

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

ANTONY GAETANO SILVA BARROS
ARTHUR JOAQUIM PINTO DA SILVA

**PROJETO, MONTAGEM E SUPERVISÃO DE DADOS DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO**

Cajazeiras-PB
2024

ANTONY GAETANO SILVA BARROS
ARTHUR JOAQUIM PINTO DA SILVA

**PROJETO, MONTAGEM E SUPERVISÃO DE DADOS DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob Orientação do Prof. Geronimo Barbosa Alexandre.

Cajazeiras-PB
2024

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

B277p	<p>Barros, Antony Gaetano Silva. Projeto, montagem e supervisão de dados de um sistema fotovoltaico / Antony Gaetano Silva Barros, Arthur Joaquim Pinto da Silva. – 2024. 67f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.</p> <p>Orientador(a): Prof. Me. Geronimo Barbosa Alexandre.</p> <p>1. Energia solar. 2. Painel fotovoltaico. 3. Monitoramento remoto. 4. Energia renovável. I. Silva, Arthur Joaquim Pinto da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III. Título.</p>
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

IFPB/CZ

CDU: 621.311.243(043.2)

ANTONY GAETANO SILVA BARROS
ARTHUR JOAQUIM PINTO DA SILVA

**PROJETO, MONTAGEM E SUPERVISÃO DE DADOS DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia de Controle e Automação do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia de
Controle e Automação.

Aprovado em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Geronimo Barbosa Alexandre – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

José Tavares de Luna Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Manoel Alves Cordeiro Neto – IFPE-Campus Garanhuns
Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos mostrar a direção correta e como agir ao longo do curso, passando por cima de todos os obstáculos e estando conosco nos momentos difíceis. Sem ele, não teríamos a capacidade de estar aqui. É a ele que dedicamos todas as vitórias.

A todo corpo docente do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, que contribuíram na nossa formação.

Ao professor/orientador Gerônimo Barbosa Alexandre pelo direcionamento seguro dado a este trabalho.

Manifestamos também nossa gratidão ao professor Gastão Coelho de Aquino Filho por toda orientação na escrita desse projeto.

Agradecemos ainda aos nossos amigos que nos apoiaram durante este percurso acadêmico e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta pesquisa.

Em particular, Arthur Joaquim agradece a toda sua família, em especial seus pais, sua irmã e a sua noiva, que o incentivaram, apoiaram e se dedicaram juntos com ele do início ao fim desta caminhada.

De modo semelhante, Antony Gaetano expressa sua gratidão aos seus familiares, especialmente aos seus pais, ao seu irmão, à sua irmã e à sua namorada, por todo o incentivo, paciência e apoio durante esta longa jornada.

RESUMO

A energia elétrica é indispensável para a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico, sendo fundamental para sustentar a economia global. Nesse cenário, as tecnologias renováveis, como a solar, têm se destacado por oferecer uma alternativa limpa, abundante e sustentável. O aproveitamento da energia solar reduz a exploração de recursos não renováveis e atende às necessidades de comunidades isoladas, além de proporcionar economia e autonomia energética para usuários conectados à rede elétrica. Este estudo tem como objetivo analisar as características elétricas de um sistema de geração solar, considerando todas as etapas do projeto, instalação e ativação, em conformidade com as normas da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e da entrega local. Foram montados dois sistemas fotovoltaicos: o *off-grid* (sistema isolado) e o *on-grid* (sistema conectado à rede elétrica). A análise experimental incluiu testes de desempenho dos painéis solares, caracterização dos inversores utilizados e monitoramento da produção de energia por meio de aplicativos especializados. Nesse processo, avaliou-se a configuração das plataformas de supervisão e o tempo de latência na transmissão dos dados. Os resultados obtidos permitiram uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas de operação e eficiência dos sistemas fotovoltaicos, proporcionando subsídios para o aprimoramento de projetos futuros. Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid* demonstraram ser soluções técnicas viáveis e sustentáveis, com potencial significativo para diversificar a matriz energética. Conclui-se que, ao unir inovação tecnológica e redução do impacto ambiental, essas tecnologias apresentam-se como uma estratégia eficiente para atender à crescente demanda por energia limpa e acessível.

Palavras chaves: energia solar; sistema fotovoltaico; monitoramento remoto; sistema *on-grid* e *off-grid*.

ABSTRACT

Electric energy is indispensable for quality of life and economic development, serving as a cornerstone for sustaining the global economy. In this context, renewable technologies, such as solar energy, have emerged as a clean, abundant, and sustainable alternative. The utilization of solar energy reduces the exploitation of non-renewable resources and meets the needs of isolated communities, while also providing cost savings and energy autonomy for users connected to the power grid. This study aims to analyze the electrical characteristics of a solar generation system, considering all stages of project design, installation, and activation in compliance with ANEEL (National Electric Energy Agency) regulations and local requirements. Two photovoltaic systems were assembled: the off-grid system (standalone) and the on-grid system (grid-connected). The experimental analysis included performance testing of solar panels, characterization of the inverters used, and energy production monitoring through specialized applications. During this process, the configuration of supervisory platforms and the data transmission latency were evaluated. The results provided a deeper understanding of the operational dynamics and efficiency of photovoltaic systems, offering insights for improving future projects. Both on-grid and off-grid photovoltaic systems proved to be technically viable and sustainable solutions, with significant potential to diversify the energy matrix. It is concluded that, by combining technological innovation and reduced environmental impact, these technologies represent an efficient strategy to meet the growing demand for clean and accessible energy.

Keywords: solar energy; photovoltaic system; remote monitoring; *on-grid* and *off-grid* system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes físicos de um sistema fotovoltaico.	16
Figura 2 - Componentes físicos de um sistema fotovoltaico <i>off-grid</i>	19
Figura 3 - Componentes físicos de um sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	21
Figura 4 - Interface do aplicativo SolarEdge.	22
Figura 5 - Interface do aplicativo Livoltek.	23
Figura 6 - Interface do aplicativo Ingecon Sun Monitor.	23
Figura 7 - Interface do aplicativo SOLARMAN Smart.	24
Figura 8 - Principais etapas para um empreendimento solar.	25
Figura 9 - Etapas usadas na metodologia do trabalho.	26
Figura 10 - Curva I x V do painel fotovoltaico policristalino EMS 330P.	30
Figura 11 - Primeira parte do <i>datasheet</i> do inversor solar.	32
Figura 12 - Segunda parte do <i>datasheet</i> do inversor solar.	32
Figura 13 - Diagrama unifilar do sistema <i>on-grid</i>	35
Figura 14 - Página de <i>login</i> do aplicativo <i>Solarman</i>	37
Figura 15 - Página de registro de usuário do aplicativo <i>Solarman</i>	38
Figura 16 - Página de informação de conta do usuário.	38
Figura 17 - Página de informações de negócio do usuário.	39
Figura 18 - Registro concluído.	39
Figura 19 - Página inicial do aplicativo <i>Solarman</i>	40
Figura 20 - Página de informações básicas e localização.	40
Figura 21 - Página para adicionar nova instalação.	41
Figura 22 - Página para adicionar uma nova instalação.	41
Figura 23 - Página para adicionar o <i>datalogger</i>	42
Figura 24 - Página para digitar a codificação da rede wi-fi do seu microinversor.	42
Figura 25 - Localização da rede Wi-Fi do microinversor <i>Deye SUN2000G3</i>	43
Figura 26 - <i>Status</i> atual da rede.	43
Figura 27 - Página para escolher qual rede se conectar.	44
Figura 28 - Página da senha do Wi-fi selecionado.	44
Figura 29 - Aba de status em <i>Device Information</i>	45
Figura 30 - Dados de placa do módulo fotovoltaico da <i>Komaes Solar</i>	46
Figura 31 – (a) Circuito para a curva característica IxV. (b). Equipamentos usados para caracterização.	46
Figura 32 - Corrente <i>versus</i> a tensão elétrica.	48
Figura 33 - Potência elétrica <i>versus</i> a tensão elétrica.	49
Figura 34 - Potência elétrica <i>versus</i> a corrente elétrica.	49
Figura 35 - Equipamentos utilizados durante os ensaios.	51
Figura 36 - Esquema elétrico simplificado utilizado nos ensaios.	51
Figura 37 - Gráficos da tensão, corrente e potência em função da temperatura (módulos sem refrigeração).	52
Figura 38 - Gráficos da tensão, corrente e potência em função da temperatura (módulos com refrigeração).	52
Figura 39 - Imagens termográficas: à esquerda tem-se os módulos sem refrigeração e à direita com refrigeração.	53
Figura 40 - Ligação do sistema FV isolado.	54
Figura 41 - Módulo fotovoltaico de 20 WP monocristalino, da marca <i>Komaes Solar</i>	54

Figura 42 - Controlador de cargas 12/20 A da marca <i>Epever</i>	54
Figura 43 - Sistema FV isolado montado em laboratório.	55
Figura 44 - Esquema de ligação dos sensores de corrente e tensão.	55
Figura 45 - Arquitetura para medição em tempo real da potência gerada.	56
Figura 46 - Tela do Excel na supervisão dos dados medidos em tempo real.	57
Figura 47 - Pareamento do aplicativo com o módulo HC-05.	57
Figura 48 - Tela do aplicativo mobile de supervisão da geração de energia.	58
Figura 49 - Sistema fotovoltaico conectado com a rede elétrica (<i>on-grid</i>).	59
Figura 50 - Estrutura para fixação dos painéis instalados.	59
Figura 51 - Módulos fotovoltaicos fixados.	60
Figura 52 - Módulos conectados ao microinversor <i>Deye</i> de 2kW.	60
Figura 53 - Microinversor instalado.	61
Figura 54 - Montagem do quadro de proteção CA.	61
Figura 55 - Detalhes do aterramento do lado CA.	62
Figura 56 - Tela inicial do aplicativo de supervisão da <i>Solarman</i>	62
Figura 57 - Dados da produção de energia no aplicativo da <i>Solarman</i>	63
Figura 58 - Detalhes do histórico de dados da produção de energia no aplicativo da <i>Solarman</i>	63

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

BRL - Real Brasileiro.

CA - Corrente Alternada.

CC - Corrente Contínua.

DPS - Dispositivo de Proteção Contra Surtos de Tensão.

FF - Fator de Forma.

FV - Fotovoltaico.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MIT - *Massachusetts Institute of Technology*.

MPP - Máximo Ponto de Potência.

Nº - Número.

P - Potência.

R - Resistência.

SN - Número de Série.

SPDA - Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas.

STC - *Standard Test Condition* (Condição de Teste Padrão).

LISTA DE VARIÁVEIS

V_{cc} - Tensão em corrente contínua
 V_{dc} - Tensão em corrente contínua
 $V_{OPE-MPP}$ - Tensão de operação em máximo ponto de potência
 V_{MPP} - Tensão de máximo ponto de potência
 $I_{OPE-MPP}$ - Corrente de operação em máximo ponto de potência
 α - Coeficiente de temperatura
 ΔT - Variação de temperatura
 $V_{FV Max}$ - Tensão máxima fotovoltaica
 I_{SC} - Corrente de curto-circuito
 $I_{MOD-MAX.OCPR}$ - Corrente reversa máxima do módulo fotovoltaico
 U_{ch} - Tensão da chave seccionadora
 I_{ch} - Corrente da chave seccionadora
 N_p - Número de polos
 N_c - Número de contatos
 P_{MP} - Potência máxima obtida da curva I x V
 G - Irradiância solar direta incidente no painel solar
 A_p - Área da placa solar
 V_{MP} - Tensão para obter a máxima potência
 I_{MP} - Corrente obtida no ponto de máxima potência
 V_{OC} - Tensão de circuito aberto
 I_{DIS} - Corrente nominal do disjuntor
 V_{DIS} - Tensão nominal do disjuntor
 I_{MAX-P} - Corrente máxima do painel
 U_{MAX-D} - Tensão máxima de descarga
 I_{MAX-D} - Corrente máxima de descarga
 IR_S - Irradiação solar

LISTA DE UNIDADES

kWh - kilowatt-hora

Wp - watt-pico

W - watt

W/m² - watt por metro quadrado

W/°C - kilowatt-hora por metro quadrado

kWh/m² - kilowatt-hora por metro quadrado

kWh/mês - kilowatt-hora por mês

R\$ - real

W / m² - watt por metro quadrado

m² - metro quadrado

m - metro

m/s - metro por segundo

mm - milímetro

I - corrente elétrica

V - volt

A - ampère

°C - graus celsius

kg - kilograma

h - hora

Hz - hertz

μs - microssegundo

η - eficiência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	<i>Objetivo Geral</i>	14
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Energia Solar Fotovoltaica	15
2.2	Componentes Físicos	16
2.3	Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	18
2.3.1	<i>Sistemas Fotovoltaicos Isolados</i>	18
2.3.2	<i>Sistemas Fotovoltaicos Conectados com a Rede Elétrica</i>	20
2.3.3	<i>Monitoramento de Sistemas FV On-grid</i>	21
2.3.3.1	<i>SolarEdge</i>	22
2.3.3.2	<i>LIVOLTEK</i>	22
2.3.3.3	<i>INGECON SUN Monitor</i>	23
2.3.3.4	<i>SOLARMAN Smart</i>	23
2.3.4	<i>Etapas de um Empreendimento Solar</i>	24
3	METODOLOGIA	26
3.1	Dimensionamento do Sistema FV on-grid	27
3.1.1	<i>Cálculo da Potência de Pico do Sistema Fotovoltaico</i>	28
3.1.2	<i>Cálculo do Número de módulos</i>	28
3.1.3	<i>Especificações do Painel Fotovoltaico</i>	29
3.1.4	<i>Condições de Operação em MPP (Máximo Ponto de Potência)</i>	30
3.1.5	<i>Condição de Máxima Tensão de Saída</i>	31
3.1.6	<i>Dimensionamento do Inversor</i>	31
3.1.7	<i>Dimensionamento dos Dispositivos de Proteção e Manobra para o Lado de Corrente Contínua (CC) e para o Lado de Corrente Alternada(CA)</i>	33
3.1.7.1	<i>Lado CC</i>	33
3.1.7.2	<i>Lado CA</i>	34
3.1.8	<i>Estudo de Viabilidade Econômica após a Instalação do Sistema Fotovoltaico</i>	36
3.2	Configuração do Aplicativo de Supervisão da SOLARMAN	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1	Curva I versus V da Placa Solar	46
4.2.	Desempenho Elétrico de uma Placa Solar com e sem Refrigeração	50
4.3.	Montagem de um Sistema Fotovoltaico Isolado (off-grid)	53
4.4.	Montagem de um Sistema Fotovoltaico Conectado com a Rede Elétrica	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

A cada dia, a terra recebe uma quantidade de energia solar que ultrapassa a demanda anual de toda a população mundial. Entre os diversos usos da energia solar, a conversão direta em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico é uma das formas mais sofisticadas e eficazes. Desde o surgimento das primeiras células solares, inicialmente com altos valores e utilizadas principalmente em satélites, houve um avanço significativo nas tecnologias de produção. Hoje, em muitos casos, tornou-se financeiramente viável utilizar essa energia em locais onde a rede elétrica convencional não está disponível (Ruther, 2004, p. 8).

Estudos realizados na última década demonstraram um aumento significativo na eficiência dos módulos solares, ao mesmo tempo em que houve uma redução considerável nos custos de produção. Esses avanços apontam para perspectivas promissoras no horizonte, especialmente para projetos de grande escala. O futuro da energia solar também está intrinsecamente ligado ao aumento das pressões globais para a adoção de fontes energéticas renováveis e sustentáveis, bem como à continuidade das políticas governamentais nos países industrializados (Fadigas, 2012, p. 23).

Esses sistemas, remotos ou autônomos, geralmente requerem um meio de armazenamento para a energia gerada, geralmente na forma de um banco de baterias, para suprir a demanda durante períodos de baixa geração solar ou durante a noite. Recentemente, os sistemas solares fotovoltaicos têm sido integrados à rede elétrica pública, operando em paralelo com as grandes usinas geradoras convencionais. Isso elimina a necessidade de sistemas de armazenamento, como baterias, e os custos e manutenção associados, uma vez que a própria rede elétrica atua como o "armazenamento" para a instalação solar fotovoltaica conectada à rede (Ruther, 2004, p. 9).

No final dos anos 90, os primeiros sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica foram implantados no Brasil em várias instituições, incluindo concessionárias de energia elétrica, universidades e centros de pesquisa. A Chesf (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) foi uma das pioneiras nesse campo, ao instalar um sistema fotovoltaico de 11 kWp em 1995, em sua sede em Recife, PE. Outros sistemas inovadores foram implementados na USP (Universidade de São Paulo), na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), na UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e no Cepel (Centro de Pesquisa de Energia Elétrica) (Pinho; Galdino, 2014, p. 62).

Nesta conjuntura, este estudo visa aprofundar as características elétricas de um sistema de geração solar, abordando todas as fases do projeto, instalação e ativação conforme as

diretrizes estabelecidas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e pela concessionária local para projetos de microgeração de energia. Foram feitas as montagens de dois sistemas fotovoltaicos (FV): o sistema FV isolado (*off-grid*) e o sistema FV conectado com a rede elétrica (*on-grid*). A partir disso, foi avaliada a produção de energia por meio dos aplicativos de monitoramento.

Testes experimentais foram conduzidos para avaliar o desempenho dos painéis solares, bem como a caracterização dos inversores utilizados. No tocante ao monitoramento da produção de energia, além da configuração, foram avaliados o tempo de latência dos dados de cada plataforma de supervisão.

1.1 Objetivos

Neste capítulo será abordado sobre os objetivos a serem alcançados do Trabalho de Conclusão do Curso (TCC).

1.1.1 Objetivo Geral

Demonstrar o funcionamento da geração de energia elétrica por meio dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*) e independentes da rede (*off-grid*).

1.1.2 Objetivos Específicos

Com o foco em atingir o objetivo geral, foram esboçados objetivos específicos:

- dimensionar um sistema elétrico para instalação de um sistema fotovoltaico;
- montar uma estrutura física para o sistema;
- configurar aplicativo para monitoramento remoto;
- realizar a supervisão de dados *on-grid* e *off-grid* da geração de energia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica, necessária para o embasamento e desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar, convertida em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, é considerada uma tecnologia promissora, pois utiliza o sol como uma fonte limpa e inesgotável. Atualmente, é economicamente viável apenas para pequenos sistemas isolados, como iluminação rural, bombeamento de água e retransmissores de sinais. No entanto, o mercado fotovoltaico ainda é limitado, apesar de atender a uma grande demanda potencial, já que cerca de 1 bilhão de pessoas, principalmente em áreas rurais, ainda vivem sem acesso à eletricidade (Fadigas, 2012).

A energia solar fotovoltaica é gerada pela conversão direta da luz em eletricidade, um processo conhecido como efeito fotovoltaico, que ocorre dentro das células solares. Esse efeito resulta em uma diferença de potencial nas extremidades de um material semicondutor, provocada pela absorção da luz. Atualmente, essa tecnologia está em rápida expansão, com um aumento contínuo no número de instalações (Silva; Lopes, 2022).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), o território brasileiro recebe altos índices de radiação solar em comparação aos países europeus, onde a tecnologia fotovoltaica é amplamente utilizada para gerar eletricidade. Contudo, observa-se que o desenvolvimento dessa tecnologia no Brasil tem alternado entre fases de crescimento e períodos marcados por diversas dificuldades. A cada ano, a atmosfera da Terra recebe cerca de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia proveniente do Sol. Esse fato demonstra que a radiação solar, além de sustentar a vida no planeta, também se configura como uma fonte energética inesgotável, com vasto potencial de aproveitamento por meio de sistemas que captam e convertem essa energia em outras formas, como a térmica e a elétrica, entre diversas possibilidades.

A energia proveniente do Sol que alcança o planeta Terra com a intensidade mencionada anteriormente pode ser transformada e aproveitada pelas pessoas em diversos dispositivos eletroeletrônicos. Em outras palavras, o conjunto composto por módulos fotovoltaicos, inversores, sistema de proteção elétrica e cabos condutores permite a geração de eletricidade a partir da luz solar, atendendo aos mais variados usos (Nascimento, 2019).

2.2 Componentes Físicos

Um sistema de energia solar fotovoltaica, frequentemente referido como sistema de energia solar ou sistema fotovoltaico, é uma instalação capaz de produzir eletricidade a partir da radiação solar. Um sistema fotovoltaico é composto por quatro elementos essenciais (considerando que a bateria é característica dos sistemas *on-grid*). São eles: módulos fotovoltaicos, controlador de carga, baterias e inversores (Neosolar,2019), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Componentes físicos de um sistema fotovoltaico.



Fonte: Neosolar, 2019.

Em primeiro lugar, o termo correto para o que é comumente chamado de placas ou painéis solares é módulo fotovoltaico, uma vez que as células fotovoltaicas são o componente principal. É a partir dessas células que a eletricidade é gerada de forma bastante simples: a luz solar incide sobre as células fotovoltaicas, provocando o movimento dos elétrons e gerando corrente elétrica. Em outras palavras, elas desempenham o papel de um coração, "bombeando" energia para o sistema (Oca Energia, 2020).

Segundo Pinho e Galdino (2014), a quantidade de células interligadas em um módulo e sua configuração, que pode ser em série e/ou em paralelo, varia de acordo com a tensão de operação e a corrente elétrica desejada. É fundamental ter atenção na escolha das células a serem agrupadas durante o processo de fabricação do módulo, considerando suas propriedades elétricas.

Atualmente, é possível encontrar no mercado diversos tipos de módulos solares, que podem ser rígidos ou flexíveis, dependendo do tipo de célula utilizada. No que diz respeito à fabricação dos painéis, é importante ressaltar que existem consideráveis incentivos fiscais e ambientais oferecidos pelo governo nesse setor. Como resultado, o crescimento da produção

desses componentes levou à diminuição dos custos para a implementação do sistema (Pinho; Galdino, 2014).

Em sistemas que utilizam baterias, o controlador de carga é um componente fundamental. Ele deve desligar a carga quando a bateria atinge seu nível mínimo de descarga e desconectar o arranjo fotovoltaico ao atingir o nível máximo permitido de carga. Quando é preciso instalar várias baterias em série e paralelo para atender à demanda, o controle se torna especialmente desafiador. O controlador de carga precisa ser ajustado para garantir o bom desempenho das baterias sob diferentes condições de carga, descarga e variações de temperatura (Fadigas, 2012).

Os controladores de carga são elementos essenciais em sistemas fotovoltaicos isolados, pois, em caso de falha, a bateria pode ser permanentemente danificada. Eles precisam ser projetados levando em conta as particularidades dos diferentes tipos de baterias (Pinho; Galdino, 2014).

Em sistemas fotovoltaicos que operam de forma independente da rede elétrica, é essencial o uso de dispositivos de armazenamento de energia para suprir a demanda durante períodos em que a geração é inexistente ou insuficiente (como à noite ou em dias chuvosos ou nublados, com baixos níveis de radiação solar). Dessa forma, uma parte da energia solar, convertida em eletricidade pelos módulos fotovoltaicos ao longo do dia, é armazenada em baterias para ser utilizada posteriormente, atendendo assim a demanda nesses períodos (Pinho; Galdino, 2014).

Uma bateria é formada por um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução (redox) que ocorre internamente. Quando uma bateria carregada é conectada a uma carga elétrica, esse processo é revertido, ou seja, a energia química é transformada em energia elétrica, gerando uma corrente contínua (Pinho; Galdino, 2014).

De acordo com Angela e Urbanetz (2022), a durabilidade de uma bateria é definida pela quantidade de ciclos de carga e descarga que ela pode executar. Dois aspectos que impactam o número máximo de ciclos da bateria são a temperatura de operação e a profundidade de descarga. Quanto mais elevada a temperatura e/ou a profundidade de descarga, menor será sua vida útil.

De acordo com Ruther (2004), os módulos solares fotovoltaicos produzem energia em corrente contínua. Portanto, é necessário utilizar um dispositivo eletrônico chamado inversor, ou conversor CC (Corrente Contínua) – CA (Corrente Alternada), para transformar essa energia

em corrente alternada com as características adequadas para atender às exigências da rede elétrica pública, possibilitando a interconexão com a rede.

Em sistemas conectados à rede, esse equipamento também é responsável pela sincronização com a rede da concessionária, uma vez que a energia gerada por um módulo fotovoltaico está em corrente contínua, enquanto a eletricidade fornecida pela rede elétrica está em corrente alternada (Oca Energia, 2020).

2.3 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

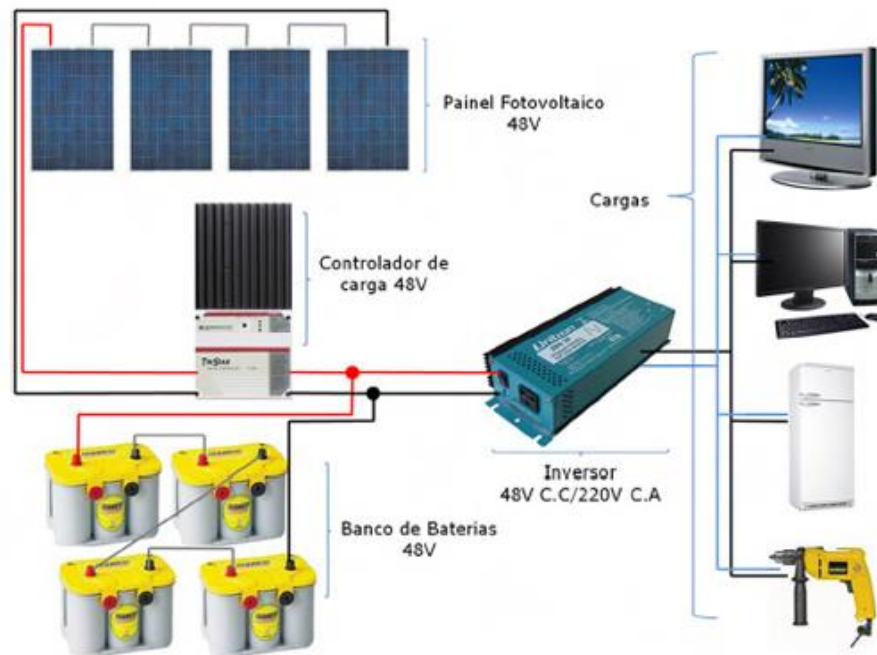
Os sistemas Fotovoltaicos (FV) podem ser divididos em duas classes principais: sistemas isolados (*off-grid*) e sistemas interligados à rede (*on-grid*). Em ambas as situações, eles podem funcionar exclusivamente com a fonte fotovoltaica ou em conjunto com uma ou mais fontes de energia, sendo chamados de híbridos nesse caso. A escolha entre essas opções varia conforme a aplicação e/ou a disponibilidade dos recursos energéticos. Cada sistema pode apresentar diferentes níveis de complexidade, dependendo da finalidade e das exigências específicas de cada projeto (Pinho; Galdino, 2014).

De acordo com Intelbras (2020), os sistemas fotovoltaicos geram eletricidade a partir da radiação solar. Eles são constituídos por módulos fotovoltaicos, inversores de tensão ou controladores de carga, podendo incluir também uma *string box*.

2.3.1 Sistemas Fotovoltaicos Isolados

O sistema solar fotovoltaico *off-grid* (Figura 2) é aquele que opera de forma independente, sem conexão com a rede elétrica. Também conhecido como autônomo ou isolado, ele é uma solução ideal para instalações em áreas remotas e de difícil acesso, fornecendo energia diretamente para aparelhos e equipamentos que demandam eletricidade. Geralmente, esses sistemas incluem baterias que armazenam parte da energia gerada para ser usada posteriormente, durante a noite ou em dias nublados, quando não há sol (Neosolar, 2019).

Figura 2 - Componentes físicos de um sistema fotovoltaico *off-grid*.



Fonte: (Angela; Urbanetz, 2022).

Segundo Sofia (2008), um sistema fotovoltaico autônomo é projetado para fornecer energia a um conjunto de cargas na ausência de rede elétrica, durante o ano inteiro. Desse modo, o dimensionamento dos painéis é geralmente realizado com base na quantidade de radiação disponível no mês de menor incidência solar.

O uso de baterias acaba acrescentando um custo adicional para o proprietário de um sistema *off-grid*, tanto na instalação inicial quanto ao longo dos anos de funcionamento. O sistema desconectado da rede tem uma vida útil extensa, de aproximadamente três décadas. Contudo, as baterias utilizadas possuem uma durabilidade de apenas 4 a 5 anos, exigindo substituições periódicas, o que representa a principal diferença de custo em comparação com sistemas de mesma potência conectados à rede (Solarvolt, 2015).

De acordo com Angela e Urbanetz (2022), os módulos fotovoltaicos são responsáveis pela geração de energia elétrica, em uma variedade de potências operacionais. Esse equipamento produz energia em corrente contínua, o que exige a utilização de outros componentes para alimentar cargas em corrente alternada, como os aparelhos e eletrodomésticos residenciais.

Em congruência com Canal Solar (2022), as principais vantagens dos sistemas fotovoltaicos *off-grid* incluem: segurança e adequação para áreas remotas; isenção da "taxa de disponibilidade" na fatura de eletricidade; independência em relação às redes de distribuição e armazenamento de energia em baterias próprias.

2.3.2 Sistemas Fotovoltaicos Conectados com a Rede Elétrica

O sistema fotovoltaico *on-grid* é conectado à rede elétrica da concessionária. A eletricidade gerada pelos painéis fotovoltaicos supre o imóvel, e qualquer excedente é direcionado à rede da concessionária, gerando créditos de compensação de energia. Esses créditos, com validade de até 60 meses, podem ser utilizados nos períodos em que não há produção de energia – como à noite – e para reduzir o valor da conta de luz (Intelbras, 2020).

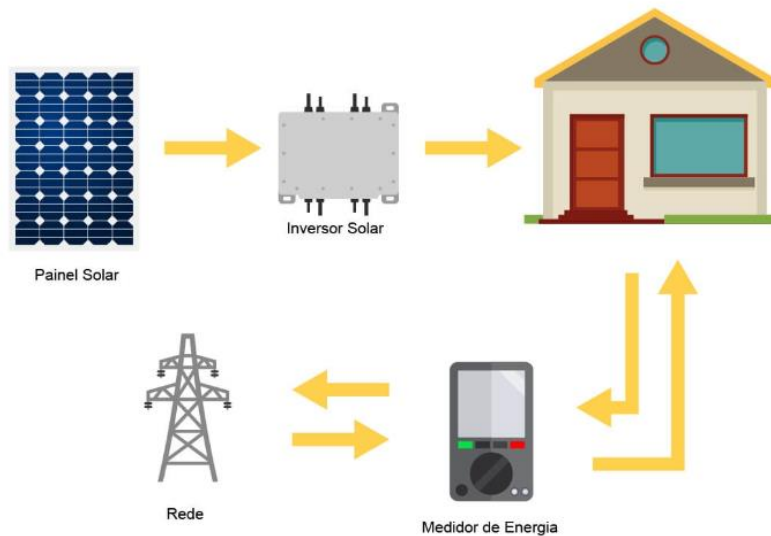
Segundo a Neosolar (2019), a geração distribuída (*On-grid*) tem como finalidade diminuir a dependência da energia da rede elétrica através da geração solar, visando tanto economizar na conta de luz quanto utilizar uma energia mais limpa e sustentável.

Um sistema *on-grid* é desenvolvido para que o cliente possa consumir a energia solar gerada. Além disso, caso o cliente precise de energia adicional, essa é fornecida pela rede elétrica. Se a demanda de energia do cliente for menor que a produzida pelo sistema solar, o excedente é exportado para a rede. Esse processo é viabilizado por meio de um dispositivo chamado "medidor bidirecional" (Freyr Energy, [2024]).

O medidor bidirecional é um dispositivo que registra tanto a energia enviada à rede quanto a energia retirada dela. Ao final de cada mês, o consumo líquido é calculado e o consumidor recebe a fatura correspondente. Esse recurso faz do sistema solar *on-grid* um investimento vantajoso, com potencial para altos retornos (Freyr Energy, [2024]).

Na Figura 3 é ilustrado um sistema FV *on-grid* típico, esse arranjo é constituído por painéis solares, um inversor solar *on-grid* (diferente do modelo utilizado no sistema *off-grid*) e dispositivos de proteção, mas não inclui o controlador de carga nem as baterias, presentes no sistema *off-grid* (Neosolar, 2019).

Figura 3 - Componentes físicos de um sistema fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: Neosolar, 2019.

De acordo com Freyr Energy (2023), um sistema *on-grid* é mais apropriado para clientes que dispõem de uma rede elétrica estável e enfrentam poucas interrupções de energia. Além de residências, instituições educacionais, indústrias e estabelecimentos comerciais também adotam sistemas *on-grid*, pois o sistema apresenta as seguintes vantagens: significativa redução nas contas de eletricidade; manutenção simplificada; integração com outras fontes de energia e melhor retorno sobre investimento.

2.3.3 Monitoramento de Sistemas FV On-grid

O monitoramento da energia solar *on-grid* é essencialmente uma solução digital para acompanhar o desempenho dos painéis solares e o nível de geração de energia. Esse recurso assegura uma gestão mais eficiente do sistema, possibilitando verificar se as cobranças estão corretas, antecipar possíveis falhas no equipamento, entre outros aspectos relevantes (Solar Prime, 2024).

De acordo com a Solar Prime (2024), o monitoramento é realizado através da comunicação entre os inversores de uma usina solar, normalmente por meio de um aplicativo conectado à *internet*. O sistema é geralmente muito simples, com acesso intuitivo e funcionalidades rápidas, proporcionando uma experiência positiva para os usuários. Os seguintes dados podem ser monitorados: histórico de energia gerada, geração espontânea (energia gerada em tempo real), sustentabilidade e economia.

O monitoramento do consumo de energia solar pode ser realizado de qualquer local, desde que o inversor esteja conectado a uma rede Wi-Fi. Assim, é possível acompanhar o sistema pelo aplicativo ou pelo navegador de *internet*. (Solar Prime, 2024). Existem diversos

aplicativos de monitoramento compatíveis com os inversores instalados, destacamos aqui os mais utilizados no mercado.

2.3.3.1 SolarEdge

Esse aplicativo (Figura 4) oferece um painel de controle em tempo real para acompanhar a geração e o consumo de energia diretamente no seu smartphone. O instalador também dispõe de um aplicativo exclusivo – a plataforma de monitoramento – que permite monitoramento remoto e manutenção em nível de módulo. (Solar Edge, 2020).

Figura 4 - Interface do aplicativo SolarEdge.



Fonte: Solar Edge, 2020.

2.3.3.2 LIVOLTEK

O aplicativo *LIVOLTEK* (Figura 5) é destinado ao monitoramento de energia solar, permitindo observar em tempo real a energia gerada, acompanhar a produção e o consumo das cargas domésticas, realizar o controle inteligente de mobilidade elétrica e monitorar remotamente os dados (Livoltek, 2020).

Figura 5 - Interface do aplicativo Livoltek.



Fonte: Livoltek, 2020.

2.3.3.3 INGECON SUN Monitor

O aplicativo *INGECON SUN Monitor* (Figura 6), da Ingeteam, é projetado para monitorar plantas fotovoltaicas e sistemas de autoconsumo, com ou sem baterias. Ele oferece uma interface amigável e de fácil compreensão, com informações em tempo real sobre geração, consumo e armazenamento, caso haja baterias. Além disso, permite a visualização de relatórios diários, semanais, mensais ou anuais (Ingeteam, 2023).

Figura 6 - Interface do aplicativo Ingecon Sun Monitor.



Fonte: Ingeteam, 2023.

2.3.3.4 SOLARMAN Smart

O aplicativo *SOLARMAN Smart* (Figura 7) é voltado para o monitoramento de energia solar, com dados coletados com precisão e protegidos por criptografia com um protocolo próprio para assegurar uma transmissão segura e confiável das informações. Ele suporta diferentes tipos de conexão à rede, exibe dados de forma padronizada e analisa o status operacional da estação de energia em várias extensões. As informações de falha podem ser acessadas facilmente através de uma única interface (Solarman, 2020).

Figura 7 - Interface do aplicativo SOLARMAN Smart.



Fonte: Solarman, 2020.

2.3.4 Etapas de um Empreendimento Solar

A elaboração e execução de um sistema de energia solar, envolve diversos fatores, dentre eles a disponibilidade de espaço, orientação dos módulos solares, disponibilidade do recurso solar, necessidade a ser atendida, entre outros. De acordo com o projeto, é possível adequar o sistema de geração solar às necessidades determinadas pela demanda. O dimensionamento de um sistema como esse é definido basicamente de acordo com a energia recebida pelo sol através dos painéis solares e a necessidade de suprir a demanda de energia elétrica.

Antes de descrever as etapas de um projeto, é importante distinguir os sistemas de geração fotovoltaicos isolados da rede (*off-grid*) dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*on-grid*). No caso dos sistemas *off-grid*, o sistema procura atender uma demanda específica de energia elétrica, sendo fundamental realizar uma avaliação precisa do consumo energético para que o sistema projetado seja capaz de suprir as necessidades previstas. Já nos sistemas *on-grid*, o consumo de energia da instalação é menos crítico, pois qualquer demanda adicional pode ser suprida pela energia fornecida pela rede elétrica.

Com isso, as principais etapas (ilustradas na Figura 8) para a elaboração do projeto de um sistema de geração fotovoltaica são as seguintes:

- 1 - Estudo de viabilidade no local da montagem do sistema: esta etapa consiste na avaliação do número de horas sol pleno na região, tomando como referência o site do *SUNDATA*.
- 2 - Dimensionamento do sistema: esta etapa é dedicada ao memorial de cálculo, onde será informado o quantitativo de equipamentos e os valores nominais das grandezas elétricas (potência, tensão, corrente), aqui também são elaborados o diagrama unifilar, a lista de material e o orçamento do projeto.

3 - Planejamento e projeto: nesta etapa destaca-se o local a instalar, o tipo de estrutura a ser usada, se há sombreamento (medidas de mitigação e algumas situações reprojetado) e a logística a ser usada.

4 - Aquisição dos equipamentos: nesta etapa é feita a cotação de preços para o empreendimento junto aos representantes comerciais, em seguida é feita a compra dos equipamentos.

5 - Instalação física do sistema de geração fotovoltaica: aqui é feita a montagem física da instalação e em seguida o comissionamento elétrico.

Todas as etapas de projeto devem ser conduzidas por um profissional da área (técnico ou engenheiro), sempre avaliando a qualidade do produto.

Figura 8 - Principais etapas para um empreendimento solar.



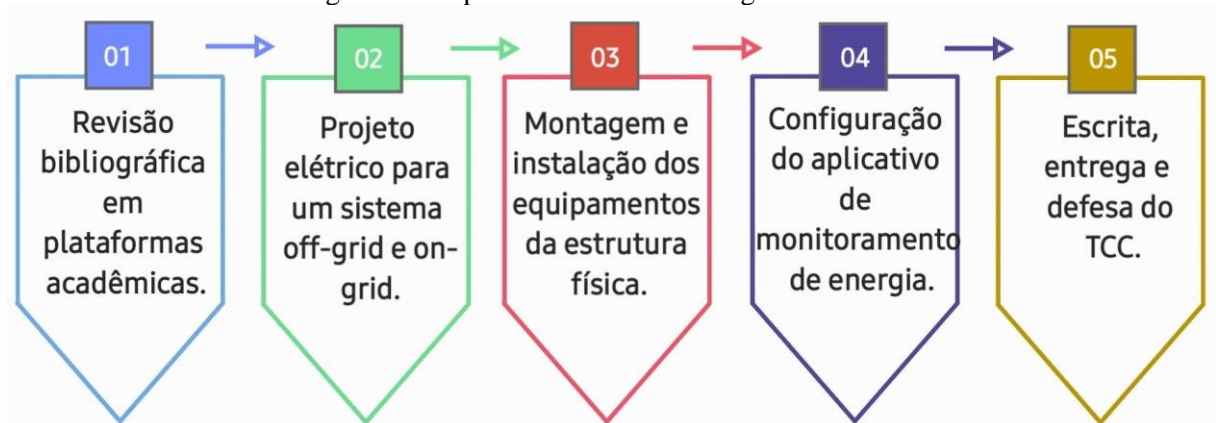
Fonte: Autoria própria, 2024.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas, foi inicialmente realizada a revisão bibliográfica em plataformas acadêmicas (IEEE Explorer Digital Library, ScienceDirect, ResearchGate, Periódico Capes e Google Acadêmico) visando construir um arcabouço teórico fundamental para o desenvolvimento da pesquisa. A segunda parte do trabalho consistiu no projeto elétrico para um sistema *off-grid* e *on-grid* (*grid tie*) completo, com potência gerada de 600 W_P, apresentação da relação de materiais a serem utilizados e o levantamento de orçamento.

Tendo definido todos os materiais que irão fazer parte do sistema, a terceira etapa da pesquisa consistiu na montagem e na instalação dos equipamentos na estrutura física. Tendo sido o sistema solar *on-grid* completamente montado, se deu início à etapa de configuração do aplicativo fornecido pelo fabricante do inversor para o monitoramento da geração solar do sistema. Após isso, foram realizados testes experimentais do sistema todo. Em paralelo com a montagem do sistema *on-grid*, foi montado e avaliado o sistema isolado, bem como o desenvolvimento de aplicativo para monitoramento da produção de energia. A quinta e última etapa foi a escrita, a entrega e a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). O fluxograma da Figura 9 traz as etapas seguidas para a consecução dos objetivos do TCC.

Figura 9 - Etapas usadas na metodologia do trabalho.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Foram montados e avaliados dois sistemas FV, um isolado e o outro conectado com a rede elétrica. No caso do sistema isolado, foram seguidas as seguintes etapas: (a) experimento de avaliação do desempenho elétrico da placa solar; (b) montagem e avaliação do sistema FV isolado; (c) desenvolvimento e avaliação de aplicativo de monitoramento da produção de energia. Já no caso do sistema FV conectado à rede, foram seguidas as seguintes etapas: (a) dimensionamento de um sistema FV *on-grid*; (b) montagem e avaliação do sistema FV *on-grid*; (c) configuração e avaliação de aplicativo de monitoramento da produção de energia.

A pesquisa realizada foi do tipo pesquisa de campo com natureza exploratória e descritiva com abordagem quantitativa. A pesquisa exploratória, de acordo com Vergara (2014), propicia um entendimento melhor da problemática da pesquisa, melhorando a compreensão acerca do fenômeno. As abordagens do problema nas pesquisas científicas são caracterizadas por dois tipos: a pesquisa quantitativa e a pesquisa qualitativa. Nesta pesquisa, optou-se por uma abordagem qualitativa, pois, segundo Malhotra (2012, p. 113), "esse tipo de abordagem proporciona melhor visão e compreensão do problema".

3.1 Dimensionamento do Sistema FV *on-grid*

Inicialmente, sabe-se que o custo da disponibilidade de energia que a concessionária cobra deverá ser descontado no cálculo da energia fotovoltaica, pois agora o sistema é *on-grid*. Com isso, é estabelecido um mínimo de kWh a ser pago. Como a casa é monofásica, será cobrado 30 kWh:

- Taxa cobrada por consumo: R\$ 0,77 / kWh.
- Custo da disponibilidade de energia: $0,77 \times 30 = \text{R\$ } 23,10$.

A média do consumo em 1 ano foi de 332 kWh/mês, portanto a energia fotovoltaica será esse valor subtraído da energia mínima cobrada pela concessionária demonstrado na Equação 1.

$$E_{\text{painéis}} = E_{\text{mínima}} - E_{\text{concessionária}} \quad (1)$$

Onde:

$E_{\text{painéis}}$ é a energia dos painéis.

$E_{\text{mínima}}$ é a energia mínima.

$E_{\text{concessionária}}$ é a energia da concessionária.

$$E_{\text{painéis}} = 332 - 30 = 302 \text{ kWh}$$

Agora, será obtida a irradiação solar da Região de Cajazeiras-PB a partir do site *SUNDATA*, nele é possível obter os dados solarimétricos inserindo as informações de latitude e longitude. Dessa forma, a irradiação solar é de:

$$IR_S = 6,02 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$$

3.1.1 Cálculo da Potência de Pico do Sistema Fotovoltaico (Equação 2)

$$P_{\text{painéis}} = \frac{(1000 \text{ W/m}^2 * E_{\text{painéis}})}{(IR_S * 30\text{dias} * \eta)} \quad (2)$$

Onde:

$P_{\text{painéis}}$ é a potência de pico dos painéis.

$E_{\text{painéis}}$ é a energia dos painéis.

IR_S é a irradiação solar.

η é a eficiência do painel

O fator 1000 W/m^2 é a irradiância dos painéis, considerando que são fabricados para condições de teste padrão STC (*Standard Test Condition*). A eficiência do painel η é obtida através da Equação 3.

$$\eta = \eta_{ar} * \eta_{ter} * \eta_{inv} * \eta_{var} \quad (3)$$

Onde:

η_{ar} é em relação a poluição do ar: 0,9 a 0,95.

η_{ter} é em relação às perdas térmicas: 0,9 a 0,95.

η_{inv} é devido ao inversor: 0,95 a 0,98.

η_{var} é em relação a vários fatores atípicos, como sombreamento, inclinação dos painéis, dentre outros casos: 0,8 a 1,0.

Em condições normais, a eficiência do sistema fotovoltaico tem que estar entre 0,70 e 0,80. Portanto, para cada eficiência anterior será escolhido um valor dentro do intervalo correspondido. Assim sendo, tem-se como escolha:

$$\eta_{ar} = 0,93, \eta_{ter} = 0,9, \eta_{inv} = 0,95 \text{ e } \eta_{var} = 1,0.$$

Logo, ao substituir esses valores na equação (2), η será 0,8. Este valor é uma boa estimativa para sistemas fotovoltaicos. Contudo, obtém-se a potência de pico do sistema:

$$P_{\text{painéis}} = \frac{(1000 \text{ W/m}^2 * 302)}{(6,02 * 30 * 0,8)} = 2.090,26 \text{ W}$$

3.1.2 Cálculo do Número de Módulos

O número de módulos é obtido pela Equação 4

$$N^{\circ}_{\text{módulos}} = \frac{P_{\text{painéis}}}{P_{\text{módulo}_{(STC)}}} \quad (4)$$

Onde:

$P_{\text{painéis}}$ é a potência de pico dos painéis.

$P_{\text{módulos}}$ é a potência dos módulos

$N^{\circ}_{\text{módulos}}$ número de módulos

O Quadro 1 demonstra o número de módulos necessários para cada tipo de painel comercial, a fim de analisar e escolher o mais adequado para a instalação, onde as dimensões das placas são de 2m x 1m, ou seja, apresenta uma área de 2 m².

Quadro 1 - Análise dos valores comerciais dos módulos.

Potência comercial do painel(W)	Número de módulos calculado	Número de módulos a ser utilizado	Potência (total) em Watts	Área (m ²)
330	6,80	7	2310	14
380	5,90	6	2280	12
400	5,61	6	2400	12

Fonte: Autoria própria, 2024.

Logo, ao analisar os valores comerciais de cada módulo, optou-se por utilizar um total de sete módulos do painel comercial de 330W, resultando em uma capacidade do sistema fotovoltaico de 2.310W de potência com área total de instalação de 14 m².

3.1.3 Especificações do Painel Fotovoltaico

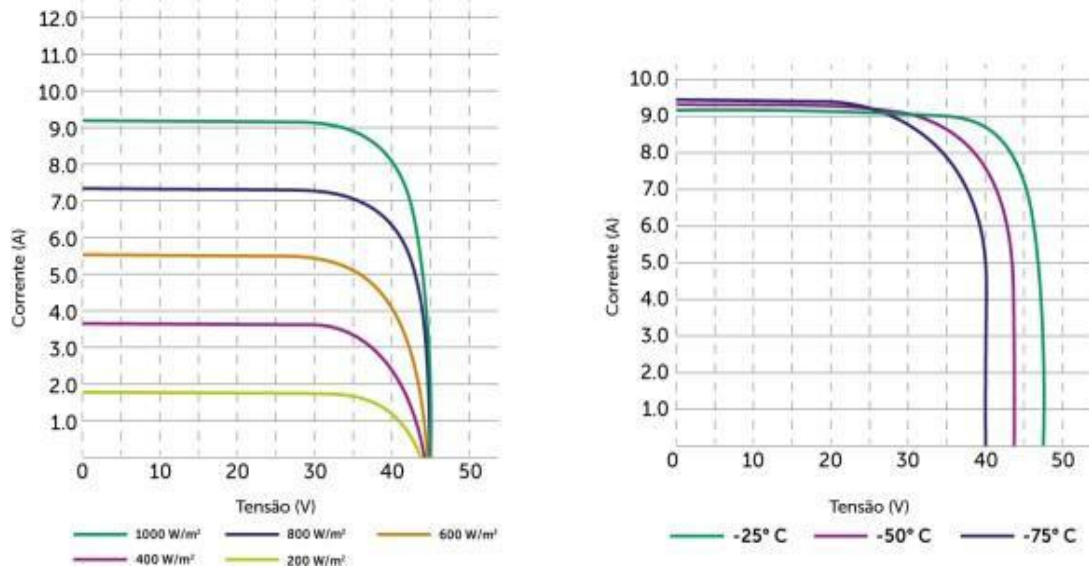
Antes da escolha do arranjo, é necessário saber as especificações dos parâmetros do painel testado à STC:

- potência nominal do painel: 330W (± 3);
- tensão de operação máxima: 37,7 Vdc;
- corrente máxima de operação: 8,76 A;
- tensão de circuito aberto: 45,9 Vdc;
- corrente de curto-circuito: 9,27 A;
- eficiência do módulo: 17%;
- coeficiente de temperatura máxima: -0,40% / °C;
- coeficiente de temperatura de tensão circuito aberto: -0,31% / °C;
- coeficiente de temperatura de curto-circuito: +0,06% / °C;
- dimensões das células: 156,75 x 156,75 mm;
- dimensões do módulo: 992 x 1960 x 35 mm;
- número de células: 72;

- peso: 22kg;
- grau de proteção: IP68.

Na Figura 10 é ilustrada a curva $I \times V$ do painel solar escolhido. Os painéis serão arranjados numa fileira com 7 módulos ligados em série.

Figura 10 - Curva $I \times V$ do painel fotovoltaico policristalino EMS 330P.



Fonte: Autoria própria, 2024.

3.1.4 Condições de Operação em MPP (Máximo Ponto de Potência)

Nas condições normais de operação, o inversor irá trabalhar no MPP. Portanto, conforme as informações coletadas no *datasheet* do painel fotovoltaico, a tensão e a corrente de operação desse sistema serão obtidas através da Equação 5.

$$V_{OPE-MPP} = N^{\circ}_{módulos} * V_{MPP} \quad (5)$$

Onde:

$V_{OPE-MPP}$ é a tensão de operação em máximo ponto de potência.

V_{MPP} é a tensão de máximo ponto de potência

$N^{\circ}_{módulos}$ número de módulos

Substituindo os valores na Equação 5:

$$V_{OPE-MPP} = 7 * 37,7 = 263,9V \text{ (em série)}$$

A corrente de operação no MPP será igual à corrente de operação máxima do painel fotovoltaico, pois se trata de um arranjo em série.

$$I_{OPE-MPP} = 8,76 A$$

3.1.5 Condição de Máxima Tensão de Saída

Como a tensão de operação aumenta com a diminuição da temperatura, é necessário encontrar qual a máxima tensão que a fileira poderá atingir. Com isto, deve-se conhecer a temperatura mínima de operação correspondente ao período de inverno. Na região de Cajazeiras, a temperatura mínima de inverno é de 20 °C, e a temperatura de operação à STC da célula é de 25 °C.

Como em projetos a pior situação é a que deve ser considerada, então para obtê-la é necessário corrigir a tensão em vazio a partir do decréscimo da temperatura utilizando o coeficiente α . Logo, a tensão máxima que o sistema série poderá atingir passa a ser obtida na Equação 6.

$$V_{FV_Max} = V_{OC} * (1 + \alpha\Delta T) \quad (6)$$

Onde:

V_{FV_Max} é a tensão máxima fotovoltaica.

V_{OC} é a tensão de circuito aberto.

ΔT é a variação de temperatura.

α é o coeficiente de temperatura.

Como mostrado nas especificações do painel, o coeficiente de temperatura α é -0,31 °C, logo substituindo na Equação 6.

$$V_{FV_Max} = 45,9 * (1 + (-0,31)(20 - 25)) * 7$$

$$V_{FV_Max} = 326,28V \text{ (em circuito aberto)}$$

3.1.6 Dimensionamento do Inversor

Foi escolhido o inversor solar monofásico 2kW/220V, com 1 MPPT – INTELBRAS - EGT 2000 LITE. A seguir estão listadas as especificações técnicas de entrada e saída.

Dados de entrada (CC):

- potência máxima de entrada: 2.600 W;
- tensão máxima de entrada: 450 Vcc;
- faixa de tensão do MPPT: 70-450 Vcc;
- tensão nominal de entrada: 360 V;
- corrente máxima de entrada: 11 A;
- corrente de curto-circuito: 16 A;

- número de rastreadores MPPT: 1.

Dados de saída (CA):

- potência máxima de saída: 2.000W;
- tensão nominal de saída: 220/240 V;
- frequência de saída: 60 Hz;
- corrente máxima de saída: 9,5 A;
- eficiência máxima: 97,4%.

Essas informações foram tiradas diretamente no *datasheet* do inversor, conforme ilustrado nas Figuras 11 e 12. No Quadro 2 é feito o comparativo entre os valores da fileira fotovoltaica e a capacidade de entrada do inversor.

Figura 11 - Primeira parte do *datasheet* do inversor solar.

Especificações técnicas	EGT 1600 LITE	EGT 2000 LITE
	ENTRADA (CC)	ENTRADA (CC)
Potência máxima de entrada (Pmax)	1950 W	2600 W
Tensão máxima de entrada (Vcc)	450 V	450 V
Tensão de inicialização (Vcc)	80 V	80 V
Tensão nominal de entrada (Vcc)	250 V	360 V
Corrente máxima de entrada (CC)	10 A	11 A
Corrente máxima por string (CC)	10 A	11 A
Faixa de tensão do MPPT	70-450 V	70-450 V
Faixa de tensão de máxima eficiência (Vcc)	175-400 V	200-400 V
Número de rastreadores MPPT	1	1
Quantidade de strings por rastreador MPPT	1	1
Corrente de curto-circuito máxima por rastreador MPPT	16 A	16 A
	SAÍDA (CA)	SAÍDA (CA)
Potência máxima de saída	1600 W	2000 W
Potência máxima aparente máxima de saída	1600 VA	2000 VA
Tensão nominal de saída <small>(Tensão de Alimentação (Saída))</small>	220/240 Vca	220/240 Vca

Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 12 - Segunda parte do *datasheet* do inversor solar.

Frequência de saída	60 Hz	60 Hz
Corrente máxima de saída (CA) <small>(Corrente nominal saída)</small>	7,8 A	9,5 A
Fator de potência	1 (com opção de ajuste de 0,8 indutivo ~ 0,8 capacitivo)	1 (com opção de ajuste de 0,8 indutivo ~ 0,8 capacitivo)
Taxa de Distorção Harmônica (THD)	<3%	<3%
CONSUMO DE ENERGIA		
Consumo noturno	<0,5 W	<0,5 W
EFICIÊNCIA		
Eficiência MPPT	99,5%	99,5%
Máxima eficiência	97,4%	97,4%

Fonte: Autoria própria, 2024.

Quadro 2 - Comparação entre os valores da fileira fotovoltaica e a capacidade de entrada do inversor.

	Saída das Fileiras Fotovoltaicas	Entrada do Inversor	Situação
Operação em MPP	$V = 263,9 V$ $OPE - MPP$	$70-450 V_{cc}$	Em acordo
Operação de máxima tensão de saída	$V = 326,28 V$ $FV MAX$	$450 V_{cc}$	Em acordo
Potência máxima por MPP	$2310 W$	$2600 W$	Em acordo

Fonte: Autoria própria, 2024.

3.1.7 Dimensionamento dos Dispositivos de Proteção e Manobra para o Lado de Corrente Contínua (CC) e para o Lado de Corrente Alternada (CA)

3.1.7.1 Lado CC

A norma NBR 16690 (ABNT, 2019) recomenda o uso de fusíveis em cada *string* fotovoltaica quando:

$$(Número\ de\ circuitos\ paralelos - 1) * I_{SC} > I_{MOD-MAX.OCPR}$$

Onde:

I_{SC} é a corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico de uma série.

$I_{MOD-MAX.OCPR}$ é a corrente reversa máxima do módulo fotovoltaico.

No entanto, como no dimensionamento só há uma fileira fotovoltaica, não há necessidade da instalação de fusíveis. Mas, com o intuito de tornar o sistema altamente protegido, serão dimensionados dois fusíveis, um para a proteção do condutor positivo e o outro para a proteção do condutor negativo.

Portanto, sabe-se que a corrente máxima da fileira do sistema em questão é de 13 A, com isto, o porta fusível de 12 A de corrente nominal 1000 Vdc irá garantir a proteção contra quaisquer correntes de curto-circuito ou reversa que venha ocorrer, ultrapassando a corrente máxima da fileira. Logo, será utilizado 1 porta fusível de 12 A 1000 Vdc - *Suntree - 10gPV12UQ*, com capacidade de interrupção de 30 A.

Em relação ao dimensionamento do Dispositivo de Proteção Contra Surtos de Tensão (DPS), foi selecionado 1 DPS de 600V, 10/40 kA - Modelo Solar *Clamper DJ Usfull*.

Especificações do DPS:

$$U_C = 500V \rightarrow U_C > V_{FV-MAX} \text{ (para garantir a proteção)}$$

A classe escolhida foi a classe II, pois o sistema fotovoltaico não está ligado a um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Para o elemento de manobra e seccionamento é necessário conhecer a tensão (U_{ch}) e corrente (I_{ch}) máxima que circula no arranjo da fileira fotovoltaica onde será colocada a chave. Assim sendo, basta que as especificações da chave seccionadora CC obedeam à seguinte relação:

$$U_{ch} > V_{FV-MAX} \text{ (em série)}$$

$$I_{ch} > I_{arranjo} \text{ (em série)}$$

$$\frac{N_P}{N_C} \text{ (Número de polos / número de contatos)}$$

Portanto, será utilizada uma chave seccionadora rotativa CC 350V 16A 2 polos, modelo BYSS.1-50. Logo, tem-se de acordo com a relação anterior:

$$320V > 3326,28V$$

$$16A > 8,76A$$

$$2 \text{ polos / } 2 \text{ contatos}$$

3.1.7.2 Lado CA

- **Dispositivo de proteção contra surtos de tensão (DPS):** para o dimensionamento do DPS é necessário saber a tensão máxima CA de saída que o inversor irá trabalhar (U_{MAX-D}) e a corrente máxima de descarga (I_{MAX-D}). Portanto, como a tensão da rede elétrica é 220 V monofásica, pode-se utilizar um DPS comercial com as seguintes especificações e um de classe de proteção do tipo II para o DPS localizado no quadro dentro de casa:

$$U_{MAX-D} = 275 \text{ V}, \quad I_{MAX-D} = 45 \text{ kA}$$

- **Dispositivo de manobra (Disjuntor CA):** o dimensionamento do disjuntor baseia-se na corrente máxima de operação de saída do inversor I_{MAX-P} (corresponde à corrente máxima do painel) e na tensão da rede elétrica monofásica, que é 220V.

$$I_{DIS} = 1,25 * I_{MAX-P}$$

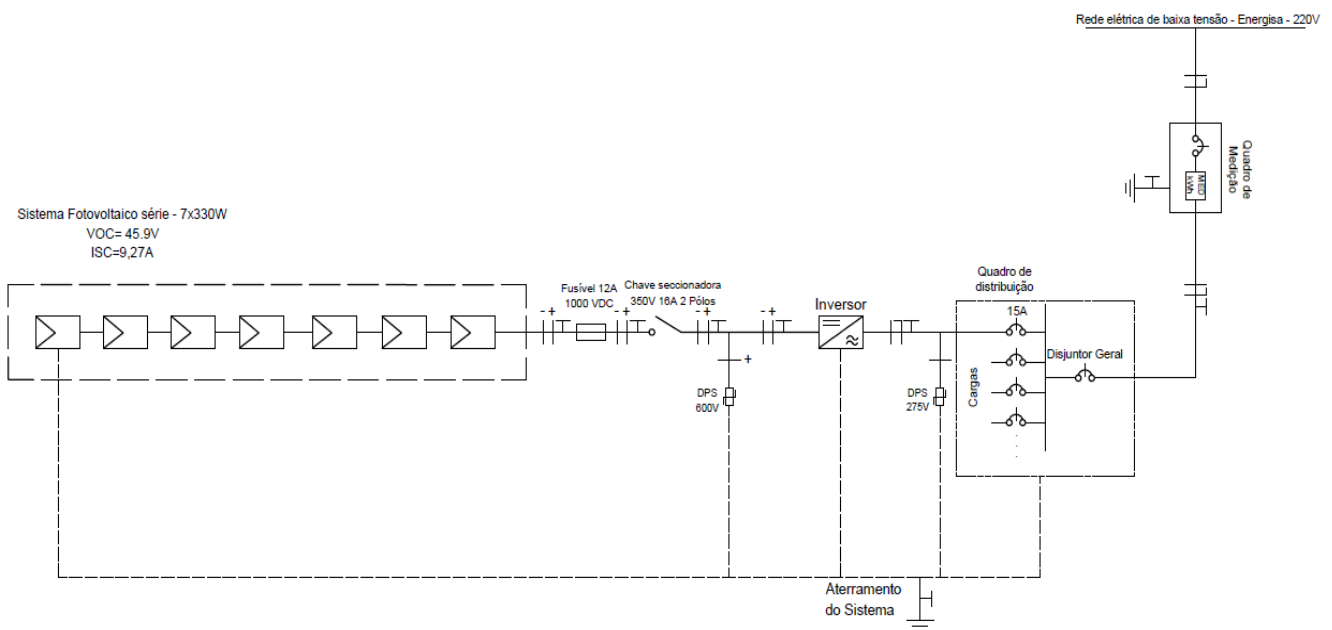
$$V_{DIS} = \text{Tensão da rede monofásica}$$

Sendo assim, sabe-se que a corrente máxima de saída do inversor é 8,76 A e a tensão da rede monofásica é 220 V. Dessa forma, o disjuntor comercial que atende a essas características de funcionamento terá como corrente nominal e tensão nominal de:

$$I_{DIS} = 15 \text{ A} \quad \text{e} \quad V_{DIS} = 220 \text{ V}$$

Na Figura 13 é ilustrado o diagrama unifilar do sistema fotovoltaico *on-grid* feito no *AutoCAD*. O link para acessar o arquivo PDF com melhor visualização está disponível nas referências.

Figura 13 - Diagrama unifilar do sistema *on-grid*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

No Quadro 3 é ilustrada a lista de materiais e o orçamento da instalação elétrica. A cotação foi feita em lojas virtuais, a exemplo da *NeoSolar* e *Mercado Livre*.

Quadro 3 - Orçamento Preliminar da instalação FV *on-grid*.

Produtos	Quantidade	Preço por unidade (R\$)	Preço total (R\$)
Módulo Fotovoltaico Policristalino 72 células 330 W - INTELBRAS EMS330P	7	719,00	5.033,00
Inversor solar monofásico 2 kW 220V com 1 MPPT - INTELBRAS - EGT 2000 LITE	1	2.449,90	2.449,90
Porta fusível de 12 A 1000 Vdc - Suntree - 10gPV12UQ	1	15,90	15,90

Produtos	Quantidade	Preço por unidade (R\$)	Preço total (R\$)
DPS de 600 V, 10/40 kA - Modelo Solar <i>Clamper</i> DJ Usfull	1	247,47	247,47
Chave seccionadora rotativa CC 350V 16A 2 polos, modelo BYSS.1-50	1	172,26	172,26
DPS CLAMPER Front 45kA 275V	1	57,97	57,97
Disjuntor termomagnético <i>Elgin</i> 15A - 220V	1	8,12	8,12
Kit Estrutura Suporte Fixador 7,20m Para 7 Placas Solar Alumínio Inox Telha Fibro Ondulada Viga Metálica Perfil Master	1	1.600,40	1.600,40
Cabo Solar Fotovoltaico 6mm 100m Preto + 100m Vermelho Promo	2	1.099,00	2.198,00
Quadro Para <i>String Box</i> Solar 10 Polos Sobrepor Ip65	1	160,66	160,66
Total			11.943,02*

*Cotação feita em 19/11/2024. Fonte: Autoria própria, 2024.

3.1.8 Estudo de Viabilidade Econômica após a Instalação do Sistema Fotovoltaico

Sabe-se que a média do consumo em um ano foi de 302 kWh/mês e o valor da taxa cobrada é R\$ 0,77, isso resultará em um custo mensal de R\$ 232,54. Esse valor não considera a taxa de disponibilidade de energia, pois essa taxa continuará sendo cobrada. Tendo em vista esses fatores, o retorno financeiro (lucro) será após uma certa quantidade de meses, como mostra a Equação 7, considerando valor investido aproximado: R\$ 11.943,02.

$$\text{Payback Simples} = \frac{\text{Valor Investido}}{\text{Custo Mensal}} \quad (7)$$

Substituindo na Equação 7

$$\text{Payback Simples} = \frac{11.943,02}{232,54}$$

$$\text{Payback Simples} = 51,36 \text{ meses}$$

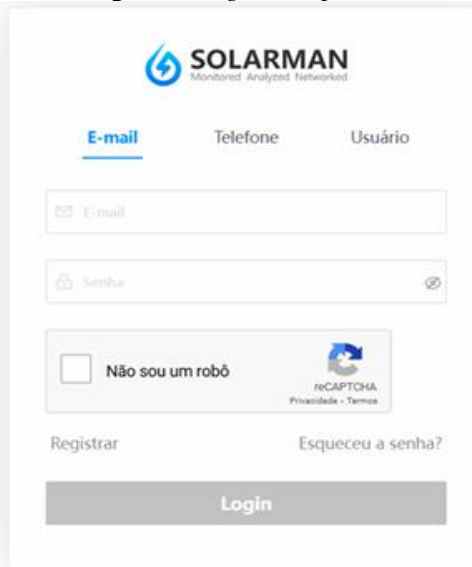
Contudo, o cliente passará a ter o retorno do investimento em aproximadamente 4 anos e 4 meses.

3.2 Configuração do Aplicativo de Supervisão da SOLARMAN

O microinversor usado foi o modelo *Deye SUN2000G3*, monofásico, 2.000 W - 220 V, com Wi-Fi integrado. O primeiro passo é realizar o cadastro no site da *SOLARMAN* (disponível em <https://www.solarmanpv.com/>, acesso em 10 nov. 2024).

Após clicar no link acima, opte pela opção de efetuar o *login* como *Business*. Desta forma, a tela que será mostrada deve ser semelhante à imagem da Figura 14.

Figura 14 - Página de *login* do aplicativo *Solarman*.

A imagem mostra a interface de login do aplicativo Solarman. No topo, há o logo da Solarman com o slogan "Monitored Analyzed Networked". Abaixo, há três opções de login: "E-mail" (destacado com um underline azul), "Telefone" e "Usuário". O formulário principal contém um campo de entrada para "E-mail" e um campo para "Senha" com um ícone de olho para alternar a visibilidade. Abaixo dos campos, há uma seção de segurança com um checkbox rotulado "Não sou um robô" e o ícone do reCAPTCHA. À direita, há links para "Privacidade" e "Termos". Na base do formulário, há dois links: "Registrar" e "Esqueceu a senha?". Um botão cinza "Login" está posicionado na base da caixa de formulário.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Escolha a opção “Registrar” para iniciar o cadastro (Figura 15).

Escolha a opção internacional, cujo continente que deve ser escolhido é o da América do Sul, na aba “Centro de Dados”. Digite seu e-mail, clique em mandar para receber um código no e-mail informado, e posteriormente digite esse código na aba código de verificação. Em seguida, marque a opção de concordar com os termos de política de privacidade e clique em “próximo”, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 15 - Página de registro de usuário do aplicativo *Solarman*.

SOLARMAN Profissional Registrar Já tem uma conta comercial? Conecte-se. Português ▾

1 Digite E-mail ou número de telefone

2 Preencha as informações da conta

3 Preencha as informações do negócio

4 Registrado

Centro de Dados
Internacional

E-mail o campo E-mail não pode ficar em branco

E-mail

Código de verificação

Mandar

Eu li e concordei [Termos de Uso Política de Privacidade](#).

Próximo

[Alternar para o registro de número de telefone >](#)

Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 16 - Página de informação de conta do usuário.

SOLARMAN Profissional Registrar Já tem uma conta comercial? Conecte-se. Português ▾

1 Digite E-mail ou número de telefone

2 Preencha as informações da conta

3 Preencha as informações do negócio

4 Registrado

*Seu nome

Nome de Usuário

*Senha

Senha (Uma combinação de letras e números)

*Entrar novamente

Confirmação da senha

Próximo

Fonte: Autoria própria, 2024.

Agora, a próxima tela deve ser semelhante à tela mostrada na Figura 17. Digite seu nome na aba “Seu nome”, depois escolha um nome de usuário e digite-o na aba “Nome de Usuário”, depois escolha uma senha de sua preferência e digite-a nas abas “Senha” e “Entrar novamente”, após isso clique em próximo.

Figura 17 - Página de informações de negócio do usuário.

SOLARMAN Professional | Registrar Já tem uma conta comercial? Conecte-se. Português ▾

1 Digite E-mail ou número de telefone 2 Preencha as informações da conta 3 Preencha as informações do negócio 4 Registrado

Tipo de conta:
 Empresas Indivíduos

*Nome da empresa: *Região da empresa:
 Português ▾ IFPB ⊕ Brazil ▾

Tipo:
 Fornecedor de O&M de instalação Investidores Distribuidor Fabricantes

Próximo

Fonte: Autoria própria, 2024.

Na próxima tela, que deve ser semelhante à imagem da Figura 16, na aba tipo de conta, selecione “indivíduos”, na aba nome da empresa, selecione o idioma “português”, digite o nome da empresa e na aba região da empresa escolha a opção “Brasil”. Na aba “tipo”, escolha a opção “fornecedor de O&M de instalação”, depois clique em próximo e a seguinte tela deve ser mostrada (Figura 18).

Figura 18 - Registro concluído.

SOLARMAN Professional | Registrar Já tem uma conta comercial? Conecte-se. Português ▾

1 Digite E-mail ou número de telefone 2 Preencha as informações da conta 3 Preencha as informações do negócio 4 Registrado

Nova empresa criada!

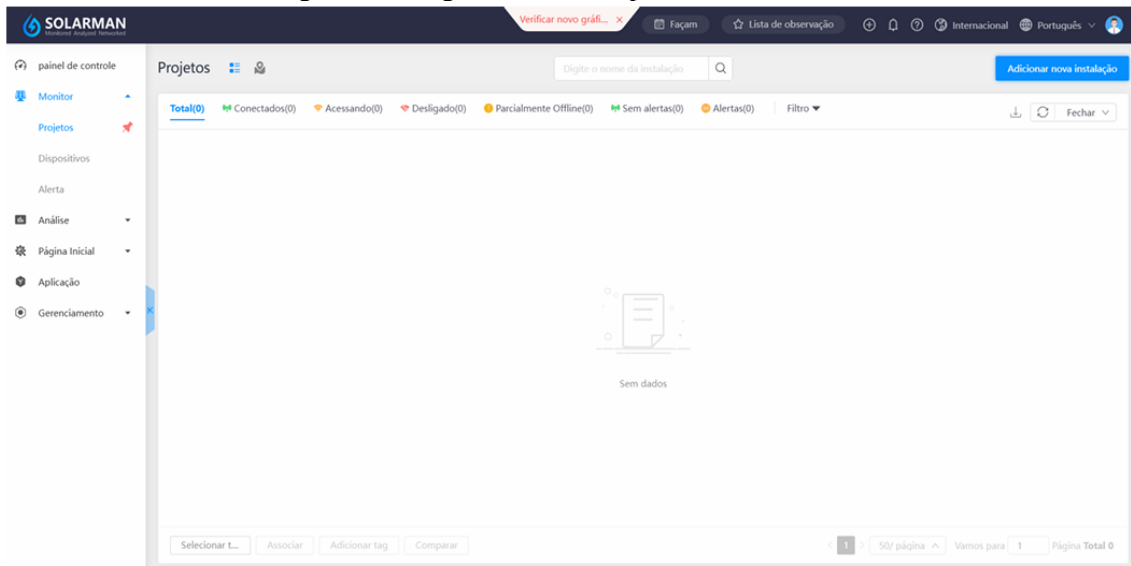
Finalizar e fazer login na versão pro

Fonte: Autoria própria, 2024.

Clique em finalizar e faça o *login*.

Agora deverá ser visualizada a tela mostrada na Figura 19. Desta forma, clique na aba “adicionar uma instalação” e siga o passo a passo das próximas imagens para concluir a adição da sua instalação no seu usuário criado.

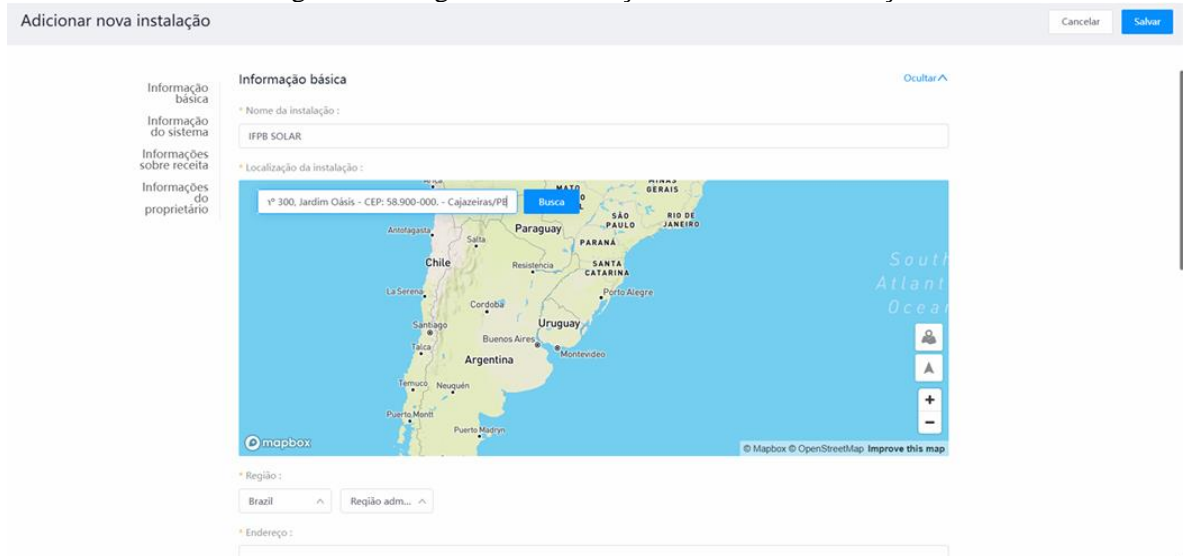
Figura 19 - Página inicial do aplicativo *Solarman*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Figura 20 é apresentada a página de informações básicas e a de localização da instalação do sistema.

Figura 20 - Página de informações básicas e localização.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Dê um nome à sua instalação na aba “nome da instalação”, na aba localização da instalação (Figura 21) coloque o endereço em que estará localizada a sua instalação e clique em buscar, automaticamente as outras abas referentes à localização serão preenchidas, se não forem, preencha manualmente.

Figura 21 - Página para adicionar nova instalação.

Adicionar nova instalação Cancelar Salvar

Informação básica
Tipo de Planta :

Informação do sistema
Tipo de sistema :

Informações sobre receita
Capacidade(kWp):

Azimuth("):

Informações do proprietário
Ângulo de inclinação("):

Data na rede:

Taxa de auto-consumo planejado : (%):

Informações sobre receita Ocultar

Moeda :

Preço unitário(BRL/kWh)

Renda de subsídio(BRL/kWh)

Custo total(BRL):

Reembolso diário(BRL)

Informações do proprietário Ocultar

Fonte: Autoria própria, 2024.

Na aba “Tipo de planta” (Figura 22), selecione a opção residencial. Em seguida, na aba “Tipo de sistema”, escolha a opção PV + Rede + Consumo. No campo capacidade (kWp), insira a potência do seu microinversor. Na aba “Data na rede”, indique a data correspondente ao dia da configuração. Posteriormente, na aba “Moeda”, opte pela opção BRL, e no campo “Preço unitário (BRL/kWh)”, informe o valor por kWh da sua região. Concluídas essas etapas, clique em salvar. Após salvar, a próxima tela exibida deverá ser semelhante à mostrada na imagem abaixo:

Figura 22 - Página para adicionar uma nova instalação.

Adicionar nova instalação Feito

Instalação criada! Por favor, siga os passos.

Adicionar novo datalogger Desdobrar
Insira o SN do datalogger o dispositivo irá enviar as informações. Você poderá realizar alterações nos detalhes da instalação.

Associar usuários Desdobrar
Associar instalação ao usuário para seja possível visualização. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Associar empresas Desdobrar
Associe a instalação a outras empresas para que seja possível a visualização. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Associar membros internos Desdobrar
Outros membros são elegíveis para verificar a fábrica após a sua autorização. Você pode ignorá-lo agora e fazê-lo mais tarde em Detalhes da planta.

Selecionar Tags Desdobrar
Escolha uma tag relevante para a instalação, você poderá filtrar a instalação através desse nome. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Adicionar novo subsistema Desdobrar
Adicione sub-sistema na instalação para calcular separadamente. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Esta etapa é importante, trata-se de adicionar o *datalogger* do seu microinversor corretamente. Clique em adicionar *datalogger* e deverá mostrar a seguinte tela (Figura 23).

Figura 23 - Página para adicionar o *datalogger*.

Adicionar nova instalação Feito

Instalação criada! Por favor, siga os passos.

Adicionar novo datalogger Ocultar ^
 Insira o SN do datalogger conectado a instalação, o dispositivo irá enviar as informações. Você poderá realizar alterações nos detalhes da Instalação.

SN	Comunicação	Tipo de comunicação	Sub-dispositivo conectado	Operação
+Adicionar				

Associar usuários Desdobrar v
 Associe a instalação ao usuário para que seja possível a visualização. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Associar empresas Desdobrar v
 Associe a instalação a outras empresas para que seja possível a visualização. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Associar membros internos Desdobrar v
 Outros membros são elegíveis para verificar a fábrica após a sua autorização. Você pode ignorá-lo agora e fazê-lo mais tarde em Detalhes da planta.

Selecionar Tags Desdobrar v
 Escolha uma tag relevante para a instalação, você poderá filtrar a instalação através desse nome. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Adicionar novo subsistema Desdobrar v
 Adicione sub-sistema na instalação para calcular separadamente. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Clique em adicionar.

Figura 24 - Página para digitar a codificação da rede wi-fi do seu microinversor.

Adicionar nova instalação Feito

Instalação criada! Por favor, siga os passos.

Adicionar novo datalogger Ocultar ^
 Insira o SN do datalogger conectado a instalação, o dispositivo irá enviar as informações. Você poderá realizar alterações nos detalhes da Instalação.

SN	Comunicação	Tipo de comunicação	Sub-dispositivo conectado	Operação
+Adicionar				

Associar usuários Desdobrar v
 Associe a instalação ao usuário para que seja possível a visualização. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Associar empresas Desdobrar v
 Associe a instalação a outras empresas para que seja possível a visualização. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Associar membros internos Desdobrar v
 Outros membros são elegíveis para verificar a fábrica após a sua autorização. Você pode ignorá-lo agora e fazê-lo mais tarde em Detalhes da planta.

Selecionar Tags Desdobrar v
 Escolha uma tag relevante para a instalação, você poderá filtrar a instalação através desse nome. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

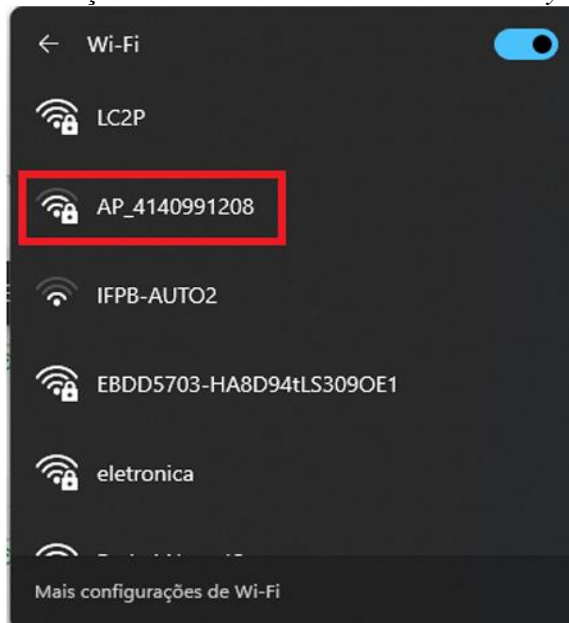
Adicionar novo subsistema Desdobrar v
 Adicione sub-sistema na instalação para calcular separadamente. Campo não obrigatório. Você pode realizar alterações nos detalhes da instalação.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Na aba SN (Número de Série), digite a codificação da rede Wi-Fi do seu microinversor, como mostra a Figura 24. Após isto, clique em adicionar e pronto, está adicionada a sua instalação.

A próxima etapa é a configuração da rede Wi-Fi, desconecte-se do Wi-Fi que esteja usando e procure o Wi-Fi do próprio microinversor (AP_4140991208), conforme Figura 25. Selecione-o e digite a senha padrão de fábrica: 12345678.

Figura 25 - Localização da rede Wi-Fi do microinversor *Deye SUN2000G3*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Feita a conexão, o seu dispositivo será desconectado da *internet*. A etapa seguinte será conectar o Wi-Fi do microinversor com o Wi-Fi do cliente (no caso, foi conectado à rede do Laboratório LC2P). Sendo assim, abra seu navegador e insira o seguinte endereço: 10.10.100.254.

A partir disso, será direcionado para a janela da Figura 26, onde mostra o *status* atual desta rede. Se caso pedir *login* insira o nome do usuário como sendo “*admin*” e a senha também como “*admin*”.

Figura 26 - *Status* atual da rede.

- Inverter information	
Inverter serial number	2208064414
Firmware version (main)	---
Firmware version (slave)	---
Inverter model	---
Rated power	--- W
Current power	280 W
Yield today	0.20 kWh
Total yield	1.2 kWh
Alerts	F13
Last updated	2
+ Device information	
+ Remote server information	

Help

The device can be used as a wireless access point (AP mode) to facilitate users to configure the device, or it can also be used as a wireless information terminal (STA mode) to connect the remote server via wireless router.

Status of remote server

◆ Not connected: Connection to server failed last time. If under such status, please check the issues as follows:

- (1) check the device information to see whether IP address is obtained or not;
- (2) check if the router is connected to internet or

Fonte: Autoria própria, 2024.

Na aba *Wizard* (Figura 27) selecione o Wi-Fi que você deseja se conectar à *internet*, que nesse caso é a do laboratório LC2P, em seguida aparecerão os dados da rede. Feito isso, clique em *Next*:

Figura 27 - Página para escolher qual rede se conectar.

SSID	BSSID	RSSI	Channel
eletronica	C8:3A:35:B:31:8	57	6
EBDD5703-			
HARD94II_S309QE1	44:D2:44:DD:57:3	54	11
LC2P	D8:32:14:64:B:C8	42	1
@luanncosmo	3E:3B:28:5B:1B:16	28	6
IFPB	A0:F3:C1:94:A1:18	25	6
Redmi Note 12	46:5A:7F:17:BD:87	25	1
THAYUAN	0:E0:4C:D0:C7:C1	25	6
IFPB-AUTO2	A2:F3:C1:94:A1:18	11	6
brisa-3547417	78:8C:B5:43:F1:41	9	10
IFPB-LAMUTCACTUS	C8:3A:35:B:31:0	9	9

★Note: When RSSI of the selected WiFi network is lower than 15%, the connection may be unstable, please select other available network or shorten the distance between the device and router.

Refresh

Add wireless network manually:

Network name (SSID)
(Note: case sensitive)

Encryption method

Next

1 2 3 4

Fonte: Autoria própria, 2024.

Após isso, insira a senha do Wi-Fi que você selecionou (LC2P) e clique em *Next*, conforme Figura 28.

Figura 28 - Página da senha do Wi-fi selecionado.

Please fill in the following information:

Password (8-64 bytes)
(Note: case sensitive)

Show Password

Obtain an IP address automatically

IP address

Subnet mask

Gateway address

DNS server address

Back Next

1 2 3 4

Help

Most systems support the function of DHCP to obtain IP address automatically. Please select disable and add it manually if your router does not support such function.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Logo, após inserir a senha, nas próximas janelas que abrirem, continue avançando em *Next*. Realizado esse procedimento, feche a janela e o microinversor já estará conectado à *internet*. No entanto, para verificar se realmente houve conexão com a *internet*, você pode fazer o mesmo procedimento inicial, entrar no Wi-Fi do microinversor e inserir o endereço de IP mencionado anteriormente. Na aba de *status* em *Device Information* (Figura 29) irá aparecer os dados de conexão.

Figura 29 - Aba de status em *Device Information*

Advanced Upgrade Restart Reset	Firmware version (slave)	---	
	Inverter model	---	
	Rated power	--- W	
	Current power	230 W	
	Yield today	0.20 kWh	
	Total yield	1.3 kWh	
	Alerts	F13	
	Last updated	1	
	- Device information		
	Device serial number	4140991208	
Firmware version	MW3_15U_5406_1.471		
Wireless AP mode	Enable		
SSID	AP_4140991208		
IP address	10.10.100.254		
MAC address	EC:FD:F8:34:10:EE		
Wireless STA mode	Enable		
Router SSID	LC2P		
Signal Quality	30%		
IP address	10.3.141.90		
MAC address	E8:FD:F8:34:10:EE		
+ Remote server information			

Configure the device, or it can also be used as a wireless information terminal (STA mode) to connect the remote server via wireless router.

Status of remote server
 ◆ Not connected: Connection to server failed last time.
 If under such status, please check the issues as follows:
 (1) check the device information to see whether IP address is obtained or not;
 (2) check if the router is connected to internet or not;
 (3) check if a firewall is set on the router or not;

◆ Connected: Connection to server successful last time;

◆ Unknown: No connection to server. Please check again in 5 minutes.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Contudo, obedecido todas essas etapas de configuração do dispositivo, o aplicativo do *Solarman Business* estará apto para novas aplicações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais da caracterização dos painéis solares usados na montagem e na supervisão da produção de energia do sistema fotovoltaico *on-grid* e no sistema fotovoltaico *off-grid*. Logo após, foi feita uma análise técnica sobre cada arranjo.

4.1 Curva *I versus V* da Placa Solar

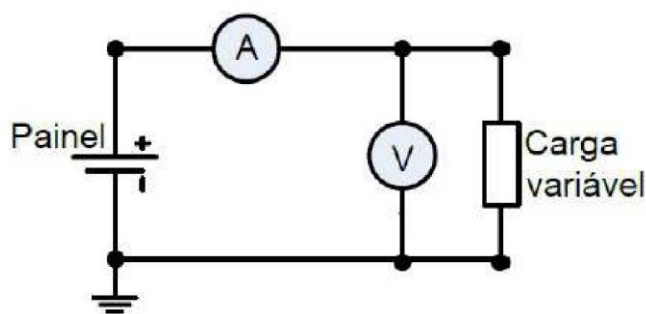
Visando caracterizar a placa solar de $20W_P$ monocristalino, da marca *Komaes Solar* (dados de placa ilustrados na Figura 30).

Figura 30 - Dados de placa do módulo fotovoltaico da *Komaes Solar*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 31 – (a) Circuito para a curva característica *I x V*. (b). Equipamentos usados para caracterização.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Foi realizado o experimento descrito na Figura 31b, onde foram usados três multímetros (um voltímetro, um amperímetro, e outro para medir temperatura na superfície da placa), um luxímetro e uma década resistiva (carga variável). Aplicou-se iluminação artificial de alta

intensidade ao painel fotovoltaico e variando-se o valor da carga na saída do módulo, anotou-se na Tabela 1 os valores mensurados.

Tabela 1. Medições para o ensaio de caracterização do painel solar.

Resistor (Ω)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Luminosidade (Lux)	Tensão medida (V)	Corrente medida (A)	Potência calculada (W)	Fator de forma (FF)	Eficiência (η)
1	27	88	0,0264	0,2488	0,00656832	0,000247685	0,002745666
2	27	88	0,0512	0,2486	0,01272832	0,000479973	0,005320648
10	27	86	0,2471	0,2452	0,06058892	0,002284753	0,025327169
40	27	87	0,9822	0,2453	0,24093366	0,009085391	0,100714248
109	27	86	2,42	0,2421	0,585882	0,022093081	0,24490835
300	27	86	6,97	0,2327	1,621919	0,061161101	0,677988923
400	27	86	8,77	0,219	1,92063	0,072425223	0,802855053
1k	27	86	12,82	0,1291	1,655062	0,062410893	0,691843244
3k	27	86	14,38	0,00479	0,0688802	0,00259741	0,028793061
4k	27	86	14,52	0,00362	0,0525624	0,001982081	0,021971951
10k	27	86	14,79	0,00148	0,0218892	0,000825422	0,009150047
20k	27	86	14,88	0,00075	0,01116	0,000420834	0,004665064
40k	27	86	14,92	0,00037	0,0055204	0,000208169	0,002307618
100k	27	86	14,94	0,00015	0,002241	8,45061E-05	0,000936775
200k	27	86	14,95	0,00007	0,0010465	3,94626E-05	0,000437454
400k	27	86	14,97	0,00003	0,0004491	1,69352E-05	0,000187731
1M	27	86	14,97	0,0000162	0,000242514	9,14498E-06	0,000101375
2M	27	86	14,94	0,000009	0,00013446	5,07037E-06	5,62065E-05
3M	27	86	14,94	0,0000065	0,00009711	3,66193E-06	4,05936E-05
4M	27	86	14,93	0,0000052	0,000077636	2,92758E-06	3,24531E-05

Fonte: Autoria própria, 2024.

O Fator de Forma (FF) foi calculado, conforme Pinho e Galdino (2014), como sendo a razão entre a máxima potência do painel solar e o produto da corrente de curto-circuito com a tensão de circuito aberto (Equação 8).

$$FF = \frac{V_{MP} * I_{MP}}{V_{OC} * I_{SC}} \quad (8)$$

Onde:

V_{MP} – Tensão para obter a máxima potência (V);

I_{MP} – Corrente obtida no ponto de máxima potência (A);

V_{OC} – Tensão de circuito aberto (V);

I_{SC} – Corrente de curto-circuito (A).

Já a eficiência do painel é dada pela Equação 9, onde é uma relação entre a potência elétrica gerada e a potência da incidência solar, conforme Pinho e Galdino (2014),

$$\eta = \frac{P_{MP}}{G * A_p} * 100\% \quad (9)$$

Onde:

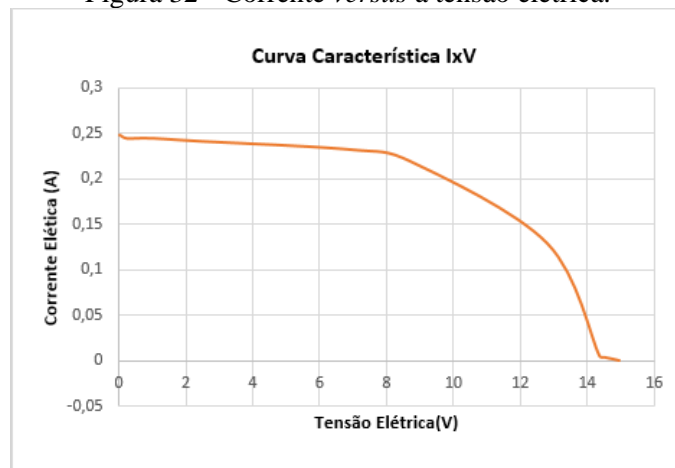
A_p - Área da placa solar (m^2);

G – Irradiância solar direta incidente no painel solar = $1367 \text{ W}/m^2$;

P_{MP} – Potência máxima obtida da curva $I \times V$.

Os dados da Tabela 1 foram plotados (Figuras 32 a 34), onde é possível ver o perfil de desempenho da placa solar ensaiada.

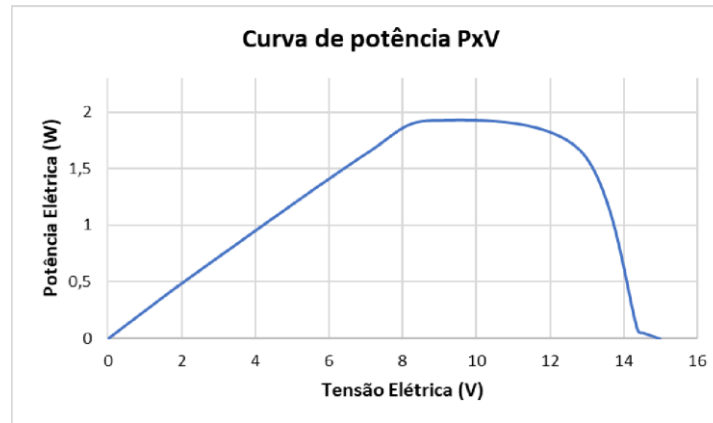
Figura 32 - Corrente *versus* a tensão elétrica.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Analisando o gráfico tensão *versus* corrente apresentado na Figura 32, percebe-se que à medida que a tensão elétrica aumenta, a corrente elétrica diminui. Esse é o resultado esperado, e está de acordo com a teoria. Além disso, pode-se observar que ao chegar próximo de 14 V, não ocorreu uma grande variação na corrente e na tensão. Isso ocorre porque a partir da tensão de 14 V, a carga colocada no circuito tinha uma resistência muito alta, e por conta disso, a variação tanto na corrente como na tensão era em escalas bem menores.

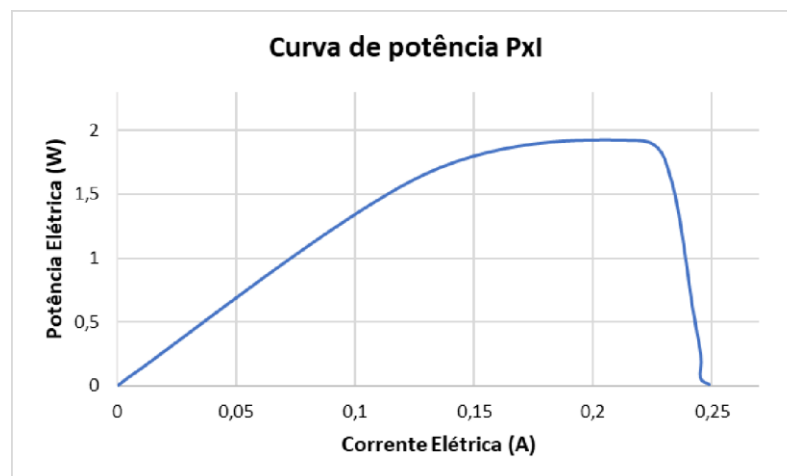
Figura 33 - Potência elétrica *versus* a tensão elétrica.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Analisando o gráfico da Figura 33, podemos perceber que, à medida que a tensão elétrica aumenta, a potência elétrica também aumenta, e isso dura por um certo tempo, até chegar em valores de tensão, onde a potência se mantém constante. Essa é a região de tensão com que se pode trabalhar usando essa placa, sem que o rendimento dela caia, pois, como é possível observar, a partir de uma tensão de 13 V, a potência elétrica cai drasticamente, ou seja, o rendimento da placa também cai. Isso ocorre porque, como foi citado anteriormente, ao chegar em um certo nível de resistência na carga, as variações de tensão ficam menores, e a potência pode ser relacionada diretamente com a resistência e com a tensão da seguinte forma: $P = \frac{V^2}{R}$

Figura 34 - Potência elétrica *versus* a corrente elétrica.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Analisando o gráfico da Figura 34, podemos perceber que, semelhante ao gráfico da tensão *versus* potência, à medida que a corrente elétrica aumenta, a potência elétrica também aumenta, e isso dura por um certo tempo, até chegar em valores de corrente, onde a potência se mantém constante. Essa é a região de corrente com que se pode trabalhar usando essa placa, sem que o rendimento dela caia, pois, como é possível observar, a partir de uma corrente de

0,24 A, a potência elétrica cai drasticamente, ou seja, o rendimento da placa também cai. Isso ocorre porque, como foi citado anteriormente, ao chegar em um certo nível de resistência na carga, as variações de corrente e de tensão ficam menores, e a potência pode ser relacionada diretamente a essas medidas elétricas. Portanto, se o valor da resistência continua aumentando, mas a tensão e a corrente mantiverem uma variação baixa, conseqüentemente, a potência tenderá a diminuir o seu valor.

4.2 Desempenho Elétrico de uma Placa Solar com e sem Refrigeração

Para a realização do experimento proposto, foi montado um aparato experimental composto por um refletor portando uma lâmpada halógena de 1.000W, utilizada como fonte de radiação e calor. Essa classe de lâmpada foi escolhida devido às características similares do seu espectro luminoso em relação à radiação solar, especialmente na faixa do infravermelho (Oliveira *et al.*, 2020).

A radiação média recebida na face dos módulos foi estimada utilizando um medidor de radiação direta modelo MES-100, capaz de calcular a radiação média em W/m^2 na sua face sensora. O sensor de radiação foi posicionado adequadamente em nove pontos equidistantes na superfície dos painéis fotovoltaicos, em seguida foi calculada a média dos valores, resultando em uma radiação média constante de $266 W/m^2$.

Para a medição das grandezas elétricas, foram utilizados dois multímetros: um para medir a tensão e outro para medir a corrente elétrica na carga. A potência elétrica foi obtida multiplicando os valores de tensão e corrente aferidos.

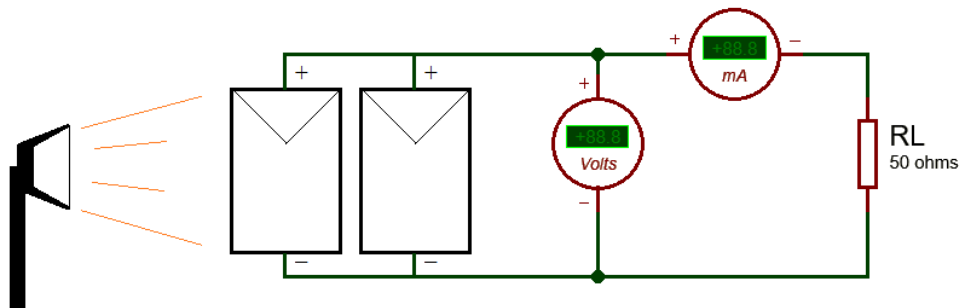
As imagens termográficas foram registradas no *backsheet* dos módulos a uma distância de 1 metro. A análise das imagens e os cálculos da temperatura média no *backsheet* foram processados por meio do *software Flir Thermal Studio*, que permite calcular a temperatura média em áreas específicas da imagem. A Figura 35 ilustra o aparato experimental utilizado nos testes, já a Figura 36 apresenta o esquema elétrico simplificado da montagem.

Figura 35 - Equipamentos utilizados durante os ensaios.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 36 - Esquema elétrico simplificado utilizado nos ensaios.



Fonte: Autoria própria, 2024.

As medições e registros de temperatura, corrente e tensão foram realizadas a cada 5 minutos, incluindo o tempo zero (início do ensaio), totalizando treze medições dentro de 1 hora para cada ensaio. Essa mesma sequência de passos foi repetida para duas configurações de teste diferentes:

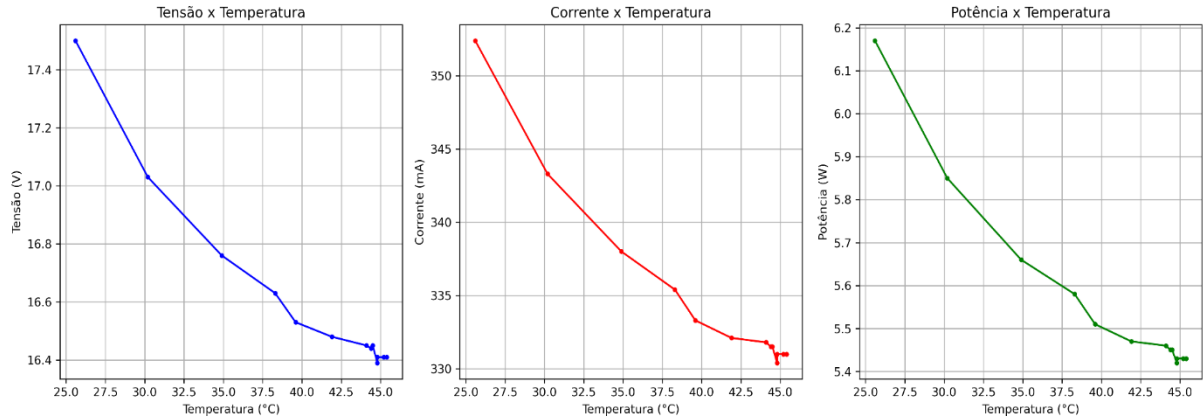
- teste 1: módulos sem refrigeração;
- teste 2: módulos refrigerados.

A refrigeração dos módulos foi feita através de um ventilador comum direcionado para a face dos módulos, sendo a velocidade média do vento de 0,9m/s e medida por meio de um anemômetro portátil.

Um parâmetro bastante importante fornecido no *datasheet* de módulos fotovoltaicos é o coeficiente de temperatura da potência, esse parâmetro descreve a sensibilidade da potência de um painel solar fotovoltaico em relação à temperatura ambiente. Em outras palavras, o coeficiente de temperatura indica a variação da potência do painel para cada aumento de 1 grau celsius na temperatura. Esse parâmetro é fornecido pelo fabricante e pode variar entre diferentes tipos de painéis solares (Kipper *et al*, 2018). Em geral, o coeficiente de temperatura de módulos

fotovoltaicos é negativo, o que significa que a potência do painel diminui à medida que a temperatura aumenta.

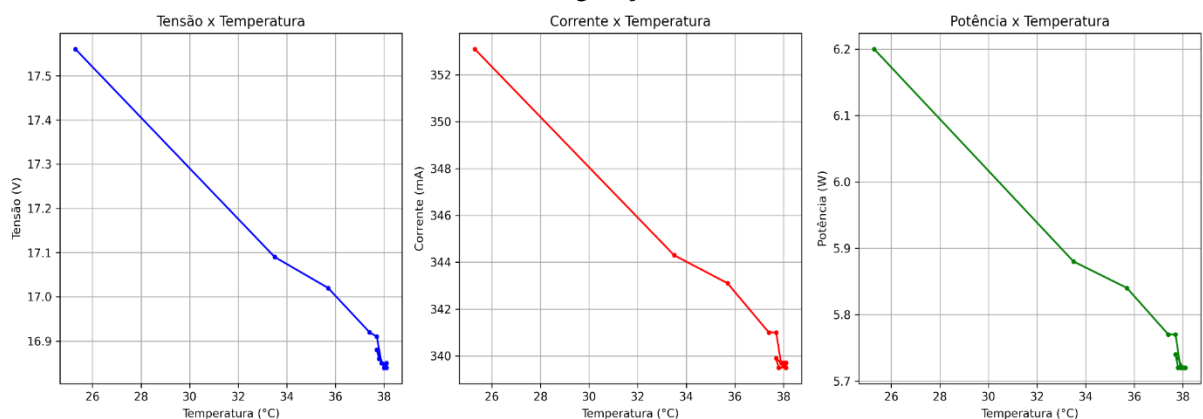
Figura 37 - Gráficos da tensão, corrente e potência em função da temperatura (módulos sem refrigeração).



Fonte: Autoria própria, 2024.

Os gráficos da Figura 37 ilustram o comportamento da tensão, da corrente e da potência em função da temperatura na superfície dos módulos solares durante o ensaio 1 (módulos sem refrigeração). Ao final do ensaio, a temperatura teve uma variação de $19,8^{\circ}\text{C}$, estabilizando-se em $45,4^{\circ}\text{C}$. Nota-se que a redução de potência para o presente teste foi significativa, tendo reduzido em $0,74\text{ W}$, o que representa uma perda de $11,99\%$ da potência inicialmente entregue à carga quando a temperatura fora de $25,6^{\circ}\text{C}$.

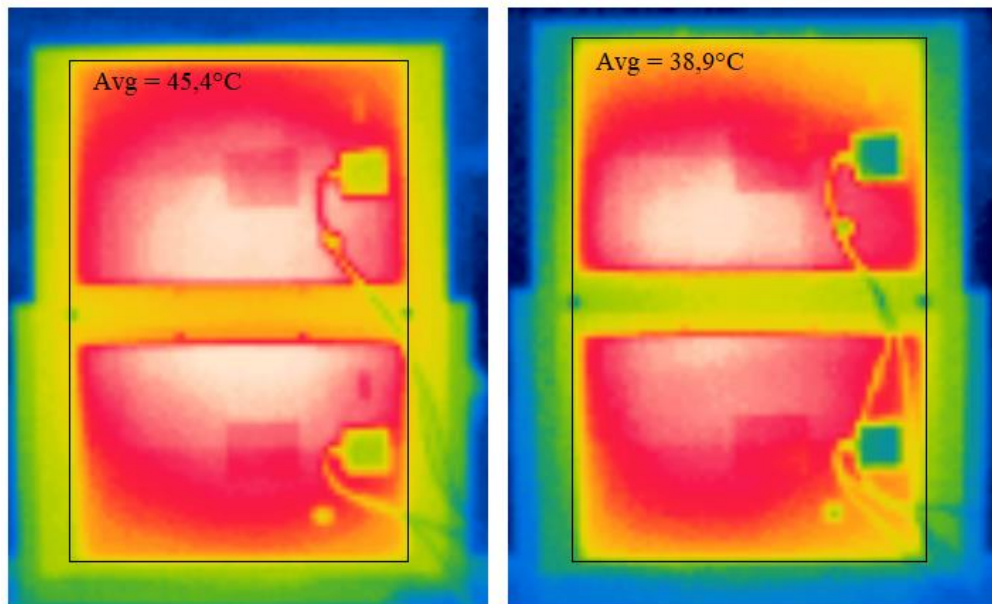
Figura 38 - Gráficos da tensão, corrente e potência em função da temperatura (módulos com refrigeração).



Fonte: Autoria própria, 2024.

A Figura 38 ilustra os perfis da tensão, da corrente e da potência em função da temperatura na superfície dos módulos solares durante o ensaio 2 (módulos com refrigeração), neste cenário foi mantido a radiação média de 266 W/m^2 e a velocidade do vento de $0,9\text{ m/s}$, a taxa de variação média da potência em relação à temperatura foi de $0,0377\text{ W/}^{\circ}\text{C}$.

Figura 39 - Imagens termográficas: à esquerda tem-se os módulos sem refrigeração e à direita com refrigeração.



Fonte: Autoria própria, 2024.

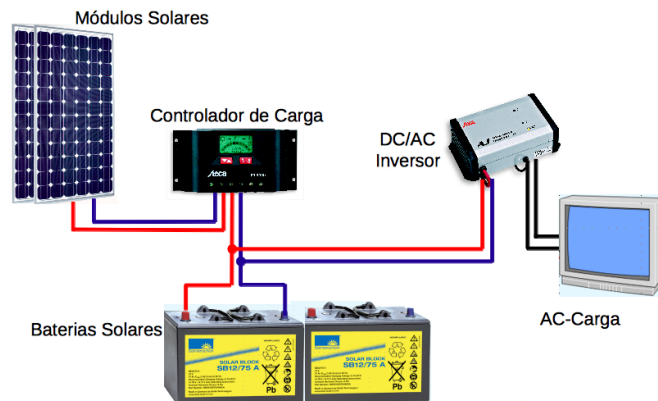
Na Figura 39, é possível observar as imagens termográficas de ambos os ensaios após 1 hora, juntamente com suas respectivas temperaturas médias no *backsheet*. Na imagem da esquerda, é evidente uma maior área coberta por pontos vermelhos, indicando uma temperatura média mais elevada. Essa imagem corresponde ao teste sem refrigeração, com uma temperatura média de 45,4 °C ao final de 1h de testes. Já a imagem da direita apresenta o teste com refrigeração, que apresentou uma temperatura média de 38,9 °C. A redução na temperatura média do *backsheet* ocorreu devido à aplicação de refrigeração forçada, que reduziu a temperatura em 14,3% por meio da convecção, resultando em um aumento na potência e aumento consequentemente de sua eficiência.

4.3 Montagem de um Sistema Fotovoltaico Isolado (*off-grid*)

Na Figura 40 é ilustrado sistema FV isolado, sendo composto de dois painéis solares de 12V/20 W, duas baterias estacionárias de 12 V, um controlador de carga 12V/20 A com tecnologia PWM, o conversor CC-CA de 300 W (12V_{CC} para 220V_{CA}) e a carga CA (representada pela televisão).

Figura 40 - Ligação do sistema FV isolado.

- Sistema AC (12/24 V DC / 220 Volt AC)



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 41 - Módulo fotovoltaico de 20 WP monocristalino, da marca *Komaes Solar*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Figura 41 é ilustrado o módulo solar usado na montagem experimental já na Figura 42 é ilustrado o controlador de carga da marca *Epever*.

Figura 42 - Controlador de cargas 12/20 A da marca *Epever*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O controlador de carga protege a bateria estacionária contra sobrecarga ou descarga repentina e mantém sua vida útil. A função do controlador de carregamento é manter a bateria

ativa, gerando uma corrente de alimentação maior que a descarga automática do sistema. A finalidade deste equipamento é também carregar a bateria e equilibrar os diferentes fluxos de energia que ocorrem quando utilizados simultaneamente. Este processo é chamado de parada. O controlador de carregamento está localizado entre o painel solar e a bateria e é usado para controlar a tensão de entrada da bateria.

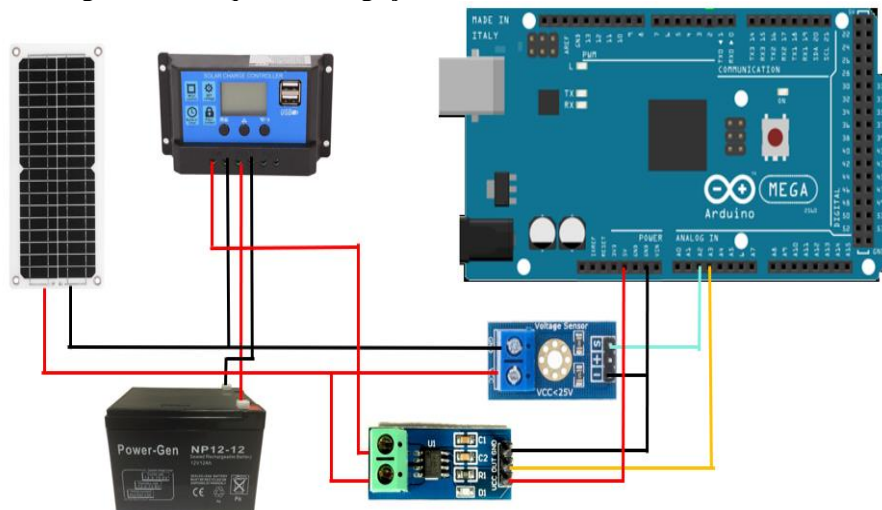
Na Figura 43 é ilustrado um sistema isolado montado em laboratório, alimentando duas lâmpadas LED de 9 W cada. Para o experimento foi utilizada luz artificial (simular o sol), por meio de um refletor com lâmpada halógena de 1.000 W.

Figura 43 - Sistema FV isolado montado em laboratório.



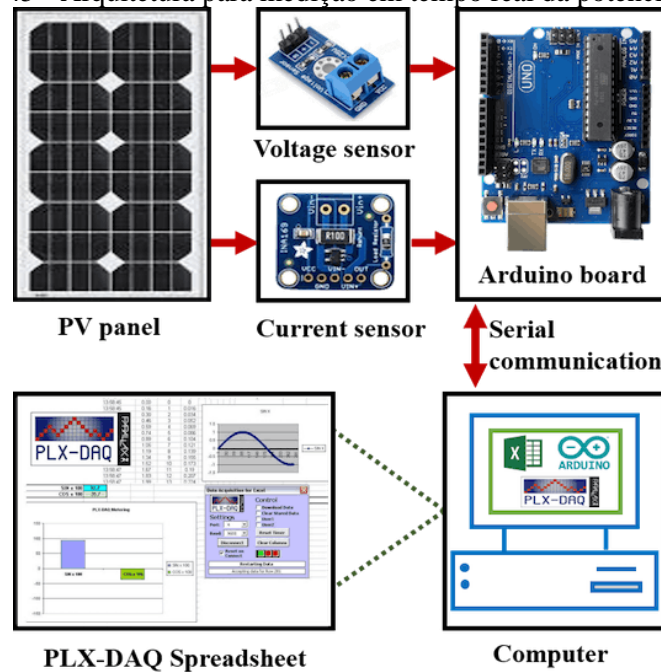
Fonte: A autoria própria, 2024.

Figura 44 - Esquema de ligação dos sensores de corrente e tensão.



Fonte: A autoria própria, 2024.

Figura 45 - Arquitetura para medição em tempo real da potência gerada.



Fonte: El Hammoumi *et al*, 2018.

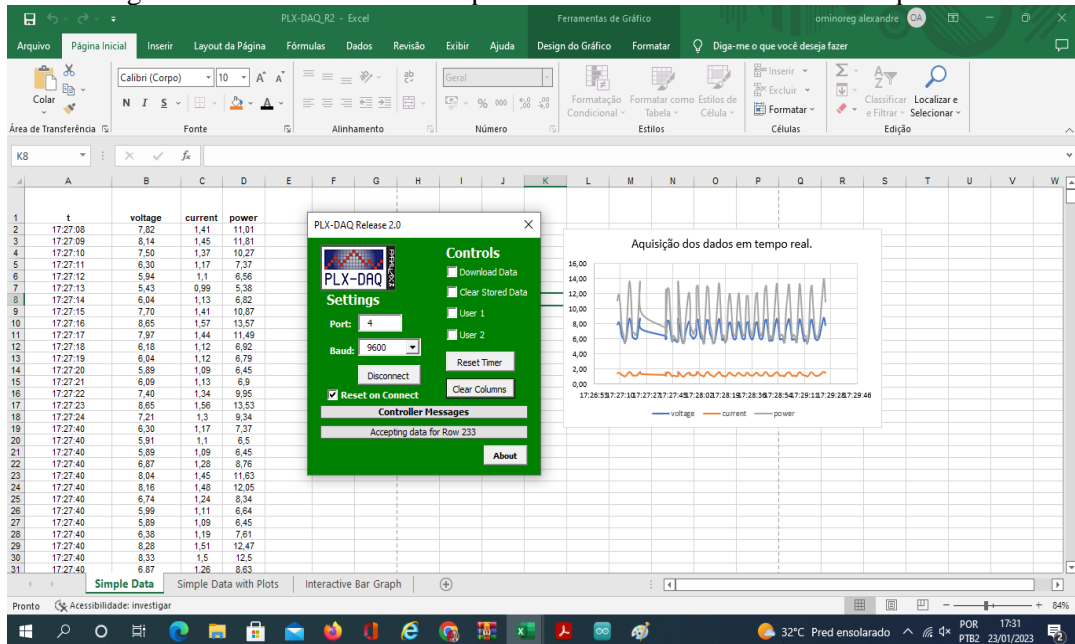
Visando monitorar a produção de energia foi montado a instrumentação das Figuras 44, utilizada para mensurar a potência gerada, usando os sensores de tensão DC 0-25V e sensor de corrente CC ou CA modelo ACS712 30A. Já na Figura 45 é ilustrado o fluxo de dados da medição da supervisão local no Excel, com detalhe da comunicação RS232.

A supervisão remota do processo foi implementada por meio do aplicativo Bluetooth desenvolvido na plataforma MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) *inventor*, usado o módulo HC-05 que se conecta a placa Arduino UNO R3, recebendo os dados dos sensores de tensão e corrente disponíveis na porta serial e em seguida disponibilizando na tela do aplicativo.

Neste trabalho foi utilizado o módulo Bluetooth HC-05 para comunicar-se com o Arduino (portas RX e TX), por ser um *hardware* fácil de usar e prototipar, é barato e facilmente encontrado no mercado. Este módulo pode trabalhar tanto em modo mestre (faz e aceita pareamento com outros dispositivos) como no modo escravo (apenas aceita pareamento).

A Figura 46 ilustra a tela da aplicação gerada quando configura-se a macro PLX-DAQ no Excel para a supervisão da potência gerada. A placa Arduino Uno R3 recebe os dados dos sensores e em tempo real plota o gráfico na janela do Excel, a taxa de amostragem (*baud rate*) usada foi de 9.600. Todo o monitoramento do processo é realizado localmente, que possibilita o monitoramento em tempo real dos dados (atualização a cada 1 segundos), o envio diário dos dados medidos e exportação dos dados em formato de tabelas e/ou gráficos. Sendo assim, o microcontrolador Arduino Uno R3 comportou-se com um *hardware* de alto desempenho.

Figura 46 - Tela do Excel na supervisão dos dados medidos em tempo real.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O vídeo do funcionamento do sistema FV isolado com supervisão via PLX-DAQ está disponível no YouTube (disponível em https://www.youtube.com/watch?v=E-oA0g7d_Ts, acesso em 14 nov. 2024).

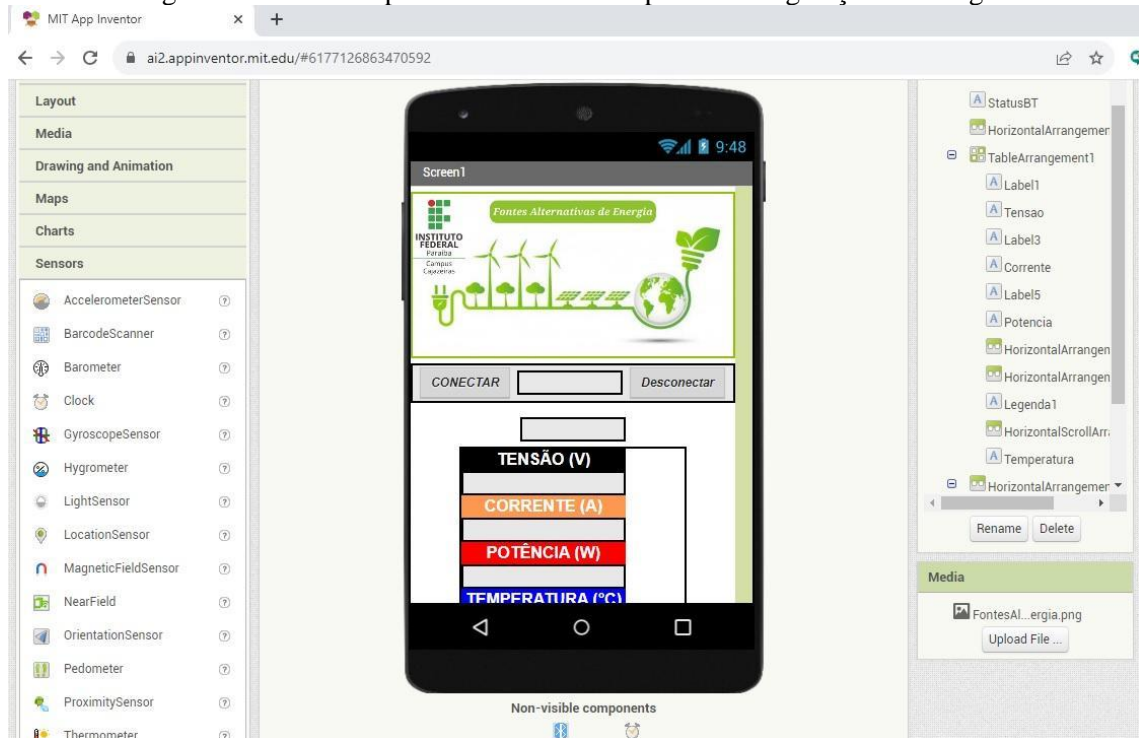
O aplicativo mobile de supervisão remota foi desenvolvido usando a plataforma de desenvolvimento *web MIT App Inventor*. Inicialmente o usuário, baixa o *App FAE Energy* (arquivo apk) disponível no *Play Store* Google, em seguida instale no seu dispositivo, ao clicar duas vezes no Aplicativo instalado, abrirá a tela de pareamento do aplicativo com o módulo Bluetooth HC-05, conforme Figura 47. Em seguida o usuário será levado a tela de monitoramento da potência gerada (Figura 48).

Figura 47 - Pareamento do aplicativo com o módulo HC-05.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 48 - Tela do aplicativo mobile de supervisão da geração de energia.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O aplicativo irá mostrar na tela do celular os dados de tensão, corrente, potência gerada e temperatura na superfície do painel solar. Durante os testes experimentais de validação do Aplicativo na operação do processo didático foi observado um atraso no envio / recebimento dos dados de aproximadamente 2 (dois) segundos, sendo um tempo insignificante quando comparado com a dinâmica da planta elétrica (minutos).

O vídeo do funcionamento do sistema FV isolado, com supervisão via aplicativo *mobile*, está disponível no YouTube (disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=frwZs89BYK0>, acesso em 07 nov. 2024).

4.4 Montagem de um Sistema Fotovoltaico Conectado com a Rede Elétrica

A Figura 49 ilustra o sistema fotovoltaico conectado com a rede elétrica (*on-grid*), formado por dois painéis de 300W cada e um microinversor, montado no telhado didático do IFPB (Instituto Federal de Educação da Paraíba) *Campus Cajazeiras*, com monitoramento da produção de energia via aplicativo da *Solarman*.

A primeira etapa da montagem do sistema de geração solar foi a fixação das estruturas de suporte dos painéis solares. Neste caso, utilizaram-se trilhos de alumínio para sustentar os módulos fotovoltaicos. Esses perfis foram fixados no telhado utilizando parafusos e suportes específicos para esta função, como podemos acompanhar na Figura 50.

Figura 49 - Sistema fotovoltaico conectado com a rede elétrica (*on-grid*).



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 50 - Estrutura para fixação dos painéis instalados.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Em seguida foi realizada a fixação dos painéis solares (Figura 51), onde foram posicionados sobre os trilhos de alumínio e fixados com grampos de fixação específicos para essa atividade. Cada módulo foi fixado com quatro suportes para garantir segurança e estabilidade da estrutura.

Figura 51 - Módulos fotovoltaicos fixados.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Após realizar a fixação dos módulos fotovoltaicos na estrutura, foram realizadas as conexões em série entre os módulos (Figura 52). Utilizaram-se conectores MC4 para garantir segurança e facilidade na montagem. Neste caso, os painéis utilizados foram de 345 W de potência, sendo conectados nas entradas PV2 e PV4 do inversor.

Figura 52 - Módulos conectados ao microinversor *Deye* de 2kW.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O inversor foi instalado próximo aos painéis solares (Figura 53), local desenvolvido especificamente para a fixação de equipamentos como esse, próximo ao ponto de acesso ao Laboratório de Eletrônica, em uma área segura e protegida contra adversidades. As conexões entre os painéis e o inversor foram realizadas utilizando cabos CC (Corrente Contínua) específico para sistemas de geração solar, resistente a altas temperaturas e raios UV.

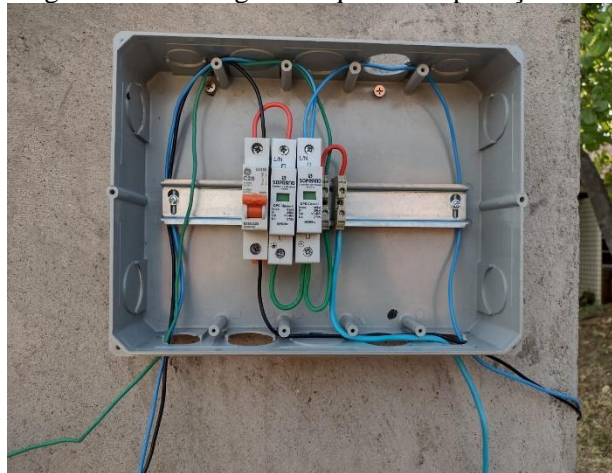
Figura 53 - Microinversor instalado.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Foi montado um quadro de proteção CA na saída do inversor (Figura 54), contendo um disjuntor e dois dispositivos de proteção contra surtos (DPS). O quadro foi montado no mesmo local do inversor, próximo ao ponto de acesso ao Laboratório de Eletrônica, onde foi ligado a uma das tomadas do laboratório, sendo conectado a parte CA (Corrente Alternada) do inversor. Esse quadro tem a função de proteger o sistema contra eventuais sobrecargas e surtos elétricos, garantindo segurança tanto para o equipamento quanto para os usuários.

Figura 54 - Montagem do quadro de proteção CA.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na sequência foram medidas as tensões nas PV2 e PV4 sendo de 31 V e a tensão na saída CA sendo constatado a tensão de 217 V. Na Figura 55 é ilustrado os detalhes do aterramento do lado CA.

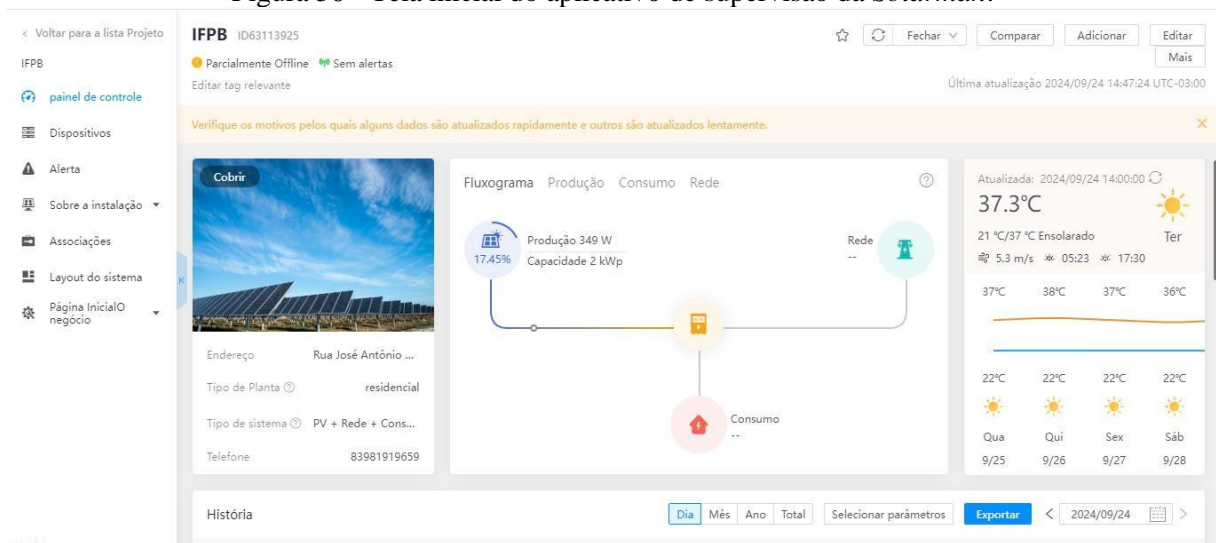
Figura 55 - Detalhes do aterramento do lado CA.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Figura 56 é ilustrado a tela inicial aplicativo de monitoramento da *Solarman* onde é ilustrado os detalhes do sistema FV *on-grid* (geração, consumo e rede elétrica).

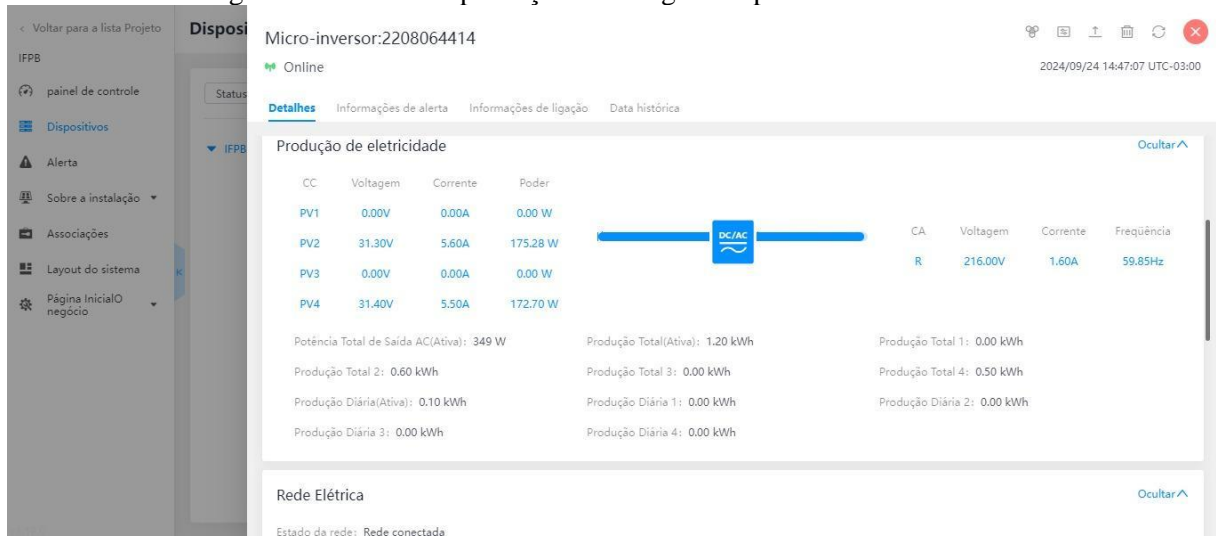
Figura 56 - Tela inicial do aplicativo de supervisão da *Solarman*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Figura 57 é ilustrado os dados da produção de energia no aplicativo de monitoramento da *Solarman*, onde podemos observar que as PV2 e PV4 estão produzindo 175W cada, já no lado CA temos as seguintes grandezas elétrica, uma tensão de 216 V, corrente de 1,6A e a frequência de 59,85Hz, estando em acordo com as NDU 13 e 15 da Energisa que estabelece os requisitos para geração distribuída (Critérios para a conexão em baixa tensão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição).

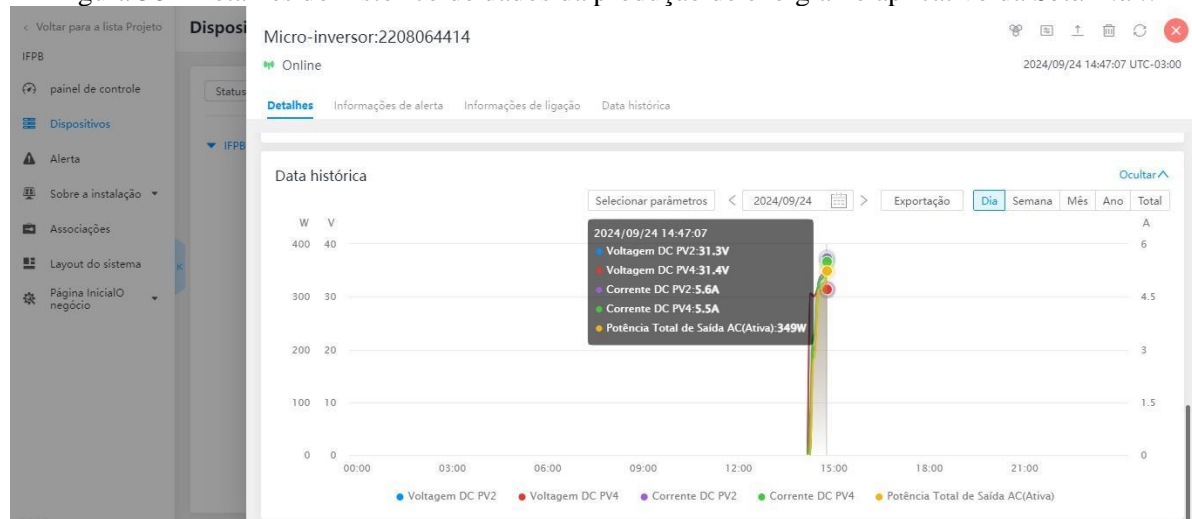
Figura 57 - Dados da produção de energia no aplicativo da *Solarman*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O aplicativo de monitoramento é completo fornecendo informações dos módulos, do microinversor e do *datalogger*, além de permitir a supervisão da produção de energia de vários sistemas FV em diferentes edificações. Na aba microinversor dos detalhes da produção de energia (lado CC e lado CA), ele fornece informações de alerta, detalhes da ligação e o histórico dos dados da produção, na Figura 58 é ilustrada a série histórica no início do experimento. A montagem aconteceu no dia 24/09/2024 e o sistema ficou ligado das 14h às 18h.

Figura 58 - Detalhes do histórico de dados da produção de energia no aplicativo da *Solarman*.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O vídeo do funcionamento do sistema FV conectado à rede elétrica, com supervisão via aplicativo da *Solarman*, está disponível no Google Drive (disponível em: https://drive.google.com/file/d/1yUZHRzprYamMw41fv6FBfsBdiB_fu-Dt/view?usp=sharing, acesso em 04 dez. 2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho reuniu informações de como obter energia elétrica por meio de um sistema de geração fotovoltaica, detalhando os seus dois principais tipos de montagem dos sistemas, sendo o sistema ligado à rede (*on-grid*) e o sistema não conectado com a rede elétrica (*off-grid*), detalhando todas as etapas de montagem e instalação dos sistemas FV isolado e conectado. O desenvolvimento de aplicações de supervisão local e remoto para a geração no caso de sistemas FV isolados, como também foi feita a configuração da plataforma de supervisão *Solarman*, que foi utilizada para acompanhar todos os dados de geração do sistema em tempo real do sistema conectado com a rede elétrica.

Durante a execução do trabalho, foram superados obstáculos relacionados à instalação da estrutura de fixação e os módulos fotovoltaicos no telhado, à realização da configuração elétrica do sistema e à escolha dos equipamentos, demonstrando a importância de um planejamento realizado até a montagem ser concluída. O uso da plataforma *Solarman* como ferramenta de monitoramento trouxe benefícios significativos, permitindo o acompanhamento em tempo real dos dados de geração, detecção antecipada de problemas e falhas, além do armazenamento de todo o histórico de geração.

No tocante a supervisão local e remota desenvolvida para o monitoramento das variáveis de decisão da geração do sistema FV *off-grid* em tempo real via a plataforma de *hardware* microcontrolado *Open Source*, atingiu boa confiabilidade dos dados mensurados, baixo consumo energético e mínimo atraso (taxa de latência de $2\mu\text{s}$) entre a leitura e a exibição na tela de monitoramento.

O trabalho, portanto, atingiu os objetivos estabelecidos, mostrando que os sistemas de geração foram capazes de trabalhar de forma eficiente. Com isso, a utilização de sistemas como esse contribuem para que os custos de energia elétrica sejam reduzidos, conseqüentemente contribuem para uma maior sustentabilidade ambiental. Como trabalhos futuros, sugere-se: o monitoramento da carga e a descarga das baterias no caso do sistema FV isolado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2019.

ANGELA, Juliana; URBANETZ, Jair. **Energia solar fotovoltaica**: princípios fundamentais. Atena editora, 2022.

CANAL SOLAR. **Sistema off-grid**: como funciona? 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/sistema-off-grid-como-funciona/t>. Acesso em 02 nov. 2024.

EL HAMMOUMI, Aboubakr; MOTAHHIR, Saad; CHALH, Abdelilah; EL GHZIZAL, Abdelaziz; DEROUICH, Aziz. Low-cost virtual instrumentation of PV panel characteristics using Excel and Arduino in comparison with traditional instrumentation. **Renewables: Wind, Water, and Solar**, 2018. Springer Open. Disponível em: <https://sustainenergyres.springeropen.com/articles/10.1186/s40807-018-0049-0>.

ENERGIA SOLAR MASTER. **Passo a passo de como dimensionar um sistema solar**. [2024]. Disponível em: <https://energiasolarmaster.com.br/2022/02/01/passo-a-passo-de-como-dimensionar-um-sistema-solar/>. Acesso em 9 nov. 2024.

FADIGAS, Amaral. **Energia solar fotovoltaica**: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica. GEPEA - Grupo de Energia Escola Politécnica, 2012.

FREYR ENERGY. **Advantages of on-grid solar system**. [2024]. Disponível em: <https://freyrenergy.com/advantages-of-on-grid-solar-system/>. Acesso em 17 out. 2024.

GOOGLE DRIVE. **Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico on-grid**. 2024. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1-uzfY9mMFZWXnFYxJXUeGVkGAjaIGM4h/view?usp=sharing>. Acesso em: 20 nov. 2024.

IDEAL ENERGIA SOLAR. **Existem pré-requisitos para a instalação de placas solares fotovoltaicas**. 2019. Disponível em: <https://idealenergiasolar.com.br/existem-pre-requisitos-para-a-instalacao-de-placas-solares-fotovoltaicas/>. Acesso em 22 set. 2024.

INGETEAM. **Aplicativo de monitoramento**. 2023. Disponível em: <https://www.ingeteam.com/br/pt-br/home.aspx>. Acesso em 7 nov. 2024.

INTELBRAS. **Aplicações da energia solar fotovoltaica**. 2020. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/aplicacoes-da-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em 24 set. 2024.

KIPPER, Felipe Detzel; GASPARIN, Fabiano Perin; KRENZIGER, Arno. Análise da variação dos coeficientes térmicos de módulos fotovoltaicos com a irradiância. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. **Anais**. Gramado – RS, 2018.

LIVOLTEK. **Sistema de monitoramento inteligente**: aplicativo/web. 2020. Disponível em: <https://www.livoltek.com.br/>. Acesso em 7 nov. 2024.

MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de Marketing: Uma Orientação Aplicada**. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

MIT App Inventor. **Plataforma de desenvolvimento Web**. Disponível: <http://appinventor.mit.edu/>. Acesso em: 21/11/2024.

NASCIMENTO, Álvaro. **Geração fotovoltaica distribuída como elemento subsidiário para sistemas de armazenamento de energia em ambiente de tarifas diferenciadas**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215667>. Acesso em 05 nov. 2024.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. 2019. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em 05 nov. 2024.

OCA ENERGIA. **Quais são os componentes de um sistema fotovoltaico**. 2020. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/quais-sao-os-componentes-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em 25 out. 2024.

VINÍCUIS, Oliveira; PROTASIO, Souza; MIRANDA, Marcelo; ALESSANDRO, Silva; ROCHA, Baiocchi. **Absorvedor solar baseado em liga quasicristalina aplicado em geração de energia elétrica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8. **Anais**. Fortaleza, 2020.

PARALLAX. **Download da ferramenta PLX-DAQ**. Disponível em: <https://www.parallax.com/package/plx-daq.2020> .Acesso em: 19/11/2024.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL - CRESESB, 2014.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SILVA, Alexandre; LOPES, Alexandre. **Fundamentos da energia solar fotovoltaica**. Nilópolis: Instituto Federal do Rio de Janeiro, 2022.

SOLAR EDGE. **O sistema de energia solar residencial**. Disponível em: <https://www.solaredge.com/br>. Acesso em 7 nov. 2024.

SOLAR PRIME. **Monitoramento de energia solar: como funciona e sua importância**. 2024. Disponível em: <https://solarprime.com.br/monitoramento-energia-solar/#:~:text=Como%20acompanhar%20o%20gasto%20de,ou%20do%20navegador%20da%20internet>. Acesso em 07 nov. 2024.

SOLARMAN. **Solarman Smart: Why Choose SOLARMAN**. 2020. Disponível em: <https://www.solarmanpv.com/>. Acesso em 7 nov. 2024.

SOLARVOLT. **Kit de energia solar: qual a vida útil dos equipamentos**. Solarvolt Energia, 2015. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>. Acesso em 03 nov. 2024.

SOFIA, Susana. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10198/2098>. Acesso em 20 out. 2024.

VERGARA, Silva. **Gestão de pessoas**. 15. ed. São Paulo: Atlas, 2014.