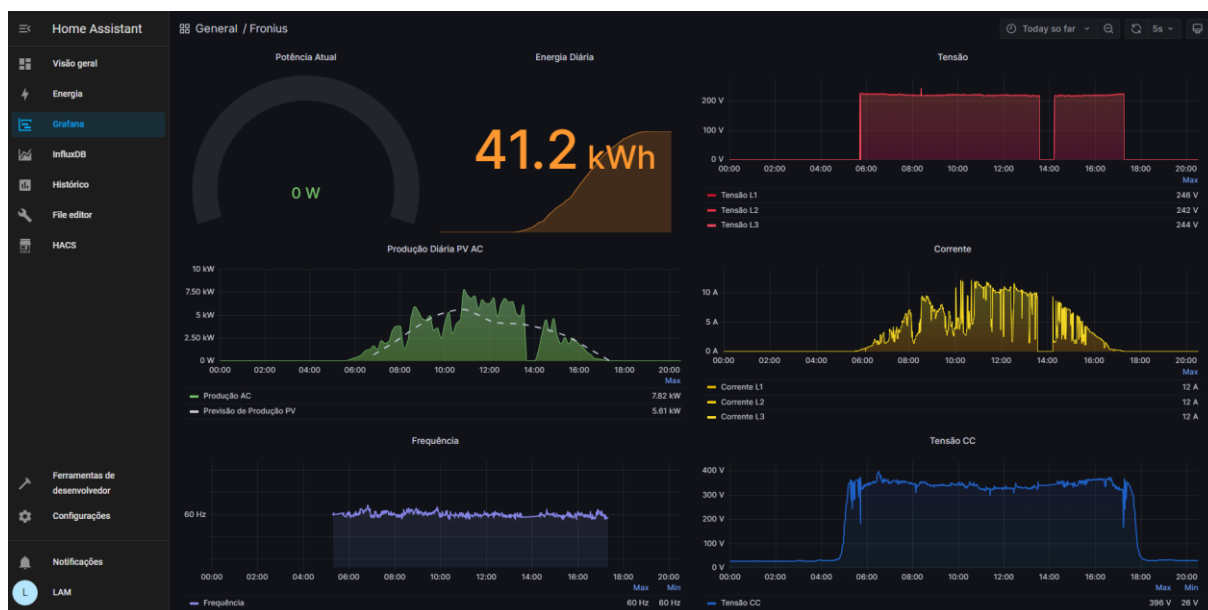
O presente capítulo apresentará os resultados obtidos considerando a aplicação da plataforma de monitoramento e integração desenvolvida descrita anteriormente. A Seção 5.1 mostra os gráficos dos parâmetros elétricos dos equipamentos da microrrede. A Seção 5.2 por sua vez, apresenta o resultado da *Dashboard* Visão Geral e Energia.

5.1 Dashboards de Parâmetros

Para uma visualização detalhada de parâmetros elétricos de cada componente da microrrede, criou-se *Dashboards* no Grafana com gráficos de série temporal e gráficos de barra, onde é possível observar os valores em diferentes períodos de tempo. Portanto, as figuras a seguir apresentam tais gráficos.

A Figura 40 apresenta a *dashboard* com parâmetros do inversor *on-grid* Fronius. Nela é possível observar as tensões e correntes trifásicas, tensão e corrente CC e frequência em formato de visualização de série temporal, em formato de visualização de valor a energia diária produzida e potência em formato de visualização *Gauge* e série temporal. Nota-se também, que foi adicionado ao gráfico da potência, a previsão de geração FV.

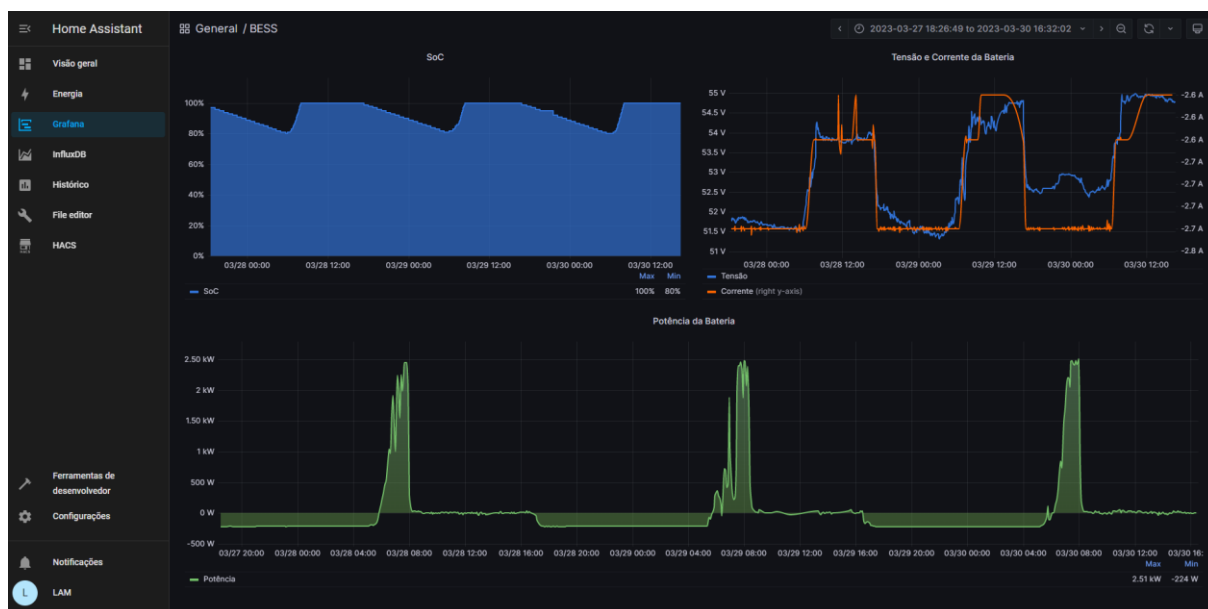
Figura 40 – *Dashboard* dos parâmetros elétricos do inversor *on-grid*.



Fonte: Próprio Autor.

A Figura 41 por sua vez, apresenta a *dashboard* com os parâmetros de estado da carga (*State of Charge*, SoC), potência, tensão e corrente do BESS.

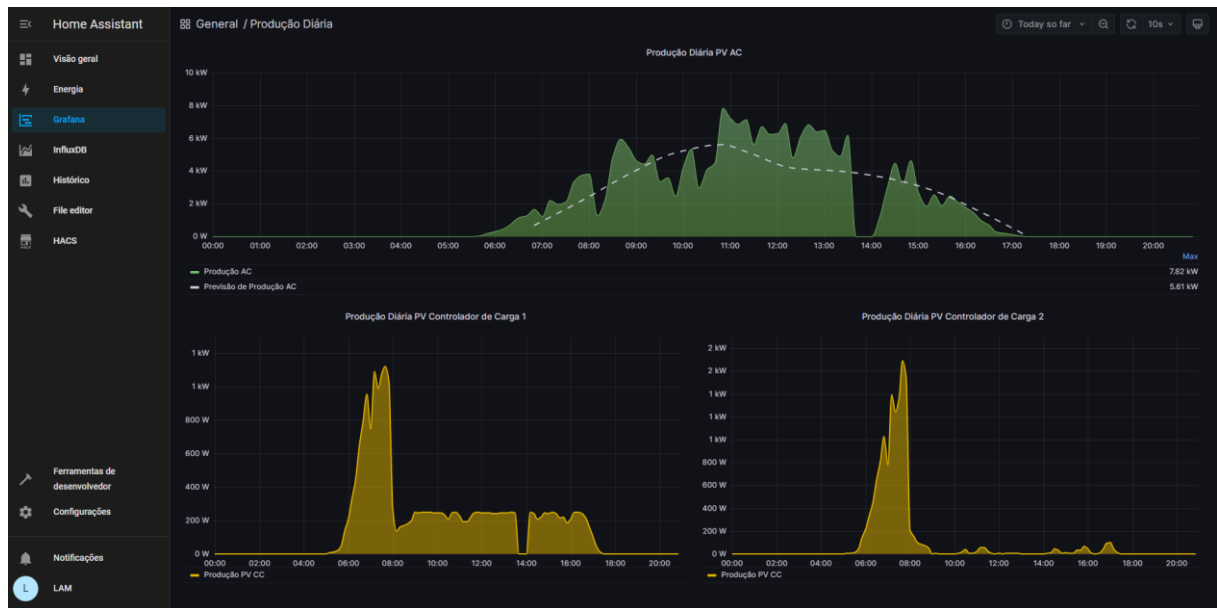
Figura 41 – *Dashboard* BESS.



Fonte: Próprio Autor.

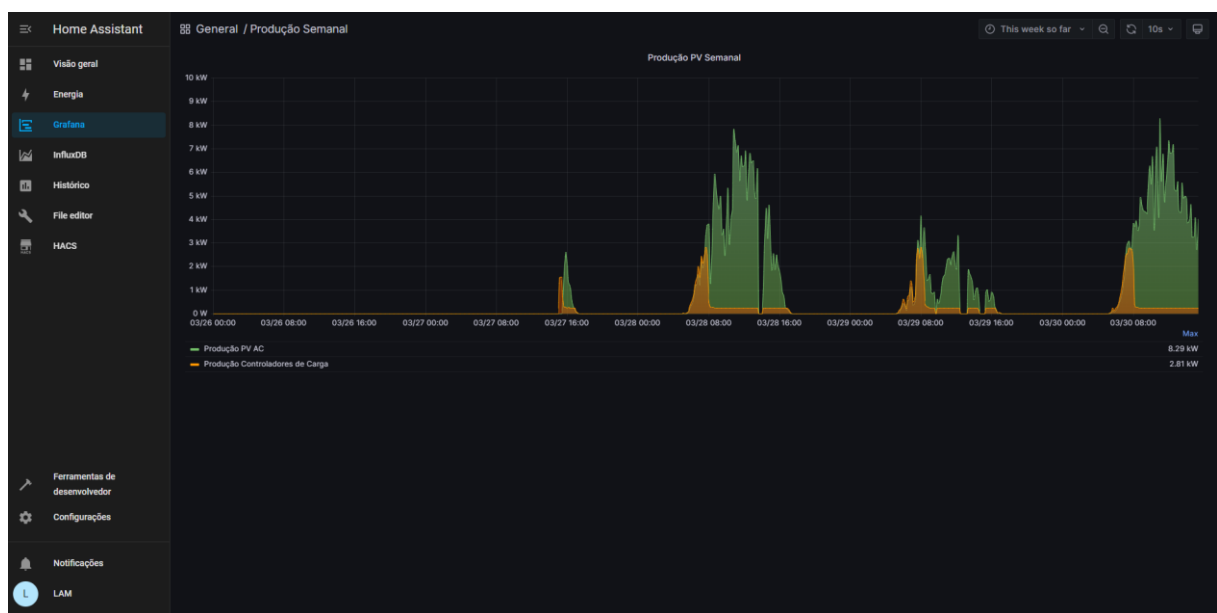
A Figura 42 mostra as potências do sistema FV como um todo, sendo formado pelo inversor *on-grid* e pelos controladores de carga. Adicionalmente, criou-se *dashboards* com gráficos da produção semanal, mensal e anual do sistema FV, respectivamente apresentados nas Figuras 43, 44 e 45.

Figura 42 – *Dashboard* da produção diária do Sistema FV.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 43 – *Dashboard* da produção semanal do sistema FV.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 44 – *Dashboard* da produção mensal do sistema FV.



Fonte: Próprio Autor.

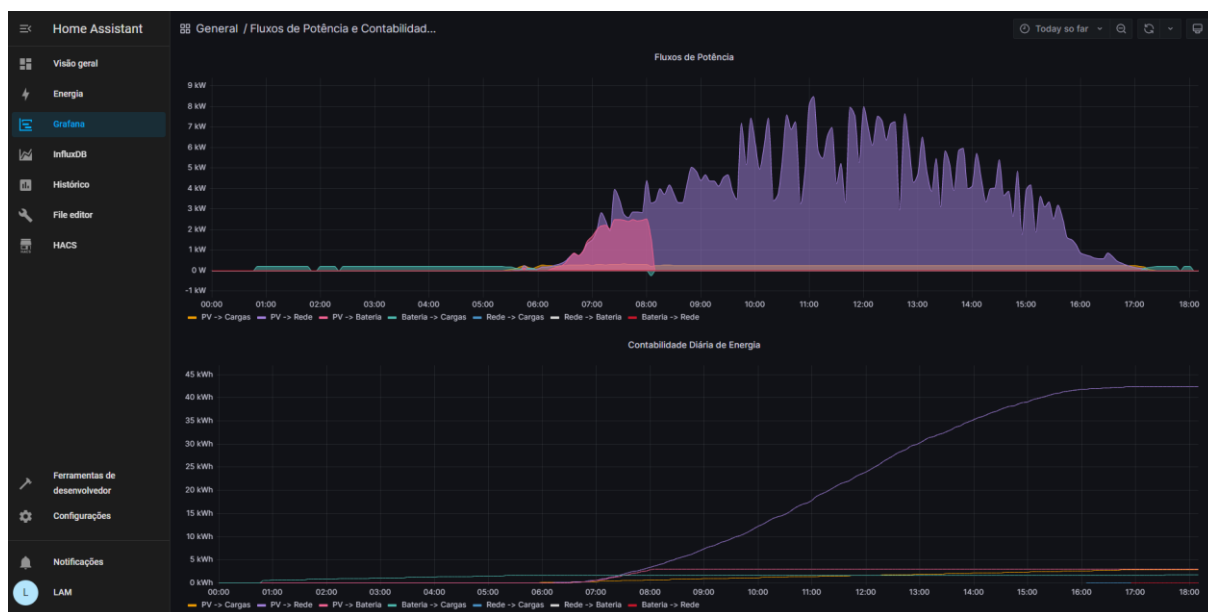
Figura 45 – *Dashboard* da produção anual do inversor Fronius.



Fonte: Próprio Autor.

Por fim, a Figura 46 apresenta os gráficos dos fluxos de potência e contabilidade de energia.

Figura 46 – *Dashboard* de Fluxos de Potência e Contabilidade diária de Energia.



Fonte: Próprio Autor.

5.2 Dashboard Visão Geral e Energia

Finalmente, as Figuras 47 e 48 apresentam as *Dashboards* Visão Geral e Energia. Nota-se que para a *Dashboard* Visão Geral, além do cartão dos fluxos de potência, foram adicionados os cartões de meteorologia, gráficos de potência, SoC e consumo diário das cargas e o cartão com valores instantâneos de potência e energia dos componentes da microrrede.

Figura 47 – Dashboard Visão Geral.



Fonte: Próprio Autor.

A *Dashboard Energia* por sua vez, apresenta a utilização e distribuição de energia bem como a produção do sistema fotovoltaico. Nota-se também, o valor de retorno líquido à rede e energia solar autoconsumida. O valor baixo da energia solar autoconsumida se dá devido à fatores como alta produção do sistema FV e baixo consumo de energia pelas cargas.

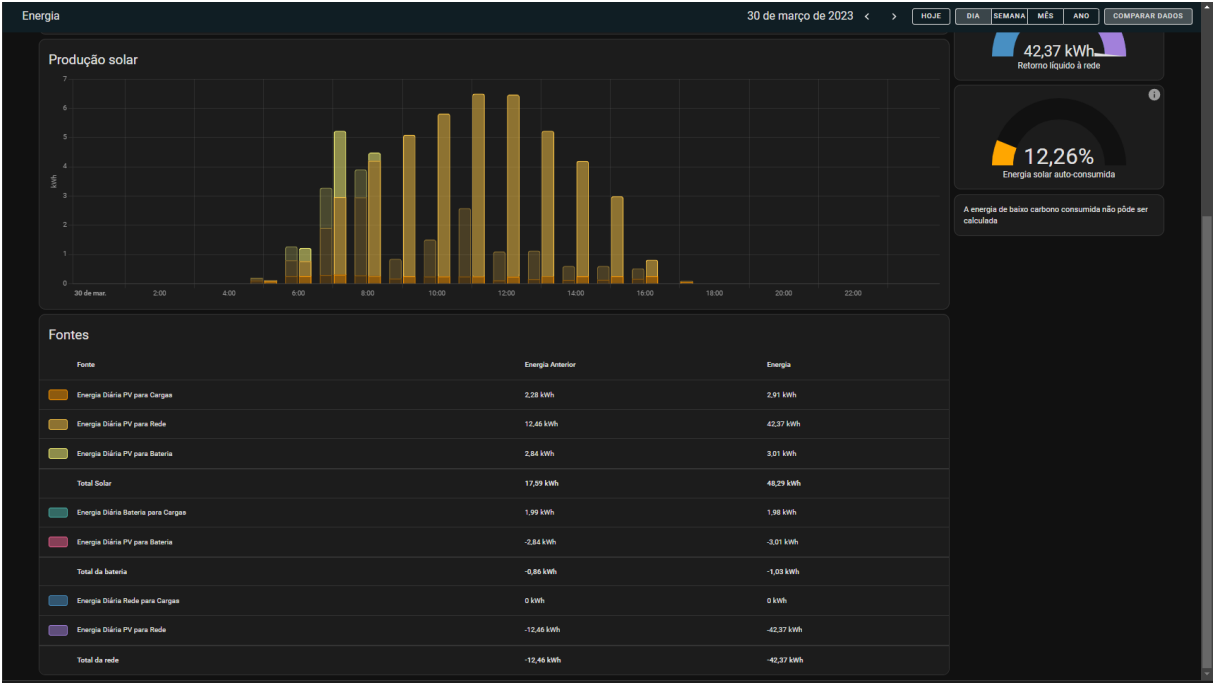
A *Dashboard* permitiu realizar também um comparativo de produção e consumo de energia, como demonstrado na Figura 49, onde são comparados os dados do dia 30 de março de 2023 com os do dia 29 de março de 2023.

Figura 48 – Dashboard Energia.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 49 – Comparativo de produção e consumo de energia.



Fonte: Próprio Autor.

6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Diante da crescente adesão e modernização de microrredes, surgiu a necessidade do desenvolvimento de um sistema com capacidade de fornecer um gerenciamento robusto e sofisticado de energia, atendendo esta demanda à longo prazo.

O projeto desenvolvido, portanto, torna-se um fundamento para o desenvolvimento de gerenciamento energético em residências, pequenas e médias empresas e entidades públicas, utilizando controles robustos e inteligência artificial; viabilizando as seguintes vantagens:

- Fácil implementação;
- Solução flexível e barata;
- Possibilidade de implementação e adição de outros dispositivos IoT.

Este trabalho se concentrou no desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia de microrrede utilizando o software de código aberto *Home Assistant*. O sistema foi então testado e validado na microrrede do LAM, onde foram obtidos resultados expressivos no que diz respeito ao monitoramento dos elementos da microrrede, evidenciando o potencial de escalabilidade e de reprodutibilidade do método utilizado.

Em razão destes fatos, o aprofundamento do assunto se torna possível, abrangendo as seguintes propostas:

- Aplicação de serviços de segurança de dados, como VPN e serviço SSL (*Secure Sockets Layers*);
- Desenvolvimento de algoritmos de controle de potência, SoC;
- Desenvolvimento de algoritmos de previsão de geração FV;
- Desenvolvimento de adição de indicadores de custos de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Georgiev, D. Gospodinova e A. Georgieva, “PLC Based Monitoring of Energy System of a Family House,” em *12th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, Varna, Bulgaria, 2020.
- [2] ETIP SNET, “ETIP SNET R&I Roadmap 2020-2030,” ETIP SNET, Junho 2020. [Online]. Available: https://smart-networks-energy-transition.ec.europa.eu/sites/default/files/publications/Roadmap-2020-2030_June-UPDT.pdf. [Acesso em 10 Março 2023].
- [3] EPE - Empresa de Pesquisa Energética, “Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída,” EPE, 2023. [Online]. Available: <http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/pdgd/>. [Acesso em Abril 2023].
- [4] M. C. D. G. N. Martins, “Implantação de Microrrede dotada de Sistema de Geração Solar Fotovoltaica e Sistema de Armazenamento de Energia,” Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2022.
- [5] K. M. Choi, D. Y. Kim e W. J. Lee, “A review of energy management systems for residential applications,” *Energies*, 2018.
- [6] A. Chauhan, Y. Pal, R. Gupta e N. Khare, “An overview of microgrids: A futuristic solution to smart grid challenges,” *Journal of Cleaner Production*, pp. 231-246, 2019.
- [7] S. M. Safdarnejad, M. Vakilian e H. Niazmand, “A survey on energy management systems and their role in the implementation of smart homes,” *International Journal of Energy Research*, p. 872, 2020.
- [8] R. T. A. Cavalcanti, “Análise de Diferentes Horizontes de Tempo e Estados de Chaveamento no Controle Preditivo Aplicado em Conversor de Dois Estágios Conectado à Rede Elétrica para Geração Solar Fotovoltaica,” Recife, 2022.
- [9] CRESESB, Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.
- [10] R. D. d. O. R. A. P. Renê Alfonso Reiter, “Controlador de carga de acordo com a portaria 396 do INMETRO,” em *Seminário de Eletrônica de Potência e Controle*, Blumenau, 2014.
- [11] Victron Energy, Which solar charge controller: PWM or MPPT?, 2020.
- [12] A. G. E. M. Santos, “Gestão de Energia: Uma Abordagem de Sistema de Armazenamento de Energia Aplicado à Rede Elétrica com Fontes Renováveis,” Recife, 2021.
- [13] A. Olabi, C. Onumaegbu, T. Wilberforce, M. Ramadan, M. A. Abdelkareem e A. H. A. –. Alami, “Critical Review of Energy Storage Systems,” *Energy* 214, p. 118987, 2021.
- [14] Victron Energy, Cerbo GX Manual, 2021.
- [15] Victron Energy, Data communication with Victron Energy products, M. Vader, Ed., 2023, pp. 1-11.
- [16] CSS Electronics, “Site da CSS Electronics,” 2023. [Online]. Available: <https://www.csselectronics.com/pages/can-bus-simple-intro-tutorial>. [Acesso em Março 2023].
- [17] CiA - CAN in Automation, “CiA,” 2023. [Online]. Available: <https://www.can-cia.org/groups/international-standardization/>. [Acesso em 2023].

- [18] Victron Energy, 2023. [Online]. Available: <https://www.victronenergy.com/markets/professional-vehicles>. [Acesso em 2023].
- [19] Victron Energy, 2023. [Online]. Available: <https://www.victronenergy.com/markets/marine>. [Acesso em 2023].
- [20] A. S.Tanenbaum, Computer Networks, Amsterdam, 1981.
- [21] Y. Li, W. Cui, D. Li e R. Zhang, “Research based on OSI model,” em *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks*, Xi'an, 2011.
- [22] C. E. Spurgeon, Ethernet The Definitive Guide, M. Stone e C. Toporek, Eds., California, 2000, p. 527.
- [23] IEEE SA, IEE Standard for Ethernet, Nova Iorque: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2022, p. 7025.
- [24] IBM, “IBM Developer,” IBM, Maio 2017. [Online]. Available: <https://developer.ibm.com/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>. [Acesso em Março 2023].
- [25] S. Cope, “Steve's Internet Guide,” Janeiro 2021. [Online]. Available: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-protocol-messages-overview/>. [Acesso em Março 2023].
- [26] HiveMQ, MQTT & MQTT 5 Essential - A comprehensive overview of MQTT fact and features for beginners and experts alike, vol. I, 2020.
- [27] A. Manowska, A. Wycisk, A. Nowrot e J. Pielot, “The Use of the MQTT Protocol in Measurement, Monitoring and Control Systems as Part of the Implementation of Energy Management Systems,” *Electronics*, Dezembro 2022.
- [28] D. Soni e A. Makwana, “A Survey on MQTT: A Protocol of Internet of Things (IoT),” em *International Conference on Telecommunication, Power Analysis and Computing Techniques*, 2017.
- [29] Home Assistant, “Home Assistant,” 2023. [Online]. Available: <https://www.home-assistant.io>. [Acesso em Março 2023].
- [30] A. M. d. Campos, “Desenvolvimento de um Sistema de Controle Residencial Baseado em Princípios de IoT,” São José dos Campos, 2022.
- [31] YAML Language Development Team, 2021. [Online]. Available: <https://yaml.org/>. [Acesso em Março 2023].
- [32] ORACLE, “VirtualBox,” 2023. [Online]. Available: <https://www.virtualbox.org/>. [Acesso em Março 2023].
- [33] Victron Energy, “Victron Energy,” Victron, 2023. [Online]. Available: <https://www.victronenergy.com/>. [Acesso em Março 2023].
- [34] Home Assistant, “MQTT,” 2023. [Online]. Available: <https://www.home-assistant.io/integrations/mqtt/>. [Acesso em Março 2023].
- [35] T. Nordquist, “MQTT Explorer,” 2023. [Online]. Available: <http://mqtt-explorer.com/>. [Acesso em Março 2023].
- [36] Victron Energy, “List of available services and their paths,” 2023. [Online]. Available: <https://github.com/victronenergy/venus/wiki/dbus>. [Acesso em Março 2023].

- [37] Home Assistant, “InfluxDB,” 2023. [Online]. Available: <https://www.home-assistant.io/integrations/influxdb/>. [Acesso em Março 2023].
- [38] influxdata, “It's About Time. Build on InfluxDB,” 2023. [Online]. Available: <https://www.influxdata.com/>. [Acesso em Março 2023].
- [39] Grafana Labs, “Grafana,” 2023. [Online]. Available: <https://grafana.com/grafana/>. [Acesso em Março 2023].
- [40] Grafana Labs, “Query and transform data,” 2023. [Online]. Available: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/panels-visualizations/query-transform-data/>. [Acesso em Março 2023].
- [41] S. Li, J. Proano e D. Zhang, “Microgrid power flow study in grid-connected and islanding modes under different converter control strategies,” em *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, 2012.
- [42] reptilex, “tesla-style-solar-power-card,” 2022. [Online]. Available: <https://github.com/reptilex/tesla-style-solar-power-card>. [Acesso em Março 2023].
- [43] Home Assistant, “Riemann sum integral,” 2023. [Online]. Available: <https://www.home-assistant.io/integrations/integration/>. [Acesso em Março 2023].
- [44] Home Assistant, “Home Energy Management,” 2023. [Online]. Available: <https://www.home-assistant.io/home-energy-management/>. [Acesso em Março 2023].
- [45] Home Assistant, “Utility Meter,” 2023. [Online]. Available: https://www.home-assistant.io/integrations/utility_meter/. [Acesso em Março 2023].