

Energia Elétrica e Sustentabilidade

Jaqueline Oliveira Rezende
(Organizadora)



Atena
Editora

Ano 2018

JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE

(Organizadora)

Energia Elétrica e Sustentabilidade

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E56	Energia elétrica e sustentabilidade [recurso eletrônico] / Organizadora Jaqueline Oliveira Rezende. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-85107-45-1 DOI 10.22533/at.ed.451180110 1. Desenvolvimento energético – Aspectos ambientais. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Energia elétrica. I. Rezende, Jaqueline Oliveira. CDD 338.4
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A sustentabilidade pode ser entendida como a capacidade de o ser humano utilizar os recursos naturais para satisfazer as suas necessidades sem comprometer esses recursos para atender as gerações futuras. Nesse contexto, a sustentabilidade está inter-relacionadas em diversos setores, sendo os principais o social, o ambiental e o econômico. Dessa forma, constitui um dos desafios da sociedade moderna o desenvolvimento sustentável que objetiva preservar o meio ambiente durante a realização de outras atividades.

A energia elétrica representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e, conseqüentemente, para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade. Portanto, esse setor também tem se preocupado com a geração, a transmissão, a distribuição de energia elétrica e a construção de novos empreendimentos, como as usinas hidrelétricas, de maneira a preservar o meio ambiente. Logo, a Engenharia Elétrica tem apresentado significativas pesquisas e resultados de ações pautadas na sustentabilidade.

Neste ebook é possível notar que a relação da Engenharia Elétrica e a Sustentabilidade é de preocupação de diversos profissionais envolvidos nesse setor, sendo esses advindos da academia, das concessionárias de energia elétrica e do governo. Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação da preservação do meio ambiente na engenharia elétrica.

Inicialmente são apresentados artigos que discorrem sobre o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade ambiental, custos ambientais em empreendimentos de geração de energia elétrica, recuperação ambiental, conservação da fauna, políticas administrativas e direcionamento de resíduos eletrônicos.

Em seguida, são descritos estudos sobre formas de geração de energia elétrica renováveis não convencionais, sendo apresentadas a energia eólica e a energia solar fotovoltaica. Essas formas de geração contribuem para o desenvolvimento sustentável, uma vez que geram energia elétrica utilizando recursos naturais não finitos, o vento na geração eólica e o sol na geração fotovoltaica.

Além disso, neste exemplar são expostos artigos que contemplam diversas áreas da engenharia elétrica, como redes smart grids, sistema de proteção, operação remota de usinas hidrelétricas, inteligência computacional aplicada a usina termelétrica, transformadores de potência, linhas de transmissão, tarifa horária, lâmpadas led, prevenção de acidentes em redes de média tensão e eficiência energética.

Jaqueline Oliveira Rezende

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O PARADIGMA INTERDISCIPLINAR DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL	
<i>Tiago Borga</i>	
<i>Rodrigo Regert</i>	
<i>Ludimar Pegoraro</i>	
CAPÍTULO 2	15
SUSTENTABILIDADE, RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE: A RELEVÂNCIA DA LOGÍSTICA	
<i>Welleson Feitosa Gazel</i>	
<i>Wesley Gomes Feitosa</i>	
<i>Antônio Adriano Alves de Souza</i>	
<i>Jeremias Monteiro Vaillant Junior</i>	
<i>Maria de Nazaré Souza Nascimento</i>	
<i>Márcio Costa</i>	
<i>Marcos José Alves Pinto Junior</i>	
<i>Carlos Renato Montel</i>	
CAPÍTULO 3	32
A CONTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE CONTAS ECONÔMICAS E AMBIENTAIS PARA ESTIMAR OS CUSTOS AMBIENTAIS NOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
<i>Adriana Maria Dassie</i>	
<i>José Eustáquio Diniz Alves</i>	
<i>David Montero Dias</i>	
CAPÍTULO 4	42
LEVANTAMENTO DOS IMPACTOS INERENTES À IMPLANTAÇÃO DE PCHS E IDENTIFICAÇÃO DO CUSTO DE OPORTUNIDADE NO RIO COXIM, MS, BRASIL	
<i>Thiago Oliveira Barbosa</i>	
<i>Poliana Ferreira da Costa</i>	
<i>Bruna Souza dos Santos</i>	
<i>Adriana Maria Güntzel</i>	
CAPÍTULO 5	57
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A AMPLIAÇÃO DAS SÉRIES DE DADOS DISPONÍVEIS, E AS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NO DIMENSIONAMENTO DE VERTEDORES	
<i>Marcos Vinicius Andriolo</i>	
CAPÍTULO 6	66
RECUPERAÇÃO SUSTENTÁVEL DO ENTORNO DE RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS: UM ESTUDO NA UHE CORUMBÁ IV	
<i>Jorge Santos Ribas Jr.</i>	
<i>José Roberto Ribas</i>	
<i>Tatiana Maria Soeltl</i>	
<i>André Nicolau Brylynskyi</i>	
CAPÍTULO 7	81
LT 500 KV ARA-TAU: COMO O LICENCIAMENTO AMBIENTAL PODE PROPICIAR A CONSERVAÇÃO DA ESPÉCIE AMEAÇADA <i>CALLITHRIX AURITA</i> (SAGUI-DA-SERRA-ESCURO)	
<i>Jéssica Motta Luiz Bom</i>	
CAPÍTULO 8	95
NOVAS DIMENSÕES DA GOVERNANÇA DO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO	
<i>Fernando Amaral de Almeida Prado Jr.</i>	
<i>Ana Lúcia Rodrigues da Silva</i>	

CAPÍTULO 9	107
A GOVERNANÇA COMO INSTRUMENTO DE POLÍTICA PÚBLICA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	
<i>Denise Pereira Barros</i>	
CAPÍTULO 10	120
O ACORDO DE PARIS E OS NOVOS CAMINHOS PARA A GESTÃO SOCIOAMBIENTAL: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA AS EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO	
<i>Gustavo André Santana de Sá</i> <i>Pedro Magalhães Sobrinho</i>	
CAPÍTULO 11	133
OS CRITÉRIOS ENERGÉTICO-ECONÔMICOS UTILIZADOS NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: REFLEXÕES SOBRE ALGUNS MITOS E A NECESSIDADE DE UMA NOVA AGENDA	
<i>Luiz Claudio Gutierrez Duarte</i>	
CAPÍTULO 12	151
MITIGAÇÃO DO RISCO HIDROLÓGICO- LEILÃO DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA NA MODALIDADE SWAP DA ELETRONORTE	
<i>Ivan Rezende</i> <i>Virginia Fernandes Feitosa</i> <i>João David Resende</i> <i>Dante de Castro Simplicio</i> <i>Rafael Capistrano dos Santos Stanzani</i> <i>Gervásio Nery De Albuquerque</i>	
CAPÍTULO 13	159
A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA COMO RESULTADO DO APROVEITAMENTO DO CAPITAL INTELECTUAL PROTEGIDO PELO DIREITO DA PROPIEDADE INTELECTUAL – UM VETOR DE AUMENTO DE RECEITA EM POTENCIAL	
<i>Fernando da Silva Jansen</i>	
CAPÍTULO 14	174
O CUSTO E A ESTRUTURA DE CAPITAL PARA A INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA: ASPECTOS METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES	
<i>Luiz Claudio Gutierrez Duarte</i> <i>Washington Blanco</i>	
CAPÍTULO 15	188
GESTÃO DE CUSTOS EMPRESARIAIS NO NEGÓCIO TRANSMISSÃO	
<i>Ana Rita Xavier Haj Mussi</i> <i>Marcos Paulo Boaventura Severino Rezende</i>	
CAPÍTULO 16	202
GESTÃO E GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS EM GARANHUNS-PE	
<i>Rosalva Raimundo da Silva</i> <i>José Romenik de Almeida</i> <i>Marcela Caroline S F Azevedo</i> <i>Maria Claudjane J. L. Alves</i>	
CAPÍTULO 17	213
METODOLOGIA PARA O PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO CONSIDERANDO A INSERÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA EM LARGA ESCALA NA MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL	
<i>Sérgio Pinheiro dos Santos</i> <i>Fernando Rodrigues Alves</i>	

*Antônio Roseval Ferreira Freire
Ronaldo Ribeiro Barbosa de Aquino
Otoni Nóbrega Neto
Pedro Alves de Melo*

CAPÍTULO 18 225

GRUPO GPT, GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS
COMPARAÇÃO DE CÁLCULO DE PRODUÇÃO EÓLICA UTILIZANDO WASP, OPENWIND E WINDSIM EM
TERRENO COMPLEXO NA BAHIA, BRASIL

*Daniel Agnese Ramos
Vanessa Gonçalves Guedes
Angelo Alberto Mustto Cabrera
Sérgio Roberto Ferreira Cordeiro de Melo
Wady Abrahamo Cury Netto
Tulio Anselmo dos Santos Valentim*

CAPÍTULO 19 235

A INFLUÊNCIA, SOB O ASPECTO DE CURTO-CIRCUITO, DE GERADORES EÓLICOS NO SISTEMA
ELÉTRICO DE POTÊNCIA.

*Eloi Rufato Junior
Lucas Marino Bianchessi Sganzeta
William Da Veiga*

CAPÍTULO 20 247

PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO E CONTROLE IOT INTEGRADO A SISTEMA DE GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA

*Caio Castro Rodrigues
Joice Machado Martins
Layse Pereira do Nascimento
João Vitor Natal Silva Quincó Maciel
Otavio Andre Chase
José Felipe Souza de Almeida*

CAPÍTULO 21 258

DETERMINAÇÃO DE PROCESSOS PARA LEVANTAMENTO PRÁTICO DAS CURVAS
CARACTERÍSTICAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

*Jaqueline Oliveira Rezende
Sebastião Camargo Guimarães Júnior*

CAPÍTULO 22 272

ANÁLISE DO PAYBACK DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR
NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

*Samara Iasmim Schardong
Andréia Balz
Fábio Augusto Henkes Huppés
Mauro Fonseca Rodrigues*

SOBRE A ORGANIZADORA 283

PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO E CONTROLE IOT INTEGRADO A SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Caio Castro Rodrigues

Universidade Federal Rural da Amazônia, Núcleo de Sistemas Ciberfísicos
Belém – Pará

Joice Machado Martins

Universidade Federal Rural da Amazônia, Núcleo de Sistemas Ciberfísicos
Belém – Pará

Layse Pereira do Nascimento

Universidade Federal Rural da Amazônia, Núcleo de Sistemas Ciberfísicos
Belém – Pará

João Vitor Natal Silva Quincó Maciel

Faculdade Estácio de Belém, Departamento de Engenharia de Controle e Automação
Belém – Pará

Otávio Andre Chase

Universidade Federal Rural da Amazônia, Núcleo de Sistemas Ciberfísicos
Belém – Pará

José Felipe Souza de Almeida

Universidade Federal Rural da Amazônia, Núcleo de Sistemas Ciberfísicos
Belém – Pará

RESUMO: Neste artigo é proposto a construção de um gerador fotovoltaico monofásico de pequeno porte, integrado a uma plataforma de aquisição e controle de dados conectada à internet, através de IoT (Internet of Things). Para o desenvolvimento do sistema é utilizada

uma placa fotovoltaica, um conversor de tensão e um inversor de potência no bloco de geração e condicionamento. As análises de dados são feitas através de um sistema computacional embarcado, que realiza a leitura dos sinais dos sensores, recepção e transmissão de dados pelo módulo de conexão Wi-Fi, e o envio de sinais de controle a dispositivos atuadores. Os dados processados pela placa microcontrolada são disponibilizados localmente e remotamente em uma Application Programming Interface (API).

PALAVRAS-CHAVE: Gerador Fotovoltaico, IoT, API, Sistema Embarcado.

ABSTRACT: This application proposes the construction of a small single-phase photovoltaic generator. The PV system structure is integrated to a data acquisition and control platform in connecting Internet of Things (IoT). The system development uses a photovoltaic plate, a voltage converter and a power inverter in the generation and conditioning block. An embedded system processes the data associated with performs the reading of the sensor signals, reception and data transmission by the Wi-Fi connection module, and sending control signals to actuators. The data processed by the microcontroller board is made available locally and remotely in an Application Programming Interface (API).

KEYWORDS: Photovoltaic Generator, IoT, API,

1 | INTRODUÇÃO

Questões relacionadas ao meio ambiente vem ganhando mais destaque ao longo dos anos, as medidas tomadas na sociedade atual buscam visar o equilíbrio entre o interesse econômico humano e a manutenção dos recursos naturais. Diante a isto, procurou-se também desenvolver tecnologias no setor de energia elétrica em que os impactos ambientais fossem minimizados, com o objetivo de aproveitar os recursos naturais e usá-los de forma racional. Objetivando isto foram desenvolvidas as energias renováveis, onde é possível aproveitar as correntes eólicas, a radiação solar, a corrente das marés, entre outras, e posteriormente transformar a energia obtida em eletricidade. A energia solar fotovoltaica é considerada a grande aposta das energias renováveis no Brasil devido sua localização geográfica que proporciona altos índices de radiação incidente, impulsionado por este fato em 2012 entrou em vigor a resolução normativa N°482/2012 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Esta lei propôs as condições a serem atendidas para que consumidores pudessem ter amparo legal na geração de energia elétrica a partir de fontes de energias renováveis. Esta resolução proporcionou ainda que, ao se fornecer energia elétrica excedente para a rede de distribuição da concessionária, originam-se créditos e, além disso, descontos na conta de energia do consumidor baseado nos créditos gerados (ANEEL, 2012).

Todavia, a resolução normativa N° 687/2015 também da ANEEL é a que está em vigor no país atualmente e altera a resolução N° 482/2012, trazendo conceitos atualizados sobre minigeração e microgeração distribuída, além de citar o sistema de compensação de energia elétrica e geração compartilhada (Aneel, 2015). Já a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) dispôs a NBR 16149:2013, em que estabelece os parâmetros técnicos relacionados a variáveis de geração elétrica como: tensão, corrente, frequência, distorção harmônica, entre outros (ABNT, 2013).

No manual apresentado por Pinho e Galdino (2014) é ressaltado que os geradores fotovoltaicos podem atuar como fonte complementar ou secundária à rede elétrica em que estão conectados. Alguns sistemas conectados à rede são associados a dispositivos com o objetivo de monitorar e armazenar dados remotamente, durante a operação da geração e condicionamento de sinal. Desse modo, possibilita que o usuário possa ter acesso a informações e controle em tempo real, proporcionando assim, uma melhor detecção a falhas.

Visando um desenvolvimento energético mais sustentável e eficiente através da energia solar, este projeto apresenta uma plataforma de geração de energia elétrica grid tie inteligente, controlando basicamente todos os processos envolvidos na geração. Portanto, este sistema é alimentado por energia fotovoltaica ou pela rede elétrica, utilizando de um microcontrolador como UCP (Unidade Central de Processamento) integrados a uma API IoT. Assim, todo processo é monitorado via comunicação remota

por uma plataforma desenvolvida para os sistemas operacionais Android e iOS.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Gerador FV

Para a construção de sistemas fotovoltaicos é necessário determinar o material da célula geradora de eletricidade, e podem ser constituídas de diferentes tipos de elementos, o desenvolvimento deste trabalho contou com um módulo fotovoltaico que utiliza células de silício policristalino, é importante frisar que a sua eficiência energética e custo-benefício são compensatórios se comparados com outros. A tabela 1 descreve as especificações do módulo.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Potência	20Wp
Voltagem de Circuito Aberto	20,5Vdc
Voltagem de Potência Máxima	16,5Vdc
Corrente de Potência Máxima	1,21 ^a
Temperatura Nominal da Célula Operacional	43°C
Dimensão	430x540x34mm
Valor de Saída	+/- 10%

Tabela 1 - Especificações elétricas do módulo H200 da Helios Technology para as condições de teste radiancia de 100mW/cm², temperatura da célula 25°C e AM 1,5.

A partir dos dados técnicos característicos do módulo, verificou a necessidade da utilização de um circuito de condicionamento (conversor DC - DC) de sinal, pois o circuito inversor – detalhado posteriormente – utiliza em sua entrada tensões que podem variar de 11 a 15Vdc. Este conversor de tensão do tipo DC-DC regula o sinal proveniente do módulo para que esteja dentro da faixa de tensão nominal de entrada do inversor. Para desempenhar essa função, utilizou-se um regulador de tensão modelo LM2596 com conversor do tipo Step Down, pois possui a característica de baixar a tensão, oscilador interno de frequência fixa de 150kHz. Isto permite reduzir a corrente para 3A, podendo ajustar a tensão de saída entre 1,5V a 35V, tendo como entrada valores entre 3,2V a 40V. Pode-se ressaltar também, o fato de disponibilidade de desligamento devido a efeito térmico e proteção de limite de corrente.

Fica a cargo do inversor de potência interligar o arranjo fotovoltaico à rede elétrica. Este dispositivo é responsável pela transformação da tensão de corrente contínua (DC) em tensão de corrente alternada (AC), constituem também um ponto no qual se dá o fluxo de potência, sendo responsável por dar maior eficiência ao sistema.

Vale ressaltar que, tais dispositivos abrangem mecanismos de rastreamento que detectam o ponto de máxima potência (MPP). Este processo é realizado por meio

de um conversor DC ligado em série com o inversor, para assim, ajustar a tensão de entrada do inversor à tensão correspondente ao MPP. Em seu trabalho, Almeida (2012) afirma que os inversores utilizam materiais semicondutores executando funções de chaves estáticas para efetuar a comutação responsável pela conversão DC-AC. A Tabela 2 apresenta dados técnicos do inversor utilizado.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Potência Máxima	400W
Tensão de Entrada DC	11 A 15V
Tensão de Saída AC	127V
Frequência	60Hz \pm 3Hz
Eficiência	> 80%

Tabela 2 – dados técnicos do Inversor de Potência.

O inversor utilizado, transforma 12Vdc para 127Vac gerando uma onda de saída com o formato senoidal de baixa distorção harmônica, monofásico e compatível com a rede elétrica convencional brasileira.

Para que o sistema pudesse processar os dados da geração fotovoltaica, foram conectados a este equipamento sensores e atuadores, podendo detectar e atuar em falhas ou anormalidades que possam ser prejudiciais ao sistema, de forma automática. A Figura 1 ilustra o modelo do sistema desenvolvido para esta aplicação.

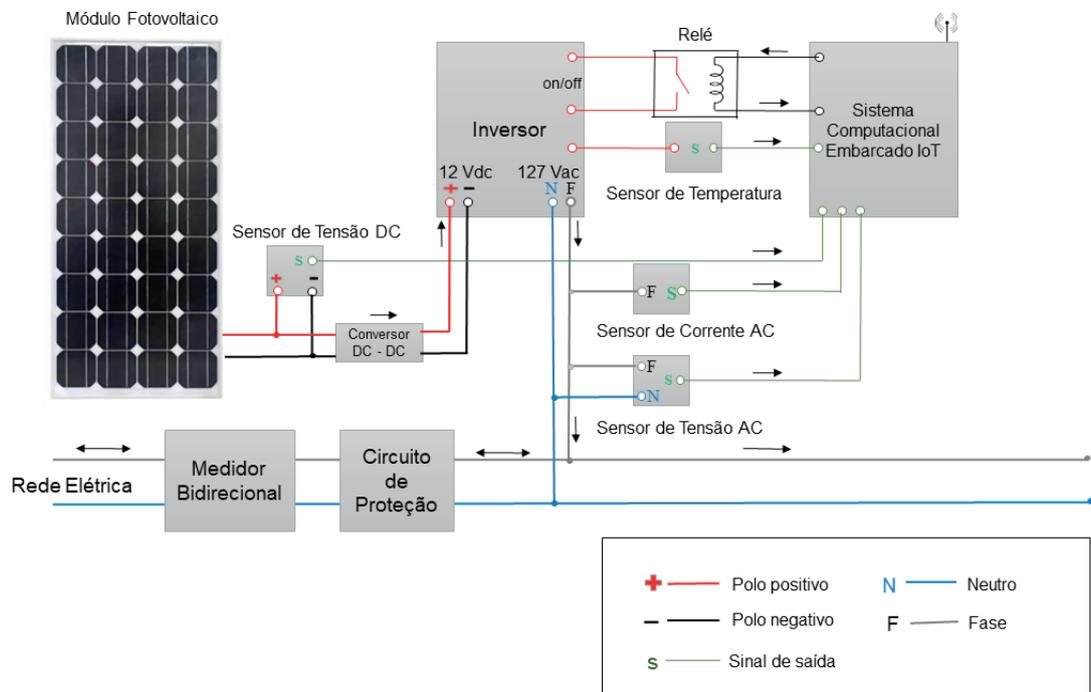


Figura 1 – Gerador Fotovoltaico Integrado a Sistema IoT.

Os sensores e atuadores também desempenham funções como detecção de dados da temperatura do inversor para evitar superaquecimento. As demais funções do sistema são executadas por um sistema computacional embarcado de aquisição,

processamento e controle de variáveis baseado em IoT.

2.2 Aquisição, Processamento e Controle

O dispositivo utilizado para a aquisição de dados foi o Arduino Mega que é uma placa microcontroladora baseada no ATmega2560 onde possui 54 pinos de entrada/saída digitais, 16 entradas analógicas, 4 UART's (portas seriais) e principalmente uma conexão USB que fica responsável pela comunicação direta com a IDE do próprio controlador, vale ressaltar que a plataforma do arduino é open source facilitando assim a implementação da lógica de programação. O sensor analógico LM35 fica responsável pela verificação da temperatura do inversor de potência, onde apresenta uma faixa de leitura de -55 a 150°C , este dispositivo se mostra necessário de forma a evitar o superaquecimento do inversor.

Outra ferramenta de medição usada no sistema foi o sensor de tensão DC, que realiza a medição da saída de tensão do painel para aquisição de dados pelo microcontrolador. Este sensor analógico é capaz de ler tensões entre 0 e 25V. No entanto, a placa Arduino opera em suas portas de entradas analógicas com até 5V, sendo necessário realizar divisão de tensão usando dois resistores de precisão para a leitura das medidas. O módulo fotovoltaico funciona com tensão de potência máxima de 16,5V, o circuito divisor de tensão deve operar em até 5V na saída (Volt) para não danificar a porta de leitura do microcontrolador, dessa forma o primeiro resistor foi mantido em $30\text{K}\Omega$, e utilizando técnicas de resolução de circuitos obtêm-se o segundo resistor igual $7,5\text{K}\Omega$, mantendo essas características é possível relacionar proporcionalmente o valor analógico percebido pelo microcontrolador em um valor correspondente a tensão medida. Através dessas aferições podemos determinar o acionamento e desligamento do circuito inversor por meio de um modulo relé, com a intenção de proteger contra baixa e alta tensão na entrada.

Outro sensor aplicado foi o sensor de corrente AC RMS (Root Mean Square) não invasivo SCT – 013 que realiza medições de 0 a 100 A, com a intenção de melhorar a resolução das medidas foi estipulado uma faixa de operação de 0 a 30 A, sendo assim encontrou-se a necessidade de utilizar um resistor de carga no valor de 330Ω . Este sensor de corrente AC é utilizado em conjunto com o sensor analógico de tensão AC do modelo P8, que possui um optoacoplador isolando o sinal AC de entrada do sinal DC de saída, através de um circuito integrado garantindo assim as medições de potência gerada pela saída do inversor. Outra função designada a esses dois sensores, é a detecção de falhas e suas medições podem acelerar o processo de atuação evitando avarias no sistema.

Para visualização dos dados local, um LCD 20x4 em conjunto com módulo serial I2C foi instalado, desta forma a sua operação utiliza menos portas do microcontrolador, além do mais uma chave seletora foi empregada para que desligue o LCD enquanto não está sendo visualizado, proporcionando assim redução no consumo de energia

do sistema.

Por fim, com a utilização do módulo relé com sinal de controle de 5V pode-se controlar a atuação, funcionando como uma chave magnética de forma segura em até 10 A. Isto permite que entre em operação toda vez que alguma anormalidade for detectada e faça o desligamento do equipamento que se encontra em estado crítico.

2.3 Aplicação IoT

A IoT, objetiva a integração entre o mundo virtual e o mundo real, ou seja, todos os equipamentos eletrônicos que possuem acesso à internet de forma direta ou com auxílio de outro dispositivo, criando assim uma rede de sensores conectados a um digital cloud, as informações obtidas são processadas e retornadas ao usuário (Afonso e Pereira, 2015).

A comunicação IoT proposta foi desenvolvida para monitorar e controlar basicamente todos os processos envolvidos em um sistema fotovoltaico, com acionamento remoto. Um sistema de controle IoT necessita de acesso à internet como pré-requisito de seu funcionamento, para isto, usou-se como base o microcontrolador ATmega2560, um módulo Wi-Fi ESP8266 conectado a um modem/roteador e um aplicativo para acesso a informações e controle. O protocolo de comunicação utilizado foi baseado em MQTT (Message Queue Telemetry Transport) protocolo padrão para desenvolvimento desse tipo de aplicação. Esse protocolo foi escolhido pelo fato de poder operar de forma assíncrona entre os dispositivos. Tendo em vista o modo de operação, o fluxo de dados acontece pela porta 8443 (SSL) do roteador, os dados processados são enviados para o módulo de conexão Wi-Fi com seu firmware configurado no modo de operação client/acesspoint, isto permite realizar a conexão com o servidor localizado em digital cloud, os quais podem ser acessados remotamente em um dispositivo mobile. Os dados monitorados por este sistema são: tensão DC (entrada do inversor) e AC (saída do inversor), corrente alternada RMS e potência de entrada e de saída do inversor. Desse modo foi possível programar o microcontrolador com as configurações necessárias de funcionamento com uso da interface gráfica Blynk. A figura 2 apresenta a ilustração do sistema IoT.

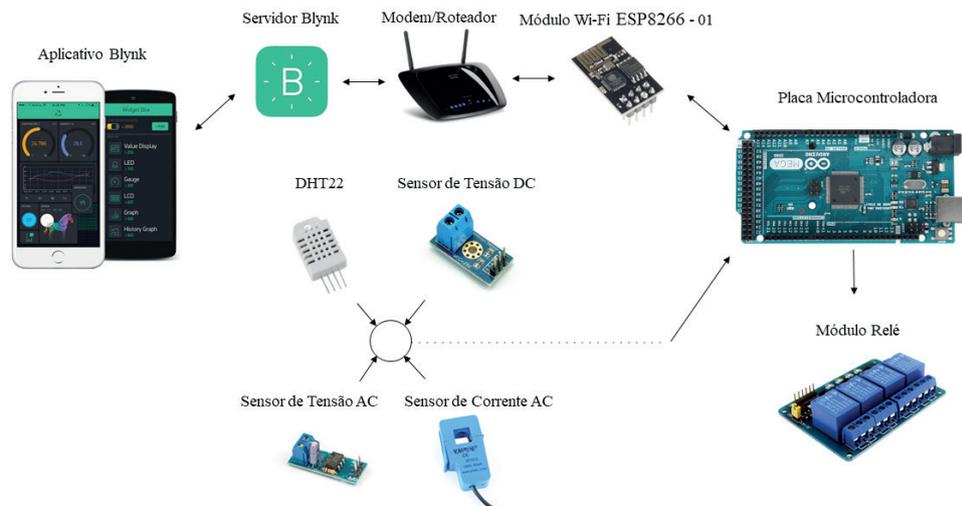


Figura 2 – Sistema de Aquisição e Controle IoT.

O acesso a plataforma de aquisição e controle, pode ser feito de forma simultânea entre diferentes dispositivos, mantendo a sincronia nas ações executadas pelos usuários. A conexão do aplicativo é flexível e segura, sendo realizada através de um código de autenticação de 32 caracteres e permissão do administrador do sistema. Dessa maneira, limita o acesso somente aos usuários cadastrados para utilizar a sistema. Outras características que valem ser ressaltadas é a não restrição no número de acessos, desde que o usuário possua o código de autenticação, permissão do administrador e acesso à internet, possibilidade de manutenção ou alteração do aplicativo remotamente e capacidade de integração dos dados com outros programas.

3 | RESULTADOS

3.1 Gerador FV

Posicionou-se dois refletores de 700W de potência somada a um metro de distância do painel fotovoltaico, os mesmos foram ajustados em 1704 lux de incidência sobre as células fotovoltaicas. Na Fig. 3 podemos visualizar como o módulo fotovoltaico se comportou durante as 50 medições realizadas.

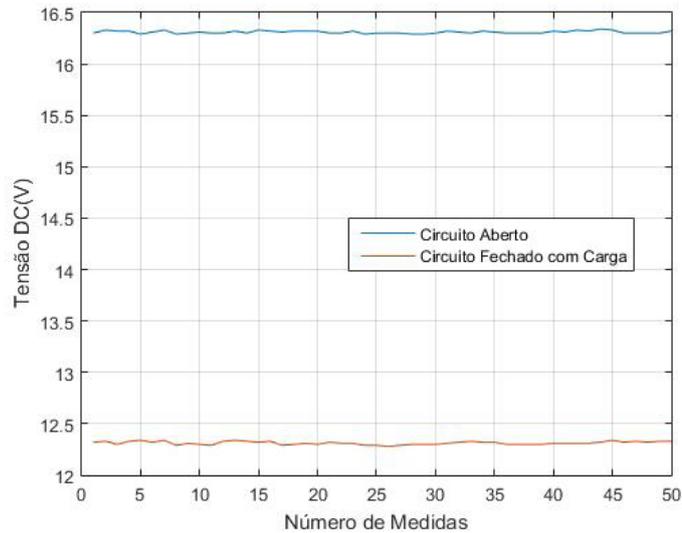


Figura 3 – Resposta em tensão do módulo fotovoltaico (circuito aberto e fechado com carga).

A tensão em circuito aberto obteve valor médio de 16,3092Vdc e a tensão de circuito fechado com carga obteve valor médio de 12,3128Vdc, essa diferença entre as tensões é ocasionada pelo fato da tensão de circuito aberto possuir corrente nula e resistência tendendo ao infinito (Pereira, 2012). Essa característica, associadas às informações elétricas do painel fotovoltaico, apresentou uma diferença de aproximadamente 4Vdc em relação as médias das tensões. Ao obter as medidas, regulou-se o potenciômetro do conversor DC–DC step down para que as tensões na saída do painel não ultrapassem 18Vdc, com a finalidade de proteger a entrada do inversor que opera até 15Vdc, e tensão ideal de operação na entrada com valor 12Vdc. Foram realizadas medições nos terminais de entrada e saída do inversor de forma simultânea e seus resultados são apresentados na Fig. 4.

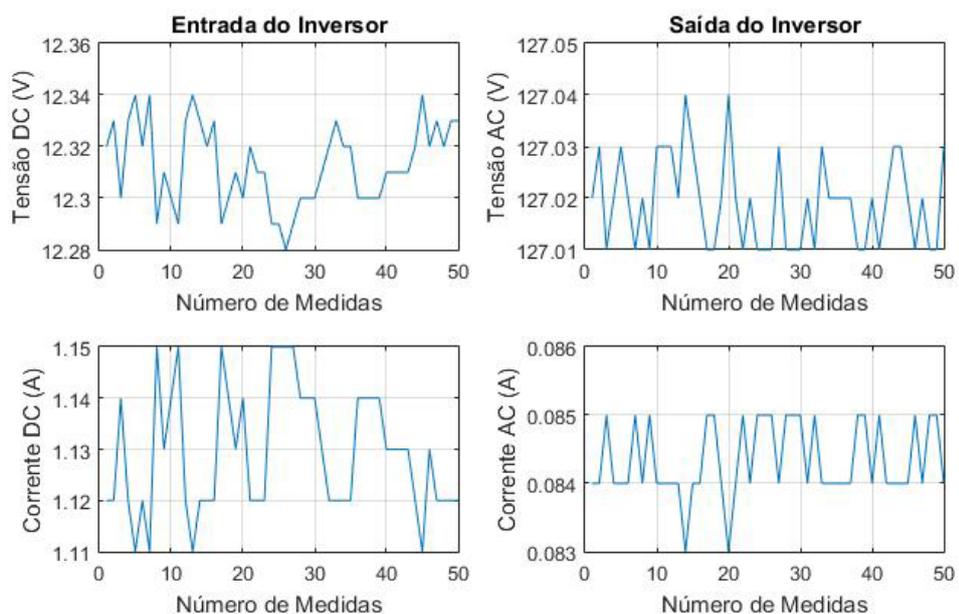


Figura 4 – Gráficos de medição simultânea na entrada e na saída do inversor.

Ao analisar os gráficos das variáveis de entrada do inversor, percebe-se uma oscilação entre os valores obtidos, essa variação se dá por conta das características elétricas do painel fotovoltaico, no entanto as medidas oscilam entre valores muito próximos que ao serem analisados em maior escala não apresentam grande significância para o protótipo proposto. As variáveis de saída foram medidas com o sensor de tensão AC e sensor de corrente AC descritos anteriormente, a análise gráfica das variáveis de saída do inversor mostra estabilidade de sinal, em contrapartida foi constatado queda de potência da entrada em relação a saída. Essa redução se dá por conta de perdas internas, incluindo efeito Joule, amenizadas através do controle de temperatura com o sensor de temperatura e dois coolers. Nesse contexto, verificou-se a potência de entrada e de saída com o intuito de determinar a eficiência real de operação. A Fig. 5 apresenta as medidas obtidas.

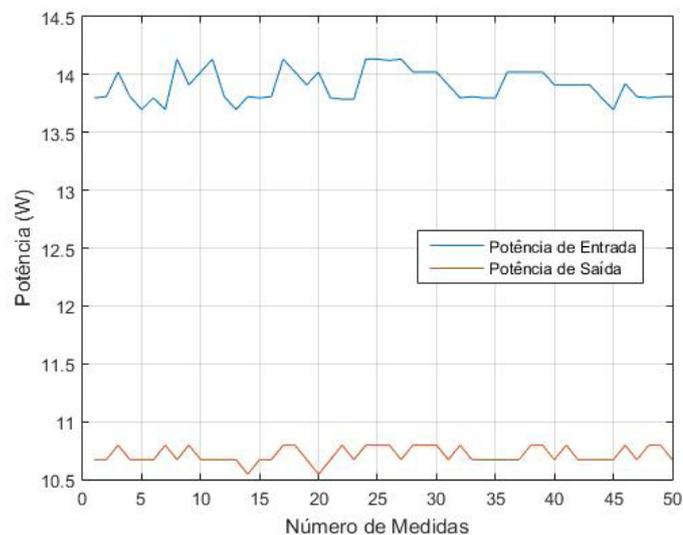


Figura 5 – Potência de entrada e de saída do inversor.

A potência média de entrada mostra valor de 13,9059W e a potência média de saída apresenta valor de 10,7128W. Esses dados mostram a eficiência média do inversor obtendo aproximadamente 77,04% em relação a potência. A eficiência calculada mostra-se abaixo da especificação de valores nominais do dispositivo, no entanto, apresentou sinal relativamente estável com desvio padrão muito pequeno (0,0701). Tendo em vista essa característica do dispositivo, verificou-se que, mesmo a eficiência abaixo de 80%, o sistema apresentou estabilidade de sinal, tanto na corrente quanto na tensão. A potência média de entrada mostra valor de 13,9059W e a potência média de saída apresenta valor de 10,7128W. Esses dados mostram a eficiência média do inversor obtendo aproximadamente 77,04% em relação a potência. A eficiência calculada mostra-se abaixo da especificação de valores nominais do dispositivo, no entanto, apresentou sinal relativamente estável com desvio padrão muito pequeno (0,0701). Tendo em vista essa característica do dispositivo, verificou-se que, mesmo a

eficiência abaixo de 80%, o sistema apresentou estabilidade de sinal, tanto na corrente quanto na tensão.

3.1 Sistema de Controle IoT

O aplicativo desenvolvido recebe os dados e envia sinal de controle para atuação em falhas ou conexão e desconexão do circuito inversor. A interface gráfica contou basicamente com três telas (Figura 6), a primeira é de configuração e identificação de usuário, a segunda com caixas gráficas mostrando separadamente as variáveis analisadas, a terceira e última tela mostra os gráficos construídos em forma de live, ou seja, os sensores medem os dados e, em cerca de 12ms esses dados são dispostos nos gráficos. Ao todo o aplicativo gera dois gráficos, um para registrar a entrada do inversor e outro medindo a saída. Assim, os dados são armazenados em digital cloud, em banco de dados, com capacidade de registrar 1 ano de informação. Isto é feito de tal forma que, não há necessidade de exportar os resultados para outros programas, nessa tela também há opções on/off, que controlam o acionamento do inversor, além de registrar a eficiência na conversão de potência e a temperatura do dispositivo.

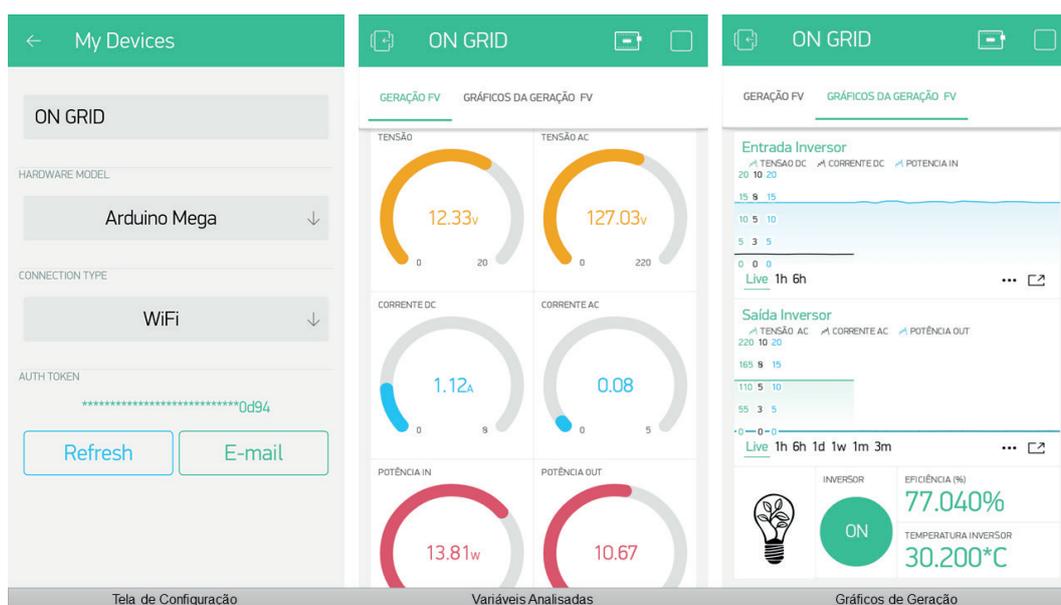


Figura 6 – Aplicativo Desenvolvido Utilizando Tecnologia Blynk.

Um detalhe importante a ser ressaltado, é a estabilidade que o servidor mostrou a esse tipo de aplicação, pois apresentou tempo de resposta média em 9ms e velocidade estável em 29,43Mb/s. Com relação ao tempo de atuação em falhas ou superaquecimento do inversor, envolvendo os processos eletromecânicos e computacionais, ficou em média 833ms, mostrando performance satisfatória em relação a rapidez de atuação tendo em vista a arquitetura desenvolvida.

4 | CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido para servir de um protótipo de baixo custo e baixa potência, relacionado a produção de energia elétrica através de fontes renováveis utilizando sistemas computacionais IoT. No decorrer dos experimentos foi analisado o comportamento das variáveis envolvidas na geração, apresentando dados satisfatórios. Portanto, o uso desse protótipo mostra-se viável em relação a estabilidade apresentada, bastando realizar os ajustes necessários para sua utilização em sistemas de geração de maior potência. Contudo, como é um sistema que opera com ferramentas que usam IoT, aplica-se apenas a localidades que contam com acesso à internet. Quanto ao aplicativo usado para monitorar os dados enviados, este mostrou-se muito eficaz e de fácil acesso ao usuário.

Outro fato que evidencia a relevância desse projeto está relacionado a energia derivada de raios solares trazer uma proposta onde se aproveita o que a natureza oferece, isso permite uma melhor qualidade ambiental e assegura a manutenção do planeta para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16149**, 1 de março de 2013.

Afonso, B. S.; Pereira, R. B.; Pereira, M. F.; **Utilização da Internet das Coisas para o desenvolvimento de ministação de baixo custo para monitoramento de condições do tempo em áreas agrícolas**. Anais da Escola Regional de Informática da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) – Regional de Mato Grosso, [S.l.], v. 6, p. 183-189, nov. 2015. ISSN 2447-5386. Disponível em: <<http://anaiserimt.ic.ufmt.br/index.php/erimt/article/view/50/52>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

Almeida, M. P. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 2012. 161 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Energia. Universidade de São Paulo. 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 482**, 17 de abril 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 687**, 24 de novembro de 2015.

Pereira, F. M. C. **Conversor CC/CC elevador para painéis fotovoltaicos**. 2012. 89 p. Dissertação de Mestrado. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Pinho, João Tavares; Galdino, Antônio Marcos. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

SOBRE A ORGANIZADORA

Jaqueline Oliveira Rezende Possui graduação em Engenharia Elétrica, com certificado de estudos em Engenharia de Sistemas de Energia Elétrica e mestrado em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é aluna de doutorado em Engenharia Elétrica, no Núcleo de Dinâmica de Sistemas Elétricos, pela Universidade Federal de Uberlândia. Atuou como professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação. Tem realizado pesquisas em Sistemas de Energia Elétrica, dedicando-se principalmente às seguintes áreas: Energia Solar Fotovoltaica; Curvas Características de Painéis Fotovoltaicos; Dinâmica de Sistemas Elétricos; Geração Distribuída; Simulação Computacional; Algoritmo Genético.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-45-1

