



UNILAB

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA

AFRO-BRASILEIRA

INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - IEDS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS

AUGUSTO FELIX GOMES

**INTERNET OF ENERGY: “UMA GESTÃO INTELIGENTE, EFICIENTE E
SUSTENTÁVEL DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA VIA INTERNET”**

REDENÇÃO

2023

AUGUSTO FELIX GOMES

INTERNET OF ENERGY: “UMA GESTÃO INTELIGENTE, EFICIENTE E SUSTENTÁVEL
DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA VIA INTERNET”

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável - IEDS da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energias .

Orientador: Prof. Dr. Sabi Yari Moïse
BANDIRI

REDENÇÃO

2023

AUGUSTO FELIX GOMES

INTERNET OF ENERGY: “UMA GESTÃO INTELIGENTE, EFICIENTE E SUSTENTÁVEL
DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA VIA INTERNET”

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de Energias
do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento
Sustentável - IEDS da Universidade da Integra-
ção Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira,
como requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Energias .

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sabi Yari Moïse BANDIRI (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira(UNILAB)

Prof. Msc. Jairo Lima do Nascimento (Examinador)
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileir (UNILAB)

Dr. Orlando Cristiano da Silva (Examinador)
Universidade de São Paulo (USP)

Dedico este trabalho, com toda gratidão à minha amada mãe, Zilda Da Silva, e às minhas queridas irmãs. Vocês são a força e o amor que me inspiram a cada dia. Agradeço por todo apoio, amor incondicional e pela presença constante em minha vida. Sou abençoado(a) por tê-las ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a divindade suprema e aos meus ancestrais, pelo presente da existência e pela oportunidade de alcançar este momento.

Expresso minha gratidão à minha família, cujo apoio inabalável e crença em mim, aliados à sua dedicada paciência, contribuíram diretamente para tornar minha jornada mais suave e menos árdua.

Agradeço ao Estado Brasileiro, por sua cooperação bilateral solidária na criação da UNILAB, assim como por sua contribuição significativa para o meu desenvolvimento socio-acadêmico e profissional.

À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), expresso meu agradecimento por ter proporcionado a oportunidade que se desvela diante de mim hoje.

Ao Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), sou grato pelos ensinamentos acadêmicos e profissionais que me foram proporcionados.

Aos meus colegas de curso e da universidade, sou grato pela constante partilha, ajuda e motivação que sempre me dispensaram.

E, por fim, gostaria de expressar minha gratidão ao Professor Doutor Sabi Yari Moïse BANDIRI, por me orientar em meu trabalho de conclusão de curso, e pela dedicação, compreensão e amizade que compartilhou comigo.

“A riqueza de um país não está em suas terras,
mas no conhecimento de seu povo.”

(Patrice Lumumba)

RESUMO

A demanda mundial por eletricidade está crescendo rapidamente devido ao aumento populacional e à dependência de tecnologias que requerem energia elétrica. Esse aumento da dependência cria uma necessidade cada vez maior de energia disponível. Como parte do desenvolvimento científico e tecnológico, Os Estados e as principais organizações dos países têm se empenhado em criar produtos e serviços relacionados à rede inteligente. As autoridades reguladoras do setor têm buscado acompanhar a evolução tecnológica e as demandas da indústria, levando em consideração suas particularidades institucionais e de mercado. Neste contexto, surge a *Internet of Energy* (IoE) que visa ajudar na resolução dos problemas no sistema elétrico de potência, tais como desequilíbrio na demanda e distribuição de energia, integração de energias renováveis, ineficiência energética, monitoramento e manutenção preditiva, além de permitir uma resposta mais eficiente a emergências e crises no setor elétrico. Através da conectividade e da gestão inteligente de dispositivos e dados, a IoE possibilita melhorias na eficiência, na sustentabilidade e na confiabilidade do sistema elétrico. O objetivo deste trabalho é analisar e compreender a aplicação de IoE, como uma tecnologia que pode aprimorar a qualidade de energia com a inclusão das fontes renováveis. Neste estudo, foi utilizada a metodologia de revisão narrativa de literatura, envolve a coleta, análise e síntese de informações presentes em estudos acadêmicos e literatura existente sobre um determinado tema. Os dados levantados foram compilados com o intuito de aprofundar o conhecimento sobre o tema em estudo.

Palavras-chave: *Internet of Energy* (IoE). Sistema Elétrico. Eficiência e Sustentabilidade Energética. Fontes Renováveis.

ABSTRACT

The global demand for electricity is rapidly increasing due to population growth and reliance on electricity-dependent technologies. This increased dependence creates an ever-growing need for available energy. As part of scientific and technological development, countries and major organizations have been striving to create products and services related to the smart grid. Regulatory authorities in the industry have sought to keep pace with technological advancements and industry demands, taking into account their institutional and market-specific characteristics. In this context, the Internet of Energy (IoE) emerges, aiming to help address issues in the power system, such as imbalances in energy demand and distribution, integration of renewable energies, energy inefficiency, predictive monitoring and maintenance, and enabling a more efficient response to emergencies and crises in the electricity sector. Through connectivity and intelligent management of devices and data, IoE enables improvements in the efficiency, sustainability, and reliability of the electrical system. The objective of this study is to analyze and understand the application of IoE as a technology that can enhance energy quality through the inclusion of renewable sources. In this study, a narrative literature review methodology was used, involving the collection, analysis, and synthesis of information from academic studies and existing literature on a specific topic. The gathered data was compiled to deepen the understanding of the subject under study..

Keywords: Internet of Energy (IoE). Electrical System. Efficiency and Sustainability. Energy. Renewable Sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do sistema Energético	21
Figura 2 – Evolução da rede elétrica do passado para o futuro	23
Figura 3 – Esquema de um sistema elétrico de potência - SEP.	24
Figura 4 – Esquema da Usina Hidrelétrica.	25
Figura 5 – Matriz Energética Brasileira, incluindo a importação	26
Figura 6 – Mapa do Sistema de Transmissão	27
Figura 7 – Objetivos da IoE	30
Figura 8 – Analogia entre a IoE e Internet	31
Figura 9 – Camadas da Arquitetura de IoE	33
Figura 10 – Arquitetura funcional de IoT	34
Figura 11 – Arquitetura da IoE	35
Figura 12 – Sistema FREEDM: elementos-chave	36
Figura 13 – Roteador de Energia	38
Figura 14 – Gerenciamento de Armazenamento de Energia por IoE	38
Figura 15 – Módulos de Supercapacitores	44
Figura 16 – Visão Esquemática das Baterias de Fluxo	45
Figura 17 – Sistema Inteligente de Gerenciamento de Carga Veicular	47
Figura 18 – Esquema de um Edifício Inteligente	48
Figura 19 – Arquitetura para Monitoramento Remoto de Sistema Fotovoltaico	54
Figura 20 – Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy	59
Figura 21 – Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy por Países	59
Figura 22 – Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy e Autores mais Relevantes	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Analogias relevantes, entre a internet e a internet da energia.	31
Tabela 2 – Principais Tecnologias	37
Tabela 3 – Alguns Autores Relevantes Consultados.	60

LISTA DE ABREVIATURA

<i>ANEEL</i>	Agencia Nacional de Energia Elétrica
<i>AIE</i>	Agencia Internacional de Energia
<i>CA</i>	Corrente Alternada
<i>DGI</i>	Inteligência de Rede Distribuída
<i>DESD</i>	<i>Dependable and Secure Distributed Energy</i> (Energia distribuída confiável e segura)
<i>FREEDM</i>	<i>Future Renewable Electric Energy Delivery and Management</i> (Fornecimento e gerenciamento de energia elétrica futura renovável)
<i>IOE</i>	<i>Internet of Energy</i> (<i>Internet da Energia</i>)
<i>IOT</i>	<i>Intert of Things</i> (<i>Internet das Coisas</i>)
<i>IEM</i>	<i>Intelligent Energy Management</i> (Gerenciamento Inteligente de Energia)
<i>IFM</i>	<i>Intelligent Fault Management</i> (Gerenciamento Inteligente de Falhas)
<i>ISP</i>	<i>Internet Service Provider</i> (Provedor de Serviços de Internet)
<i>OMS</i>	Organização Mundial de Saúde
<i>ONS</i>	Operador Nacional de Sistema
<i>P2P</i>	<i>Peer-to-Peer</i> (pessoa para pessoa)
<i>LAN</i>	<i>Local Área Network</i>
<i>PCC</i>	Ponto de Acoplamento Comum
<i>RES</i>	<i>Renewable Energy Sources</i> (Fontes de Energia Renováveis)
<i>SEP</i>	Sistema Elétrico de Potência
<i>TI</i>	Tecnologia de Informação
<i>TIC</i>	Tecnologia da Informação e Comunicação
<i>TBR</i>	<i>Time Based Pricing</i> (Preço Baseado em Tempo)
<i>USB</i>	<i>Universal Bus in Series</i> (Barramento Universal em Série)
<i>VEs</i>	Veículos Elétricos (50Ω)
<i>V2G</i>	Sistema de Gerenciamento de Carga Veicular Inteligente
<i>VVP</i>	<i>Virtual Power Plants</i> (Usinas Virtuais de Energia)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Justificativa	18
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	18
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	18
1.3	Organização do Trabalho	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Conceito Geral da Energia Elétrica	20
2.2	Evolução dos sistemas Energéticos	20
2.2.1	<i>1º Etapa: Sistema Energético Descentralizado</i>	21
2.2.2	<i>2º Etapa: Sistema de Energia Centralizado</i>	21
2.2.3	<i>3º Etapa: Sistema de Energia Distribuído</i>	21
2.2.4	<i>4º Etapa: Sistema de Energia Inteligente e Conectado</i>	22
2.3	Sistema Elétrico de Potência	22
2.3.1	<i>Sistema Elétrico de Potência Brasileiro</i>	26
2.4	Internet of Energy (IoE)	28
2.4.1	Conceitos, Arquitetura, Tecnologias e Aplicações	28
2.4.1.1	<i>Conceitos Gerais</i>	28
2.4.2	IoE vs Internet	29
2.4.2.1	<i>Semelhanças Estruturais</i>	30
2.4.2.2	<i>Semelhanças Funcionais</i>	31
2.4.2.3	<i>Diferenças</i>	32
2.4.3	IoE vs IoT	32
2.4.3.1	<i>Internet of Energy (IoE)</i>	32
2.4.3.2	<i>Internet of Things</i>	33
2.5	Arquitetura de IoE	34
2.5.1	Comparação entre IoE e a Internet	35
2.5.1.1	<i>Roteador de Energia</i>	36
2.5.1.2	<i>Dispositivos de Armazenamento</i>	37
2.5.1.3	<i>Fontes de Energia Renovável Distribuídas</i>	39

2.5.1.4	<i>Dispositivo Plug-and-Play</i>	39
2.5.1.5	<i>Integração de Veículos Elétricos</i>	40
2.5.2	Aplicações	40
2.5.2.1	<i>IoE e Problemas no Sistema Elétrico</i>	40
2.5.2.2	<i>IoE na Operação e Proteção do Sistema Elétrico</i>	41
2.6	A Tendência Futura de IoE.	42
2.6.1	<i>IoE e Recursos Energéticos Futuros</i>	42
2.6.2	<i>IoE e os SuperCapacitores</i>	43
2.6.3	<i>IoE e Tecnologias de Armazenamento de Energia</i>	44
2.6.4	<i>IoE e Veículos Elétrico</i>	46
2.6.5	<i>IoE e Gestão de Consumo Residencial</i>	47
2.6.6	Desafios de IoE	49
2.6.6.1	<i>Desafios Técnicos</i>	49
2.6.6.2	<i>Desafios de Privacidade e Segurança</i>	49
2.6.6.3	<i>Desafios do Modelo de Negócios</i>	50
3	METODOLOGIA	51
3.1	Levantamento das Bibliografias	51
3.2	Análise e Seleção de Informações do Interesse	52
4	INTERNET OF ENERGY (IOE) E ENERGIA VERDE (SOLAR/EÓLICA) 53	
4.1	IoE e Energia Solar	53
4.2	IoE e Energia Eólica	55
4.3	Internet of Energy (IoE), Eficiência e Sustentabilidade Energética	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A demanda global por energia elétrica tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas. Esse aumento se deve ao crescimento populacional e à dependência de tecnologias que requerem energia elétrica. Essa dependência cria uma demanda cada vez maior de energia disponível (FURTADO *et al.*, 2021). Um estudo produzido pelo Banco Mundial, Organização Mundial da Saúde (OMS), Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNSD) e outros parceiros como a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), mostra que atualmente, 733 milhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso à eletricidade e 2,4 bilhões de pessoas ainda cozinham usando combustíveis prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. No entanto, o sistema de fornecimento de energia tradicional tem enfrentado desafios significativos para atender a essa demanda de forma eficiente e sustentável. Problemas como o envelhecimento da infraestrutura, o aumento dos distúrbios elétricos e os impactos ambientais têm sido cada vez mais evidentes.

Nesse contexto, a *Internet of Energy*-IoE que é uma das aplicações da Internet das Coisas - IoT, big data, tecnologias de inteligência artificial e recursos de computação em sistemas de gerenciamento de energia distribuída e descentralizada, com o objetivo de otimizar a eficiência da infraestrutura de energia existente (WANG *et al.*, 2015), surge como uma solução promissora. Ao permitir a conexão e comunicação entre dispositivos e sistemas de energia, a IoE oferece uma visão abrangente e em tempo real do consumo e geração de energia. Isso possibilita uma gestão mais precisa e eficiente dos recursos, permitindo identificar áreas de desperdício e implementar medidas corretivas para melhorar a eficiência energética.

Além disso, a IoE impulsiona a transição para uma matriz energética mais sustentável, ao integrar fontes de energia renovável, como solar e eólica, de forma coordenada e otimizada. Isso permite maximizar a geração de energia limpa, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Outro aspecto relevante da IoE é o engajamento dos consumidores. Por meio de dispositivos conectados e acesso em tempo real às informações sobre consumo de energia, os consumidores podem tomar decisões informadas e adotar práticas mais conscientes em relação ao uso da energia. Isso promove uma participação ativa dos consumidores na busca por uma maior eficiência energética e sustentabilidade.

Diante desses benefícios e das possibilidades oferecidas pela *Internet of Energy*, torna-se evidente a importância de explorar e aprofundar as pesquisas nessa área. A IoE repre-

senta uma oportunidade promissora para transformar o sistema elétrico de potência, tornando-o mais inteligente, eficiente e sustentável. Ao entender melhor os desafios, as soluções e o potencial dessa abordagem, podemos avançar em direção a um futuro energético mais seguro, limpo e resiliente.

1.1 Justificativa

Atualmente a energia elétrica é de extrema importância para a sobrevivência humana e desenvolvimento socioeconômico. Portanto, torna-se necessário sistemas elétricos contendo componentes elétricos inteligentes, eficientes e sustentáveis que consigam levar essa energia dos pontos de geração até aos consumidores finais, da forma mais segura. Assim sendo, a tecnologia *Internet of Energy (IoE)* foi escolhida como abordagem nesse trabalho devido a sua atualidade e relevância nos processos de produção e entrega de energia de forma sustentável, fornecendo aos produtores de energia, operadores de rede e concessionárias as informações necessárias para equilibrar a produção e a demanda de energia. As tais relevâncias se devem aos resultados de pesquisas e trabalhos que têm sido desenvolvidos nos últimos anos, resultando em tecnologias.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho visa analisar e compreender a aplicação de IoE, como uma tecnologia para a gestão inteligente, eficiente e sustentável do sistema elétrico de potência, desde processos de produção e entrega de energia, assim como os ganhos e as mudanças positivas no cotidiano de consumidor que irão suceder.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigar as principais características e funcionalidades da tecnologia IoE;
- Estudar as possibilidades de integração da IoE no sistema elétrico de potência;
- Apresentar as tecnologias de *Internef of Energy (IoE)* e *Internet of Thing (IoT)* e suas aplicações para uma gestão inteligente, eficiente e sustentável de sistema energético;
- Analisar os benefícios e desafios da utilização da IoE na gestão do sistema elétrico de potência.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos, tendo a introdução como o primeiro capítulo. O segundo capítulo, aborda a fundamentação teórica, na qual se tratou de conceito geral de energia elétrica, sistema elétrico de potência e sua evolução assim como a *Internet of Energy* (IoE), sua arquitetura, as tecnologias que inerentes a ela, e suas aplicações, permitindo uma análise e compreensão aceitável dos impactos que a sua implementação irá causar. Em seguida, o terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho, incluindo detalhes sobre as fontes consultadas, os critérios de seleção dos materiais e o processo de busca empregado. O quarto capítulo versa sobre integração entre *Internet of Energy*, Energia Verde no caso de Solar e Eólica, eficiência e sustentabilidade energética, mostrando como tecnologia de IoE aplicada nos sistemas solares e Eólicos de energia, pode ajudar a atingir um nível melhor da eficiência e sua conexão às linhas de transmissão, como também possibilita uma qualidade energética sustentável, em todo o processo. O quinto capítulo, apresenta resultados e discussões tomando como base as literaturas acadêmicas acessados, os quais são mostrados nas figuras gráficas como resultados de levantamentos bibliométricos. Por fim, o sexto capítulo traz as conclusões e propostas para desenvolvimento de futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito Geral da Energia Elétrica

A energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou de transferir calor. Nas sociedades humanas, a energia teve origem na forma endossomática, ou seja, aquela que chega através de cadeias ecológicas. A fonte primária da energia dessas cadeias é o sol, ao iluminar, aquecer, transferir energia para as águas, formando nuvens e chuvas, e fornecer energia aos vegetais, através da fotossíntese (FARIAS; SELLITTO, 2011).

De acordo com a Agencia Nacional de Energia Elétrica ANEEL (2002) a energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o ser humano procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões.

A eletricidade é um dos campos que mais fascinou os estudiosos ao longo da história da ciência, embora o seu desenvolvimento sistemático tenha ocorrido no século XVII (RAICIK, 2019). É uma forma de energia que pode ser imediata e eficientemente transformada em qualquer outra, tal como em energia térmica, luminosa, mecânica, química etc. Ela pode ser produzida nas mais favoráveis situações como, por exemplo, junto a quedas de água, nas quais a energia hidráulica está disponível, perto de minas carboníferas ou de refinarias, onde o carvão ou o óleo pode ser utilizado de pronto ou perto dos centros consumidores para onde o combustível pode ser economicamente transportado (HADDAD, 2004).

2.2 Evolução dos sistemas Energéticos

A invenção e aplicação de tecnologias relacionadas à energia elétrica foi o sinal da segunda revolução industrial de 1860 a 1900 (ATKESON; KEHOE, 2001). Desde então, as tecnologias de produção e utilização de energia passaram por um processo de desenvolvimento rápido e contínuo (ARORA; KUMAR, 1997). Segundo Zhou *et al.* (2016), de acordo com as características de sua operação e gerenciamento, o desenvolvimento dos sistemas de energia desde a segunda revolução industrial pode ser dividido principalmente em quatro etapas, conforme

mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Evolução do sistema Energético



Fonte: Zhou *et al.* (2016)

2.2.1 1ª Etapa: Sistema Energético Descentralizado

No estágio inicial da invenção da energia elétrica, os níveis técnicos de produção e utilização de energia eram relativamente baixos. A demanda das pessoas por eletricidade foi satisfeita principalmente por pequenos geradores com nível de tecnologia muito baixo e produção em pequena escala. Naquela época, a produção e o consumo de energia eram em grande parte autossuficientes. Esse tipo de sistema descentralizado de energia era isolado e operado com baixa eficiência (ZHOU *et al.*, 2016).

2.2.2 2ª Etapa: Sistema de Energia Centralizado

No período da produção industrializada, as tecnologias de produção de energia tiveram grandes progressos. Usinas termelétricas de grande porte tornaram-se a principal forma de fornecimento de energia. A produção de energia tornou-se um setor industrial independente e importante. A geração de energia elétrica centralizada e em grande escala melhorou muito a eficiência do fornecimento de energia (ZHOU *et al.*, 2015). A produção centralizada, a rede de transmissão de longa distância e o fornecimento estável reduziram significativamente os custos de energia. No entanto, a geração de energia a carvão em larga escala também trouxe sérios problemas de poluição (HONDO, 2005).

2.2.3 3ª Etapa: Sistema de Energia Distribuído

Com os problemas cada vez mais sérios de recursos e meio ambiente causados pela geração de energia centralizada em grande escala, tornou-se cada vez mais urgente construir um

sistema de energia mais limpo (LUND *et al.*, 2015).

O rápido desenvolvimento de tecnologias relacionadas à energia renovável, por exemplo, energia eólica e energia solar, possibilitou o desenvolvimento de geração distribuída de energia e micro-redes (JORDEHI, 2016). O sistema de energia distribuída é um complemento poderoso do sistema de energia centralizado tradicional. É de grande importância assegurar o equilíbrio entre oferta e demanda de energia, melhorar a eficiência energética e promover o desenvolvimento sustentável (ZHOU *et al.*, 2016).

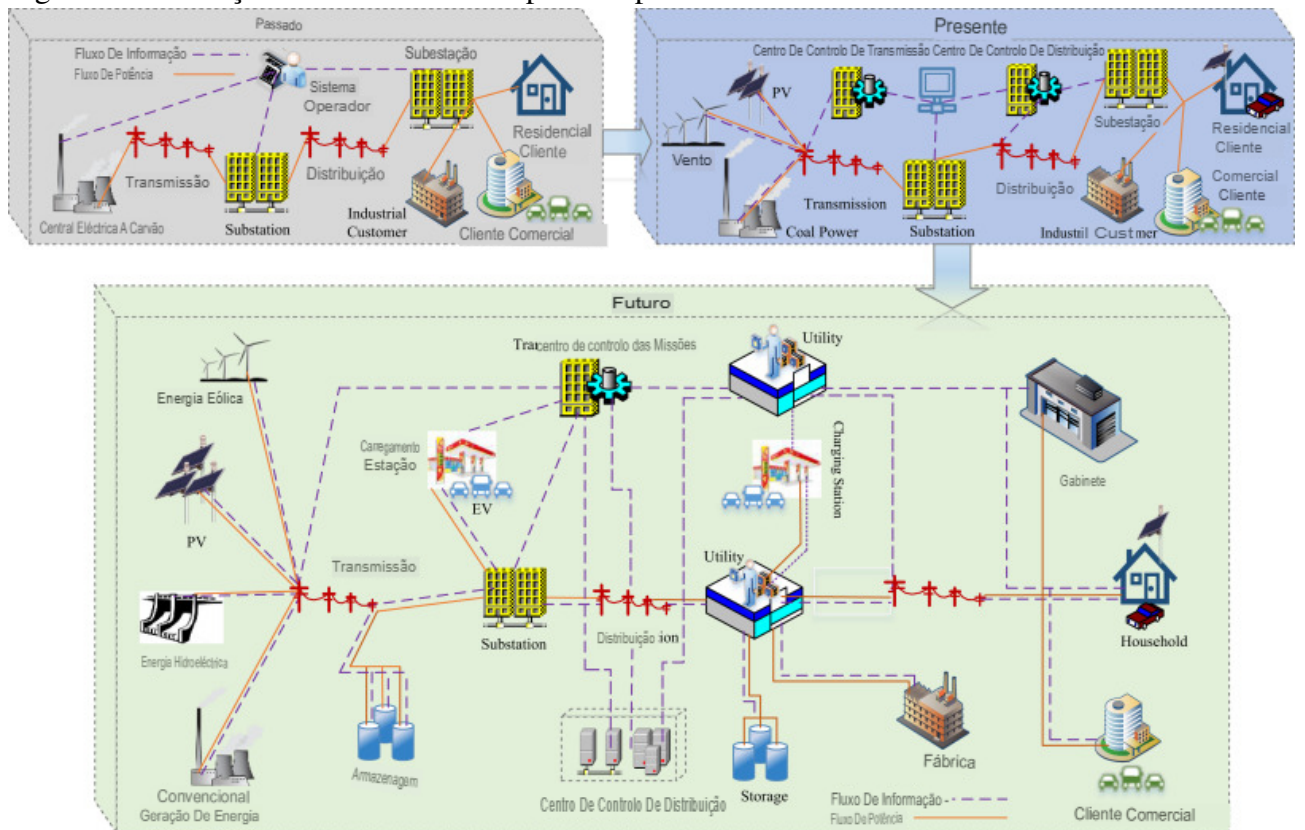
2.2.4 4ª Etapa: Sistema de Energia Inteligente e Conectado

O rápido desenvolvimento da tecnologia da informação (TI) está remodelando a paisagem de muitas indústrias tradicionais, incluindo o setor de energia (ZHOU *et al.*, 2016). Muitas tecnologias de informação emergentes avançadas, por exemplo, sensoriamento inteligente, computação em nuvem e Internet móvel são constantemente penetradas no sistema de energia. Os sistemas tradicionais de energia estão sendo digitalizados (ZHOU *et al.*, 2016). A energia não é mais apenas um tipo de *commodity*. Ela se tornará uma plataforma importante, que pode mudar o estilo de vida das pessoas e estimular a transformação dos negócios das empresas (ZHOU; YANG, 2016). O objetivo final da evolução do sistema de energia é estabelecer um sistema de produção e consumo de energia inteligente, eficiente, seguro, flexível, diversificado, personalizado e sustentável, que possa fornecer energia sustentável para melhorar a qualidade de vida das pessoas e promover o desenvolvimento econômico e social (ZHOU *et al.*, 2016). A rede atual está adotando mais infraestrutura e componentes de comunicação, como veículos elétricos e armazenamento de bateria, que devem aumentar em capacidade e número no futuro (MAHMUD *et al.*, 2018), como é representada na Figura 2.

2.3 Sistema Elétrico de Potência

Sistemas Elétricos de Potência (SEP) são grandes sistemas de energia constituídos por usinas geradoras, linhas de transmissão e sistema de distribuição (JR, 2006). Um Sistema Elétrico de Potência (SEP) é dividido em três partes principais: as centrais geradoras, as linhas de transmissão e as redes de distribuição. As linhas de transmissão ligam as centrais geradoras às redes de distribuição e conduzem a outros sistemas de potências através de interconexões. Os sistemas de distribuição ligam as cargas individuais às linhas de transmissão nas subestações,

Figura 2 – Evolução da rede elétrica do passado para o futuro



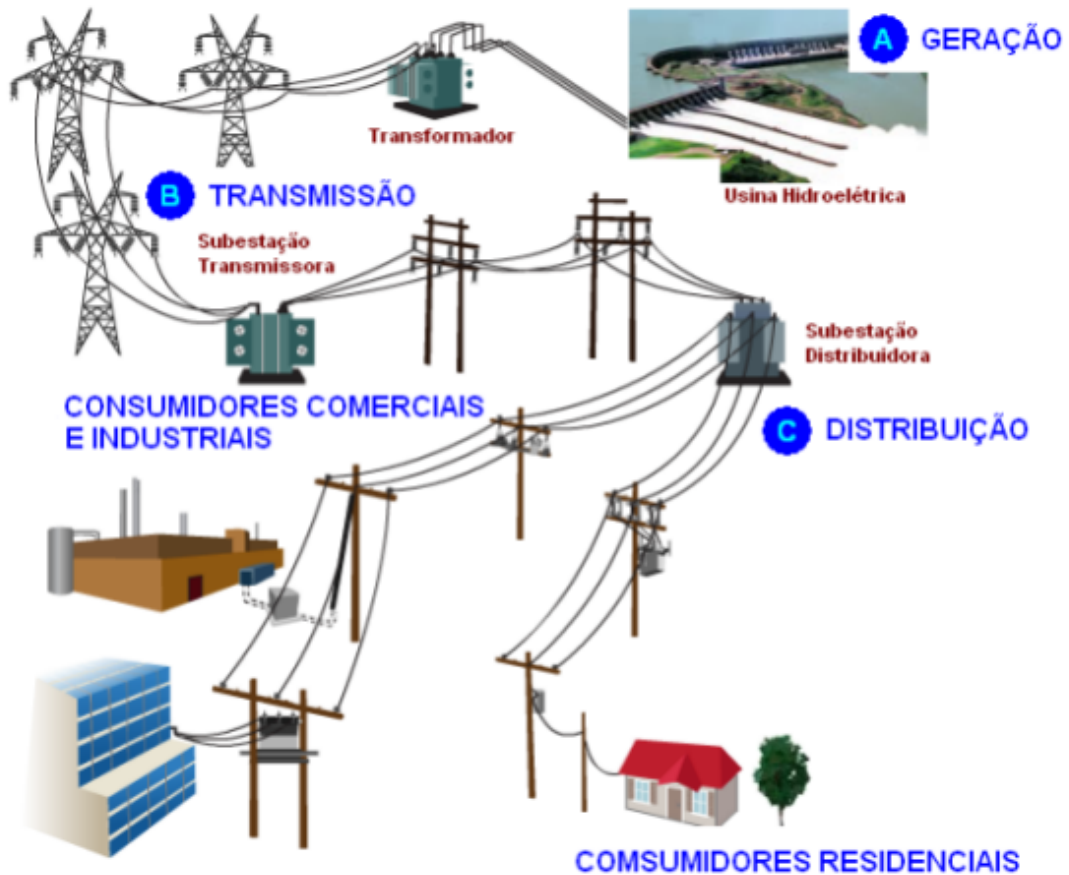
Fonte: Mahmud *et al.* (2018)

subestações essas que farão a função de chaveamento e as transformações de tensões necessárias (STEVENSON, 1974). A Figura 3 mostra um esquema de funcionamento do SEP.

O primeiro sistema de distribuição em Corrente Alternada (CA) experimental foi realizado em 1885, quando Willian Stanley alimentou 150 lâmpadas em na cidade de Great Barrington, localizada no estado de Massachusetts, nos Estados Unidos . Já a primeira linha de transmissão em CA foi colocada em operação em 1890 transportando a energia elétrica que era gerada em uma usina hidroelétrica de Willamette Falls até Portland, nos Estados Unidos, a uma distância total de 20 quilômetros. Os sistemas de transmissão de energia elétrica em CA só são viáveis hoje, pois houve a criação de um transformador que eleva os níveis de tensão acima dos valores de geração e distribuição, aumentando a capacidade de transmissão por longos trechos mesmo com as perdas que ocorrem durante o caminho (STEVENSON, 1974).

Segundo Silva *et al.* (2020), a geração é a etapa de obtenção e transformação de energia oriunda de fonte primária (energia potencial hidráulica, gás natural, petróleo, carvão mineral, etc) em energia elétrica. Geralmente as usinas geradoras estão localizadas próximas dos recursos naturais e energéticos, como por exemplo as usinas hidrelétricas, que geralmente

Figura 3 – Esquema de um sistema elétrico de potência - SEP.



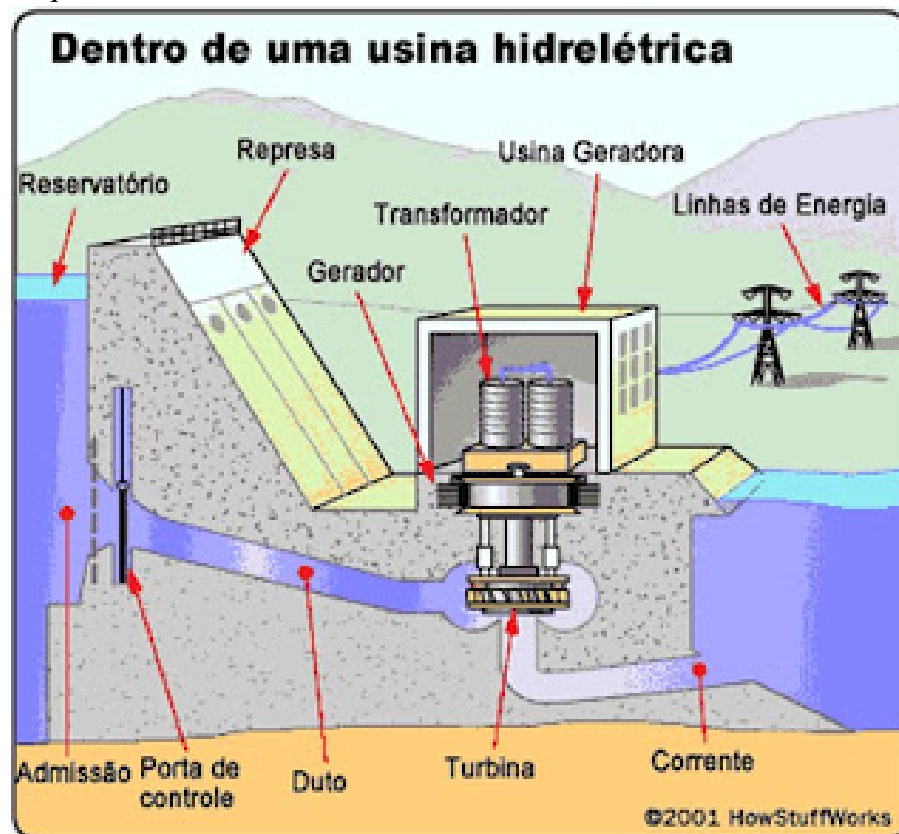
Fonte: Silva *et al.* (2020)

são encontradas em grandes rios e em pontos favoráveis para represar um alto volume de água e aproveitar o desnível para a queda d'água. A Figura 4 ilustra o esquema duma usina hidrelétrica. Geralmente as responsáveis pela geração de energia elétrica são grandes empresas estatais ou privadas, devido ao grande subsídio financeiro necessário.

Na grande maioria dos casos, os centros de geração estão situados afastados dos centros de consumo, logo, deve-se contar com elementos, linhas de transmissão, que tenham capacidade para transportar grandes blocos de energia desde os centros de produção aos grandes centros de consumo. Considerando-se a distância a ser percorrida e a potência a ser transmitida, classifica-se o sistema de transmissão de energia como um sistema constituído por linhas de transmissão que operam em corrente alternada com tensões entre 230 e 750 kV e por elos em corrente contínua que operam com tensão superior a 500 kV DC (ROBBA *et al.*, 2021).

Como os geradores se encontram a grandes distâncias dos centros consumidores, a energia elétrica tem suas tensões elevadas, nos valores de 138, 230, 345, 440, 500 e 750 kV em circuitos de corrente alternada e 600 kV em correntes contínuas. Estas tensões elevadas têm o intuito de diminuir as perdas nas linhas de transmissão até chegarem às subestações onde

Figura 4 – Esquema da Usina Hidrelétrica.



Fonte: Silva *et al.* (2020)

serão rebaixadas para níveis de 13,8 kV, 25 kV, 69 kV e 138 kV para serem distribuídas (LEME *et al.*, 2013).

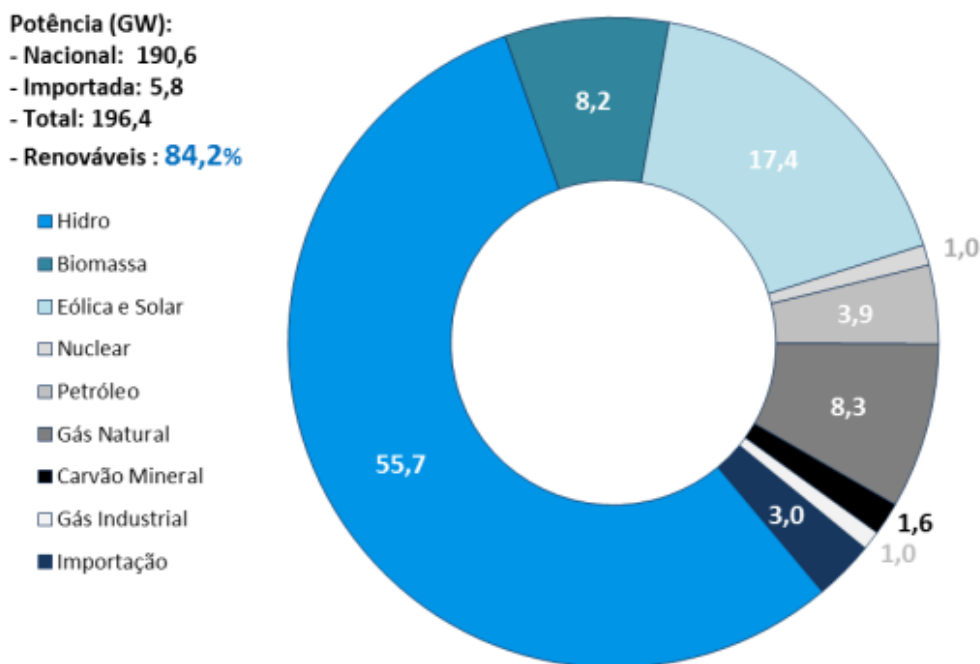
Essa energia, ao chegar aos grandes centros de consumo, como as cidades e parques industriais, percorre regiões densamente habitadas, com circulação permanente de pessoas, cuja segurança exige a redução do nível de tensão a patamares inferiores, normalmente sendo muito comum a tensão de 13,8 kV. Dessa tarefa se encarregam as empresas distribuidoras, que fornecem energia elétrica aos consumidores geralmente classificados em grupos, como residenciais, comerciais e industriais (JR, 2006).

Basicamente, os sistemas elétricos de potência têm por finalidade fornecer energia elétrica aos consumidores dentro de certos limites de tensão e frequência; quando esses limites não são obedecidos os sistemas podem entrar em colapso, ocasionando sérios problemas. Dessa forma, o projeto de um sistema elétrico deve ter como objetivo o desenvolvimento de um sistema que em situações normais de operação obedece a padrões pré-estabelecidos de continuidade, qualidade e confiabilidade, o qual também deve ser robusto à presença de defeitos ou perturbações com o intuito de garantir a continuidade da prestação de serviços (BRETAS; ALBERTO, 2000).

2.3.1 Sistema Elétrico de Potência Brasileiro

A matriz energética brasileira, como mostrada na Figura 5, tem como principal característica a geração hidroelétrica, isso faz com que os centros de consumos nem sempre fiquem localizados próximos aos centros de geração, por isso a importância de um SEP que garanta a confiabilidade e continuidade da transmissão e distribuição de energia (LAURENTI *et al.*, 2009).

Figura 5 – Matriz Energética Brasileira, incluindo a importação



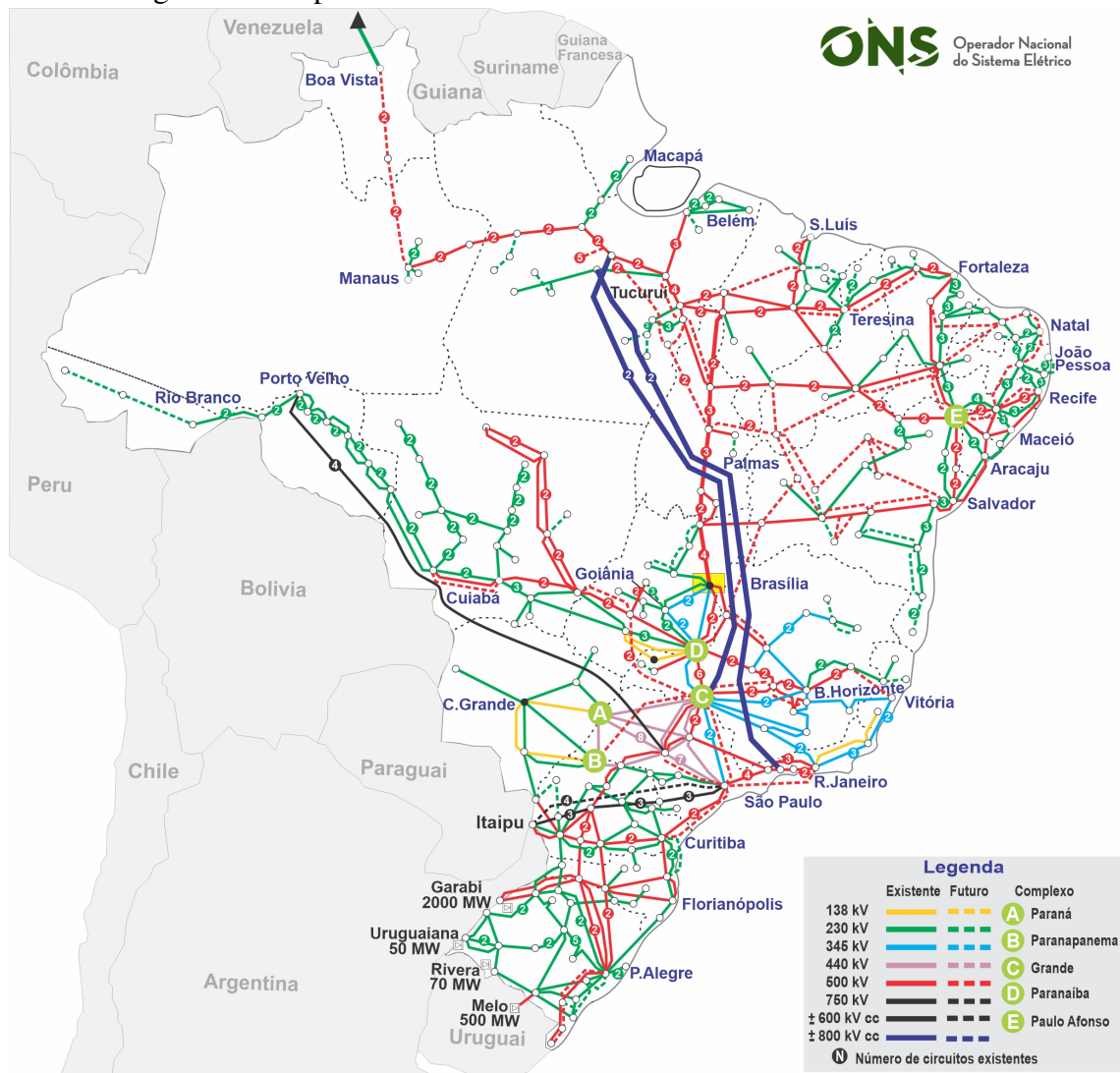
Fonte: MME (2023a)

O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. O Sistema Interligado Nacional é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte (ONS, 2023). A capacidade instalada de geração do SIN é composta, principalmente, por usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado. As usinas térmicas, em geral localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, desempenham papel estratégico relevante, pois contribuem para a segurança do SIN (ONS, 2023).

O procedimento de transmissão integra o Sistema Interligado Nacional (SIN), mos-

trada na Figura 6, que emprega a malha de transmissão para transferir a energia entre os vários subsistemas. Consideram linhas de transmissão aquelas cuja tensão são 230, 345, 500 kV e acima, e que compõem a rede básica do SIN, constituindo a maior relevância no setor elétrico brasileiro, devido aos altos investimentos e da alta demanda (SILVA *et al.*, 2020).

Figura 6 – Mapa do Sistema de Transmissão



Fonte: ONS ("2023")

A extensão total do sistema de transmissão de energia elétrica alcançou ao final de 2021 a marca de 169,9 mil km, montante que considera a Rede Básica do Sistema Interligado Nacional, conexões de usinas, interligações internacionais e 190 km dos sistemas isolados de Boa Vista, em Roraima. Em capacidade de transformadores, foram adicionados 18,1 mil Megavolts-Ampères (MVA) em 2021 (acrécimo de 4,6 por cento) elevando o total para 410,9 mil MVA (MME, 2023b).

O segmento de distribuição, por sua vez, é aquele que recebe grande quantidade de

energia do sistema de transmissão e a distribui de forma pulverizada para consumidores médios e pequenos (varejo). Existem também unidades geradoras de menor porte, normalmente menores do que 30 MW, que injetam sua produção nas redes do sistema de distribuição. No Brasil, esse segmento é composto por 53 concessionárias, as quais são responsáveis pela administração e operação de linhas de transmissão de menor tensão (abaixo de 230 mil Volts), mas principalmente das redes de média e baixa tensão, como aquelas instaladas nas ruas e avenidas das grandes cidades. A empresa distribuidora tem o papel de levar a energia elétrica até as residências e pequenos comércios e indústrias (ABRADEE, 2023).

2.4 *Internet of Energy (IoE)*

2.4.1 *Conceitos, Arquitetura, Tecnologias e Aplicações*

2.4.1.1 *Conceitos Gerais*

Os recentes desenvolvimentos na secção de energias renováveis, equipamento de telecomunicações, esquemas de controlo, potência fornecimento, e tecnologias de armazenamento, tecnologia da informação, ciber-segurança, informática e, em particular, a IoT foram levadas ao advento de um novo conceito conhecido como a *Internet of Energy (IoE)* (HERSENT *et al.*, 2011). O conceito de "*Internet da Energia*" é definido como uma infra-estrutura de rede baseada em transceptores, *gateways* e protocolos de comunicação padrão e interoperáveis que permitem um equilíbrio em tempo real entre a capacidade de geração e armazenamento local e global com a procura de energia, permitindo também um elevado nível de consciência e envolvimento dos consumidores (VERMESAN *et al.*, 2011).

Segundo Miglani *et al.* (2020) também, é a realização de IoT , big data, tecnologias de inteligência artificial e recursos de computação em sistemas de gerenciamento de energia distribuídos e descentralizados com o objetivo de otimizar a eficiência da infraestrutura de energia existente. A expressão oficial e sistemática da internet da energia foi cunhada pela primeira vez por Jeremy Rifkin, um teórico econômico americano, em seu livro best-seller intitulado "A terceira revolução industrial", e ele investigou o impacto das mudanças tecnológicas e científicas na economia, incluído o setor energético . Em geral, IoE refere-se a um novo paradigma para a operação de alguns elementos em sistemas de energia, como fontes de energia renováveis, recursos de geração distribuída, recursos de geração baseados em hidrogênio, veículos elétricos

plug-in (PEVs) e uma variedade de tecnologias de armazenamento de energia para diferentes aplicações, que podem ser monitoradas ou controladas por meio da plataforma de internet (TULEMISSOVA, 2016).

A IoE capacitou a transformação digital em larga escala no setor de energia para operar aplicativos em tempo real com entradas baixas e eficientes. Ele tem a capacidade de economizar energia em processos industriais, como interoperabilidade, segurança, escalabilidade, precisão, exatidão, programabilidade, baixa latência, confiabilidade, resiliência, automação e capacidade de manutenção (SISINNI *et al.*, 2018). Sem redes inteligentes e IoE, seria bastante complicado encontrar a combinação ideal de soluções precisas devido às incertezas de oferta e demanda: por exemplo, incerteza inerente de RES (*Renewable Energy Sources*) ou deslocamento de carga para reduzir o consumo de energia de pico (MINCHALA-AVILA *et al.*, 2015).

Graças à IoE, as redes inteligentes podem obter melhor eficiência e aprender como otimizar as necessidades de energia para prossumidores que operam em mercados peer-to-peer (P2P) e empresas industriais na cadeia de produção. Tudo isso impulsiona novos setores como o solar fotovoltaico, as redes inteligentes de distribuição e o carregamento de veículos elétricos por exemplo (STRIELKOWSKI *et al.*, 2019). Portanto, a tecnologia IoE ajuda na mudança da estrutura de eletricidade centralizada, concentrada no produtor e unidirecional para um sistema de gerenciamento de fornecimento de energia distribuído sob demanda e bidirecional (WANG *et al.*, 2015). Tendo assim, segundo Miglani *et al.* (2020), como benefícios importantes da IoE, o monitoramento de energia, gerenciamento de energia do lado da demanda, crescimento da integração de energia renovável, redução do desperdício de eletricidade, redução de apagões, auto-organização e gerenciamento de recursos energéticos. Ademais a utilização da tecnologia IoE aprimora a obtenção e análise de dados, monitoramento e realização de operações técnicas eficientes em tempo real, cumprindo desta maneira com seus objetivos, conforme mostra a ilustração na Figura 7.

2.4.2 IoE vs Internet

A IoE terá estrutura e funcionalidades comparáveis à computação distribuída de hoje e às infraestruturas da Internet. Será composto por geração distribuída e recursos de armazenamento de energia com capacidade plug-and-play que o tornam análogo ao sistema de internet mostrado na Figura 8.

Figura 7 – Objetivos da IoE



Fonte: Miglani *et al.* (2020)

2.4.2.1 Semelhanças Estruturais

Tanto a IoE quanto a Internet têm três partes estruturais composta por geração, transmissão e distribuição. No sistema de energia, as fontes renováveis/não renováveis distribuídas são semelhantes aos vários servidores de internet; a linha de transmissão elétrica é comparável ao cabo de transmissão de longa distância para a internet (por exemplo, *link* de microondas, *link* de satélite, cabo coaxial, cabo óptico, cabo submarino etc.); e a empresa da rede de distribuição local é análoga aos provedores de serviços de Internet (ISPs) (KAFLE *et al.*, 2016a). A Tabela 1 resume as analogias relevantes, entre a internet e a internet da energia.

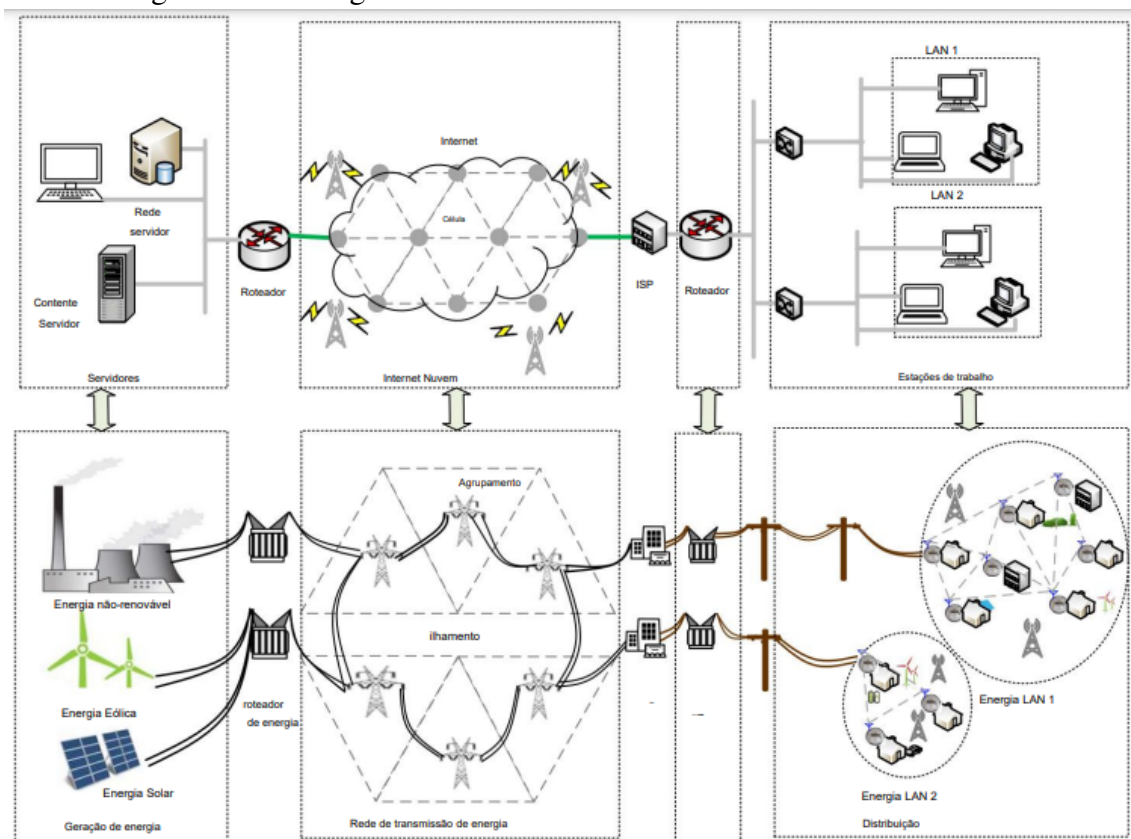
Assim como os ISPs especificados controlam o uso da Internet de seus clientes com seus próprios recursos de controle, a empresa de distribuição local é responsável pelo gerenciamento e controle de energia de seus clientes associados. Os usuários da rede de internet e da rede de energia têm funções duplas. O internauta pode enviar ou receber as informações pela internet e o usuário da rede pode vender ou comprar a energia para a rede. Além disso, ambos possuem recursos de fluxo bidirecional, ou seja, energia em IoE e fluxo de informações

Tabela 1 – Analogias relevantes, entre a internet e a internet da energia.

Função	IoE	Internet
Armazenar	Baterias, Ultracapacitores, etc.	Buffers, memória de curto ou longo prazo
Transmissão	Linhas de transmissão (HVAC/HVDC)	Cabos de transmissão(fibra óptica, micro-ondas)
Geração	Gerações distribuídas renova renováveis e não renováveis	Servidores (por exemplo, servidores Web, servidores de aplicativos)
Empresa de distribuição	Utilitários	Provedores de Serviços de Internet (ISP)
Rede de distribuição	Energia LAN	LAN
Trocando	Roteador de energia	Roteador de informações
Fonte/sumidouro	Prosumidores	Clientes
Setorização/Clustering	Grade segmentada (células)	Rede de Internet sob ISPs
Interface Plug-and-play	Porta plug-and-play no roteador Energy com porta bidirecional DC e AC	RJ45, Ethernet, etc.

Fonte: Kafle *et al.* (2016b)

Figura 8 – Analogia entre a IoE e Internet



Fonte: Kafle *et al.* (2016a)

na rede da Internet (KAFLE *et al.*, 2016a).

2.4.2.2 Semelhanças Funcionais

O roteador de energia é funcionalmente semelhante ao roteador de informação, pois é capaz de rotear, controlar e coordenar fluxos de energia. Ele deve reconhecer qualquer dispositivo plug-in conectado à LAN de energia automaticamente a partir de sua interface plug-and-play. A internet consiste em interface *plug-and-play* como RJ45, Ethernet e USB, assim como o IoE

onde os recursos são carregados/distribuídos (AC ou DC) pode conectar ou desconectar através do barramento DC ou AC. Na internet, todos os dispositivos podem interagir uns com os outros e o mesmo vale para a IoE. Dispositivos inteligentes dependentes de informações se comunicam por meio de sua interface de comunicação utilizando o protocolo padrão aberto (KAFLE *et al.*, 2016a).

Ambos os tipos de roteador incorporam vários graus de controle. A IoE tem muitos nós de controle de algum núcleo central para os nós periféricos inteligentes distribuídos semelhantes à internet. A rede principal tem um controle estrito e é distribuído dentro dos sistemas de distribuição onde a setorização é feita para a facilidade e o controle eficiente de vários prosumidores distribuídos. Além disso, existe o ambiente levemente controlado dentro casa ou edifícios (KESHAV; ROSENBERG, 2010).

2.4.2.3 Diferenças

Na Internet, é possível o fluxo de informações ponto a ponto entre quaisquer dois nós. No entanto, isso é difícil de realizar em um sistema de energia, no qual a transferência direta ponto a ponto é limitada a alimentadores locais (redes locais). Além disso, na internet, a informação está constantemente sendo criada, replicada e armazenada, não necessariamente “consumida”. Isso levanta uma diferença importante - não se pode replicar a energia - a oferta deve ser equilibrada pela demanda (XU *et al.*, 2011).

Autenticação e segurança são essenciais para ambos; no entanto, há alguma diferença em seus requisitos e implantação. Na Internet, uma solução de segurança comum pode ser implantada, enquanto na IoE é necessária uma variedade de requisitos de segurança. É difícil desenvolver uma solução de segurança baseada em rede ou host (KAFLE *et al.*, 2016a).

2.4.3 IoE vs IoT

2.4.3.1 Internet of Energy (IoE)

A *Internet of Energy* (IoE) é baseada em tecnologia avançada de energia, tecnologia da informação e novas tecnologias para interconectar um grande número de dispositivos de coleta de energia distribuída, dispositivos de armazenamento de energia distribuída e vários tipos de cargas, de modo a realizar uma utilização eficiente, limpa e segura da energia (MA *et al.*, 2021).

Como IoT, a IoE consiste em três camadas principais diferentes (PATEL *et al.*, 2016).

A camada física também chamada de camada base, a camada de dados que é a interface entre as outras camadas e as aplicações e finalmente, a camada de aplicação. A Figura 9 mostra as diferentes camadas da internet de energia e as oportunidades oferecidas em cada nível (WANG *et al.*, 2017).

Figura 9 – Camadas da Arquitetura de IoE



Fonte: Patel *et al.* (2016)

Em suma, Torna-se bastante evidente que a IoE é capaz de ajudar a alcançar e aumentar ainda mais a sustentabilidade das redes inteligentes, tornando a produção, transmissão e consumo de energia elétrica mais eficientes e economicamente viáveis (KOIRALA *et al.*, 2016).

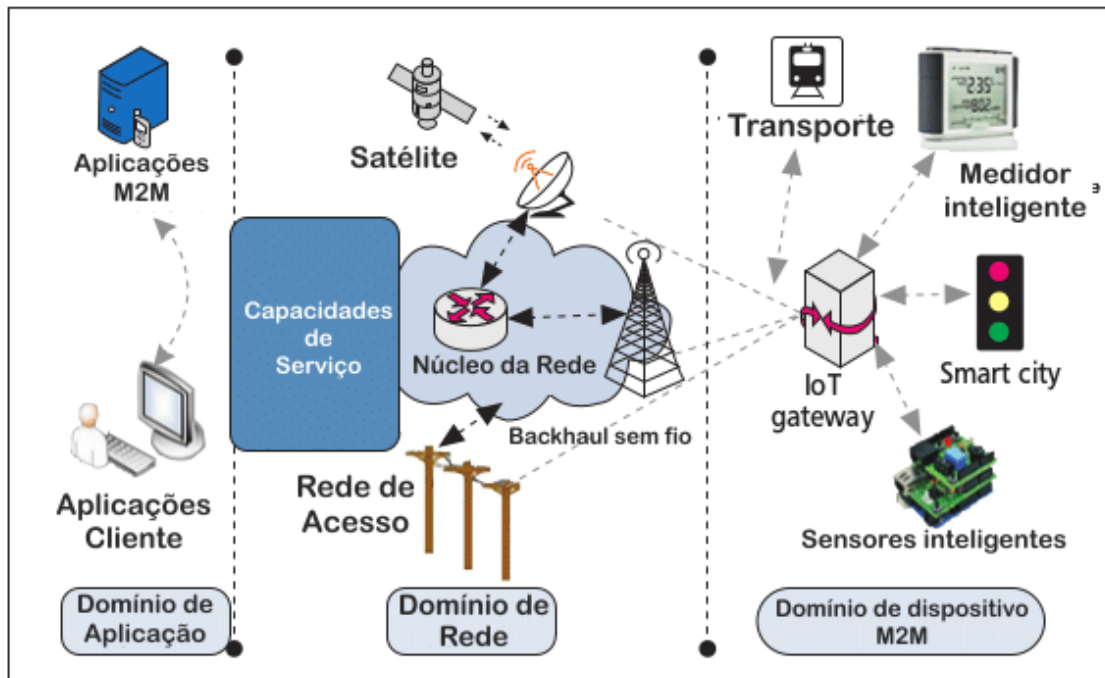
2.4.3.2 Internet of Things

Como afirma Haseeb *et al.* (2019), IoT é uma tecnologia emergente que utiliza a Internet e visa fornecer conectividade entre dispositivos físicos ou “coisas”. Exemplos de dispositivos físicos incluem eletrodomésticos e equipamentos industriais. Usando sensores e redes de comunicação apropriados, esses dispositivos podem fornecer dados valiosos e permitir a oferta de diversos serviços para as pessoas. Por exemplo, controlar o consumo de energia dos edifícios de forma inteligente permite reduzir os custos de energia (ZOUINKHI *et al.*, 2020).

A IoT tem uma ampla gama de aplicações, como na indústria de manufatura, logística e construção (MULLIGAN *et al.*, 2014). A IoT também é amplamente aplicada em monitoramento ambiental, sistemas e serviços de saúde, gerenciamento eficiente de energia em edifícios e serviços baseados em drones (ATZORI *et al.*, 2010). A Figura 10 ilustra uma

arquitetura funcional de IoT.

Figura 10 – Arquitetura funcional de IoT



Fonte: Silva (2018)

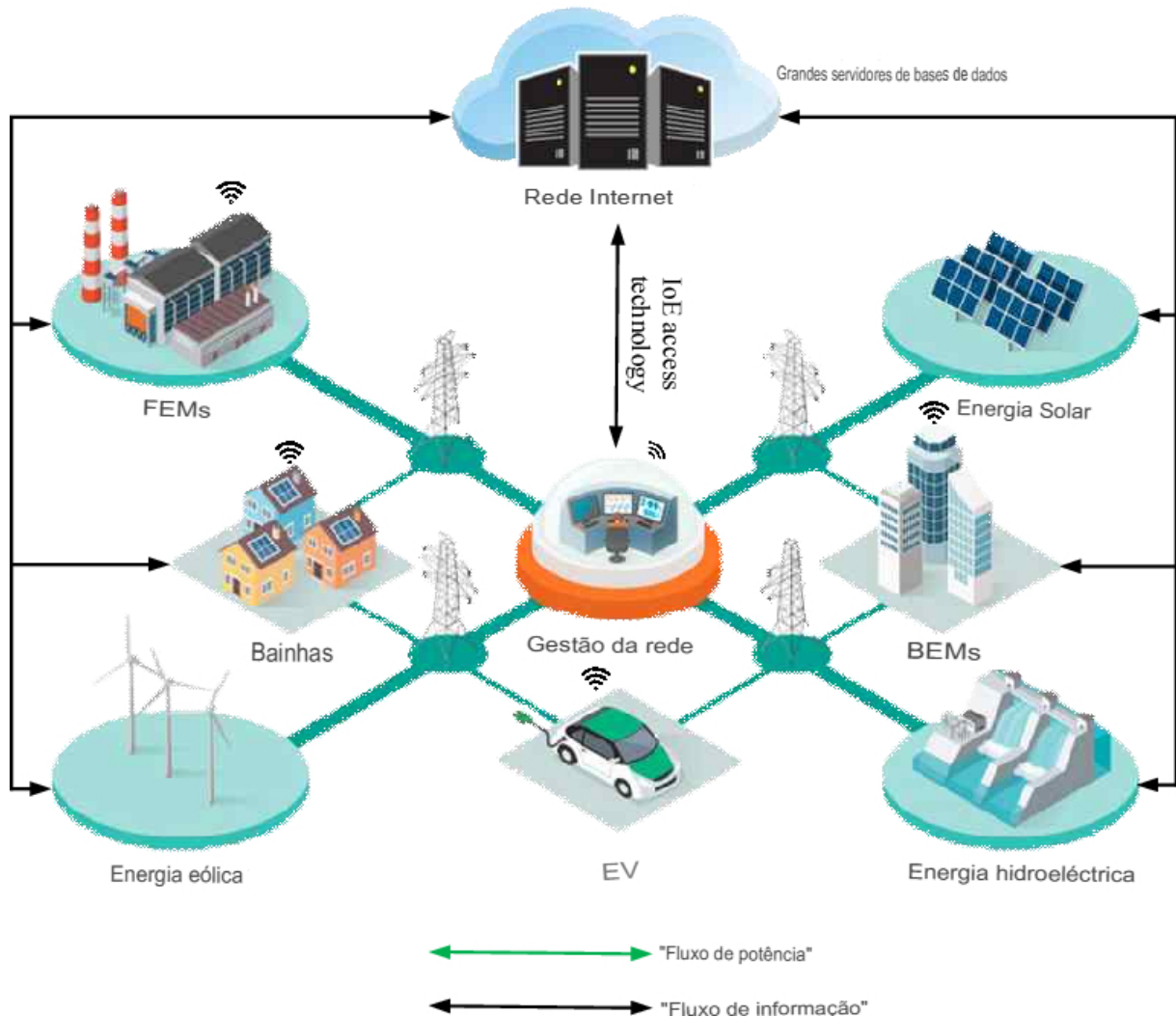
2.5 Arquitetura de IoE

Conforme mostrado na Figura 11, a IoE permite a troca de energia entre uma ampla variedade de fontes e cargas, incluindo fontes de energia renováveis, armazenamento de energia distribuído, plug-in veículos elétricos, “prosumidores” domésticos e industriais, etc.

A rede de energia é monitorada e gerenciada via internet. Em princípio, a troca peer-to-peer de informações e energia pode ocorrer neste sistema, embora algum nível de controle central ou hierárquico também possa ser necessário. O princípio geral é que a energia é direcionada da(s) fonte(s) para a(s) carga(s), semelhante ao roteamento de informações na internet (XU *et al.*, 2011).

Várias arquiteturas detalhadas foram propostas para a IoE. Por exemplo, o sistema FREEDM publicou um roteiro para alcançar um sistema de distribuição de eletricidade automatizado e flexível, ou internet de energia, conforme mostrado na Figura 12. As tecnologias de habilitação neste sistema são o “roteador de energia” ou unidade de gerenciamento de energia inteligente (IEM), a interface *plug-and-play* e uma inteligência de rede distribuída (DGI) (HUANG *et al.*, 2010).

Figura 11 – Arquitetura da IoE



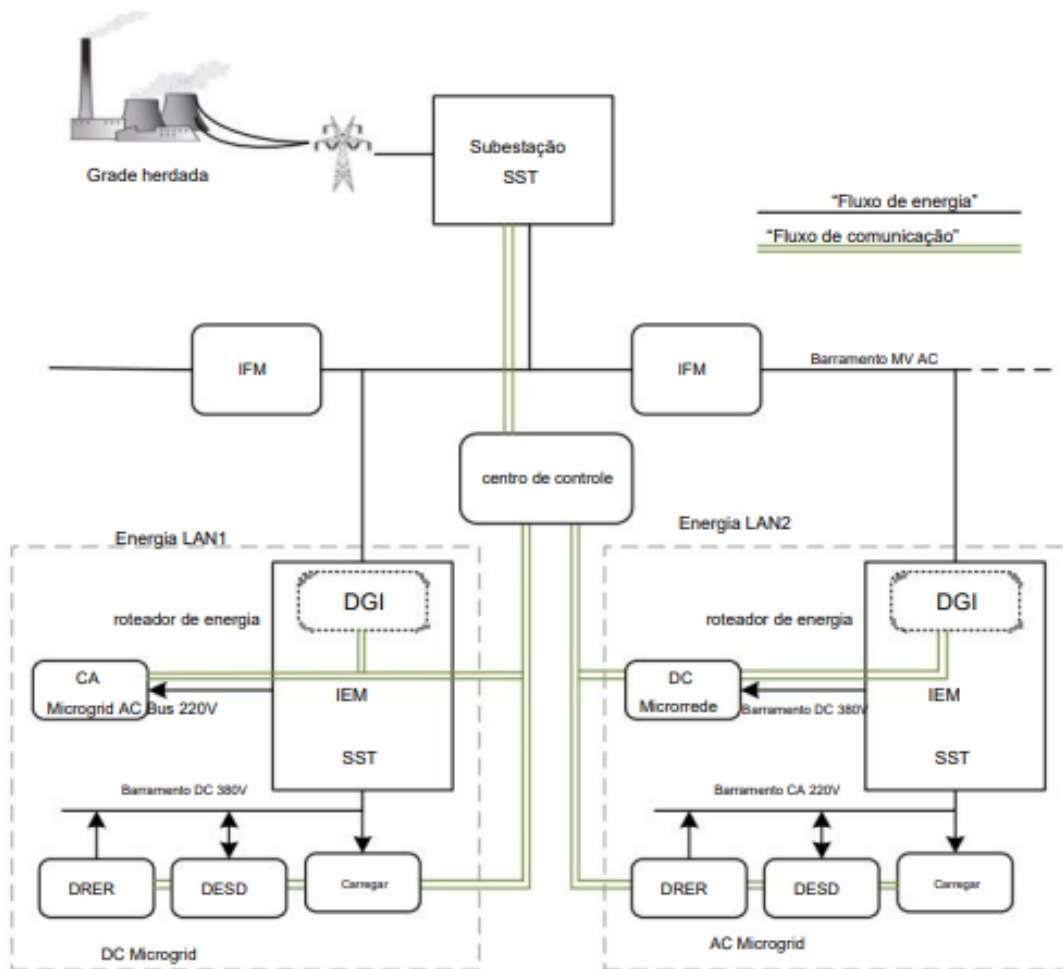
Fonte: Jang ()

Uma unidade inteligente de gerenciamento de falhas (IFM) isola a LAN de energia se ocorrer uma falha elétrica ou se o isolamento for necessário. O IEM e o IFM devem se comunicar por meio de uma rede de comunicação confiável e segura. O roteador de energia é capaz de fornecer alimentação AC e DC e contém uma unidade *Distributed Grid Intelligence* (DGI) (CHEN *et al.*, 2014).

2.5.1 Comparação entre IoE e a Internet

A IoE tem algumas semelhanças e diferenças entre os recursos da Internet e da IoE. As semelhanças podem ser categorizadas em dois setores, ou seja, semelhanças estruturais e funcionais. A similaridade estrutural mostra que a Internet e a IoE compreendem três partes, ou seja, geração, transmissão e distribuição. Semelhante à Internet, a IoE possui muitos nós de

Figura 12 – Sistema FREEDM: elementos-chave



Fonte: Xu *et al.* (2011)

controle e um roteador que pode ser usado para vários graus de controle. Essas semelhanças são chamadas de semelhanças funcionais da Internet e da IoE (KESHAV; ROSENBERG, 2010).

No caso da Internet, o fluxo de informações ponto a ponto entre dois nós pode ser possível. Além disso, as informações são constantemente criadas, replicadas e armazenadas aqui. No entanto, a IoE não pode replicar energia. Portanto, a energia fornecida precisa ser equilibrada pela demanda. Uma solução comumente segura pode ser aplicada no caso da Internet. Enquanto isso, vários tipos de valores mobiliários são necessários na IoE porque é difícil adotar uma solução baseada em rede ou baseada em segurança (KAFLE *et al.*, 2016a). As principais tecnologias são mostradas na Tabela 2.

2.5.1.1 Roteador de Energia

O roteador de energia é um elemento essencial da IoE (WANG *et al.*, 2017). O roteador de energia consiste em um transformador de estado sólido, um sistema de controle

Tabela 2 – Principais Tecnologias

Tecnologias	Características	Funções	Vantagens	Sobre Questões
Roteador de Energia	Transformador de estado sólido, controle de rede e ferramenta de comunicação	Gerenciamento de dado da rede elétrica	Aumenta a confiabilidade, eficiência e segurança do sistema elétrico	Processo de segurança, transmissão e recebimento de dados
Dispositivos de Armazenamento	Diferentes tipos, como célula de combustível e bateria.	Armazenamento de energia para uso futuro	Otimizar o uso de energia melhorar a eficiência estabilidade e confiabilidade da rede, reduzir o estresse de energia	Custo, temperatura e potência de descarga
Fontes de Energia Renovável Distribuídas	Solar e Eólica	Gerar Energia	Reduzir a emissão de GEE	Natureza intermitente e qualidade de energia
Dispositivo Plug-and-Play		Gerenciamento de dados a grade Armazenar energia para uso futuro Gerar energia converter a potência na forma necessária facilita conexão e armazenamento com um computador.	Controle a injeção harmônica no ponto de acoplamento; Reconhecer imediatamente quando o dispositivo de geração de energia ou gerador de energia estiver conectado	Reduzir os harmônicos que afetam a qualidade da energia Confiabilidade
Integração de Veículos Elétricos (V2G)		Permite a carga bidirecional de energia entre a rede elétrica e os VES, além de permitir a comunicação em tempo real entre os veículos e a rede elétrica		

Fonte: Huang *et al.* (2010)

inteligente de rede distribuída e uma unidade de comunicação. O roteador pode receber, processar e transmitir as informações da rede. O roteador é capaz de aumentar a confiabilidade, eficiência e segurança do sistema da rede elétrica e, assim, pode otimizar o uso de energia equilibrando a oferta e a demanda. Se o fornecimento de energia exceder a demanda, o roteador de energia transfere a energia excedente para a rede elétrica. O roteador de energia também se comunica com outros roteadores para maior balanceamento de oferta e demanda em uma escala mais ampla (XU *et al.*, 2011). A Figura 13 ilustra o roteador de energia.

O roteador de energia consiste em três módulos: transformador de estado sólido, controle inteligente de rede distribuída e unidade de comunicação. O transformador de estado sólido é essencialmente um conversor de tensão baseado em eletrônica de potência. A unidade de controle inteligente de rede distribuída é um sistema operacional baseado em padrão aberto, que otimiza a geração e distribuição de energia dentro da microrrede à qual está conectada. O módulo de comunicação é responsável pela comunicação dentro e entre roteadores de energia (XU *et al.*, 2011)..

2.5.1.2 Dispositivos de Armazenamento

O sistema de armazenamento na internet de energia torna a rede eficiente, fornecendo energia de qualidade, fornecimento confiável e operação estável da rede. Os armazenamentos de energia são úteis quando a rede está sob estresse e não pode sozinha equilibrar a oferta e a demanda em seu pico de demanda. Nesse caso, a bateria junto com a rede podem fornecer a energia simultaneamente, suavizando assim o fornecimento de eletricidade para evitar um possível apagão. Ele também pode resolver o problema de picos de tensão, quedas e quedas de energia transitórias. O armazenamento pode ser instalado pela concessionária como um suprimento de *backup* no lado distribuído ou também pode ser armazenado pelo consumidor como

Figura 13 – Roteador de Energia



Fonte: Energy Router ("2023")

backup de bateria no veículo elétrico. O cliente pode carregar a bateria em seu veículo elétrico fora do horário de pico e pode vender a energia para a rede em seu pico de demanda, maximizando o benefício econômico (XU *et al.*, 2011). Dispositivos de armazenamento comumente usados, são baterias, supercapacitores, células de combustível, volante, ar comprimido e hidrelétricas bombeadas (AKHIL *et al.*, 2013). A Figura 14 ilustra a gestão de armazenamento de energia no IoE.

Figura 14 – Gerenciamento de Armazenamento de Energia por IoE



Fonte: Shahinzadeh *et al.* (2019)

2.5.1.3 Fontes de Energia Renovável Distribuídas

A IoE consiste em vários recursos de energia renovável interconectados com a rede herdada para tornar a energia limpa e verde. O preço dessas fontes renováveis está diminuindo com a introdução de tecnologia avançada, de modo que há um crescimento global dessas fontes a cada ano (XU *et al.*, 2011).

A integração dessas energias renováveis requer as topologias apropriadas do conversor de energia, técnicas de controle e modulação para atender aos requisitos da rede, cumprir o código da rede e evitar problemas de instabilidade e sincronização. No entanto, o uso de conversores eletrônicos de potência injeta harmônicos no ponto de acoplamento comum (PCC) devido ao seu comportamento não linear (STRASSER *et al.*, 2014).

2.5.1.4 Dispositivo Plug-and-Play

Assim como o computador detecta o dispositivo plug-and-play automaticamente, como o hardware USB, e permite que ele se comunique com o computador, o dispositivo plug-and-play do IoE facilita a conexão de renováveis, armazenamentos ou cargas. Usando a dispositivo plug-and-play, é mais fácil conectar gerações e armazenamentos distribuídos. A interface plug-and-play pode ter diferentes tipos de interface (AC/DC), uma vez que a micro rede AC ou DC pode se conectar através de sua interface (XU *et al.*, 2011). Ele também contém uma interface de comunicação baseada em padrão aberto que ajuda a reconhecer imediatamente quando qualquer dispositivo de armazenamento ou geração é conectado ao sistema.

Quando a fonte renovável plugada no sistema e pronta para fornecer energia, ela envia a mensagem de solicitação de geração de energia para o roteador de energia. O roteador de energia verifica a demanda de energia local (incluindo a demanda de carga atual e a capacidade de energia do DESD), então o roteador de energia concede o acesso ao renovável para começar a produzir energia. Da mesma forma, quando não há mais geração de energia renovável, como PV à noite ou energia eólica quando não há vento, eles enviam o sinal de parada de serviço para o roteador de energia e desconectam da grade. O roteador de energia então envia uma mensagem ao DESD para fornecer a energia (XU *et al.*, 2011).

2.5.1.5 Integração de Veículos Elétricos

Há um interesse crescente em VEs, conforme indicado pelo número de veículos elétricos na estrada que cresce a cada ano. Os veículos elétricos podem ser uma fonte ou carga significativa na rede e, portanto, têm potencial para suportar a rede elétrica ou não, dependendo do seu estado de carga, etc. Para veículos com capacidade de veículo para rede (V2G), os EVs podem suportar a rede fornecendo energia durante o horário de pico de demanda, melhorando assim a qualidade, confiabilidade e eficiência da energia. Sistemas inteligentes de gerenciamento de energia de VEs são, portanto, necessários para facilitar a integração de VEs na IoE (VERMESAN *et al.*, 2013).

2.5.2 Aplicações

2.5.2.1 IoE e Problemas no Sistema Elétrico

A rede elétrica é um sistema complexo que enfrenta diversos problemas, como sobrecarga, falhas de equipamentos, falta de eficiência energética, integração de fontes de energia renovável, entre outros. A Internet of Energy (IoE), pode ser uma solução para a resolução desses problemas. Um dos principais problemas da rede elétrica é a sobrecarga. Quando a demanda de energia excede a capacidade da rede elétrica, pode ocorrer sobrecarga, o que pode levar a falhas na rede elétrica. A IoE pode ajudar a prevenir a sobrecarga, monitorando a demanda de energia em tempo real e ajustando o fornecimento de energia. De acordo com Zhou *et al.* (2021), a IoE pode ser usada para detectar problemas imediatamente e tomar medidas preventivas para evitar falhas na rede elétrica.

Outro problema da rede elétrica é a falta de eficiência energética. A IoE pode ajudar a melhorar a eficiência energética, monitorando o consumo de energia e identificando oportunidades para melhorar a eficiência energética. Segundo Wang *et al.* (2019), a IoE pode ser usada para coletar e analisar dados de consumo de energia e identificar oportunidades para melhorar a eficiência energética. A IoE também pode ser usada para gerenciar a demanda de energia em tempo real, ajustando o uso de energia em momentos de pico ou incentivando o uso de energia em momentos de baixa demanda.

A integração de fontes de energia renovável na rede elétrica é outro desafio importante. A geração de energia a partir de fontes renováveis, como energia solar e eólica, é geralmente intermitente e variável. A IoE pode ajudar a monitorar a geração de energia dessas

fontes e ajustar a rede elétrica de acordo. A IoE pode ser usada para integrar fontes de energia renovável na rede elétrica e ajudar a equilibrar a oferta e a demanda de energia (CHEN *et al.*, 2021).

Manutenção da rede elétrica é um desafio constante. A manutenção preventiva é essencial para garantir a confiabilidade e a eficiência da rede elétrica. A IoE pode ajudar na manutenção preditiva da rede elétrica. Usando dados de sensores, as empresas de energia podem monitorar o desempenho de equipamentos críticos, detectar anomalias e tomar medidas corretivas antes que ocorram falhas. Como afirma Lei *et al.* (2020), a manutenção preditiva pode reduzir o tempo de inatividade da rede elétrica e melhorar a confiabilidade e a eficiência da rede.

2.5.2.2 *IoE na Operação e Proteção do Sistema Elétrico*

A IoE desempenhará um papel importante nos futuros sistemas de energia. A integração de RES está aumentando nas redes. Esta questão ajuda a aliviar os custos de operação e a reduzir as emissões. No entanto, a incerteza na operação do sistema de energia aumentará, o que pode ameaçar a segurança da rede (SHAHINZADEH *et al.*, 2019). De acordo com o autor citado, para garantir a segurança, parte da geração renovável incerta pode ser reduzida e medidas de redução de carga podem ser impostas. No entanto, com a implementação da infraestrutura de IoT, mudanças revolucionárias poderão ocorrer na operação da rede. O operador do sistema tem acesso a bancos de dados instantâneos avançados que proporcionam melhor visibilidade e monitoramento do sistema. Além disso, o operador tem mais controle sobre cargas de pequena escala. Este assunto pode ser gerenciado automaticamente pela incorporação de dispositivos baseados em IoT. Por exemplo, se o operador decidir reduzir o consumo em um determinado alimentador no nível de distribuição, um sinal correspondente será enviado ao centro de distribuição regional visado.

Para Shahinzadeh *et al.* (2019), esse centro também pode enviar um sinal semelhante a todos os consumidores desse alimentador. Cada consumidor individual também pode ter vários esquemas de controle predefinidos e ajustáveis e pode ser equipado com certas interfaces baseadas em IoE e controladores automáticos que informam o consumidor para reduzir seu consumo. Além disso, estratégias pré-definidas para redução do consumo de energia podem ser definidas pelo usuário para desligar algumas cargas automaticamente. Todas essas tarefas de controle irão ser gerenciado automaticamente usando a infraestrutura IoE.

Deve-se mencionar que o operador do sistema se depara com uma enorme quantidade

de incerteza no modelo, e o sistema de potência também tem suas características inerentes que tornam o escalonamento mais complexo. A programação deve incluir vários itens, como as características de todos os tipos de recursos de geração, o estado dos componentes de transmissão e distribuição e a modelagem de vários tipos de cargas. Além disso, as restrições de segurança, as capacidades de resposta à demanda (como usinas virtuais de energia (VPP)) e o impacto das unidades de armazenamento devem ser integrados (CAO *et al.*, 2018).

A IoT ajuda o operador a adquirir uma melhor incorporação de componentes e ativos existentes e sua modelagem associada (CAO *et al.*, 2018). Além disso, podem ser empregados esquemas e técnicas modernas de proteção e instalados equipamentos de proteção digital que enviam relatórios instantâneos aos centros de proteção usando infraestrutura de TIC. Esse assunto pode prevenir as consequências catastróficas de contingências como apagões.

2.6 A Tendência Futura de IoE.

As tendências futuras da Internet da Energia incluem a integração de fontes de energia renovável e tecnologias de armazenamento de energia, a utilização de sistemas de inteligência artificial e análise de dados para otimizar o uso de energia e o aumento da participação dos consumidores na gestão de sua própria energia.

O armazenamento de energia é uma tecnologia essencial para garantir a estabilidade e a sustentabilidade do sistema elétrico, diante das variações na oferta e na demanda de energia e da necessidade de reduzir o uso de combustíveis fósseis. Nesse contexto, os supercapacitores e as baterias futuras se destacam como soluções promissoras para diversos setores, especialmente o de transporte. Segundo Silva e Santos (2020), os veículos elétricos do futuro contarão com baterias mais avançadas e sistemas de carregamento mais eficientes, que permitirão maior autonomia, menor tempo de recarga e menor impacto ambiental. Dessa forma, os veículos elétricos poderão contribuir para a melhoria da qualidade do ar e a mitigação das mudanças climáticas.

2.6.1 IoE e Recursos Energéticos Futuros

No que diz respeito aos recursos energéticos futuros, há uma série de tecnologias emergentes que têm o potencial de transformar a forma como a energia é gerada e utilizada. Uma dessas tecnologias é a energia solar, que tem se tornado cada vez mais acessível e eficiente. Segundo a Agência Internacional de Energia (2023), a energia solar deverá ser a principal fonte

de eletricidade no mundo até 2050. Outra tecnologia que tem sido cada vez mais explorada é a energia eólica, que já se tornou uma das principais fontes de energia renovável em todo o mundo. De acordo com a AIE, a energia eólica poderia fornecer até 18% da eletricidade global até 2040.

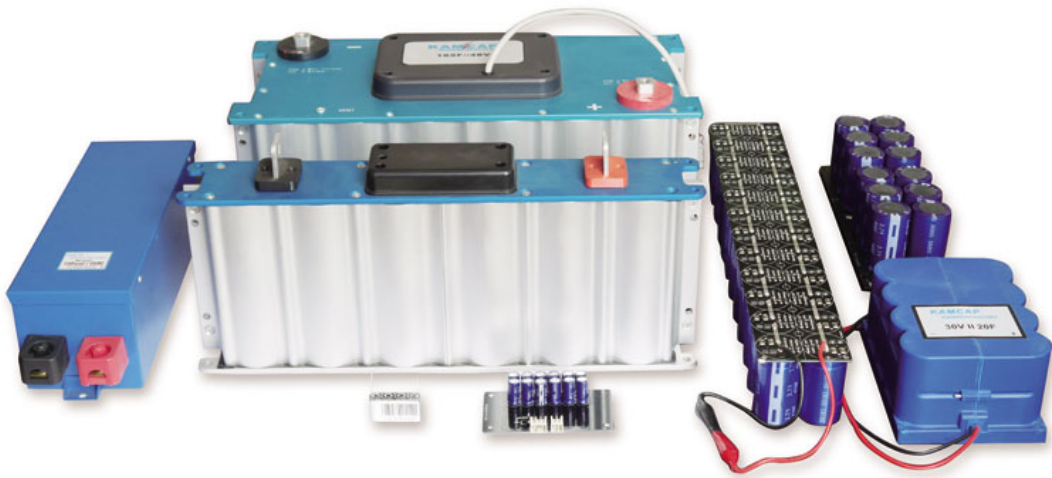
Além disso, a energia das ondas e das marés também tem sido objeto de intensa pesquisa e desenvolvimento, com vários projetos pilotos em andamento em todo o mundo. De acordo com a Comissão Europeia (2023), a energia das ondas e das marés tem um potencial de geração de energia de cerca de 100 GW até 2050. No entanto, para que esses recursos energéticos futuros possam ser efetivamente integrados na rede elétrica, é necessária uma infraestrutura robusta e flexível que possa gerenciar a complexidade das fontes de energia intermitentes e distribuídas. Nesse sentido, a Internet da Energia desempenhará um papel fundamental, permitindo que os diferentes recursos energéticos sejam coordenados de forma mais eficiente. A Internet da Energia e os recursos energéticos futuros têm o potencial de transformar a forma como a energia é gerada, distribuída e utilizada. Com o aumento da demanda por fontes de energia limpas e sustentáveis, é evidente que a implementação dessas tecnologias vai se acelerar nos próximos anos.

2.6.2 IoE e os SuperCapacitores

Os supercapacitores mostrados na Figura 15 são dispositivos de armazenamento de energia com alta densidade de energia e alta taxa de transferência de energia. A tecnologia da Internet of Energy (IoE) pode desempenhar um papel importante no seu desenvolvimento e aplicação. Segundo Chen *et al.* (2019), a IoE pode ser usada para otimizar o uso dos supercapacitores em sistemas de armazenamento de energia, monitorando e controlando seu desempenho em tempo real. Isso pode ajudar a garantir que os supercapacitores sejam usados de maneira eficiente e segura, prolongando sua vida útil e reduzindo custos. Além disso, a IoE pode ser usada para melhorar a conectividade entre os supercapacitores e outros componentes de sistemas de armazenamento de energia, permitindo o gerenciamento remoto e a integração com outras fontes de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas.

No trabalho de Zhang *et al.* (2020), foi destacada a importância da IoE na criação de um sistema de gerenciamento de energia inteligente e conectado para veículos elétricos com supercapacitores. Isso permitiria que os veículos carregassem e descarregassem energia de maneira mais eficiente, maximizando o desempenho dos supercapacitores e prolongando sua vida útil. Por fim, Ma *et al.* (2021) ao introduzir o princípio de armazenamento de energia dos

Figura 15 – Módulos de Supercapacitores



Fonte: Kamcap (2023)

supercapacitores, eles resumiram os cinco modelos de supercapacitores existentes e analisaram as características e aplicabilidade de cada modelo. Ao mesmo tempo, ao resumir e analisar o princípio de armazenamento de energia dos supercapacitores e modelos relacionados, focaram no seu papel no desenvolvimento do IoE, e também anteciparam a perspectiva de desenvolvimento da IoE. Com base na integração profunda do conceito de Internet e da tecnologia da informação avançada com a indústria da energia, pretende-se alcançar um desenvolvimento verde, coordenado e eficiente para impulsionar o crescimento econômico e apoiar a revolução energética, através da rede de energia colaborativa multi-energia, sistema de energia integrado de informação e física e modo de operação de energia inovador.

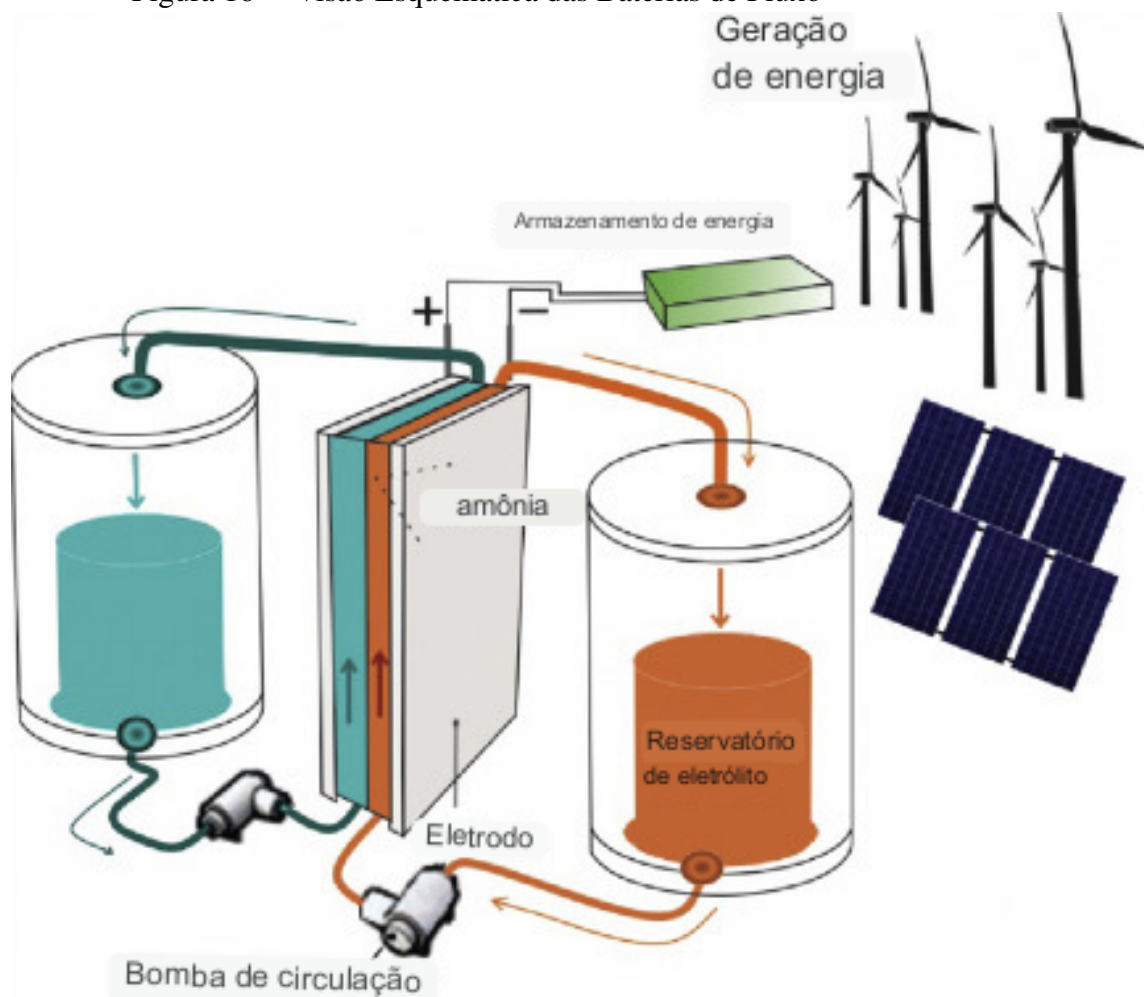
2.6.3 IoE e Tecnologias de Armazenamento de Energia

A Internet da Energia está impulsionando a transformação do setor de energia e, em particular, a forma como a energia é armazenada. O armazenamento de energia é essencial para equilibrar a oferta e a demanda de energia, reduzir a dependência de fontes de energia fóssil e permitir a integração de fontes de energia renovável na rede elétrica. A Internet da Energia está permitindo o desenvolvimento de tecnologias avançadas de armazenamento de energia, incluindo baterias, supercapacitores e sistemas de armazenamento de hidrogênio.

As baterias são um dos métodos mais populares e amplamente utilizados para o armazenamento de energia. As baterias de íons de lítio são as mais comuns, mas outras tecnologias, como as baterias de fluxo, mostrada no Figura 16, estão se tornando cada vez mais populares. As baterias de fluxo são particularmente úteis para o armazenamento de energia

renovável, pois permitem que a energia seja armazenada por longos períodos de tempo e são altamente escaláveis. A tecnologia de armazenamento de baterias está evoluindo rapidamente, com a adoção de novos materiais e tecnologias, o que permite o aumento da capacidade de armazenamento e a redução dos custos (CHANG *et al.*, 2012).

Figura 16 – Visão Esquemática das Baterias de Fluxo



Fonte: Dincer e Erdemir (2021)

Os supercapacitores são outra tecnologia promissora para o armazenamento de energia na Internet da Energia. Os supercapacitores são capazes de armazenar e liberar grandes quantidades de energia em curtos períodos de tempo, tornando-os ideais para aplicações de pico de energia. Além disso, os supercapacitores têm um ciclo de vida muito longo e não contêm substâncias tóxicas, tornando-os mais seguros e mais ecológicos do que as baterias convencionais (RAZA *et al.*, 2018).

Os sistemas de armazenamento de hidrogênio também estão sendo desenvolvidos como uma forma de armazenar energia renovável. O hidrogênio pode ser produzido a partir de

energia renovável e armazenado em tanques para uso posterior. Quando necessário, o hidrogênio pode ser convertido novamente em eletricidade ou em combustível para veículos (ELBERRY *et al.*, 2021).

A Internet da Energia está permitindo o desenvolvimento de soluções de armazenamento de energia mais avançadas e eficientes, o que é essencial para tornar a transição para a energia limpa e sustentável uma realidade. Conforme afirmado por Pal e Rana (2020), "A IoE poderia promover a coordenação das diferentes tecnologias de armazenamento de energia, permitindo que a energia seja armazenada quando está disponível e usada quando necessário, tornando a transição para a energia limpa e sustentável uma realidade".

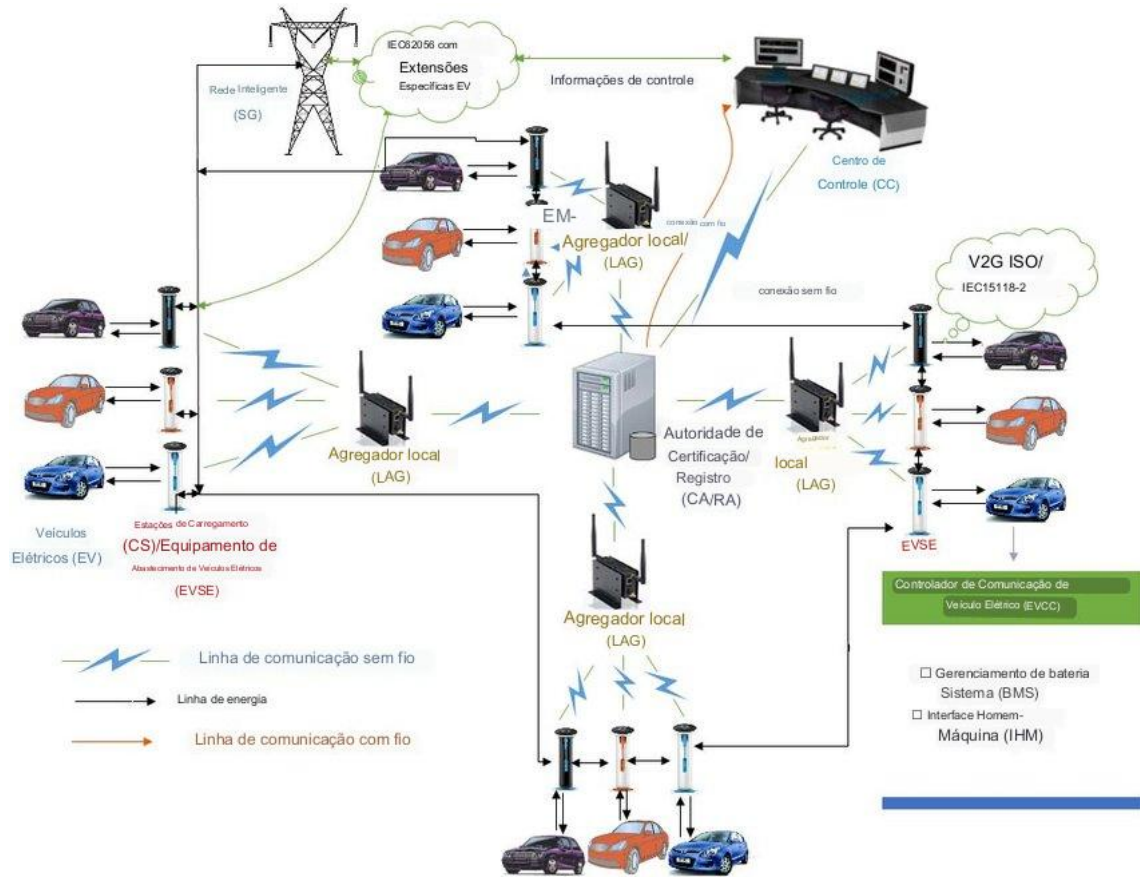
2.6.4 IoE e Veículos Elétrico

A *Internet of Energy* (IoE) pode ser definida como uma rede integrada de sensores, dispositivos e equipamentos que compartilham informações em tempo real, permitindo uma gestão eficiente e dinâmica da energia (BEDI *et al.*, 2018). A utilização da IoE pode trazer inúmeros benefícios para a mobilidade elétrica, incluindo o gerenciamento remoto do carregamento de baterias e a otimização do uso da energia armazenada em veículos elétricos, o que pode levar a uma maior eficiência e uma redução nos custos de operação (SAUTER *et al.*, 2016). Além disso, a IoE pode ajudar a integrar melhor os VEs com a rede elétrica, permitindo um gerenciamento mais eficaz da demanda de energia e uma melhor utilização das fontes de energia renovável (RANA *et al.*, 2021).

Um exemplo de aplicação da IoE em veículos elétricos é o sistema de gerenciamento de carga veicular inteligente (V2G), mostrada na Figura 17, que permite a carga bidirecional de energia entre a rede elétrica e os VEs, além de permitir a comunicação em tempo real entre os veículos e a rede elétrica (LI *et al.*, 2020). Esse sistema pode ajudar a reduzir a sobrecarga da rede elétrica em momentos de alta demanda de energia, além de fornecer uma fonte de energia de reserva em caso de emergências.

Outra aplicação promissora da IoE em VEs é a utilização de sistemas de monitoramento remoto para coleta de dados de desempenho e manutenção dos veículos, permitindo um diagnóstico mais rápido de problemas e um planejamento mais eficiente da manutenção preventiva (BEDI *et al.*, 2018). De acordo com Rana *et al.* (2021), o uso da IoE em veículos elétricos está se expandindo rapidamente e espera-se que essa tecnologia continue a crescer nos próximos anos, trazendo inúmeros benefícios para a mobilidade elétrica e contribuindo para um

Figura 17 – Sistema Inteligente de Gerenciamento de Carga Veicular



Fonte: Saxena *et al.* (2015)

futuro mais sustentável.

2.6.5 IoE e Gestão de Consumo Residencial

Os utilizadores finais residenciais têm determinados consumos nas suas casas. Eles geralmente tendem a usar energia fora do pico em vez de eletricidade de pico cara. Mas o período fora de pico é tarde da noite, quando a maioria dos consumidores está dormindo ou inativa. Portanto, a infraestrutura de IoE pode ajudar a facilitar o gerenciamento de energia em edifícios (HANNAN *et al.*, 2018). Portanto, os conceitos de edifícios inteligentes e casas inteligentes são enquadrados como uma subcategoria de redes inteligentes no lado da demanda (PLAGERAS *et al.*, 2018).

Num primeiro momento, todos os utilizadores finais devem estar equipados com contadores avançados (ou AMIs) para terem conhecimento do preço instantâneo da eletricidade. O tipo de sistema de preços pode ser preço uniforme, preço baseado em tempo (TBR) ou preço em tempo real. Na última década, os fabricantes de eletrodomésticos estão equipando seus produtos por IEDs com capacidade de conectividade IoT para ter conexão informática em

tempo real com AMIs. Esses dispositivos podem ser programados para fazer algumas tarefas automaticamente, o que traz economia e vantagens para os proprietários. Por exemplo, uma máquina de lavar louça é capaz de iniciar a máquina quando o preço da eletricidade é mais barato ou será mais barato (SHAHINZADEH *et al.*, 2019). O conceito de construção inteligente monitora e controla muitos itens em uma casa automaticamente ou através de controle remoto pelo usuário usando aplicativos móveis ou servidores baseados na web usando a transferência de dados em nuvem (JAVOID *et al.*, 2018).

Alguns dos usos da IoE em um prédio inteligente são o controle remoto do consumo de energia elétrica por dispositivos elétricos, como TV, máquina de lavar roupa, lava-louças, geladeira etc., controle do sistema HVAC, controle de portas, monitoramento 24 horas por dia, 7 dias por semana da casa através de câmeras de segurança, controle de iluminação etc (SHAHINZADEH *et al.*, 2019). conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Esquema de um Edifício Inteligente



Fonte: Shahinzadeh *et al.* (2019)

2.6.6 *Desafios de IoE*

Para o avanço da *Internet of Energy* foram propostos os três grandes desafios. Os desafios relativos a IoE podem ser classificados em três categorias que são de ponto de vista técnico, privacidade e segurança e modelo de negócios.

2.6.6.1 *Desafios Técnicos*

A IoE será uma rede complexa integrando sistemas integrados como redes inteligentes, sensores etc. e envolvendo monitoramento e controle descentralizados. A integração com energias renováveis distribuídas e o gerenciamento de enormes conjuntos de dados de vários dispositivos de comunicação e o monitoramento e controle em tempo real dos vastos recursos trazem complexidade ao sistema. Além disso, a natureza intermitente da geração renovável e a variabilidade das cargas tornam a obtenção de um sistema de gerenciamento de energia inteligente robusto bastante desafiador (HUANG *et al.*, 2010). Embora o armazenamento ajude a manter a estabilidade do sistema, permanecem os desafios para garantir o fornecimento contínuo de cargas críticas, por exemplo, usando o gerenciamento do lado da demanda por meio de preços de energia (CAO; YANG, 2013). Outro desafio será regular a tensão e a frequência na rede dentro dos limites padrões.

2.6.6.2 *Desafios de Privacidade e Segurança*

A utilização da Internet para comunicações de rede inteligente economiza em infraestrutura, mas também gera uma ameaça significativa com relação à segurança - o debate continua sobre os méritos e custos relativos. Os três objetivos de segurança cibernética de alto nível para desempenho são: i) acesso oportuno e confiável e uso de informações, ii) integridade das informações comunicadas e iii) confidencialidade da privacidade pessoal e informações proprietárias (GRID, 2010). Houve alguns casos graves de ataques cibernéticos na rede. O ataque de malware mais perigoso foi na usina nuclear do Irã (usina nuclear de Bushehr) atacando o sistema SCADA, que era usado para monitorar e controlar uma rede elétrica (YANG *et al.*, 2011). Ataques direcionados a equipamentos de geração ou estações de distribuição e controle podem resultar em danos catastróficos, como blecaute ou destruição de infraestrutura.

A IoE ideal oferece suporte a conexões ponto a ponto, portanto, se um hacker invadir qualquer nó, ele poderá atacar qualquer ponto da rede, violar a confidencialidade do cliente e seu

uso de eletricidade etc. O mecanismo de segurança chave que é necessário para estabelecer um sistema de smart grid seguro, confiável e sustentável são autenticação, proteção de integridade e criptografia (FRIES *et al.*, 2010).

2.6.6.3 *Desafios do Modelo de Negócios*

Os modelos convencionais de negócios da rede são baseados em grandes geradores centralizados e empresas de serviços públicos com grande participação de mercado desde a geração até as instalações do consumidor. Por razões técnicas e comerciais, o sistema atual não acomoda facilmente uma grande proporção de geração renovável distribuída ou armazenamento de energia (ABE *et al.*, 2011) e também não permite que o faturamento siga o consumidor. Novos modelos de negócios são, portanto, necessários para fornecer um mercado mais aberto e permitir trocas de energia ponto a ponto. A desregulamentação e a transformação do mercado de energia de hoje são um desafio fundamental para alcançar o futuro mercado de energia orientado a serviços (KARNOUSKOS; TERZIDIS, 2007).

3 METODOLOGIA

Este trabalho sucede de uma revisão bibliográfica pela metodologia da revisão narrativa e exploratória de literatura, que é um processo de pesquisa que envolve a coleta, análise e síntese de informações presentes em estudos acadêmicos e literatura existente sobre um determinado tema, que também segundo Amaral (2014), pode ser entendida como um processo de coleta e análise crítica de materiais impressos e/ou eletrônicos disponíveis em fontes diversas, como livros, artigos, teses, dissertações, relatórios, periódicos, entre outros, que são relevantes para o tema ou problema de pesquisa em questão. A revisão bibliográfica permite contextualizar o problema, identificar as lacunas e desafios na área, bem como identificar as principais contribuições teóricas e empíricas que subsidiam o estudo.

Gouveia e Souza (2015), afirmam que é uma etapa importante do processo de pesquisa, uma vez que permite uma compreensão mais aprofundada do tema, evitando que o pesquisador reinvente a roda e desenvolva estudos já realizados por outros autores.

A revisão bibliográfica é a estratégia metodológica usada neste trabalho, onde optou-se por utilizar a revisão narrativa, que é um tipo de revisão sistemática de literatura que tem como objetivo integrar evidências de estudos primários para formar uma narrativa coerente e significativa sobre o assunto em questão, possibilitando também o acesso à experiências de autores que já pesquisaram sobre o assunto.

Na feitura deste trabalho foi realizada uma revisão narrativa da literatura nacional e internacional sobre o tema proposto (*internet of energy*: "uma gestão inteligente, eficiente e sustentável do sistema elétrico de potência via internet), devindo assim todo o processo em duas etapas principais.

3.1 Levantamento das Bibliografias

Para realização deste foram utilizados materiais acadêmicos, compostos por livros eletrônicos e físicos, revistas, artigos entre outros trabalhos que através de forma quantitativa, foram coletados a partir das fontes como, Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO), sites internacionais e de instituições federais ligados à energia elétrica, assim como foi usado de *Biorender* e *Bibliometrix* efetuar levantamento bibliométrico sobre o tema. A seleção das publicações foi realizada a partir da associação das seguintes palavras chaves: Energia elétrica, Sistema Elétrico de Potência, *Internet of Energy*, Tecnologia de IOT,

Geração Distribuída, Energia Verde e Sustentabilidade.

3.2 Análise e Seleção de Informações do Interesse

Com os materiais coletadas, seguiu-se a leitura objetiva, analisando se os trabalhos que apresentavam o conteúdo de interesse. Em seguida, fez-se uma leitura aprofundada, registrando as informações e dados a serem extraídos dos materiais consultados e utilizados como base para referencial teórica.

4 INTERNET OF ENERGY (IOE) E ENERGIA VERDE (SOLAR/EÓLICA)

Quando combinada com a energia verde, a IoE desempenha um papel crucial na transição para um sistema energético mais sustentável. A energia verde refere-se à produção de energia a partir de fontes renováveis, como solar, eólica, hidrelétrica, geotérmica e biomassa. Essas fontes de energia são ambientalmente amigáveis, gerando menos emissões de gases de efeito estufa e causando menos impacto negativo ao meio ambiente em comparação com as fontes de energia convencionais, como carvão e petróleo (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2019).

A IoE permite que a energia verde seja integrada à rede elétrica de maneira mais eficiente. Ela possibilita a coleta em tempo real de dados sobre a produção de energia renovável, o consumo de energia e as condições de operação dos dispositivos. Esses dados podem ser analisados para otimizar o uso da energia, equilibrar a oferta e a demanda, e melhorar a eficiência geral do sistema energético (WANG *et al.*, 2017).

4.1 IoE e Energia Solar

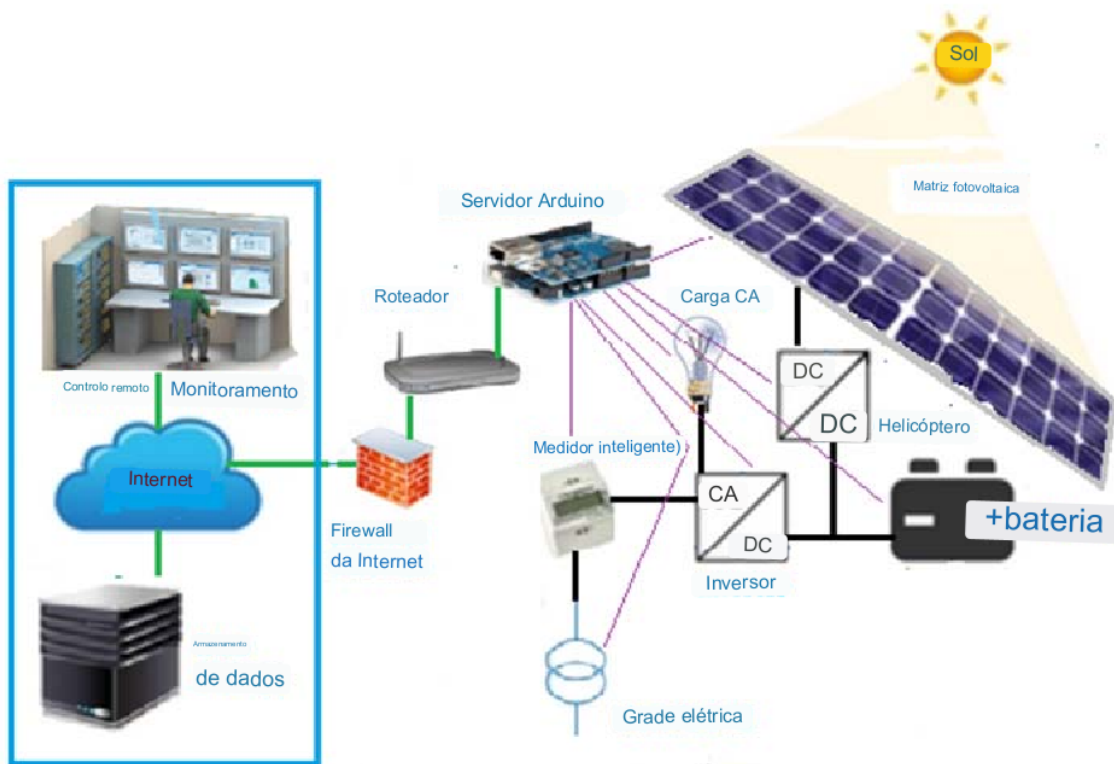
De acordo com López-Ruiz *et al.* (2021), a IoE possibilita a comunicação e a coordenação inteligente entre os diversos componentes dos sistemas solares, desde os painéis fotovoltaicos até os dispositivos de armazenamento e distribuição.

A arquitetura apresentada na Figura 19, consiste em três camadas diferentes: a primeira camada inclui o ambiente de projeto do sistema fotovoltaico, onde todos os componentes foram conectados de acordo com as configurações necessárias para atender completamente aos requisitos do usuário. Neste caso, os componentes do sistema fotovoltaico estão interligados com o servidor Arduino, que é a segunda camada da arquitetura IoT. Esta segunda camada é denominada ligação de gateway que serve como interconexão entre os projetos de hardware do sistema fotovoltaico para o servidor da web por meio de um roteador com opção de firewall de internet. O servidor Arduino é o principal componente que ajuda na integração do servidor web através de Ethernet ou módulo roteador sem fio. Aqui, o servidor Arduino possui o microcontrolador que monitora, controla e gerencia as funções dos componentes de hardware do sistema fotovoltaico (KUMAR *et al.*, 2018a).

As informações do servidor serão passadas para a terceira camada, que é a camada de monitoramento e controle remoto. Aqui, o servidor entregará as informações coletadas

sobre o sistema fotovoltaico para dispositivos de armazenamento a partir dos quais relatórios periódicos podem ser gerados. Os usuários também podem recuperar esses dados nos relatórios do formulário ou nos gráficos visuais do formulário usando a interface do Android com os dados da nuvem por meio da rede Wi-Fi (KUMAR *et al.*, 2018b).

Figura 19 – Arquitetura para Monitoramento Remoto de Sistema Fotovoltaico



Fonte: Kumar *et al.* (2018b)

Uma das principais contribuições da IoE é a capacidade de equipar os painéis solares com sensores inteligentes, como mencionado por Chintala *et al.* (2017). Esses sensores coletam dados em tempo real sobre a produção de energia, a intensidade da luz solar, a temperatura e outros parâmetros relevantes. Essas informações são transmitidas pela internet para um sistema centralizado, permitindo o monitoramento contínuo do desempenho dos sistemas solares. Com base nesses dados, os operadores podem tomar medidas corretivas e otimizar a eficiência dos sistemas.

Além disso, a IoE desempenha um papel crucial na integração de sistemas de armazenamento de energia na energia solar, conforme enfatizado por Wang *et al.* (2021). Através da IoE, as baterias e outros dispositivos de armazenamento podem ser conectados aos sistemas solares, permitindo o armazenamento e o gerenciamento inteligente da energia excedente. Os

algoritmos de controle e as análises de dados proporcionam a otimização da carga e descarga das baterias, considerando a demanda de energia e as condições do sistema.

A distribuição inteligente de energia solar é outra aplicação importante da IoE, como destacado por Chen *et al.* (2019). Os sistemas de IoE permitem a coleta e análise de dados para avaliar a demanda de energia em diferentes áreas e ajustar a distribuição de energia de acordo com as necessidades. Isso possibilita uma alocação mais eficiente e equilibrada da energia solar, otimizando seu aproveitamento e minimizando perdas.

No entanto, é fundamental considerar a segurança cibernética na implementação da IoE na energia solar, conforme ressaltado por Adhikari e Chatterjee (2018). A proteção contra possíveis ataques maliciosos e a garantia da privacidade dos dados são aspectos cruciais para a confiabilidade e a integridade dos sistemas solares conectados à IoE. Portanto, a implementação de medidas de segurança avançadas, como *firewalls*, criptografia de dados e autenticação de dispositivos, é essencial para mitigar esses riscos.

4.2 IoE e Energia Eólica

A utilização da *Internet of Energy* (IoE) nos sistemas de energia eólica tem sido amplamente explorada como uma abordagem inovadora para aprimorar a eficiência, a integração e o gerenciamento desses sistemas. Diversos autores têm contribuído para o avanço do conhecimento nessa área, fornecendo perspectivas valiosas e insights inovadores sobre a aplicação da IoE nos sistemas de energia eólica.

Zhang e al. (2022), destacam que a IoE desempenha um papel crucial na otimização da geração de energia eólica. Ao interconectar dispositivos de geração eólica por meio da IoE, é possível coletar dados em tempo real, permitindo a análise e o ajuste contínuo dos parâmetros operacionais das turbinas. Essa abordagem contribui para maximizar a eficiência da geração eólica, garantindo um melhor aproveitamento dos recursos eólicos disponíveis.

A integração dos sistemas de energia eólica com a rede elétrica também é facilitada pela IoE, conforme destacado por Chen e al. (2023). Através da comunicação bidirecional entre as turbinas eólicas e os sistemas de controle centralizados, é possível monitorar e controlar de forma mais precisa a produção de energia, levando em consideração as condições de demanda e as restrições da rede elétrica. Essa integração inteligente permite uma operação mais estável e confiável dos sistemas de energia eólica, além de facilitar a participação ativa desses sistemas na estabilização e no balanceamento da rede elétrica.

Outro aspecto relevante é a aplicação da IoE na gestão da manutenção das turbinas eólicas, como evidenciado por Liu e al. (2021). A IoE possibilita a coleta contínua de dados de desempenho e condições operacionais das turbinas, permitindo uma análise preditiva do estado das máquinas. Essa abordagem permite a identificação precoce de possíveis falhas ou necessidade de manutenção, resultando em uma redução dos custos de manutenção e do tempo de inatividade das turbinas. Além disso, a IoE permite uma manutenção mais eficiente e proativa, com a programação de intervenções preventivas com base em informações em tempo real sobre o estado das turbinas.

A segurança cibernética também é um aspecto crítico na utilização da IoE nos sistemas de energia eólica, como ressaltado por Alizadeh-Mousavi e al. (2020). Medidas robustas de proteção, como técnicas de criptografia, autenticação e detecção de intrusões, são necessárias para garantir a confidencialidade, integridade e disponibilidade dos dados e operações. A segurança cibernética é fundamental para proteger os sistemas de energia eólica interconectados pela IoE contra ameaças e ataques potenciais, garantindo seu funcionamento confiável e seguro.

Além dos benefícios mencionados, a IoE oferece oportunidades para o desenvolvimento de modelos de previsão avançados baseados em algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial, conforme discutido por Liu e al. (2022). Esses modelos permitem uma previsão mais precisa e confiável da geração eólica, considerando as condições meteorológicas, o desempenho histórico das turbinas e outros fatores relevantes. Essas previsões mais precisas contribuem para uma melhor gestão da energia eólica, facilitando o planejamento da operação e a tomada de decisões estratégicas.

4.3 Internet of Energy (IoE), Eficiência e Sustentabilidade Energética

A eficiência e sustentabilidade energética são pilares fundamentais na busca por um futuro mais sustentável e na utilização responsável dos recursos energéticos. A crescente demanda por energia, juntamente com os desafios ambientais enfrentados atualmente, torna essencial explorar soluções inovadoras que possam melhorar a eficiência energética e promover a sustentabilidade. Nesse contexto, a *Internet of Energy* (IoE), ou Internet das Energias, surge como uma poderosa ferramenta que pode desempenhar um papel fundamental na busca por um melhor nível de eficiência e sustentabilidade energética.

Diversos autores especializados têm contribuído com pesquisas relevantes sobre o tema, fornecendo informações valiosas sobre como a IoE pode ser aplicada para atingir esses

objetivos. Um desses autores é Cossentino (2018), cujo estudo de 2018 destaca a importância da coleta de dados em tempo real para melhorar a eficiência energética. Cossentino ressalta que a IoE permite um monitoramento preciso do consumo de energia em diversos setores, identificando áreas de desperdício e possibilitando a implementação de medidas corretivas. Ao fornecer informações em tempo real sobre o consumo de energia, a IoE permite que sejam identificadas oportunidades de economia e otimização, contribuindo para uma maior eficiência energética.

Outro autor relevante é Zeng (2019), cujo artigo aborda a integração de fontes de energia renovável por meio da IoE. Ele destaca que a IoE desempenha um papel crucial na coordenação e otimização de sistemas de energia distribuída, como painéis solares e turbinas eólicas. Através da IoE, é possível coletar dados sobre a geração e o consumo de energia dessas fontes renováveis, permitindo uma gestão mais eficiente e equilibrada. A IoE pode, por exemplo, direcionar o fluxo de energia para onde é mais necessário, maximizando a geração de energia limpa e minimizando a dependência de fontes não renováveis.

Além disso, o livro "Demand Response in Smart Grids: Technologies and Approaches", escrito por Catalão *et al.* (201X), oferece uma visão abrangente sobre a participação ativa dos consumidores no gerenciamento de energia. Os autores explicam como a IoE capacita os consumidores a monitorar seu consumo de energia em tempo real e tomar decisões informadas sobre seu uso. Essa conscientização energética permite uma participação mais ativa na busca por uma eficiência energética e sustentabilidade. Os consumidores podem ajustar seu consumo de acordo com os períodos de maior ou menor demanda, contribuindo para uma melhor gestão dos recursos energéticos.

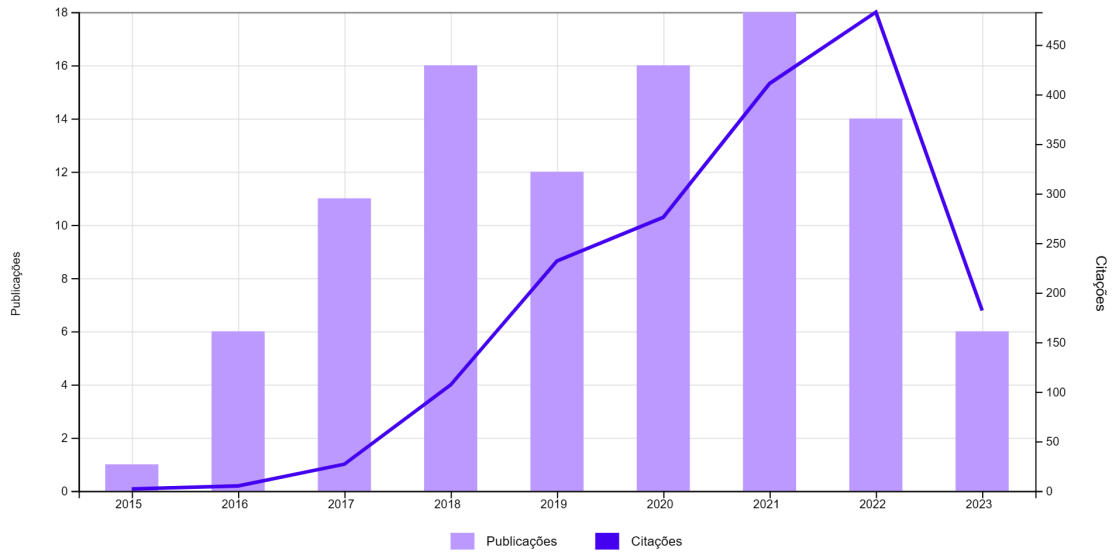
A IoE oferece uma variedade de benefícios para atingir um bom nível de eficiência e sustentabilidade energética. Por meio da coleta e análise de dados em tempo real, a IoE permite a identificação de padrões de consumo, possibilitando uma gestão mais precisa e eficiente dos recursos energéticos. A integração de fontes renováveis, impulsionada pela IoE, contribui para a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável. Além disso, a participação dos consumidores no gerenciamento de energia, facilitada pela IoE, incentiva a adoção de práticas mais conscientes e sustentáveis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A IoE é um conceito que combina a Internet das Coisas (IoT) com sistemas de energia, permitindo a interconexão de dispositivos, infraestrutura e redes elétricas para melhorar a eficiência energética, monitoramento e gestão do consumo de energia. A bibliometria pode ajudar a entender como esse campo emergente está evoluindo e como os pesquisadores estão contribuindo para o avanço do conhecimento. As Figuras 20, 21, 22 mostra os resultados bibliométricos sobre a emergente tecnologia IoE primeiro por citações, em seguida por países e finalmente por autores mais relevantes respectivamente. Pela Figura 20 percebe-se um rápido crescimento em citações sobre esse tópico a partir de 2016 tendo leve queda em 2019 e 2022, sendo que essa queda pode estar relacionada às tendências gerais na indústria de energia. O rápido crescimento demonstra o interesse dos pesquisadores nesta nova tecnologia. A partir da Figura 21 podemos ver que a nível global, a China lidera absolutamente em número de produção científica sobre IoE seguido da Itália. A China tem sido líder mundial em pesquisa e desenvolvimento de energias renováveis, principalmente em energia solar e eólica. O país investiu fortemente em instalações de energia renovável, estabelecendo metas ambiciosas para reduzir as emissões de carbono e melhorar a sustentabilidade. Também pode se ver na Figura 22 os autores mais relevantes e número das suas contribuições científica publicadas, assim como na Tabela 3 são apresentados alguns autores relevantes que foram consultados. A partir da revisão bibliográfica sobre o tema em estudo, foram identificados e discutidos diversos resultados relevantes. Através desses estudos, observou-se que a IoE tem se mostrado uma solução promissora para otimizar a eficiência da infraestrutura de energia existente, possibilitando uma gestão mais precisa e eficiente dos recursos.

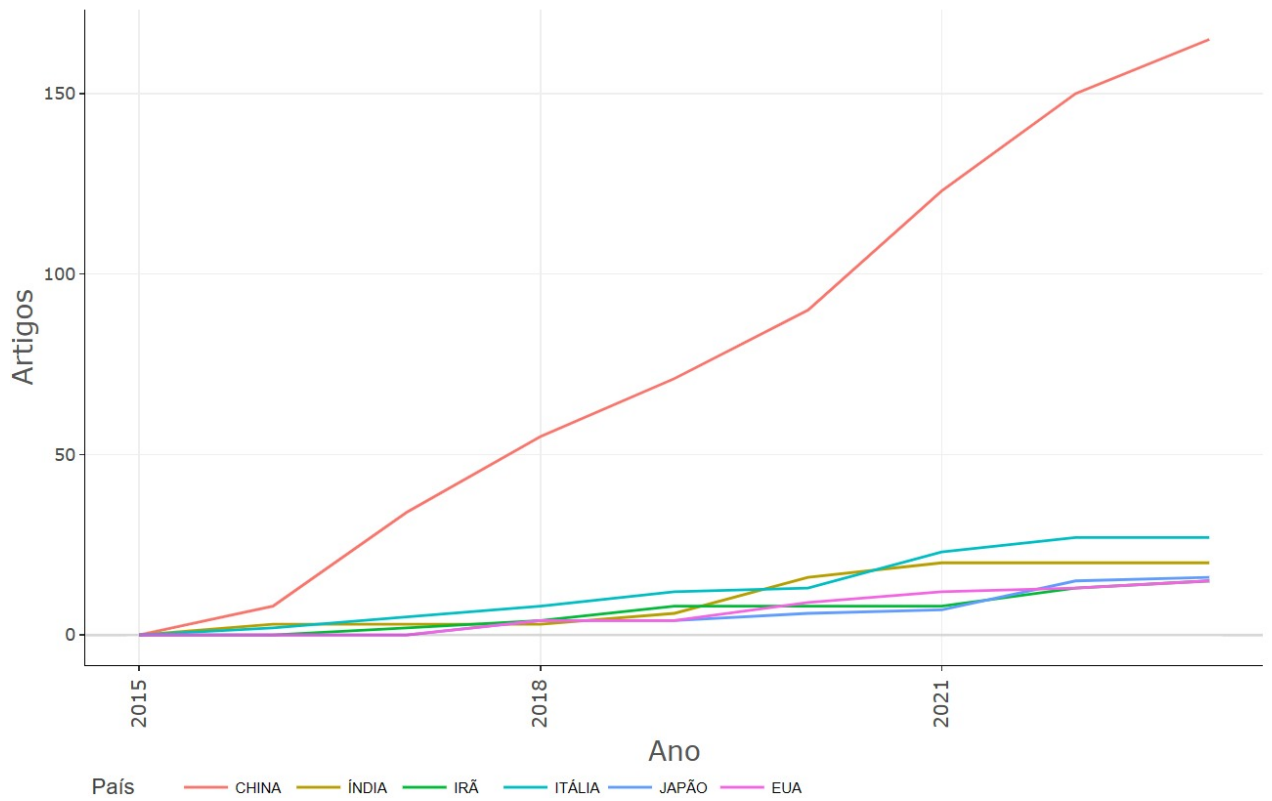
Um dos principais resultados encontrados nos trabalhos dos autores como Miglani *et al.* (2020) e Strielkowski *et al.* (2019), demonstrou a capacidade que IoE tem de integrar fontes de energia renovável, como solar e eólica, de forma coordenada e otimizada. Isso permite maximizar a geração de energia limpa, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. A integração de fontes renováveis também torna o sistema elétrico mais resiliente e menos suscetível a interrupções, aumentando a confiabilidade do fornecimento de energia. Os resultados da revisão bibliográfica destacam a importância e o potencial da Internet of Energy na transformação do sistema elétrico de potência, tornando-o mais inteligente, eficiente e sustentável. No entanto, desafios relacionados à segurança e interoperabilidade precisam ser superados para uma implementação bem-sucedida da IoE.

Figura 20 – Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy



Fonte: Autória Própria (2023a)

Figura 21 – Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy por Países



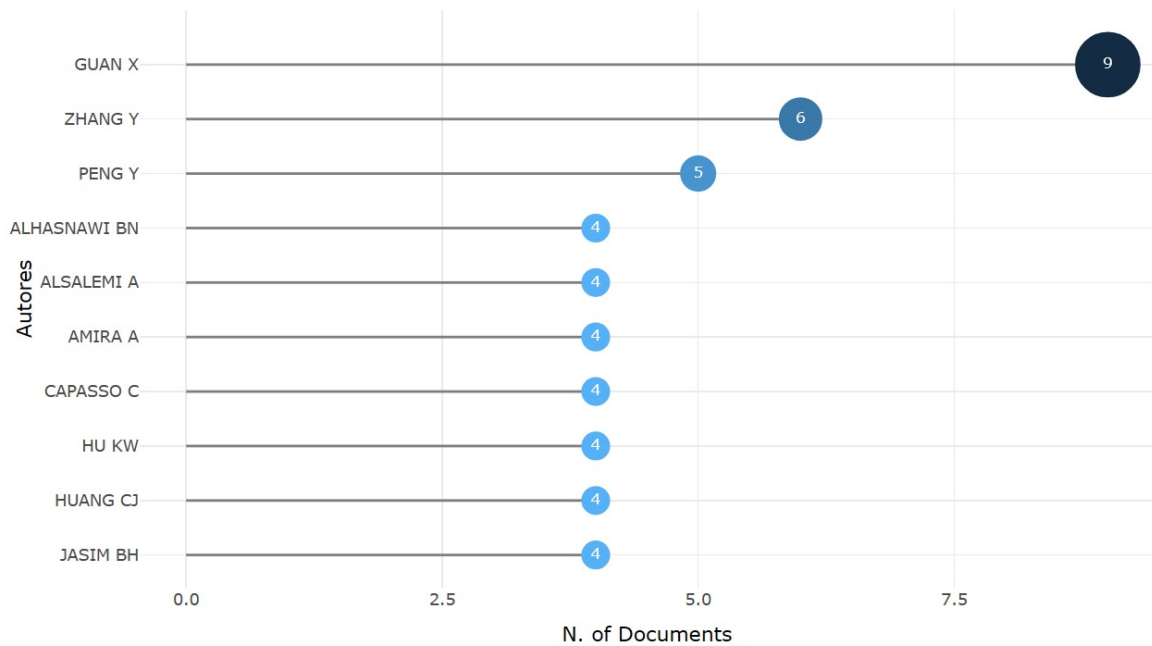
Fonte: Autória Própria (2023c)

Tabela 3 – Alguns Autores Relevantes Consultados.

Título	Autores	Anos de Publicação
Blockchain for Internet of Energy management: Review, solutions, and challenges	Miglani, Arzoo; Kumar, Neeraj; Chamola, Vinay; Zeadally, Sherali	2020
A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations	Hannan, Mahammad A.; Faisal, Mohammad; Ker, Pin Jern; Mun, Looe Hui; Parvin, Khadija; Mahlia, Teuku Meurah Indra; Blaabjerg, Frede	2018
The Internet of Energy: Smart Sensor Networks and Big Data Management for Smart Grid	Jaradat, Manar; Jarrah, Moath; Bouselham, Abdelkader; Jararweh, Yaser; Al-Ayyoub, Mahmoud	2015
Integration of electric vehicles and management in the internet of energy	Mahmud, Khizir; Town, Graham E.; Morsalin, Sayidul; Hossain, M. J.	2018
An internet of energy framework with distributed energy resources, prosumers and small-scale virtual power plants: An overview	Mahmud, Khizir; Khan, Behram; Ravishankar, Jayashri; Ahmadi, Abdullah; Siano, Pierluigi	2017

Fonte: Autória Própria (2023a)

Figura 22 – Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy e Autores mais Relevantes



Fonte: Autória Própria (2023b)

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A eletricidade é um componente essencial para a sociedade atual, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento humano e tecnológico. Ela alimenta infraestruturas, impulsiona a indústria, permite a comunicação global e é um elemento chave na busca por um futuro sustentável. Sua disponibilidade confiável e acessível é crucial para o funcionamento de todos os aspectos da vida moderna.

No entanto, mesmo com grandes investimentos e avanços tecnológicos, o sistema elétrico de potência atual ainda enfrenta diversos desafios, tais como envelhecimento da infraestrutura, aumento da demanda energética, instabilidade causada por distúrbios elétricos, impactos ambientais e dependência de fontes de energia não renováveis. Esses problemas afetam a eficiência, a confiabilidade e a sustentabilidade do sistema, exigindo soluções inovadoras para garantir um fornecimento de energia seguro, estável e limpo. Com o intuito de aprimorar a qualidade e a confiabilidade no fornecimento intermitente de energia, emergiu o conceito da *Internet of Energy* (IoE).

A IoE, tem como finalidade promover uma gestão inteligente, eficiente e sustentável do sistema elétrico de potência, integrando a tecnologia da Internet com os sistemas de energia. Isso inclui otimizar o uso dos recursos energéticos, maximizar a geração de energia limpa e engajar os consumidores na busca por uma maior eficiência energética, motivo pelo qual, várias pesquisas estão sendo desenvolvidas nos países como, China, Índia, Irã, Itália Japão e Estados Unidos.

Esses países estão investindo em projetos pilotos e iniciativas para explorar o potencial da IoE na gestão inteligente da energia. A China busca melhorar a eficiência energética e integrar fontes renováveis, enquanto a Índia visa reduzir perdas elétricas e promover energia renovável. Nos Estados Unidos, a IoE é estudada em instituições acadêmicas e projetos colaborativos com empresas de energia, visando aprimorar a eficiência e integração de fontes renováveis. Esses esforços refletem o reconhecimento da IoE como solução para os desafios do setor elétrico.

Durante a realização deste estudo, foram constatadas diversas oportunidades de desenvolvimento de futuros projetos:

1. Desenvolvimento de algoritmos avançados para otimização e controle da rede elétrica, considerando fontes de energia renovável, veículos elétricos e demanda flutuante.
2. Soluções de comunicação e segurança para garantir a integridade dos dados na Internet of Energy, especialmente entre veículos elétricos, sistemas de armazenamento e a rede

elétrica.

3. Modelos de negócios inovadores para infraestrutura de carregamento inteligente de veículos elétricos, incluindo estratégias de carregamento, integração com a rede elétrica e gerenciamento de demanda.

4. Desafios e oportunidades na distribuição de energia em áreas urbanas densas, utilizando a Internet of Energy para melhorar a eficiência, reduzir perdas e garantir uma distribuição equitativa.

5. Técnicas de gerenciamento de energia em tempo real para otimização do fluxo de energia em redes elétricas inteligentes, considerando a participação de veículos elétricos e garantindo a estabilidade e eficiência do sistema.

REFERÊNCIAS

- ABE, R.; TAOKA, H.; MCQUILKIN, D. Digital grid: Communicative electrical grids of the future. **IEEE Transactions on Smart Grid**, IEEE, v. 2, n. 2, p. 399–410, 2011.
- ABRADEE. **visão geral do setor, transporte**. 2023. Disponível em: <https://abradee.org.br/visao-geral-do-setor/> Acesso em: 12 de abril 2023.
- ADHIKARI, B.; CHATTERJEE, P. Internet of things based solar energy monitoring system. In: IEEE. **2018 International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering (ICRIEECE)**. [S.l.], 2018. p. 1–6.
- Agência Internacional de Energia. **Renewables 2020**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020> Acesso em: 29 de abril 2023.
- AKHIL, A. A.; HUFF, G.; CURRIER, A. B.; KAUN, B. C.; RASTLER, D. M.; CHEN, S. B.; COTTER, A. L.; BRADSHAW, D. T.; GAUNTLETT, W. D. **DOE/EPRI 2013 electricity storage handbook in collaboration with NRECA**. [S.l.]: Sandia National Laboratories Albuquerque, NM, USA, 2013. v. 1.
- ALIZADEH-MOUSAVI, O.; AL. et. Cybersecurity in internet of energy-enabled wind power systems. **Sustainable Energy, Grids and Networks**, Elsevier, v. 45, p. 678–689, 2020.
- AMARAL, S. F. Revisão bibliográfica: uma ferramenta indispensável para a pesquisa científica. **Revista Científica do Unisalesiano**, v. 5, n. 2, p. 164–172, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325416168_Revisao_bibliografica_uma_ferramenta_indispensavel_para_a_pesquisa_cientifica>.
- ANEEL, B. atlas de energia elétrica do brasil. **Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2002.
- ARORA, N.; KUMAR, D. Availability analysis of steam and power generation systems in the thermal power plant. **Microelectronics Reliability**, Elsevier, v. 37, n. 5, p. 795–799, 1997.
- ATKESON, A.; KEHOE, P. J. **The transition to a new economy after the second industrial revolution**. [S.l.]: National Bureau of Economic Research Cambridge, Mass., USA, 2001.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- Autória Própria. **Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy**. 2023. Disponível em:.
- Autória Própria. **Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy e Autores mais Relevantes**. 2023. Disponível em:.
- Autória Própria. **Resultados Bibliométrico sobre Internet of Energy por Países**. 2023. Disponível em:.
- BEDI, G.; VENAYAGAMOORTHY, G. K.; SINGH, R.; BROOKS, R. R.; WANG, K.-C. Review of internet of things (iot) in electric power and energy systems. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 5, n. 2, p. 847–870, 2018.
- BRETAS, N. G.; ALBERTO, L. F. C. Estabilidade transitória em sistemas eletroenergéticos. 2000.

CAO, J.; YANG, M. Energy internet—towards smart grid 2.0. In: IEEE. **2013 Fourth international conference on networking and distributed computing**. [S.l.], 2013. p. 105–110.

CAO, Y.; LI, Q.; TAN, Y.; LI, Y.; CHEN, Y.; SHAO, X.; ZOU, Y. A comprehensive review of energy internet: basic concept, operation and planning methods, and research prospects. **Journal of Modern Power Systems and Clean Energy**, SGEPRI, v. 6, n. 3, p. 399–411, 2018.

CATALÃO, J. P.; KHODR, H. M.; PIRES, N. M.; MENDES, V. M. F. **Demand Response in Smart Grids: Technologies and Approaches**. [S.l.: s.n.], 201X.

CHANG, W.-S.; PARK, C.-M.; KIM, J.-H.; KIM, Y.-U.; JEONG, G.; SOHN, H.-J. Quartz (sio 2): a new energy storage anode material for li-ion batteries. **Energy & Environmental Science**, Royal Society of Chemistry, v. 5, n. 5, p. 6895–6899, 2012.

CHEN, D.; HUANG, A. Q.; XU, Y.; WANG, F.; YU, W. Distributed and autonomous control of the freedom system: A power electronics based distribution system. In: IEEE. **IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**. [S.l.], 2014. p. 4954–4960.

CHEN, Q.; ZHANG, L.; HAN, W. Integration of internet of things and solar energy: Applications and challenges. **Journal of Engineering**, Hindawi, v. 2019, n. 15, p. 3482–3486, 2019.

CHEN, W.; AL. et. Integration of wind power systems with the internet of energy. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, IEEE, v. 12, n. 3, p. 789–800, 2023.

CHEN, Y.; ZHANG, M.; SU, J. Iot-based energy management for the integration of renewable energy into the power grid. **Sustainability**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 1, p. 47, 2021.

CHEN, Z.; WANG, J.; LIN, X.; CAO, B. Internet of energy: Concept, technology, and application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 102, p. 143–154, 2019.

CHINTALA, S.; JAYAPANDIAN, J.; GOPALAKRISHNAN, S.; KARTHIK, K. Internet of things in solar energy. In: SPRINGER. **Proceedings of the 2nd International Conference on Data Engineering and Communication Technology (ICDECT 2017)**. [S.l.], 2017. p. 493–502.

Comissão Europeia. **Blueprint for Ocean Energy**. 2023. Disponível em: https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/sites/maritimeaffairs/files/docs/body/ocean_energy_blueprint_en.pdf. Acesso em: 29 de abril 2023.

COSENTINO, R. Real-time data collection for improved energy efficiency. 2018.

DINCER, I.; ERDEMIR, D. Chapter 1 - fundamentals and concepts. In: DINCER, I.; ERDEMIR, D. (Ed.). **Heat Storage Systems for Buildings**. Elsevier, 2021. p. 1–35. ISBN 978-0-12-823572-0. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128235720000072>>.

ELBERRY, A. M.; THAKUR, J.; SANTASALO-AARNIO, A.; LARMI, M. Large-scale compressed hydrogen storage as part of renewable electricity storage systems. **International journal of hydrogen energy**, Elsevier, v. 46, n. 29, p. 15671–15690, 2021.

Energy Router. **Roteador do Energia**. "2023". Disponível em: <https://energyrouter.eu/en/homepage>. Acesso em: 12 de abril 2023.

FARIAS, L. M.; SELBITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, p. 07–16, 2011.

FRIES, S.; HOF, H. J.; SEEWALD, M. Enhancing iec 62351 to improve security for energy automation in smart grid environments. In: IEEE. **2010 Fifth International Conference on Internet and Web Applications and Services**. [S.l.], 2010. p. 135–142.

FURTADO, B. d. C. *et al.* Análise da qualidade da energia elétrica no ifg campus goiânia a partir da implementação de projeto de eficiência energética com adição de sistema fotovoltaico. Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.

GOUVEIA, M. T. F.; SOUZA, M. F. d. O papel da revisão bibliográfica na pesquisa científica. **Cadernos de Graduação-Ciências Humanas e Sociais**, Editora Unijuí, v. 3, n. 28, p. 55–65, 2015.

GRID, N. S. Introduction to nistir 7628 guidelines for smart grid cyber security. **Guideline, Sep**, 2010.

HADDAD, J. Energia elétrica: Conceitos, qualidade e tarifação-. **Rio de Janeiro, dezembro/2004. Disponível em:** < [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Energ_Elet_Conceitos_Qualid_Tarif_Ele tr_Procel-04.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Energ_Elet_Conceitos_Qualid_Tarif_Ele_tr_Procel-04.pdf) > Acesso em, v. 7, p. 9, 2004.

HANNAN, M. A.; FAISAL, M.; KER, P. J.; MUN, L. H.; PARVIN, K.; MAHLIA, T. M. I.; BLAABJERG, F. A review of internet of energy based building energy management systems: Issues and recommendations. **Ieee Access**, IEEE, v. 6, p. 38997–39014, 2018.

HASEEB, K.; ALMOGREN, A.; ISLAM, N.; DIN, I. U.; JAN, Z. An energy-efficient and secure routing protocol for intrusion avoidance in iot-based wsn. **Energies**, MDPI, v. 12, n. 21, p. 4174, 2019.

HERSENT, O.; BOSWARTHICK, D.; ELLOUMI, O. **The internet of things: Key applications and protocols**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

HONDO, H. Life cycle ghg emission analysis of power generation systems: Japanese case. **Energy**, Elsevier, v. 30, n. 11-12, p. 2042–2056, 2005.

HUANG, A. Q.; CROW, M. L.; HEYDT, G. T.; ZHENG, J. P.; DALE, S. J. The future renewable electric energy delivery and management (freedm) system: the energy internet. **Proceedings of the IEEE**, IEEE, v. 99, n. 1, p. 133–148, 2010.

International Renewable Energy Agency (IRENA). **Renewable Power Generation Costs in 2019**. 2019. <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_RE_Costs_2019_summary.pdf>. Acesso em: 2021.

JANG, V. T. N. e ThanhLuan Vu e Nam Tuan Le e Y. M. Uma visão geral do sistema de gerenciamento de energia de edifícios baseado na internet da energia (ioe). **2018 Conferência Internacional sobre Convergência de Tecnologias da Informação e Comunicação (ICTC)**.

JAVOID, S.; LIM, Y.; TAN, Y. An internet of energy based framework of aggregator for power allocation among residential users. In: IEEE. **2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)**. [S.l.], 2018. p. 1–2.

JORDEHI, A. R. Allocation of distributed generation units in electric power systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 56, p. 893–905, 2016.

JR, L. C. Z. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência**. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2006.

KAFLE, Y.; MAHMUD, K.; MORSALIN, S.; TOWN, G. Towards an internet of energy. In: IEEE. **2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)**. [S.l.], 2016. p. 1–6.

KAFLE, Y. R.; MAHMUD, K.; MORSALIN, S.; TOWN, G. E. Towards an internet of energy. In: **2016 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6.

Kamcap. **Modulos de Supercapacitores**. 2023. Disponível em: <https://www.kamcappower.com/products/mk-module-super-capacitors/> Acesso em: 25 de junho 2023.

KARNOUSKOS, S.; TERZIDIS, O. Towards an information infrastructure for the future internet of energy. In: VDE. **Communication in Distributed Systems-15. ITG/GI Symposium**. [S.l.], 2007. p. 1–6.

KESHAV, S.; ROSENBERG, C. How internet concepts and technologies can help green and smarten the electrical grid. In: **Proceedings of the first ACM SIGCOMM workshop on Green networking**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 35–40.

KOIRALA, B. P.; KOLIOU, E.; FRIEGE, J.; HAKVOORT, R. A.; HERDER, P. M. Energetic communities for community energy: A review of key issues and trends shaping integrated community energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 56, p. 722–744, 2016.

KUMAR, N. M.; ATLURI, K.; PALAPARTHI, S. Internet of things (iot) in photovoltaic systems. In: . [S.l.: s.n.], 2018.

KUMAR, N. M.; ATLURI, K.; PALAPARTHI, S. Internet of things (iot) in photovoltaic systems. **2018 National Power Engineering Conference (NPEC)**, p. 1–4, 2018.

LAURENTI, M. T. *et al.* **Um algoritmo aplicado à localização digital de faltas em linhas de transmissão utilizando dados de dois terminais**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2009.

LEI, J.; LIU, Y.; ZHOU, Z.; WANG, J.; WANG, S.; CHEN, X. A review on maintenance strategies and decision-making for power system equipment based on iot. **Electric Power Systems Research**, Elsevier, v. 181, p. 106063, 2020.

LEME, D. M.; CUNHA, M. A. da; PITOCCO, T. A.; RIZZARDI, W. C. Sistema de proteção da rede de distribuição de energia elétrica. **Monografia de Graduação. Universidade São Francisco. Itatiba**, 2013.

LI, L.; CHEN, C.; HUA, C. Smart energy internet of things for electric vehicle-to-grid integration: Applications, technologies, and challenges. **IEEE Internet of Things Journal**, IEEE, v. 7, n. 3, p. 1735–1744, 2020.

LIU, M.; AL. et. Advanced wind power prediction models using machine learning and artificial intelligence. **Energy**, Elsevier, v. 234, p. 345–356, 2022.

LIU, X.; AL. et. Internet of energy-enabled maintenance management for wind turbines. **Applied Energy**, Elsevier, v. 345, p. 123–135, 2021.

LÓPEZ-RUIZ, J. A.; GARRIDO-MORENO, A.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, L. The internet of energy in the photovoltaic sector: Benefits, challenges and opportunities. **Energies**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 5, p. 1252, 2021.

LUND, P. D.; MIKKOLA, J.; YPYÄ, J. Smart energy system design for large clean power schemes in urban areas. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 103, p. 437–445, 2015.

MA, H.; ZHANG, Y.; SHEN, M. Application and prospect of supercapacitors in internet of energy (ioe). **Journal of Energy Storage**, Elsevier, v. 44, p. 103299, 2021.

MAHMUD, K.; TOWN, G. E.; MORSALIN, S.; HOSSAIN, M. Integration of electric vehicles and management in the internet of energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 82, p. 4179–4203, 2018.

MIGLANI, A.; KUMAR, N.; CHAMOLA, V.; ZEADALLY, S. Blockchain for internet of energy management: Review, solutions, and challenges. **Computer Communications**, Elsevier, v. 151, p. 395–418, 2020.

MINCHALA-AVILA, L. I.; GARZA-CASTAÑÓN, L. E.; VARGAS-MARTÍNEZ, A.; ZHANG, Y. A review of optimal control techniques applied to the energy management and control of microgrids. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 52, p. 780–787, 2015.

MME. **matriz energetica brasileira**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/resenha-energetica-2022.pdf/view> Acesso em: 09 de abril 2023.

MME. **resenha energética brasileira**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas> Acesso em: 11 de abril 2023.

MULLIGAN, C.; HÖLLER, J.; TSIATSIS, V.; KARNOUSKOS, S.; AVESAND, S.; BOYLE, D. **From Machine to Machine to Internet of Things**. [S.l.]: Academic Press, Cambridge, 2014.

ONS. **O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**. 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin> Acesso em: 09 de abril 2023.

ONSE. **Mapa do Sistema de Transmissão**. "2023". Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin> Acesso em: 09 de abril 2023.

PAL, B. C.; RANA, N. K. Internet of energy (ioe): A review of its applications and research trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p. 109952, 2020. ISSN 1364-0321.

PATEL, K. K.; PATEL, S. M.; SCHOLAR, P. Internet of things-iot: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. **International journal of engineering science and computing**, v. 6, n. 5, 2016.

- PLAGERAS, A. P.; PSANNIS, K. E.; STERGIOU, C.; WANG, H.; GUPTA, B. B. Efficient iot-based sensor big data collection–processing and analysis in smart buildings. **Future Generation Computer Systems**, Elsevier, v. 82, p. 349–357, 2018.
- RAIČIK, A. C. A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de galvani à sua teoria da eletricidade animal. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 12, n. 1, p. 114–137, 2019.
- RANA, A.; GUPTA, R.; SINGH, D. Internet of energy (ioe): A review of technologies, applications, and challenges. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 294, p. 126041, 2021.
- RAZA, W.; ALI, F.; RAZA, N.; LUO, Y.; KIM, K.-H.; YANG, J.; KUMAR, S.; MEHMOOD, A.; KWON, E. E. Recent advancements in supercapacitor technology. **Nano Energy**, Elsevier, v. 52, p. 441–473, 2018.
- ROBBA, E. J.; SCHMIDT, H. P.; JARDINI, J. A.; TAHAN, C. M. V. **Análise de sistemas de transmissão de energia elétrica**. [S.l.]: Editora Blucher, 2021.
- SAUTER, T.; DALLINGER, D.; BIEGEL, B. **The Internet of Energy: A Guide to the Future of Electricity**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2016.
- SAXENA, N.; CHOI, B. J.; CHO, S. Lightweight privacy-preserving authentication scheme for v2g networks in the smart grid. In: IEEE. **2015 IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA**. [S.l.], 2015. v. 1, p. 604–611.
- SHAHINZADEH, H.; MORADI, J.; GHAREHPETIAN, G. B.; NAFISI, H.; ABEDI, M. Internet of energy (ioe) in smart power systems. In: IEEE. **2019 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI)**. [S.l.], 2019. p. 627–636.
- SILVA, A.; SANTOS, B. Baterias e supercapacitores para veículos elétricos: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Energia**, v. 26, n. 1, p. 45–68, 2020.
- SILVA, A. C. *et al.* Sistemas elétricos de potência e proteção de linhas de transmissão. 2020.
- SILVA, J. **Aplicação de Redes Definidas por Software em Internet das Coisas**. Tese (Doutorado), 04 2018.
- SISINNI, E.; SAIFULLAH, A.; HAN, S.; JENNEHAG, U.; GIDLUND, M. Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. **IEEE transactions on industrial informatics**, IEEE, v. 14, n. 11, p. 4724–4734, 2018.
- STEVENSON, W. D. **Elementos de análise de sistemas de potência**. [S.l.]: McGraw-Hill do Brasil, 1974.
- STRASSER, T.; ANDREN, F.; KATHAN, J.; CECATI, C.; BUCCELLA, C.; SIANO, P.; LEITAO, P.; ZHABELOVA, G.; VYATKIN, V.; VRBA, P. *et al.* A review of architectures and concepts for intelligence in future electric energy systems. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, IEEE, v. 62, n. 4, p. 2424–2438, 2014.
- STRIELKOWSKI, W.; STREIMIKIENE, D.; FOMINA, A.; SEMENOVA, E. Internet of energy (ioe) and high-renewables electricity system market design. **Energies**, MDPI, v. 12, n. 24, p. 4790, 2019.

- TULEMISSOVA, G. The impact of the iot and ioe technologies on changes of knowledge management strategy. In: ACADEMIC CONFERENCES AND PUBLISHING LIMITED. **ECIC2016-Proceedings of the 8th European Conference on Intellectual Capital: ECIC2016**. [S.l.], 2016. v. 300.
- VERMESAN, O.; BLYSTAD, L.-C.; HANK, P.; BAHR, R.; JOHN, R.; MOSCATELLI, A. Smart, connected and mobile: Architecting future electric mobility ecosystems. In: IEEE. **2013 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)**. [S.l.], 2013. p. 1740–1744.
- VERMESAN, O.; BLYSTAD, L.-C. J.; ZAFALON, R.; MOSCATELLI, A.; KRIEGEL, K.; MOCK, R.; JOHN, R.; OTTELLA, M.; PERLO, P. Internet of energy – connecting energy anywhere anytime. In: . [S.l.: s.n.], 2011.
- WANG, H.; JIANG, C.; YANG, K.; ZHANG, W.; YOU, S. Energy internet: The challenges and opportunities of interconnected electric systems. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, n. 11, p. 152–158, 2017.
- WANG, J.; MENG, K.; CAO, J.; CHENG, Z.; GAO, L.; LIN, C. Information technology for energy internet: A survey. **Journal of computer research and development**, v. 52, n. 5, p. 1109–1126, 2015.
- WANG, K.; LI, H.; FENG, Y.; TIAN, G. Big data analytics for system stability evaluation strategy in the energy internet. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, IEEE, v. 13, n. 4, p. 1969–1978, 2017.
- WANG, K.; TAO, M.; LIU, C.; WANG, X.; YANG, H. A review on energy internet and its application in solar energy utilization. **Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 143, p. 110856, 2021.
- WANG, K.; YU, J.; YU, Y.; QIAN, Y.; ZENG, D.; GUO, S.; XIANG, Y.; WU, J. A survey on energy internet: Architecture, approach, and emerging technologies. **IEEE systems journal**, IEEE, v. 12, n. 3, p. 2403–2416, 2017.
- WANG, Y.; ZHANG, Y.; LIU, B. Research on application of internet of things in energy efficiency management. **Journal of Physics: Conference Series**, IOP Publishing, v. 1337, n. 5, p. 052013, 2019.
- XU, Y.; ZHANG, J.; WANG, W.; JUNEJA, A.; BHATTACHARYA, S. Energy router: Architectures and functionalities toward energy internet. In: IEEE. **2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)**. [S.l.], 2011. p. 31–36.
- YANG, Y.; LITTLER, T.; SEZER, S.; MCLAUGHLIN, K.; WANG, H. Impact of cyber-security issues on smart grid. In: IEEE. **2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies**. [S.l.], 2011. p. 1–7.
- ZENG, D. Integration of renewable energy sources through the internet of energy. 2019.
- ZHANG, A.; AL. et. Internet of energy in wind power systems: A review. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 123, p. 456–467, 2022.
- ZHANG, C.; CAO, B.; CHEN, Z. Internet of energy-based smart management system for electric vehicle integrated with supercapacitor energy storage. **Energies**, MDPI AG, v. 13, n. 12, p. 3261, 2020.

ZHOU, K.; FU, C.; YANG, S. Big data driven smart energy management: From big data to big insights. **Renewable and sustainable energy reviews**, Elsevier, v. 56, p. 215–225, 2016.

ZHOU, K.; YANG, S. Understanding household energy consumption behavior: The contribution of energy big data analytics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 56, p. 810–819, 2016.

ZHOU, K.; YANG, S.; SHAO, Z. Energy internet: the business perspective. **Applied energy**, Elsevier, v. 178, p. 212–222, 2016.

ZHOU, K.; YANG, S.; SHEN, C.; DING, S.; SUN, C. Energy conservation and emission reduction of china's electric power industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 45, p. 10–19, 2015.

ZHOU, L.; WANG, Y.; HU, L.; WANG, X. Research on internet of things technology based fault diagnosis of distribution network. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, IOP Publishing, v. 739, n. 1, p. 012002, 2021.

ZOUINKHI, A.; AYADI, H.; VAL, T.; BOUSSAID, B.; ABDELKRIM, M. N. Auto-management of energy in iot networks. **International Journal of Communication Systems**, Wiley Online Library, v. 33, n. 1, p. e4168, 2020.