



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE MONTEIRO FRANÇA

**ENERGIA SOLAR NO BRASIL EM 2023 E SISTEMAS DE MEDIDO-
RES DE ENERGIA INTELIGENTES PARA UNIDADES COM ENERGIA
SOLAR**

FORTALEZA
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F881e França, Felipe Monteiro.

Energia solar no brasil em 2023 e sistemas de medidores de energia inteligentes para unidades com energia solar / Felipe Monteiro França. – 2023.

49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Fernando Luiz Marcelo Antunes.

Coorientação: Prof. Me. Kevin Rabelo Costa.

1. Energia Solar. 2. Geração Distribuída. 3. Medidores Inteligentes. 4. Medidores Inteligentes. 5. Redes Elétricas Inteligentes. I. Título.

CDD 621.3

FELIPE MONTEIRO FRANÇA

ENERGIA SOLAR NO BRASIL EM 2023 E SISTEMAS DE MEDIDORES DE ENERGIA INTELIGENTES PARA UNIDADES COM ENERGIA SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Fernando Luiz Marcelo Antunes

Coorientador: MSc. Kevin Rabelo Costa

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fernando Luiz Marcelo Antunes (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Kevin Rabelo Costa (Coorientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Kassio Derek Nogueira Cavalcante

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Menaouar Berrehil El Kattel

Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato a minha namorada Raquel por todo amor, carinho, compreensão e por sempre me apoiar em todos os meus projetos e ser uma companheira tão presente. Aos meus pais por terem investido na minha educação e nunca terem desistido de mim e da minha graduação. Ao Prof. PhD. Fernando Luiz Marcelo Antunes pela ótima orientação e por ter mantido meu projeto de TCC apesar de todos os percalços. Aos amigos e colegas da turma Claudivan, Filipe Viana, André, Magno, Maurisson, Artur Nogueira, Yan, Janderson, Lucas Allan, Luis Eduardo, Philippe Romão, Yuri e Filipe Diógenes por todas as conversas, apoios e momentos.

Gratidão por ter sobrevivido a um momento tão conturbado e sensível de pandemia durante minha graduação e poder estar aqui para finalizá-la.

"Eu não sei o que quero ser, mas sei muito bem o que não quero me tornar". –
Nietzsche

RESUMO

A geração distribuída é algo que vem ganhando bastante espaço na sociedade moderna. No Brasil, ela começou a ser implementada através da RN nº 482/2012, e possibilita que o consumidor gere sua própria energia e injete o excedente na rede da concessionária. Hoje, a energia solar fotovoltaica tem sido a principal fonte de geração distribuída no Brasil, representando acima de 95% do total. Em 2019, o país possuía 1GW de potência instalada, que dobrou para 2GW em janeiro de 2022 e chegou a 3GW em junho desse mesmo ano. Hoje, tem-se mais de 11GW de potência instalada de Geração Distribuída no país. É utilizado no Brasil, nas unidades com geração de energia solar fotovoltaica, um medidor bidirecional instalado pela concessionária o qual mede apenas a diferença instantânea entre o que é consumido. Isso por si só é algo bastante limitante pois deixa o consumidor impossibilitado de acompanhar realmente o que está sendo gerado e o que está sendo consumido em sua unidade através da sua fatura de energia. Nesse trabalho toma-se como base a dissertação de mestrado por título “Sistema de Monitoramento e Gerenciamento de Energia Baseado no Protocolo MQTT para unidades com Geração Distribuída” (Costa, Kevin), e propor-se-á possíveis usos e soluções utilizando essa tecnologia.

Palavras-chave: Geração Distribuída, Casas Inteligentes, Smart Grid, Eficiência Energética, Medidores Inteligentes.

ABSTRACT

Distributed generation is something that has been gaining a lot of space in modern society. In Brazil, it began to be implemented through RN n° 482/2012, and allows the consumer to generate their own energy and inject the surplus into the concessionaire's network. Today, photovoltaic solar energy has been the main source of distributed generation in Brazil, representing over 95% of the total. In 2019, the country had 1GW of installed power, which doubled to 2GW in January 2022 and reached 3GW in June of that same year. Today, we have more than 11GW of installed Distributed Generation power in the country. In Brazil, in units with photovoltaic solar energy generation, a bidirectional meter installed by the concessionaire is used, which only measures the instantaneous difference between what is consumed. This in itself is quite limiting as it leaves the consumer unable to really monitor what is being generated and what is being consumed in their unit through their energy bill. This work is based on the master's thesis titled "Energy Monitoring and Management System Based on the MQTT Protocol for Distributed Generation Units" (Costa, Kevin), and we will propose possible uses and solutions using this technology.

Key-words: Distributed Generation, Smart Homes, Smart Grid, Energy Efficiency, Smart Meters.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -	Evolução da geração solar no Brasil Infográfico ABSOLAR de janeiro de 2023.	11
Figura 2 -	Composição matriz elétrica do Brasil Infográfico ABSOLAR de janeiro de 2023.	12
Figura 3 -	Divisão matriz elétrica no Brasil Infográfico ABSOLAR de outubro de 2023	13
Figura 4 -	Exemplificação horários ponta, fora ponta e intermediário para tarifação branca.	15
Figura 5 -	Comparativo entre tarifação branca e convencional.	16
Figura 6 -	Visão macro do sistema.	25
Figura 7 -	Protótipo experimental.	27
Figura 8 -	Arquitetura do sistema.	28
Figura 9 -	<i>String</i> enviada ao <i>broker</i> MQTT.	30
Figura 10 -	Parte 1 do Fluxograma do firmware.	31
Figura 11-	Parte 2 do Fluxograma do firmware	32
Figura 12 -	Página criada para o acionamento das cargas.	33
Figura 13 -	Vista da aplicação web com dados.	34
Figura 14 -	Conexões elétricas	36
Figura 15 -	Funções básicas do software.	37
Figura 16 -	Interface do <i>software</i> .	39

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela 1 – Precisão do módulo PZEM-004T

26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
GW	Gigawatts
GD	Geração Distribuída
MW	Megawatts
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
RN	Resolução Normativa
RTC	<i>Real Time Clock</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
IoT	<i>Internet of Thing</i>
SI	Segurança da Informação
NBR	Norma Brasileira
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
V	Volts
W	Watts
Hz	Hertz
kWh	Kilowatt hora
OTA	<i>Over-The-Air</i>
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
FP	Fator de Potência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	07
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	09
2.1	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	09
2.1.1	Diferença entre efeito fotoelétrico e fotovoltaico	09
2.1.2	Energia solar fotovoltaica no Brasil hoje	10
2.1.3	Tarifação no Brasil	13
2.1.3.1	Grupo A	13
2.1.3.2	Grupo B	14
2.1.3.3	Resolução Normativa nº 482/2012	16
2.1.3.4	Impactos da Lei 14.300/2022 na tarifação e no mercado	17
2.2	SMART GRID	18
2.2.1	Medidores inteligentes	18
2.2.1.1	Transmissão de dados	20
2.2.1.2	Protocolos de comunicação e servidor	20
2.2.2	Sistema SCADA	20
2.2.3	Internet das Coisas (IoT)	21
2.2.4	Segurança dos sistemas	22
2.2.4.1	Conceito de Segurança da Informação	23
2.3	MEDIDOR INTELIGENTE PARA UNIDADES COM PAINAIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR	24
2.3.1	Sistema proposto	25
2.3.2	Hardware e medição	25
2.3.3	Programação do sistema	29
2.3.4	Aplicação web do sistema	32
2.4	SISTEMA PARA DETECÇÃO DE FALHAS EM PLACAS FOTOVOLTAICAS	34
2.4.1	Sistema proposto	34
3.	POSSÍVEIS SOLUÇÕES E APLICAÇÕES COM O USO DE MEDI- DORES INTELIGENTES EM UNIDADES COM ENERGIA SOLAR	39

4. **CONCLUSÃO** 41

REFERÊNCIAS 43

1 INTRODUÇÃO

É de suma importância para o bom funcionamento da rede que sejam formas de mensurar e controlar a distribuição da energia elétrica. Hoje em dia, a energia possui um nível de importância indispensável para a sociedade e as medições de suas grandezas e variações geram diversos benefícios em todos os âmbitos, seja para o consumidor, seja para a concessionária, seja para a rede como um todo.

Hoje, a energia solar fotovoltaica é a principal fonte de geração distribuída no Brasil, representando acima de 95% do total e possuímos mais de 11GW de potência instalada de GD no país.

O uso de GD que está, atualmente, bastante difundido em diversas áreas e locais da sociedade brasileira, trouxe consigo a necessidade de haver cada vez mais uma evolução nas tecnologias utilizadas para que se tenha mais segurança, maior eficiência e melhor controle dos consumos e potência gerada. Segundo Costa *et al.* (2021), existe uma necessidade por melhorias nos sistemas de medição para que haja mais transparência e controle da eficiência para o consumidor.

O medidor inteligente, segundo Garcia et al. (2017) precisa ter três características que os medidores convencionais não possuem, sendo estas: a transferência de dados bidirecional, seja entre consumidor e medidor ou concessionária e medidor, publicação regular de dados em intervalos curtos de tempo e a possibilidade de enviar medições em alta frequência.

Tomando por base todos esses pontos e panorama atual do nosso país, é de extrema importância que, além da implementação de medidores inteligentes, sejam maneiras e métodos de utilizar os dados medidos para trazer benefícios para o consumidor, a concessionária e a sociedade como um todo. Algumas ideias que serão abordadas nesse trabalho serão de programas que com esses dados consigam trazer análises e soluções para diversos aspectos, como: Detecção de anomalias, análise de consumo de energia, otimização da geração distribuída, gerenciamento de energia, previsão de geração, planejamento de manutenção, detecção de fraudes, redução de perdas de energia e previsão de preços de energia. Essas são apenas algumas das aplicações potenciais do uso de programas e de *machine learning* em combinação com dados de medidores inteligentes. A capacidade de processar gran-

des volumes de dados em tempo real e aprender com eles torna o aprendizado de máquina uma ferramenta valiosa para otimizar a geração, distribuição e consumo de energia em ambientes de geração distribuída.

Serão abordados no capítulo 2 aspectos gerais sobre energia solar fotovoltaica no geral e com enfoque no Brasil. Teremos informações a cerca de tarifação, lei 14.300/2022, *smart grid*, medidores inteligentes e informações a cerca do que é necessário para seu funcionamento, segurança e confiabilidade. Serão citados e também dois sistemas desenvolvidos em trabalhos de mestrado e TCC com a proposta de trazer soluções inteligentes para unidades com energia solar.

Por fim, no capítulo 3 serão apresentadas propostas de possíveis aplicações que podem beneficiar tanto o consumidor quanto a concessionária com a utilização dos medidores inteligentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados aspectos gerais importantes para que se entenda o trabalho, bem como serão citadas as regulamentações e normativas que unidades com geração distribuída estão submetidas. Além disso, será citado alguns aspectos sobre a evolução nas ciências de dados e *machine learning*.

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Neste tópico serão abordados assuntos sobre energia solar fotovoltaica, explicando um pouco seu funcionamento, cenário no Brasil, tarifação e aspectos importantes trazidos pela criação da LEI 14.300/2022.

2.1.1 Diferença entre Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico

A Energia Solar Fotovoltaica é aquela gerada a partir do efeito fotovoltaico. Esse efeito por sua vez é diferente do Efeito Fotoelétrico. O Efeito Fotoelétrico é o que ocorre quando diante da exposição à radiação da luz em certas frequência, determinados materiais, geralmente metálicos, emitem um grande número de elétrons. Quando esse efeito ocorre, os fótons transferem sua energia aos elétrons de carga baixa dos átomos e esses são liberados. Quanto maior a frequência dos fótons, maior a energia cinética dos elétrons. Já o Efeito Fotovoltaico é a geração de corrente elétrica em um semicondutor quando exposto a luz, seja ela do sol ou de qualquer outra fonte de luz.

As células fotovoltaicas utilizadas atualmente são geralmente feitas de silício. As células são compostas por duas metades de silício, que ao combinadas com outros materiais, alteram sua estrutura eletrônica. É criada então uma metade que definimos como positiva e outra como negativa. Na área de contato entre as metades, temos um campo elétrico que impede que os elétrons de um lado cheguem à outra. Com a entrada da luz, os elétrons das camadas externas ganham energia para param de sofrer a força de atração dos átomos e se tornarem elétrons livres. Os elétrons então se acumulam na parte negativa; na face das células encontramos uma grade muitofina que captura os elétrons livres e assim torna possível a corrente elétrica.

2.1.2 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil em 2023

Atualmente, temos uma forte expansão de usinas fotovoltaicas no Brasil (ABSOLAR, 2023). Está se tornando comum encontrar esse tipo de usina em residências, empresas e indústrias, sejam elas pequenas (microgeração distribuída), ou maiores (minigeração distribuída). Essa expansão é bastante benéfica para o panorama nacional, visto que, ela pode resolver alguns problemas, diversificando a matriz energética do país.

Visto isso, também criam-se algumas preocupações com essa crescente instalação de geração distribuída em tantas unidades. O que isso pode impactar na rede como um todo? Como controlar isso para que não haja fuga ou furto de energia? Qual o impacto de uma região hora ser geradora e injetar corrente na rede e hora ser consumidora e retirar corrente da rede? Como podemos otimizar e encontrar soluções para o consumidor e para as concessionárias? Essas e muitas outras questões necessitam de estudos e soluções inteligentes para que se encontre respostas cada vez mais conclusivas.

Com isso, podemos pensar que a rede atualmente não é mais tão tradicional (aonde se tinha em uma ponta da malha unidades geradoras e em outra linhas de transmissão e cargas), mas sim, me uma rede mais transitória, em que, além das cargas, há geradores de maiores e menores portes. Esse problema é tão relevante que levou a uma importante mudança na tarifação de energia imposta pela Lei 14.300/2022, com a cobrança do custo de transmissão, que busca trazer tarifações a mais pela absorção de energia da rede que as unidades consumidoras praticam em horários em que seus consumos são maiores que a geração distribuída.

Então, é importante que se tenha perspectivas e planejamento para o Sistema Interligado Nacional, bem como para os Sistemas Regionais. Como fazer essa expansão? Quais as consequências dessa injeção de energia descentralizada?

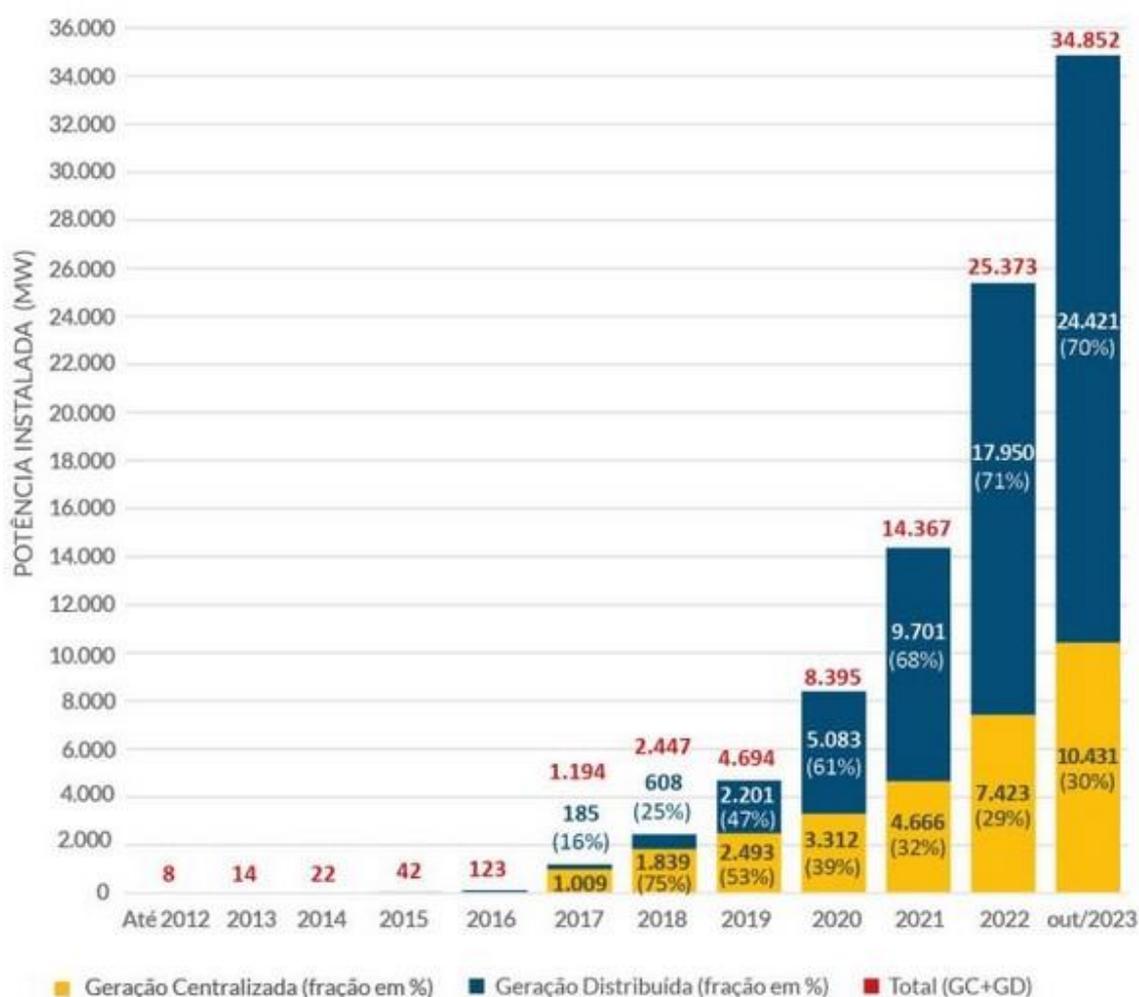
Assim, como mostradas nas figuras 1, 2 e 3, será possível observar o crescente ritmo que o número de instalações de sistemas fotovoltaicos tem aumentado de maneira agressiva. Com mais de 10 MW instalados ao longo de 2022 e totalizando 24 MW, o que equivale a 11.2% da matriz energética brasileira. Dessa forma, fica

explícito o motivo das preocupações não só com esse aumento como também, suas consequências.

Figura 1 – Parte do Infográfico ABSOLAR de Outubro de 2023.

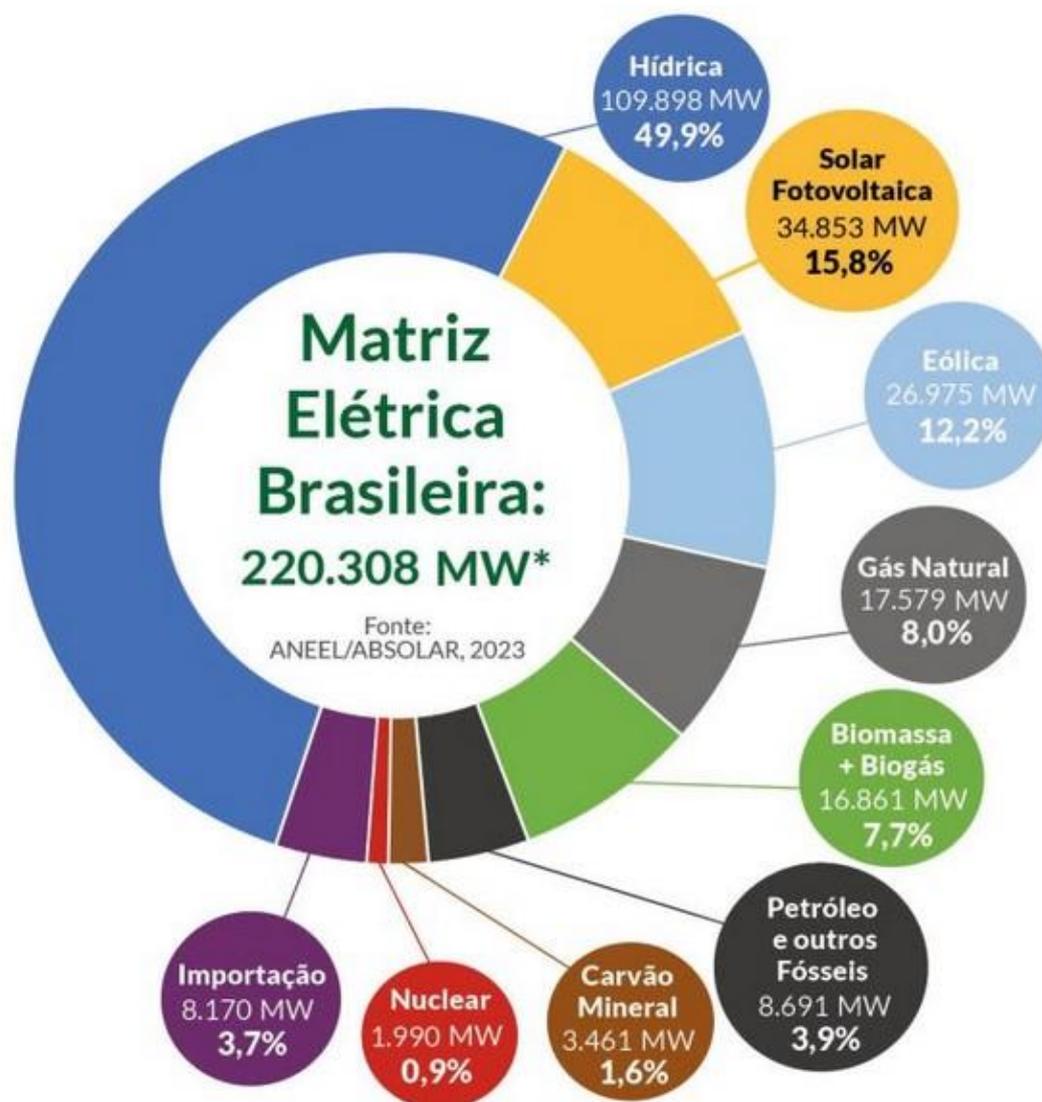
Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2023.



Fonte: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>

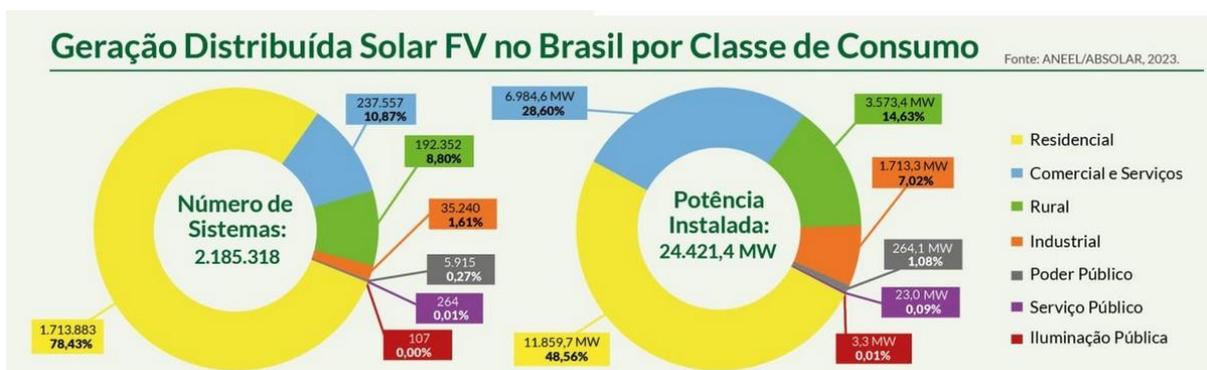
Figura 2 – Composição matriz elétrica do Brasil Infográfico ABSOLAR de outubro de 2023.



*A potência total da matriz não inclui a importação e segue critério aplicado pelo MME, que adiciona, nos valores de capacidade instalada, as quantidades de mini e microgeração distribuída associadas a cada tipo de fonte.

Fonte: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>

Figura 3 – Divisão matriz elétrica no Brasil Infográfico ABSOLAR de outubro de 2023



Fonte: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>

2.1.3. Tarifação no Brasil

As unidades com GD seguem sendo tarifadas de acordo com a classe de consumo e o grupo tarifário que pertencem. É importante então, que seja feito um estudo de tarifação para essas unidades para que o consumidor consiga pagar o mínimo possível na sua conta de energia. Será abordado nesse tópico os tipos e classes de tarifação e em seguida será abordado sobre as mudanças trazidas pela lei 14.300/2022 em relação a tarifação e como isso impacta no Payback e aqueceu o mercado de venda e instalação de Energia Solar no Brasil.

2.1.3.1. Grupo A

As unidades do grupo A são conectadas a rede de média ou alta tensão e sua tarifação é binômica, ou seja, é cobrada através da demanda e do consumo de energia.

Nesse modelo de tarifação é cobrado existe um valor de demanda contratada para os horários de ponta e fora de ponta. A concessionária então verifica se a unidade está dentro do valor contratado através da demanda medida, que é medida pela potência máxima registrada no intervalo de 15 minutos (ANEEL, 2010). Caso a demanda esteja dentro do contratado, a unidade paga apenas o valor referente a demanda contratada. Caso a demanda esteja ultrapassando o valor contratado o consumidor irá pagar um valor em cima da ultrapassagem em kW com uma tarifa específica, normalmente mais cara. Nesse ponto, já consegue-se ver a importância de

ter um medidor que consiga nos trazer dados confiáveis e em uma maior frequência para controlar melhor e reduzir custos.

Dentro do grupo A, as unidades podem escolher entre duas modalidades tarifárias, sendo essas a Azul e a Verde.

Azul: Na modalidade tarifária azul o cliente tem duas tarifas distintas de consumo, onde o consumo em horário de pico da utilização da rede é caracterizado como hora ponta, e o horário complementar como fora ponta. Nesse modelo, a demanda também segue o mesmo padrão, podendo o usuário escolher valores distintos de demanda para hora ponta e fora ponta.

Verde: Na modalidade tarifária verde o cliente tem o mesmo padrão binômio que a azul, porém, para a demanda não tem valores distintos para hora ponta e fora ponta, tem-se apenas um valor, independente do posto tarifário.

Nos dois modelos para o grupo A, será cobrado também excedente de reativos. No escopo da RN nº 414, tem-se como o limite de fator de potência 0,92, além de horários estabelecidos para que esse fator de potência seja indutivo ou capacitivo. Dentre os horários de 23:30h e 06:30h as unidades devem possuir FP de até 0,92 capacitivo, enquanto nos demais horários deverá ser de até 0,92 indutivo. Dessa forma, se estiver fora dos parâmetros estabelecidos será cobrado uma tarifa de acordo com a quantidade de quilovolt-ampere-reativo-hora (kVARh) medido.

2.1.3.2. Grupo B

As unidades do grupo B são conectadas em baixa tensão e sua tarifa de energia é monômnia. Isso significa que o consumidor é tarifado por uma única tarifa.

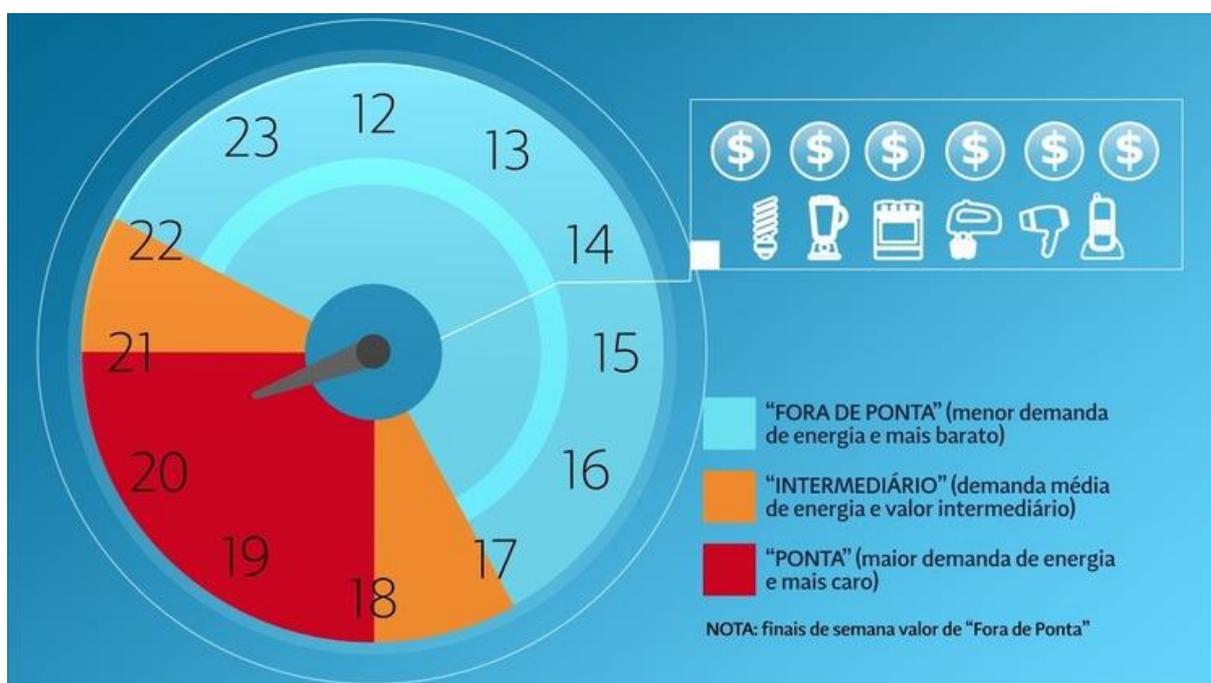
As unidades do grupo B podem escolher entre duas modalidades diferentes de tarifação sendo essas a convencional e a branca. Na tarifa convencional o usuário irá pagar o mesmo valor de tarifa independente do horário do dia, já na branca, são previstos três postos tarifários de acordo com a hora do dia.

No horário em que a rede está menos sobrecarregada temos o horário fora de ponta; no horário em que a rede está sobrecarregada temos o horário de ponta; antes e depois do horário de ponta, temos o horário intermediário (entre 1h e 1h30min

a depender da concessionária). O horário de ponta também ocorre durante todo o dia em finais de semana e feriados.

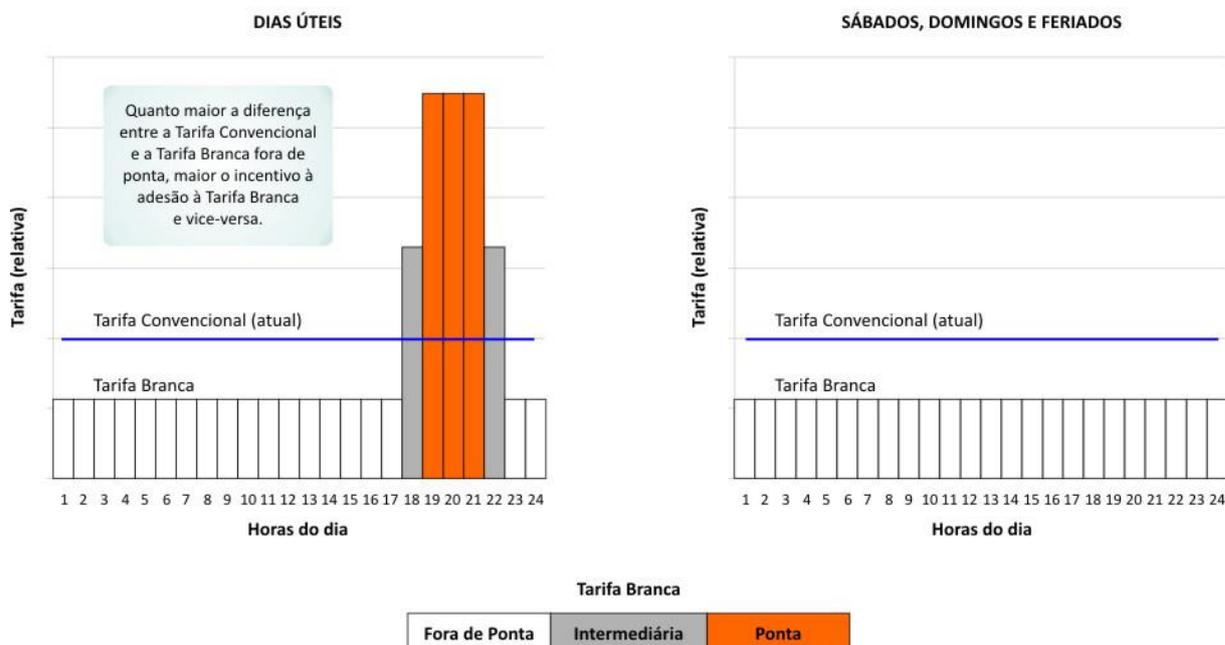
Então, o intuito da tarifa branca é reduzir a utilização da rede em momentos de pico, recompensando assim os consumidores que conseguirem reduzir o consumo nesses horários com uma tarifação menor. As figuras 4 e 5 trazem uma representação mais visual para a tarifação branca e seu impacto.

Figura 4 – Exemplificação horários ponta, fora ponta e intermediário para tarifação branca.



Fonte: <https://sindiquimicos.org.br/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-quem-tem-consumo-acima-de-250-kwh/>

Figura 5 – Comparativo entre tarifação branca e convencional.



Fonte: <https://www.g20brasil.com.br/a-nova-tarifa-branca-de-energia-eletrica/>

2.1.3.3. Resolução Normativa nº 482/2012

A resolução Normativa nº 482 publicada em 2012, estabelece que os consumidores podem gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis ou cogeração e fornecer o excedente para a rede de distribuição.

Nesta resolução, foi estabelecido o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) também conhecido como Net Metering. Quando o consumidor gera mais energia do que consome, o excedente dessa energia é injetado na rede da distribuidora e assim o consumidor utiliza a energia injetada na rede para abatimento do seu consumo. Para implementar essas regras, a concessionária substitui o medidor convencional pelo bidirecional.

Na prática, a energia é injetada na rede e cedida a distribuidora. Cada kWh injetado é utilizado para abatimento na tarifa do consumidor com um prazo de até 60 meses para utilização desse crédito.

Antes da implementação da Lei 14.300/2022, os consumidores eram submetidos há uma cobrança de valor mínimo de referência. Caso o consumidor seja do

grupo B e seu faturamento seja menor que o valor mínimo, há cobrança de um custo de disponibilidade, definido como 30kWh para ligação monofásica, 50 kWh para bifásica e 100 kWh para trifásica. Para consumidores grupo A, não era cobrado o custo de disponibilidade, somente o custo de demanda.

2.1.3.4. Impactos da lei 14.300/2022 na tarifação e no mercado

A lei 14.300/2022, também chamada de Novo Marco Legal de Geração Distribuída trouxe algumas mudanças impactantes para a mini e microgeração de energia solar.

A lei 14.300 trouxe regras definitivas para a geração distribuída de energia e está com benefícios que serão decrescidos em um período de transição que estima-se que em 2045 esteja completo. Com esses benefícios já está ocorrendo um aquecimento do mercado pois o Payback da instalação para os clientes está muito bom. Espera-se que ao fim desse período os projetos sejam competitivos e não precisem mais dos incentivos atuais para ocupar um grande espaço na matriz energética do país.

As unidades com geração distribuída que protocolaram solicitação de acesso junto a distribuidora em até 12 meses da publicação da lei (esses 12 meses findaram em 7 de janeiro de 2023), tiveram garantidas até 31 de dezembro de 2045 a manutenção das regras de compensação da energia injetada nas redes, sem cobrança de qualquer valor adicional.

Quando falamos em compensação queremos dizer que em unidades de geração distribuída, como painéis solares, que injetam excesso de eletricidade na rede a compensação ocorre por meio de créditos de energia, garantindo que o proprietário receba créditos justos pela eletricidade fornecida.

A partir de 8 de janeiro de 2023 até 7 de julho de 2023, empreendimentos que protocolaram solicitação de acesso tiveram direito a uma “tarifa de transição” sobre a energia compensada, cujo valor seria superior às regras até 7 de janeiro. Essas tarifas serão crescentes, variando de 15% a 90% da tarifa do Fio B que irá variar dependendo do ano. A lei 14.300 estabelece a necessidade de apresentar garantia de fiel cumprimento, com exceções para centrais de microgeração ou minigeração distribuída na modalidade de geração compartilhada. A ANEEL está elaborando resolu-

ções para normatizar a aplicação da Lei. Consumidores que protocolarem após 7 de julho terão isenção de 90% do Fio B até 2028, seguida por uma nova regra a partir de 2029.

2.2 SMART GRID

A rede está passando por uma transformação visando atender o desafio energético que a inserção dos sistemas de GD trazem. As necessidades são muitas, o novo cenário de consumo/geração de energia requer mudanças na estruturação da rede e de medições visando torna-la mais confiável, segura, clara e eficiente.

O termo Smart Grid foi cunhado por Amin e Wollenberg para descrever uma forma de utilizar tecnologias que visam conceber uma rede de distribuição de energia integrada com o mercado desde sua produção até o consumo. O Smart Grid compreende o conjunto de todos os equipamentos que visam atender esse objetivo, desde sensores, atuadores, equipamentos até os softwares de monitoramento e controle utilizados. Esse conceito é bastante importante na conjuntura atual visto que a produção de energia por fontes renováveis, principalmente as unidades de mini e microgeração trazem certa instabilidade que dificultam as previsões de produção.

O termo Smart Grid não é facilmente definido, pois não representa uma coisa só e sim um conjunto de técnicas e infraestrutura para a gestão do sistema elétrico. Muitas são as maneiras de definir o que é uma rede inteligente, mas todas convergem para um sistema que consegue se comunicar e trocar informações a respeito da rede de energia.

2.2.1 Medidores Inteligentes

O fator primordial para configurar um sistema como inteligente é a presença de dados e informação. O modelo em que a rede elétrica foi estabelecida limita os dados tangíveis às distribuidoras e ao consumidor visto que os medidores atualmente utilizados pela concessionária só permitem a visualização líquida do que está sendo consumido ou injetado na rede. A implementação de um modelo inteligente

altera a relação provedor x consumidor, introduzindo um modelo que incorpora ambas as partes em uma rede de comunicação.

Os medidores inteligentes trazem a integração de operações, maior controle, e confiabilidade tanto para a concessionária, quanto para o consumidor. Dessa forma, torna-se mais fácil e prático a execução de manutenções, reparos, aferições, controle de fuga de energia, controle do consumo dos consumidores, tudo isso sem a necessidade de uma interferência humana muito presente. A grande evolução é que se transforma um sistema mais arcaico aonde se tinha praticamente apenas entrega de energia elétrica em uma estrutura confiável de informações.

As vantagens no modelo em que se usa medidores inteligentes são vastas, muitos processos tornam-se mais aprimorados e novos modelos de mercado tendem a surgir. A novidade de receber informações em tempo real traz facilidade de implantar um sistema central com processamento de dados e que se utilize softwares e o conhecimento humano para solvar problemas recorrentes.

Essa tecnologia pode trazer a possibilidade da medição de consumo em intervalos curtos de tempo, atuação em cortes e relaxamentos de energia de forma remota e facilita a comunicação em duas vias entre cliente e distribuidoras, trazendo assim, novas perspectivas de relação entre consumidores que, de certa forma, tornam-se mais ativos e concessionárias.

É importante citar, que apesar de todos esses benefícios, esses sistemas não são isentos de falhas, sendo sempre importante a presença do fator humano para identifica-las. Entretanto, seu uso é de extremo valor para as mais diversas esferas.

Para compor um Medidor inteligente, segundo Barai *et al.* (2015), o hardware de medição deve possuir uma parte analógica, para fazer as medições necessárias com os seguintes componentes: Sensores de tensão e corrente, Circuitos *Real Time Clock* (RTC), carregadores de baterias, fonte de alimentação, conversores A/D. E por uma parte digital composta principalmente por microcontroladores que possam receber os dados, trata-los e envia-los a um servidor, bem como possuir memória para caso haja algum problema com conexão ou alimentação.

2.2.1.1 Transmissão de dados

Com o avanço da Internet das Coisas (Internet of Thing com sigla IoT em inglês), tecnologias como LoRaWAN e WIFI ganharam bastante destaque na transmissão de informações devida a sua natureza wireless e pela distância que conseguem enviar dados. A LoRaWAN possui uma distância de cobertura maior que o WiFi e com algumas centenas de equipamentos é possível cobrir cidades inteiras. O WiFi por sua vez, possui a vantagem de estar presente em muitas as unidades com acesso a internet, podendo se conectar não só ao medidor, como a equipamentos domésticos em caso de *Smart Homes* (Casas inteligentes).

Existem ainda, para locais com pouco acesso a internet nas residências a possibilidade de usar sinais de rádio ou o Controlador Lógico Programável (PLC – *Programmable Logic Controller*), que utiliza a rede elétrica para enviar e receber sinais em uma frequência bem maior que a de transmissão de energia elétrica. Apesar de parecer interessante, em diversos países não é possível utilizar essa tecnologia pois ela pode gerar interferência em outras tecnologias como o rádio (Cano *et al.*, 2016).

2.2.1.2 Protocolos de comunicação e Servidor

Não será abordado com tantos detalhes, mas a presença de um servidor e a escolha do Protocolo de comunicação é bastante importante em sistemas inteligentes. O Servidor é bastante importante pois é por meio dele que será feito todo o processamento e envio de dados pós aquisição para uma plataforma aonde se consiga ter boa visualização para o usuário. A escolha do protocolo é importante pois dependendo do escolhido teremos mais ou menos sucesso na aplicação. A escolha do protocolo depende da natureza da aplicação, grau de flexibilidade do sistema, confiabilidade da informação e capacidade de processamento do dispositivo que envia os dados.

2.2.2 Sistema SCADA

Com o objetivo de ter uma rede estruturada e integrada, o sistema de distribuição de energia conta com tecnologias e infraestrutura que permitem supervisionar, avaliar e controlar o serviço de maneira mais segura, confiável e eficiente. SCADA é um sistema de supervisão e aquisição de dados, usado para supervisionar proces-

so através da aquisição de dados de dispositivos de campo. Os usuários podem acessar os dados por meio de telas que proporcionam um aspecto visual de todo o sistema. O sistema de supervisão fornece uma ligação entre os dispositivos de campo e a sala de controle [13][14][15]. Este sistema interage com os dispositivos de campo através de entradas/saídas, utilizando equipamentos de comunicação para criar um link entre eles, e geralmente é instalado em um computador central. Com a integração com medidores inteligentes, as residências e empresas que possuem esses equipamentos podem enviar dados e informações que serão pertinentes para a melhora da malha de distribuição. Dessa forma, as concessionárias podem trazer aplicações importantes para a sociedade e o bom uso da energia elétrica.

2.2.3 Internet das Coisas (IoT)

Segundo Oliveira (2017), por volta de 20 anos atrás já se pensava na interligação de inúmeros aparelhos à internet. Os módulos como os que serão citados nesse trabalho (ESP32, ARDUINO) representam um grande avanço, pois, por meio deles hoje em dia consegue-se implementar aplicações IoT de maneira mais fácil e financeiramente acessível.

A Internet das Coisas (IoT) é um ambiente de troca de informações com dispositivos conectados em redes com ou sem fio, possibilitando fácil acesso remoto. O monitoramento constante de dados ambientais e elétricos é uma aplicação extremamente promissora [16][17][18]. Com o auxílio da IoT, é possível melhorar processos através da aquisição e processamento de grande quantidade de dados [19]. Hoje em dia é possível conectar os mais diversos aparelhos a essa tecnologia, como, eletrodomésticos, carros, termostatos, babás eletrônicas etc.

Essa realidade é válida tanto para uso cotidiano da população, como para o uso nas indústrias, o que representa um grande avanço e traz inúmeras possibilidades.

Com o avanço de grandes tecnologias de comunicação e rede de computadores, criou-se a possibilidade e mobilidade para conectar cada vez mais o mundo. Consegue-se hoje uma grande conectividade e existem diversos aparelhos que podem ser utilizados para fazer esse controle nas aplicações IoT, indo de *tablets*, *smartphones*, *notebooks*, computadores pessoais até, inclusive, *smartwatches*. Isso

possibilita a facilidade ao acesso à informação em tempo real e que a IoT seja de fácil acesso à comunidade (OLIVEIRA, 2017).

Para se criar uma aplicação IoT, é necessário que se faça uma análise das diversas características da aplicação na hora de escolher os dispositivos que serão utilizados, sendo elas:

- Deve-se levar em consideração a escala e o tamanho da rede;
- Verificar a quantidade de dados que serão analisados e transferidos;
- Escolher uma localidade estratégica para os dispositivos de acordo com suas características.

Nessa conjuntura, surge uma nova preocupação em relação ao âmbito de segurança para usuários de IoT. O próprio Departamento Federal de Investigação, o “FBI”, com sede em *Washington – EUA*, em nota oficial fez um alerta a população, orientando sobre as possibilidades de ataque de hackers em ambientes *IoT*. Levando em conta que diversos equipamentos tem (ou terão) acesso à internet, é intrínseco que haverá um grande fluxo de dados e informações a respeito do usuário, o que poderá deixar portas abertas para ataques.

Pensando que, se para pessoas físicas há riscos, no caso corporativo os prejuízos podem ser tremendos, conforme (AYOYAN 2015), orienta:

Um dos problemas levantados em discussões dessa natureza tem a ver com a forma como esses objetos serão gerenciados dentro da crescente infraestrutura de TI do futuro não muito distante. Há algum tempo, as infraestruturas empresariais móveis eram bastante simples –dispositivos Blackberry eram a novidade. Em seguida, graças ao lançamento de smartphones populares e da “consumerização de TI”, alguns funcionários iniciantes começaram a utilizar seus próprios smartphones, tablets e outros dispositivos pessoais no trabalho. Logo, todo mundo aderiu à prática. O BYOD tornou-se generalizado, apesar de uma série de novas dores de cabeça para as empresas antes de finalmente chegarem a um consenso.

2.2.4 Segurança dos sistemas

É de suma importância nesse tema de IoT e medidores inteligentes que se pense também na segurança dos sistemas, visto que pessoas mal intencionadas podem adquirir acesso, informações e até prejudicar fisicamente equipamentos. A segurança da informação, nesse âmbito, é uma área que visa refletir e propor soluções para proteger pessoas e equipamentos. Analisar a eficiência da Segurança da Informação da Internet das Coisas, entendendo sobre os danos que o vazamento de acesso ou informações podem causar para os usuários deve ser uma preocupação na hora de inserir essas novas tecnologias na vida das pessoas.

Pensar em inovação e segurança é olhar para o futuro, pois hoje a internet não conecta apenas computadores, mas também pessoas e objetos, a evolução das tecnologias permite essa conectividade em diversos tipos de dispositivos. Diante disso, é importante analisar a relevância da segurança da informação por empresas e indivíduos, quais ferramentas podem ser utilizadas para que seus dados que trafegam na rede sejam sigilosos e seguros.

2.2.4.1 Conceito de Segurança da Informação

O conceito de Segurança da Informação (SI) é ligado a proteção de um grupo de informações que trafegam pela rede, trazendo confidencialidade, integridade, disponibilidade e autenticidade. Segundo (FONTES, 2010), o conceito de SI é:

Segurança da Informação é o conjunto de orientações, normas, procedimentos, políticas e demais ações que tem por objetivo proteger o recurso informação, possibilitando que o negócio da organização seja realizado e a sua missão seja alcançada.

O conceito de SI é normatizado pelo NBR ISO/IEC 17799, Segundo (CAMPOS, 2007), confiabilidade é:

Propriedade que limita o acesso à informação tão somente às entidades legítimas, ou seja, àquelas autorizadas pelo proprietário da informação, ou seja a informação somente pode ser acessada por pessoas explicitamente autorizadas.

Sobre a integridade, Campos, afirma:

Quando uma informação é indevidamente alterada, intencionalmente ou não, tal como pela falsificação de um documento, da alteração de registros em um banco de dados, ou qualquer coisa que altere a informação original de maneira indevida, configura um incidente de Segurança da Informação por quebra de integridade.

Sobre Disponibilidade Campos diz:

Quando a informação não é acessível nem mesmo por quem é de direito, como no caso da perda de documentos, quando há sistemas de computador “fora do ar” ou, ainda, em função de ataques de negação de serviço a servidores de rede ou servidores Web, ou seja, quando esses servidores estão inoperantes em resultado de ataques e invasões, então isto é um incidente de Segurança da Informação por quebra de disponibilidade. Mesmo as “quedas” de sistemas não provocadas, ou seja, não intencionais, configuram quebra de disponibilidade.

2.3 MEDIDOR INTELIGENTE PARA UNIDADES COM PAINÉIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

Nesse tópico será abordado o trabalho de mestrado de Costa, Kevin (2021) com título SISTEMA DE MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO DE ENERGIA BASEADO NO PROTOCOLO MQTT PARA UNIDADES COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA com intuito de adiante abordar possíveis soluções e aplicações com esse tipo de dispositivo.

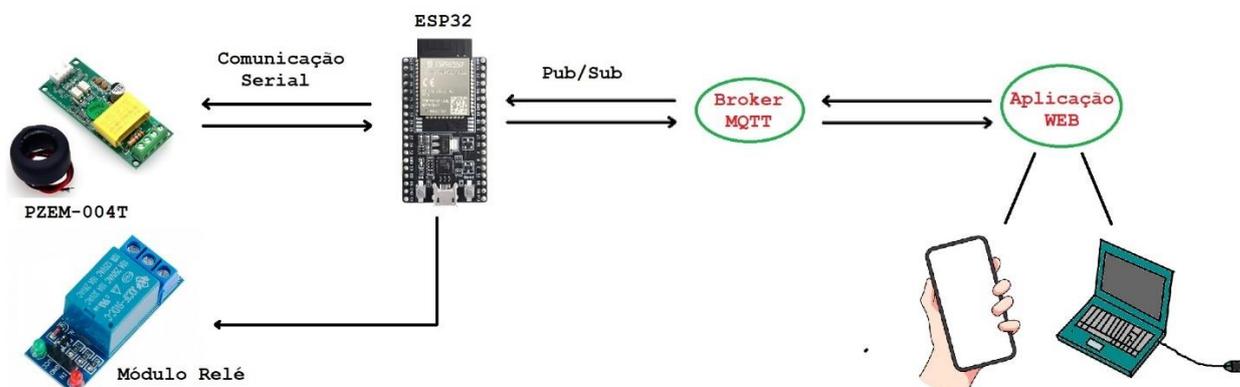
2.3.1 Sistema Proposto

Como já explicado, o medidor bidirecional da concessionária não contabiliza necessariamente todo o consumo nem toda a geração, visto que uma parte do que é gerado é consumido pela unidade sem que chegue ao medidor.

Nessa conjuntura, Costa (2021), desenvolveu um sistema que propõe a utilização de uma dupla medição unidirecional, sendo uma dedicada a saída do inversor e outra a saída do quadro de distribuição, representando assim o perfil real da unidade.

O projeto foi feito utilizando o ESP32 com transmissão de dados via protocolo MQTT, que proporciona comunicação isolada entre os dispositivos conectados e a aplicação WEB. Dessa forma, proporciona uma maior confiabilidade nos dados mesmo em redes mais lentas. O sistema proposto é composto por Sensores, ESP32, PZEM-004T, um servidor e a aplicação WEB como mostrado na figura 6.

Figura 6 – Visão macro do sistema.



Fonte: O próprio autor inspirado em Costa (2021), página 32

Nessa seção, serão apresentados de maneira resumida os principais pontos do sistema de monitoramento e gerenciamento proposto.

2.3.2 Hardware e medição

Para realizar a medição da energia consumida e gerada, foi-se utilizado um módulo monofásico PZEM-004T da Peacefair. Nele é feita as medições e envio de

dados de tensão, corrente, energia ativa, potência ativa, fator de potência e frequência da rede. O módulo possui precisão ideal conforme a Tabela 1, e comunica-se usando UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). No PZEM-004T, a energia ativa é armazenada em um contador, incrementando até o valor máximo da Tabela 1 e resetando após chegar nesse valor.

Tabela 1 – Precisão do módulo PZEM-004T.

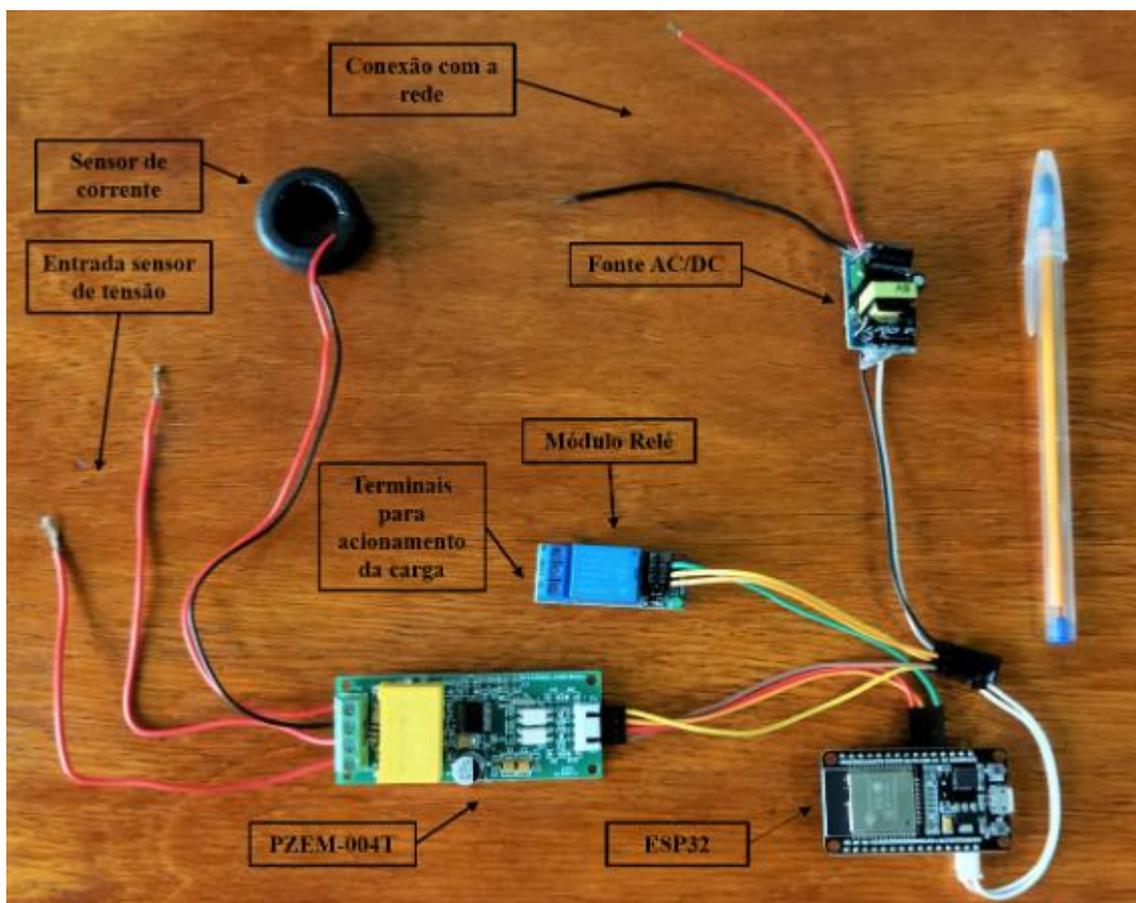
	Faixa de Medição	Precisão
Tensão	80~260V	0,50%
Corrente	0~100A	0,50%
Potência Ativa	0~23kW	0,50%
Fator de potência	0,00~1,00	1,00%
Frequência	45~65Hz	0,50%
Energia ativa	0~9999,99kWh	0,50%

Fonte: Dados retirados de: (PEACEFAIR, 2020)

Para receber as medições do PZEM-005T e enviar os dados ao *broker* MQTT foi utilizado o microcontrolador ESP32. Esse microcontrolador possui placa de comunicação WiFi nativa, 10 canais A/D, 10 pinos de sensor de toque, canais de comunicação UART, I2C, I2S, SPI, módulos PWM e memória para armazenar dados caso haja alguma interrupção de conexão WiFi ou de energia. Além disso, o ESP32 possui módulo de programação *Over-The-Air* (OTA) que dá a possibilidade de fazer atualização do firmware de forma remota sem desconectar o microcontrolador. Além disso, o ESP32 possui baixo custo.

A parte física do sistema conta com Sensores de corrente, PZEM-004-T, módulo relé para acionamento remoto de cargas, fonte AC/DC para alimentar o ESP32, e o microcontrolador ESP32.

Figura 7 – Protótipo experimental.

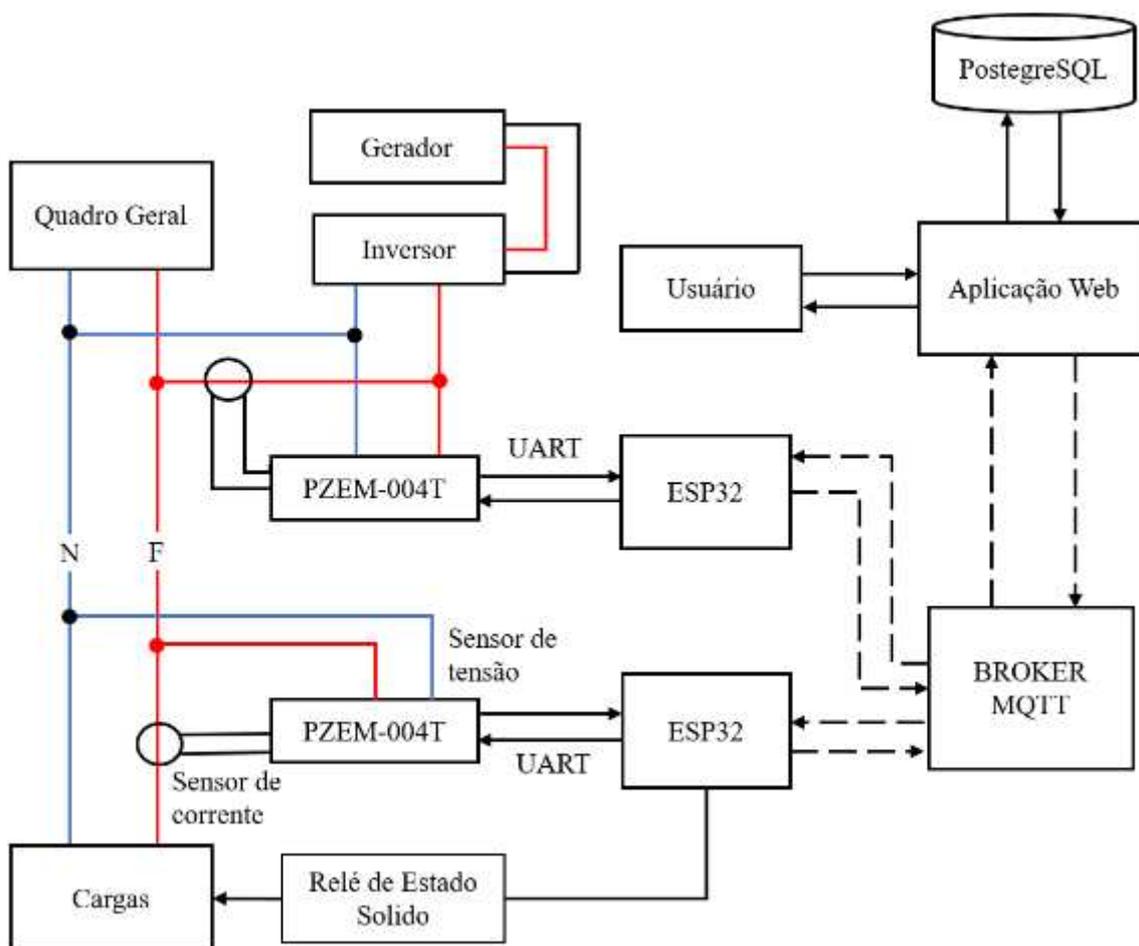


Fonte: Costa (2021), página 34

Como deve-se medir consumo e geração, o sistema instalado deve constar por dois sistemas desse protótipo, um para a saída do inversor e um para a saída do quadro de distribuição geral da unidade.

A arquitetura do sistema físico deverá ser montado como na figura 8. Um no inversor e outro no quadro geral para obter as duas medições.

Figura 8– Arquitetura do sistema.



Fonte: Costa (2021), página 35

O sistema também funciona para unidades bifásicas e trifásicas, basta conectar três módulos PZEM-004T em um mesmo ESP32. A conexão é feita em uma mesma porta serial e o ESP32 (mestre) solicita as medições de cada um dos módulos PZEM-004T (escravos) separadamente. Ao final desse processo, a potência trifásica é calculada.

Em unidades de média e alta tensão se faz necessária a instalação dos medidores no lado de baixa tensão, visto que o PZEM-004T possui uma limitação de tensão e potência de até 23 kW.

2.3.3 Programação do Sistema

O firmware da aplicação consta com aquisição dos dados do PZEM-004T, tratamento da informação, verificação da conexão com a rede WiFi e *broker* MQTT, e envio dos dados.

Ele inicia sua rotina com configuração dos recursos necessários como WiFi, MQTT, OTA e aquisição do horário real no servidor *Network Time Protocol* (NTP). Após a configuração, é feita a conexão com WiFi, com o *broker* MQTT e a configuração do horário interno com base no horário recebido no servidor NTP.

Caso ocorra falta de energia ou desligamento inesperado, é verificado também se existem medições salvas na memória flash. Esses dados são armazenados durante o modo offline. Caso existam, essas medições são enviadas ao *broker* MQTT e são excluídas logo em seguida. A partir de então, o código permanecerá em loop.

As medições são enviadas a cada 15 minutos, nos minutos 00, 15, 30 e 45 de cada hora. Durante cada um desses intervalos as medições são realizadas a cada 5 segundos, medindo potência, tensão, corrente, FP e frequência. O objetivo disso é a cada intervalo de 15 minutos obter o valor de maior demanda, corrente média e as maiores variações de tensão, frequência e FP em relação ao valor ideal. A medição de consumo é obtida ao final de cada período de 15 minutos, através da diferença entre o valor atual do contador de energia e o valor do início do período. Isso evita que o *reset* no contador do PZEM-004T altere a informação, dado que o valor enviado é apenas o valor consumido no período e não do contador em si. Após receber as medições o ESP32 faz o cálculo do CRC16, evitando assim dados que porventura venham corrompidos.

Os dados são todos enviados em uma única string com cada valor separados por vírgula como mostrado na figura 9.

Figura 9 –String enviada ao broker MQTT.

```
String: 215.6, ← Tensão  
0.05, ← Corrente  
4.8, ← Demanda  
0.000, ← Consumo  
60.0, ← Frequência  
0.30, ← Fator de Potência  
1, ← ID do dispositivo  
2020-11-09 15:30:06 ← Data e hora de envio
```

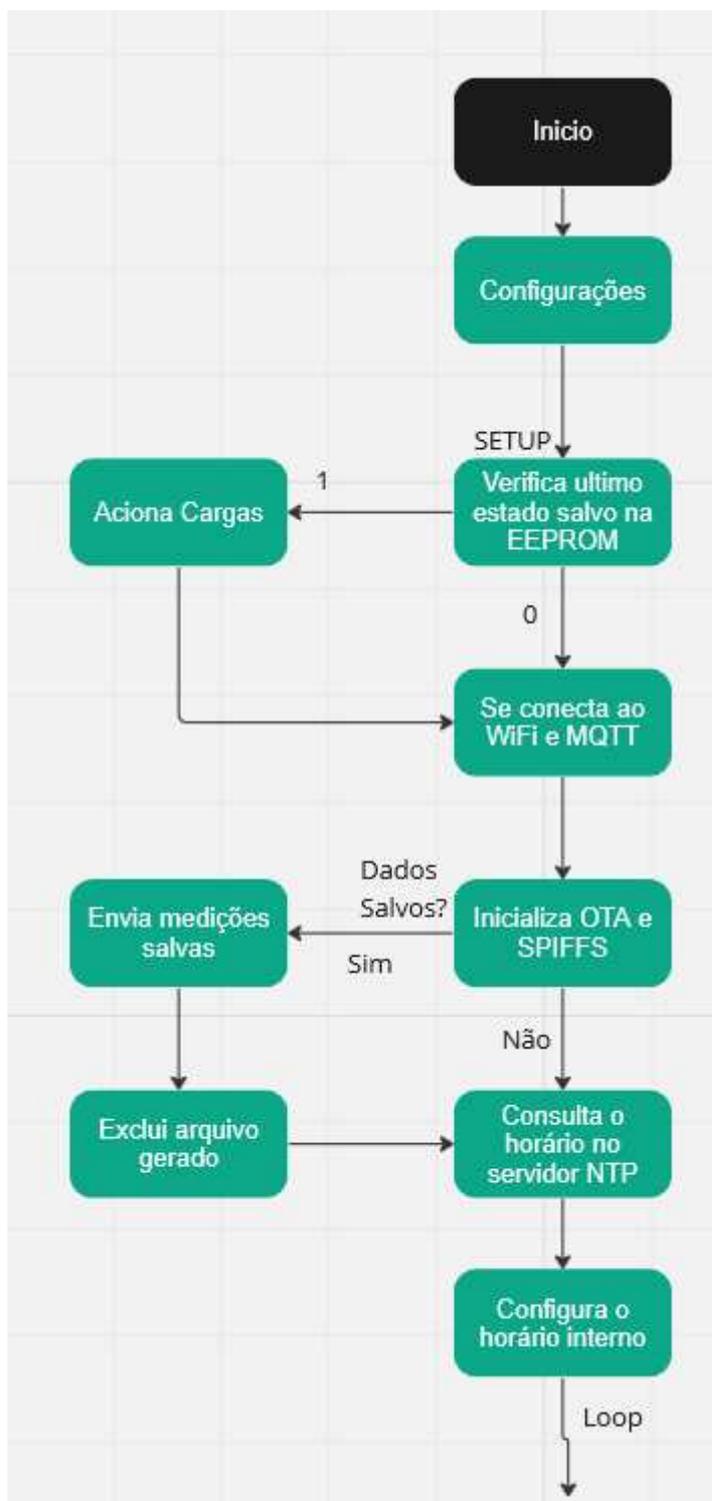
Fonte: O próprio autor baseado em Costa (2021), página 37

Todos os dispositivos, sejam de geração ou consumo, utilizam um mesmo tópico chamado de “*measures*” para envio das medições que serão tratados na aplicação web para associá-los a um dispositivo através do identificador e salvos no banco de dados corretamente.

Existe uma rotina que verifica caso haja desconexão do WiFi e do *broker* MQTT, caso haja alguma desconexão inicia-se o modo *offline* já citado anteriormente e aciona uma rotina que armazena todas as medições na memória flash do ESP32. O protótipo desenvolvido garante 234 dias de memória sem conexão WiFi.

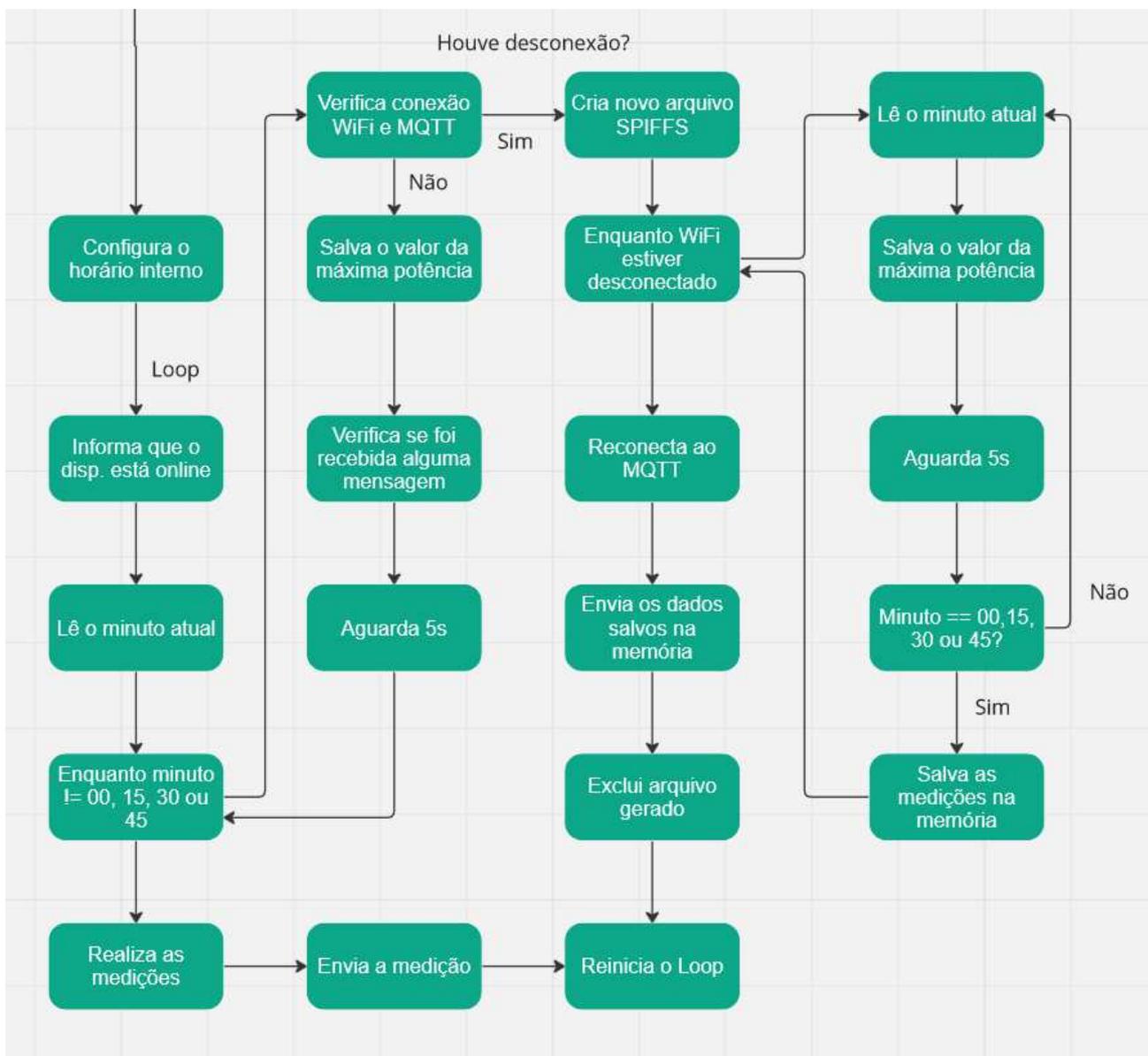
Nas figuras 10 e 11 temos um fluxograma que ilustra o funcionamento do firmware.

Figura 10 – parte 1 do Fluxograma do firmware.



Fonte: O próprio Autor baseado em Costa (2021)

Figura 11 – parte 2 do Fluxograma do firmware.



Fonte: O próprio Autor baseado em Costa (2021)

2.3.4 Aplicação web do sistema

A aplicação web desenvolvida foi feita em Ruby, utilizando o *Ruby on Rails* (RoR).

O RoR possui dois conceitos principais, o DRY (Don't Repeat Yourself) que consiste em que o máximo de código em uma aplicação pode ser reaproveitado sem a necessidade de novas declarações; E o *Convention over Configuration* que consiste em que configurações comuns realizadas durante o desenvolvimento se transfor-

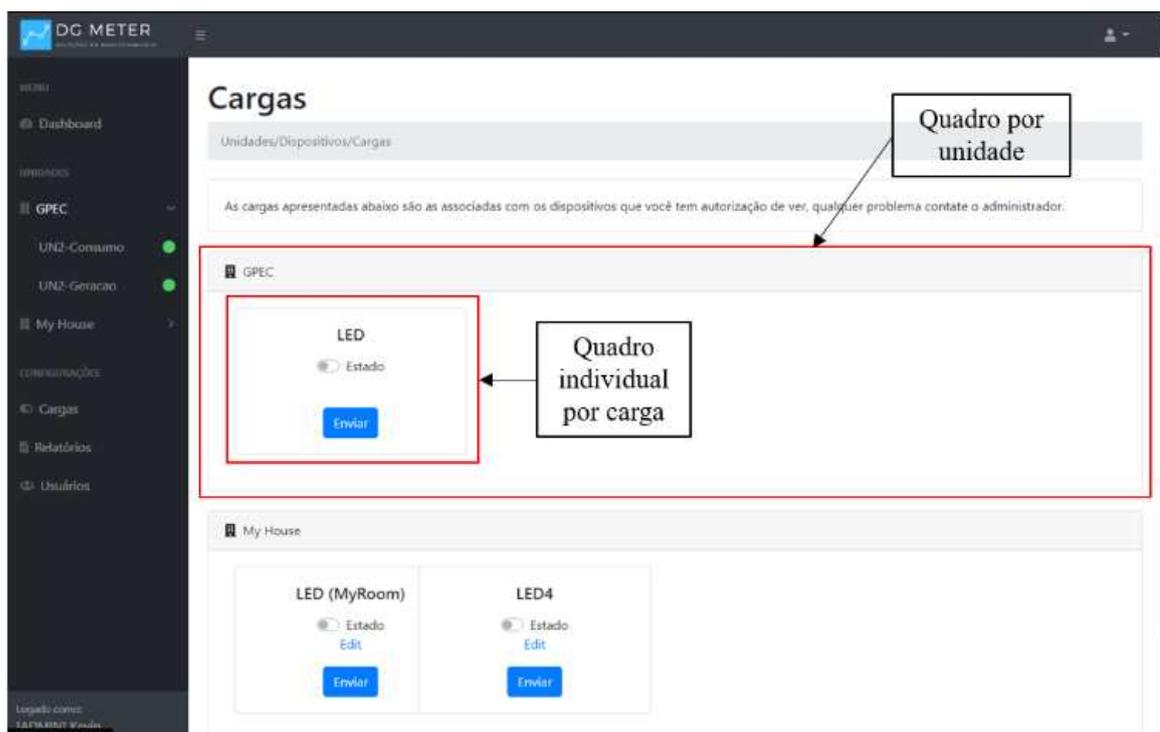
nam em convenções no framework, podendo ser utilizadas diretamente, sem a necessidade de retrabalho.

Basicamente o RoR é uma ferramenta muito útil para criação de páginas com tratamento de dados, permitindo criar ferramentas de visualização amigável para o usuário destes dados.

Nesse sistema de medidor inteligente o RoR foi utilizado para desenvolver uma aplicação web capaz de receber os dados enviados no *broker* MQTT e apresentá-los de forma amigável ao usuário.

Na figura 12 temos como é a interface criada no sistema proposto por Costa, Kevin (2021) que será visualizada pelo usuário para controle de cargas, e alguns de seus componentes.

Figura 12 – Página criada para o acionamento das cargas.



Fonte: Costa (2021), página 41

De modo a ter mais segurança no sistema o usuário só terá acesso aos dispositivos de sua unidade ou de outras unidades permitidas pelo administrador.

Além disso, a aplicação disponibiliza uma aba para configurações, onde é possível alterar as configurações do usuário como nome, e-mail e senha. Na figura 13 temos a interface da aplicação web desenvolvida para visualização de dados.

Figura 13 – Vista da aplicação web.



Fonte: Costa (2021), página 42

2.4. SISTEMA PARA DETECÇÃO DE FALHAS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICAS.

Nesse tópico será abordado TCC de Donizetti, Paulo (2018), com título SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA DETECÇÃO DE FALHAS EM PLACAS FOTOVOLTAICAS com intuito de já linkar com as ideias de soluções para o sistema proposto por Donizetti (2018).

2.4.1 Sistema Proposto

Nesse Sistema teremos algo parecido com o proposto por Costa, Kevin (2021), entretanto o foco do software é detectar falhas nos módulos fotovoltaics.

O material utilizado no protótipo desse sistema consta com:

- Um computador pessoal;
- *Software* Visual Studio Community da Microsoft;

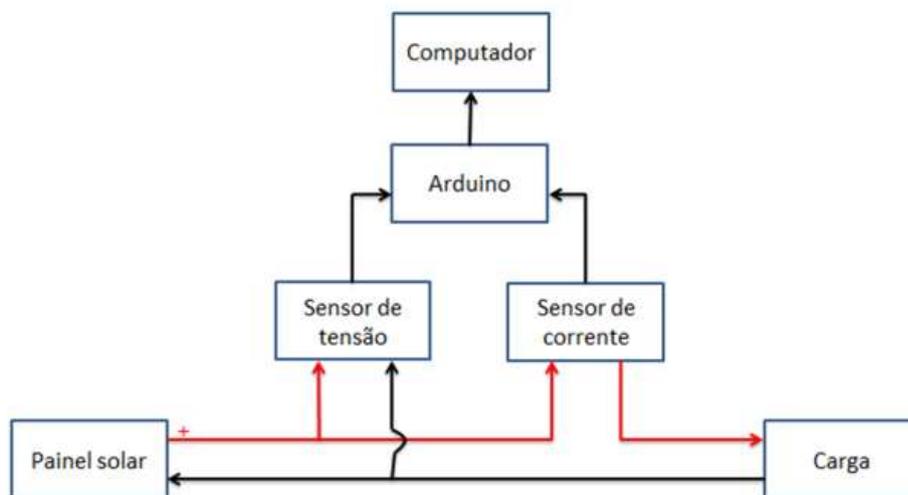
- IDE específica do Arduino;
- Um Arduino MEGA2560;
- Um sensor de tensão;
- Um sensor de corrente;
- Um painel fotovoltaico Komaes KM(P)20;
- Cabo USB para Arduino;
- Uma fonte de tensão regulável;
- Fios e jumpers para as conexões elétricas.

Esse sistema teve o desenvolvimento de um *software* usando a IDE do Visual Studio Community da *Microsoft*. Esse *Software* tem a capacidade de ler, através da porta USB, os dados adquiridos pelos sensores conectados ao Arduino e a placa fotovoltaica e apresentar os dados por meio de uma interface gráfica de fácil entendimento.

O Arduino deve estar conectado ao computador através de uma porta USB e os dados são transmitidos usando comunicação serial. Para que o Arduino fosse capaz de efetuar a leitura da tensão e corrente do painel fotovoltaico, Donizetti, Paulo, desenvolveu um código para a memória do Arduino, usando a IDE exclusiva para este microcontrolador.

Diferente do sistema proposto por Costa, Kevin (2021), no sistema proposto por Donizetti, Paulo (2018) os sensores devem estar conectados ao painel fotovoltaico e aos pinos analógicos do Arduino de acordo com o seguinte esquema da figura 14.

Figura 14 – Conexões elétricas.



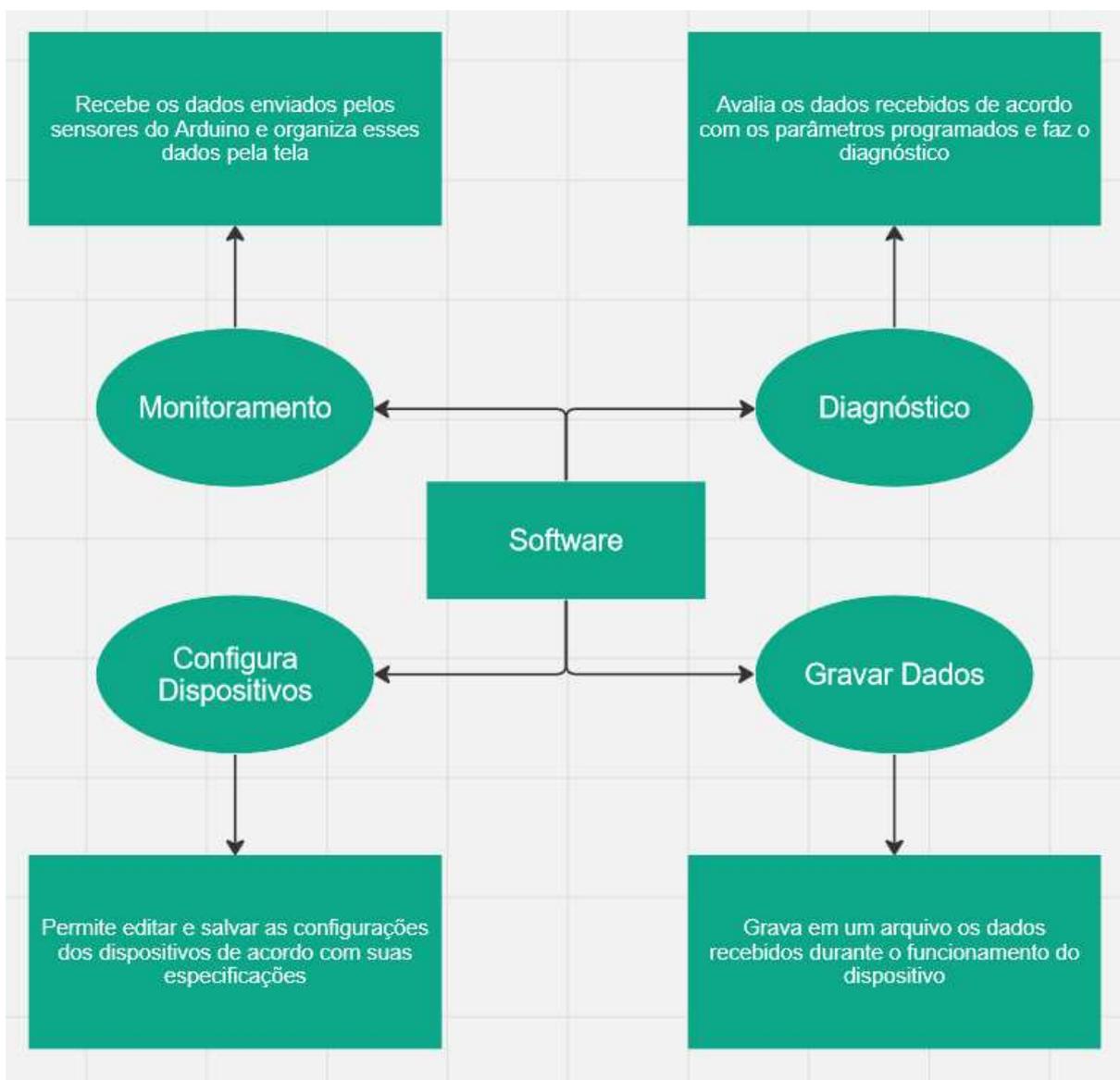
Fonte: Donizetti (2018), página 42

A operação do software baseia-se em quatro funções básicas, sendo elas:

- Monitoramento de painéis;
- Diagnóstico a respeito do funcionamento;
- Configuração de dispositivos;
- Gravação de dados.

Na figura 15 podemos ver mais informações sobre cada uma das quatro funções descritas.

Figura 15 – Funções básicas do software..



Fonte: O próprio autor baseado em Donizetti (2018), página 43

A função de monitoramento recebe os valores de tensão e corrente. Esses valores são mensurados pelo Arduino nos dispositivos conectados e em seguida enviado para o computador para que esses valores sejam organizados e dispostos para visualização do usuário.

A função de configuração de dispositivos recebe do usuário os parâmetros de tensão e corrente de funcionamento dos mesmos, o nome para possibilitar a identificação e informa se ainda está ativo ou não.

A função de diagnóstico avalia os dados recebidos pelo sistema, utiliza de alguns parâmetros definidos na programação e os dados de configuração dos dispositivos inseridos pelo usuário e retorna mensagens que mostra o comportamento do dispositivo naquele momento.

Os parâmetros de diagnóstico utilizados foram estimativas para efeitos de teste, uma vez que ainda não existem parâmetros bem definidos para tal. Definiram-se os seguintes parâmetros com margem de erro de 5% para erros de leitura:

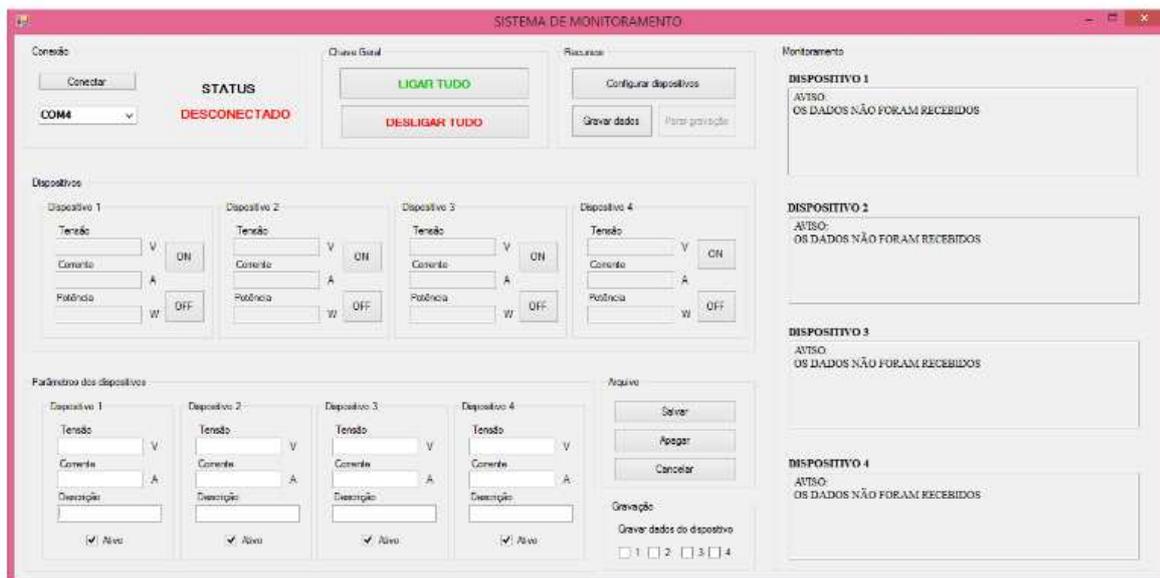
- Quando a tensão lida tem valor acima de 70% do valor da tensão máxima do dispositivo o sistema exibe a mensagem “PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE”;
- Quando a tensão lida tem valor entre 70% e 50% do valor da tensão máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL SUJO, SOMBREADO OU CÉU NUBLADO”;
- Quando a tensão lida tem valor abaixo de 5% do valor da tensão máxima do dispositivo o sistema exibe a mensagem “PAINEL SOMBREADO, DESCONECTADO OU HORÁRIO COM POUCA LUZ”;

Para esse protótipo foi considerado que a carga funcionaria com máxima potência, ou próximo disso, que o painel pudesse oferecer, portanto, a corrente também foi avaliada e seus parâmetros estão apresentados abaixo:

- Quando a corrente lida tem valor acima de 50% do valor da tensão máxima do dispositivo o sistema exibe a mensagem “PAINEL FUNCIONANDO SATISFATORIAMENTE”;
- Quando a corrente lida tem valor entre 50% e 5% do valor da tensão máxima do dispositivo, o sistema exibe a mensagem “PAINEL SUJO, SOMBREADO OU CÉU NUBLADO”;
- Quando a corrente lida tem valor abaixo de 5% do valor da tensão máxima do dispositivo o sistema exibe a mensagem “PAINEL SOMBREADO, DESCONECTADO OU HORÁRIO COM POUCA LUZ”;

Na figura 16 podemos ver a interface do *software* desenvolvido.

Figura 16 – Interface do Software.



Fonte: Donizetti (2018), página 46

3. POSSÍVEIS SOLUÇÕES E APLICAÇÕES COM O USO DE MEDIDORES INTELIGENTES EM UNIDADES COM ENERGIA SOLAR

As aplicações utilizando medidores inteligentes em unidades com energia solar são as mais diversas. Do ponto de vista do consumidor teremos uma otimização na sua geração e consumo de energia, visando ter menos gastos e mais produtividade do seu sistema.

Manutenção: Com um sistema que consegue trazer tantos dados é possível verificar a saúde do seu sistema de geração e fazer análises sobre períodos do ano. Por exemplo, em períodos mais nublados e/ou chuvosos teremos menos potência gerada que em períodos em que o céu está aberto. Com isso, pode-se estimar qual será a potência gerada pelo sistema em pleno funcionamento em determinados períodos. Dessa forma, torna-se possível verificar mais facilmente possíveis falhas no sistema e quando devem ser feitas limpezas nas placas. Isso gera mais confiabilidade no sistema e menos gastos com possíveis danos mais críticos. Com essa tecnologia, é possível também fazer o acionamento automático de equipes para resolução desse problema. Isso ocasiona economia de pessoal de gestão e operação.

Outra possibilidade que já foi citada por Costa, Kevin (2021), é de conectar controle das cargas ao sistema, garantindo o controle da geração de energia antes do consumo. Isso torna possível a previsão de quando a geração não será suficiente e o usuário pode tomar medidas como alteração do consumo de equipamentos elétricos momentaneamente.

Ao conectar os medidores, painéis solares, e consumo da residência, pode-se criar um padrão de consumo personalizado e analisar inúmeros pontos de contatos e seus dados para ajudar a gerenciar o fluxo disponível. Isso possibilita que gere um certo acúmulo de crédito, como por exemplo, uma pessoa que possui veículo elétrico pode configurar para que pare o carregamento de maneira personalizada ao uso pessoal do carro rotineiramente.

Além disso, o usuário tendo um controle maior da sua geração e consumo traz a possibilidade de verificar fuga ou roubos de energia. Isso é benéfico tanto para o usuário, como para a própria concessionária, visto que o medidor da concessionária mede apenas o valor líquido do que é consumido na unidade.

Para empresas os dados precisos dos medidores inteligentes permitem também um balanceamento mais eficiente entre a oferta e a demanda, evitando sobrecargas desnecessárias e melhorando a eficiência operacional da rede.

Para as concessionárias, os consumidores terem medidores inteligentes na sua instalação pode trazer uma redução de custos operacionais. A automação e a capacidade de resposta rápida aos dados dos medidores podem otimizar o gerenciamento da rede. Além disso, com o consumidor tendo a possibilidade de verificar os dados tanto da geração quanto do consumo da carga, torna possível verificar irregularidades e diferenças na cobrança de seu consumo; isso acarreta em uma facilidade maior na detecção de fraudes e roubos de energia elétrica.

4. Conclusão

Graças a contribuição de diversos autores, suas obras, e dados estatísticos, observamos que a Energia Solar no Brasil está em crescimento acelerado e, sem dúvidas, são necessárias inovações e pesquisas para prover mais confiabilidade ao sistema. Essas inovações são de grande relevância para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, redes, instalações e corporações. Foi possível avaliar diversos pontos pertinentes ao tema como IoT, segurança da informação, aplicações web, impactos sociais, mudanças nas novas leis e, além disso, ter uma ampla reflexão sobre a importância e vantagens trazidas pelo uso dos medidores inteligentes.

Essas tecnologias tornam-se parceiras em diversos setores, sejam essas para consumidores normais, empresas, indústrias e concessionárias, pois, durante esse estudo foi apresentado indicadores que ratificam as inúmeras vantagens que os usos delas trazem, bem como a crescente demanda que está se instaurando já há algum tempo no Brasil e nos mais diversos países. Assim, podemos enxergar as aplicações inteligentes como a tecnologia do século e que está cada vez mais em expansão, tornando cada vez mais importante que se tenha confiabilidade nessas tecnologias.

Observa-se ainda, que para que o setor de *Smart Grid* consiga caminhar com cada vez mais transparência e segurança, se faz importante o desenvolvimento de estudos e tecnologias em diversas áreas, indo desde evolução e barateamento das tecnologias dos microcontroladores, redes e sensores até a área de segurança dos equipamentos, a informação e desenvolvimento de aplicativos.

Os avanços tecnológicos são inquestionáveis. Cada vez mais modificando a vida das pessoas, gerando conforto e confiança e trazendo soluções inteligentes para os mais diversos problemas que surgem. Além disso, os impactos socioeconômicos são os mais diversos. A expansão da energia solar e a criação dessas tecnologias geram empregos, comodidade, novas áreas de estudos cada vez mais nichadas além dos impactos ambientais positivos que o barateamento e melhora no *Payback* dessas tecnologias trazem.

Visto isso, podemos concluir que é de suma importância que o governo trabalhe bem nas legislações e incentivos, pois além de todos os impactos citados, o

mercado de energia solar é bastante aquecido e gera muitas vantagens econômicas e ambientais para o país. Esse presente estudo visa analisar os impactos e vantagens dessas tecnologias como um todo, bem como as possíveis problemáticas que podem surgir devido a eles.

REFERÊNCIAS

- [1] **GALDINO, M. A. E.; LIMA, J. H. G.; RIBEIRO, C. M.; SERRA, E. T.. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. Revista da DIRENG – Diretoria de Engenharia Aeronáutica.** Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2023.
- [2] **COSTA, K. R. Sistema de monitoramento e gerenciamento de energia baseado no Protocolo MQTT para unidades com geração distribuída.** repositório.ufc.br, 2021. Acesso em 19 set. 2023.
- [3] **UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ MBA EM GESTÃO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO LEONARDO MASSAMI FUKUDA SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO EM IOT MONOGRAFIA CURITIBA.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/19442/2/CT_GETIC_VIII_2019_05.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- [4] **ASHTON, Kevin. That 'Internet of Things' Thing. 2009.** Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>> Acesso em 20 nov. 2023.
- [5] **PACHECO, E.; MUNIZ BARRETTO, B. SMART GRID: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DAS REDES INTELIGENTES.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024546.pdf>>. Aceso em 12 nov. 2023.
- [6] **RIVERA, R.; ESPOSITO, A. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%c3%a9tricas%20inteligentes_P.pdf>. Acesso em 24 out. 2023.
- [7] **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA JOICE MACHADO MARTINS SISTEMA DE MONITORAMENTO DE DA-**

DOS PROVENIENTES DA ENERGIA FOTOVOLTAICA ATRAVÉS DE UMA PLATAFORMA IOT DE AQUISIÇÃO E. [s.l: s.n.]. Disponível

em: <<https://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/643/1/Sistema%20de%20monitoramento%20de%20dados%20provenientes%20da%20energia%20fotovoltaica%20atrav%C3%A9s%20de%20uma%20plataforma%20IOT%20de%20aquisi%C3%A7%C3%A3o%20e%20controle.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

[8] DONIZETTI, P.; OLIVEIRA, D.; DE, P. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES CAMPUS PATOS DE MINAS SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA DETECÇÃO DE FALHAS EM PLACAS FOTOVOLTAICAS**.

[s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23504/1/SistemaMonitoramentoDeteccao.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

[9] PARRON, V., Pedro. Energia Solar Fotovoltaica: Análise de sua expansão no Brasil. Acesso em 24 out. 2023.

[10] VIDAL, A. et al. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NOS SETORES COMERCIAL E INDUSTRIAL**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/4710/1/Monografia%202017.1%20-%20Adriana%20Lopes%20Vidal.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2023.

[11] FILHO, W. P. B., AZEVEDO, A. C. S. de, Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens, II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2014/artigo_gd.pdf>. Acesso em 20 out. 2023.

[12] Lei 14300/2022 – Marco Legal da Geração Distribuída

[13]: Montaña, D.A.M.; Rodriguez, D.F.C.; Rey, D.I.C.; Ramos, G. Hardware and Software Integration as a Realist SCADA Environment to Test Protective Relaying Control. IEEE Trans. Ind. Appl. 2018, 54, 1208–1217.

- [14]: Sicanica, Z.; Sucic, S.; Milašinovic, B. Architecture of an Artificial Intelligence Model Manager for Event-Driven Component-Based SCADA Systems. *IEEE Access* 2023, 10, 30414–30426.
- [15]: Silva, F.M.Q.; El Kattel, M.B.; Pires, I.A.; Maia, T.A.C. Development of a Supervisory System Using Open-Source for a Power Micro-Grid Composed of a Photovoltaic (PV) Plant Connected to a Battery Energy Storage System and Loads. *Energies* 2023, 15, 8324.
- [16]: Samosir, A.S.; Rozie, A.F.; Purwiyanti, S.; Gusmedi, H.; Susanto, M. Development of an IoT Based Monitoring System for Solar PV Power Plant Application. In *Proceedings of the International Conference on Converging Technology in Electrical and Information Engineering (ICCTEIE)*, Bandar Lampung, Indonesia, 27–28 October 2023; pp. 82–86.
- [17]: Adhya, S.; Saha, D.; Das, A.; Jana, J.; Saha, H. An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC)*, Kolkata, India, 28–30 October 2023; pp. 432–436.
- [18]: Manoharan, H.; Teekaraman, Y.; Kirpichnikova, I.; Kuppusamy, R.; Nikolovski, S.; Baghaee, H.R. Smart Grid Monitoring by Wireless Sensors Using Binary Logistic Regression. *Energies* October 2023.
- [19]: Motlagh, N.H.; Mohammadrezaei, M.; Hunt, J.; Zakeri, B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies* October 2023.