

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Douglas Silvestre Rezende

Vitor Silvestre Resende

**ENERGIAS RENOVÁVEIS: SISTEMA HÍBRIDO DE
ENERGIA SOLAR E ENERGIA EÓLICA**

Taubaté – SP

2020

Douglas Silvestre Rezende

Vitor Silvestre Resende

**ENERGIAS RENOVÁVEIS: SISTEMA HÍBRIDO DE
ENERGIA SOLAR E ENERGIA EÓLICA**

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

Orientador: Prof. Rubens Castilho Junior

**Taubaté - SP
2020**

Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi
Universidade de Taubaté - UNITAU

R467e Rezende, Douglas Silvestre
Energias renováveis : sistema híbrido de energia solar e energia eólica / Douglas Silvestre Rezende , Vitor Silvestre Resende. -- 2020. 39f. : il.

Monografia (graduação) - Universidade de Taubaté, Departamento de Energia Elétrica, 2020.
Orientação: Prof. Rubens Castilho Junior, Departamento de Energia Elétrica.

1. Energia renovável. 2. Energia solar. 3. Energia eólica. 4. Energia elétrica. 5. Sistemas híbridos. I. Resende, Vitor Silvestre. II. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Elétrica. Curso de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD - 621.47

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Regina Márcia Cuba - CRB 8ª/7416



Universidade de Taubaté
Autarquia Municipal de Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78.924/76
Recredenciada Reconhecida pelo CEE/SP
CNPJ 45.176.153/0001-22

Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Daniel Danelli s/nº Jardim Morumbi
Taubaté-Sp 12060-440
Tel.: (12) 3625-4190
e-mail: eno.eletrica@unitau.br

ENERGIAS RENOVÁVEIS: SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA SOLAR E ENERGIA EÓLICA

DOUGLAS SILVESTRE REZENDE

VITOR SILVESTRE RESENDE

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “**GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**”

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Esp. RUBENS CASTILHO JUNIOR
Orientador/UNITAU-DEE

Prof. Me. SEIDE DA CUNHA FILHO
UNITAU-DEE

Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES
UNITAU-DEE

Dezembro de 2020

A toda a nossa família, por todo apoio e incentivo, por acreditar na capacidade de conquista, por acreditar no nosso caminho do conhecimento para melhoria da vida.

AGRADEDIMENTOS

Ao Professor Rubens Castilho Junior, pela orientação do trabalho e atenção dedicada.

A todos os professores que fizeram parte do nosso crescimento educacional e profissional desde o princípio.

Aos professores que formam o corpo docente da Universidade de Taubaté.

A toda a nossa família, alicerce de estrutura e formação.

Aos amigos de faculdade pelos momentos vividos juntos, com experiências que jamais serão esquecidas.

A Deus por ter proporcionado essa oportunidade, por ter nos fortificado nos momentos mais difíceis.

RESUMO

Um sistema híbrido é formado por duas ou mais fontes de energia renováveis com capacidade de autonomia para ofertar vantagens de redução do consumo do abastecimento de energia elétrica realizado pelas distribuidoras autorizadas minimizando o impacto ao meio ambiente passíveis de eficiência decorrente de lugares com frequência de raios solares e vento muito maior. O trabalho realizado aborda a pesquisa de um sistema híbrido composto por energia solar e eólica com inclusão de módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas pequenas, armazenamento em baterias para os períodos de baixa geração de energia para fins de uso posterior e, controles elétricos como tecnologia, com montagem a partir de painéis solares e geradores de vento entrando em uma nova fase do campo gerador da energia elétrica. Busca se por meio da combinação de duas energias renováveis alavancar a utilização da energia elétrica com maior garantia de um fornecimento com mais estabilidade e eficiência com melhoria na competitividade e contribuição na proteção do ambiente. Portanto, a delimitação deste tema envolve a abordagem com exclusividade do sistema híbrido solar e eólico e suas definições. Como objetivo principal este trabalho buscou identificar, por meio da literatura, a importância que possui a utilização de um sistema híbrido eólico solar para a garantia do fornecimento de energia elétrica e, como objetivos específicos apontar as definições de energias renováveis, entender os sistemas híbridos eólico solar e, indicar os benefícios de utilizar um sistema híbrido eólico solar. Os sistemas híbridos passam a prover, desta forma, soluções práticas, inovadoras e necessárias, reduzindo a dependência, minimizando os problemas de faltas e falhas no consumo, não sendo uma solução definitiva, porém, impactando direta e positivamente na maior parte dos problemas existentes em relação a demanda e consumo de energia elétrica. As soluções híbridas combinam o armazenamento e o enorme potencial de alavancar os abundantes recursos de energia renovável em busca da garantia de um sistema de fornecimento da eletricidade com muito mais consistência e confiabilidade, fornecendo as respostas necessárias as necessidades de consumo, demanda e fornecimento das empresas e usuários. Conclui se que a busca por um sistema que utilize energia renovável, com eficiência e baixo custo e segura, porém, não possui tanta facilidade de desenvolvimento, mas, decorre que as inovações e evoluções são constantes, o que faz com que surjam sempre novas alternativas e condições de adaptações.

Palavras-Chave: Energia Renovável; Energia Solar; Energia Eólica; Sistemas híbridos; Energia Fotovoltaica e; Energia Elétrica.

ABSTRACT

A hybrid system is formed by two or more renewable energy sources with autonomy to offer advantages in reducing the consumption of electricity supplied by authorized distributors, minimizing the impact on the environment that can be effected due to places with frequent sunlight, and much higher wind. The work carried out addresses the research of a hybrid system composed of solar and wind energy with the inclusion of photovoltaic modules, small wind turbines, storage in batteries for periods of low power generation for the purpose of later use and, electrical controls as technology, with assembly from solar panels and wind generators entering a new phase of the electric energy generating field. It seeks to, by combining two renewable energies, leverage the use of electric energy with greater guarantee of a supply with more stability and efficiency with improved competitiveness and contribution to environmental protection. Therefore, the delimitation of this theme involves the exclusive approach of the solar and wind hybrid system and its definitions. The main objective of this work was to identify, through the literature, the importance of using a hybrid solar wind system to guarantee the supply of electric energy and, as specific objectives to point out the definitions of renewable energy, understand the hybrid wind systems and indicate the benefits of using a hybrid solar wind system. Hybrid systems thus provide practical, innovative and necessary solutions, reducing dependence, minimizing problems of shortages and failures in consumption, not being a definitive solution, however, directly and positively impacting most of the existing problems in demand and consumption of electricity. Hybrid solutions combine storage and the enormous potential to leverage abundant renewable energy resources in order to guarantee an electricity supply system with much more consistency and reliability, providing the necessary answers to companies' consumption, demand and supply needs and users. It is concluded that the search for a system that uses renewable energy, with efficiency, low cost and safety, however, is not so easy to develop, but it follows that innovations and evolutions are constant, which always means that new alternatives emerge and conditions for adaptations.

Key words: Renewable Energy; Solar energy; Wind Energy; Hybrid systems; Photovoltaic Energy and; Electricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no país	13
Figura 2 – Composição de estrutura básica de um aerogerador	17
Figura 3 – Sistema de energia solar Isolado da rede ou Off-Grid (autônomo)	22
Figura 4 – Funcionamento de um Gerador de Energia Solar isolado da rede (Off-Grid) ..	23

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo dos tipos de sistemas de energia solar	24
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	American Association of State Highway and Transportation Officials
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
EGP	Enel Green Power
MME	Ministério de Minas e Energia
USAID	Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional
MERRA	Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2. ENERGIAS RENOVÁVEIS: SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA SOLAR E ENERGIA EÓLICA	10
2.1 ENERGIA RENOVÁVEL.....	10
2.1.1 BREVE HISTÓRICO.....	15
2.2 ENERGIA EÓLICA.....	16
2.3 ENERGIA SOLAR.....	20
2.3.1 Sistemas de bateria solar Off-Grid	21
2.3.2 Sistemas de bateria solar On-Grid.....	23
2.4 SISTEMA HÍBRIDO.....	26
2.4.1 Tipos de sistemas híbridos	27
2.4.1.1 Microssistemas híbridos.....	27
2.4.1.2 Sistemas híbridos de pequeno porte	27
2.4.1.3 Sistemas híbridos de médio porte	28
2.4.1.4 Sistemas híbridos de grande porte	28
3. METODOLOGIA	29
4. RESULTADOS	30
6. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	34

1 INTRODUÇÃO

Diante o cenário brasileiro de expansão industrial, escassez de recursos naturais, falhas constantes no abastecimento de energia elétrica por parte das distribuidoras e acréscimo constante nos valores pagos por sua utilização, os usuários buscam opções de inovações tecnológicas que possam atender a demanda com menor custo, maior qualidade, menor risco de desabastecimento e menor agressividade ao meio ambiente como ocorre com a utilização dos sistemas híbridos.

Um sistema híbrido é formado por duas ou mais fontes de energia renováveis com capacidade de autonomia para ofertar vantagens de redução do consumo do abastecimento de energia elétrica realizado pelas distribuidoras autorizadas minimizando o impacto ao meio ambiente passíveis de eficiência decorrente de lugares com frequência de raios solares e vento muito maior.

O trabalho realizado aborda a pesquisa de um sistema híbrido composto por energia solar e eólica com inclusão de módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas pequenas, armazenamento em baterias para os períodos de baixa geração de energia para fins de uso posterior e, controles elétricos como tecnologia, com montagem a partir de painéis solares e geradores de vento entrando em uma nova fase do campo gerador da energia elétrica.

Busca se por meio da combinação de duas energias renováveis alavancar a utilização da energia elétrica com maior garantia de um fornecimento com mais estabilidade e eficiência com melhoria na competitividade e contribuição na proteção do ambiente. Portanto, a delimitação deste tema envolve a abordagem com exclusividade do sistema híbrido solar e eólico e suas definições.

Neste contexto, este trabalho apresenta como justificativa para o seu desenvolvimento melhor entendimento de um sistema híbrido eólico solar como alternativas para aumentar a competitividade e indicar a penetração de projetos para a sociedade conforme definições no tema Energia híbrida eólico solar, para fins de prover soluções econômicas, de garantia e confiabilidade, menores custos, escassez de recursos, indicando a sua importância e possibilidades.

Como problematização, este trabalho envolve identificar soluções para atendimento a demanda de energia, problemas de falhas, menores custos e escassez de recursos. Neste contexto, cabe questionar como soluções híbridas que combinam a energia eólica e energia solar possuem um enorme potencial para alavancar os abundantes recursos de energia renovável para a garantia de um fornecimento de eletricidade consistente e confiável?

O objetivo principal deste trabalho foi o de identificar, por meio da literatura, a importância que possui a utilização de um sistema híbrido eólico solar para a garantia do fornecimento de energia elétrica e, como objetivos específicos apontar as definições de energias renováveis, entender os sistemas híbridos eólico solar e, indicar os benefícios de utilizar um sistema híbrido eólico solar.

O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma Revisão de Literatura, por meio da pesquisa bibliográfica, no qual foi realizada uma consulta a livros, dissertações e por artigos científicos selecionados. A base de dados utilizadas foi em livros, sites de banco de dados, SCIELO, EPE e Energy Report e, em revisões bibliográficas extraídas de artigos científicos, livros e pesquisas da internet.

O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos dez anos com fundamentação realizada em alguns autores de base com pesquisas mais antigas para fundamentação teórica. As palavras-chaves utilizadas na busca foram Energia Renovável, Energia Solar, Energia Eólica, Sistemas híbridos, Energia Fotovoltaica e, Energia Elétrica.

Este trabalho está estruturado em 6 (seis) capítulos, para melhor entendimento lógico sequencial.

No Capítulo 1, apresenta-se uma introdução abordando questões como a contextualização do desenvolvimento e da importância do tema proposto, ainda trata dos objetivos, da importância do tema, da delimitação do local onde o estudo foi desenvolvido, do Método ou metodologia e de como está organizada a sua estrutura.

O Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica, necessária para a fundamentação teórica da pesquisa bibliográfica, com o desenvolvimento do tema central e subcapítulos, conceituando e indicando melhor entendimento sobre a energia renovável, energia eólica, energia solar e, sistema híbridos eólico solar.

O Capítulo 3 trata da Metodologia deste trabalho.

O Capítulo 4 trata dos resultados da pesquisa deste trabalho.

O Capítulo 5 trata da discussão deste trabalho.

O Capítulo 6 trata da conclusão final e sugestões para futuros estudos. Por fim as referências bibliográficas.

2. ENERGIAS RENOVÁVEIS: SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGIA SOLAR E ENERGIA EÓLICA

As fontes renováveis de energia são recursos que possibilitam suprir a demanda crescente de consumo de energia elétrica, substituindo os combustíveis fósseis, reduzindo os agentes que emitem e aumentam a emissão de gases de efeito estufa, suprimindo o declínio das reservas existentes (ANEEL, 2020).

Os sistemas híbridos surgem para a utilização da energia renovável e geração de eletricidade decorrente da utilização conjunta de dois ou mais tipos de energia seguindo parametrizações para que seja possível a compatibilidade das disponibilidades de uso de cada recurso (ABINEE, 2020).

Um dos principais objetivos de uma fonte de energia renovável está em suprir a demanda crescente de eletricidade, como opção para a substituição dos combustíveis fósseis, indicando viabilidade para o abastecimento elétrico e atender a demanda, além de gerar benefícios para o meio ambiente em comparação aos combustíveis fósseis, como fonte limpa de recursos (CANALBIOENERGIA, 2015).

Apesar de custos iniciais elevados, as opções por sistemas híbridos trazem um retorno gradativo e gratificante ao longo do tempo. Ainda, incentivados pelas penalidades existentes para a emissão de gases e poluentes, as organizações podem contar com programas de incentivos governamentais a utilização de energias renováveis inserindo possibilidades e cenário de competitividade que direcionam a gerar menores custos e maiores benefícios de implantação (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

2.1 ENERGIA RENOVÁVEL

A nível mundial as sociedades possuem seus esforços em direção a um processo que busca constantemente o desenvolvimento total e pleno com a menor dependência possível de recursos essenciais como a água, elemento principal para a geração de energia elétrica, ofertando novos meios para possibilitar a conversão de outras fontes naturais para gerar a eletricidade (ANICETO, CRUZ, 2012).

A eletricidade se tornou no mundo contemporâneo uma das principais fontes de força que torna permissível realizar a movimentação de motores, equipamentos, eletrônicos, entre outros elementos eletromecânicos, facilitando a realização de tarefas desde as mais complexas

as mais simples do cotidiano da humanidade (ANICETO, CRUZ, 2012).

A geração de eletricidade se tornou essencial para a humanidade quase como o ato de respirar, pois, com a evolução e o desenvolvimento de novas tecnologias substituiu a execução de trabalhos manuais que demandava muito tempo, esforço e habilidades, além de integrar as tecnologias de tudo o que precise de combustível para se movimentar e realizar as tarefas diárias (ANICETO, CRUZ, 2012).

Neste contexto, Barros (2017, p. 26) cita a importância do aprimoramento de fatores decorrentes de inovações tecnológicas para o desenvolvimento de uma nação, onde, pondera que:

Portanto, foi observada a importância da geração de energia elétrica no país, visto que, atualmente se tornou um item de extrema importância à sociedade em geral. Tratando de termos ambientais, o Brasil apresenta significativa parte de sua geração de energia elétrica provida de fonte limpa, isto é, primeiramente a fonte hídrica e em segundo plano a biomassa e eólica.

A geração de energia elétrica apesar de denotar a importância de sua existência, cabe ressaltar que compõe um cenário muito complexo, com requisitos de segurança, sustentabilidade, preservação ambiental, atendimento a demanda, eficácia e qualidade de abastecimento, além de monitoramento de escassez de recursos e custos, preocupações que direcionam a busca de soluções para o processo (BARROS, 2017).

Neste contexto, envolve processos que devem ser aprimorados constantemente, além de possuir particularidades e condições específicas, envolvendo a existência de riscos graves no processo, sendo este tanto para os profissionais que a executam, como para os usuários finais e, ainda, para a sociedade em sua totalidade (GUIRELLI, MATILE, 2014).

Sob a compreensão de ser um processo muito complexo e simples ao mesmo tempo, a geração de energia passa por um momento que requer melhor entendimento e compreensão, tanto para o desenvolvimento de novas tecnologias, quanto para o aprimoramento de antigos processos que deixaram de se desenvolver por paradigmas da época, como ocorre com a utilização de outras fontes renováveis, como a eólica e a solar, entre outras (GUIRELLI, MATILE, 2014).

Em busca de alternativas para sanar os desafios e complexidade da geração de energia elétrica produzida pelas hidrelétricas, ocorre a busca por melhor acessibilidade as demais fontes de produção existentes, resgatando processos antigos muito utilizados pelos antepassados, mas, deixados de lado por uma diversidade de questões sociais e tecnológicas, objetivando aprimorar conceitos antigos (ANEEL, 2020).

Neste caso, a busca por melhor gestão de riscos, maior segurança e eficiência, promove a atenção e estudos voltados a sistemas complementares que possam atender a demanda, não somente para grandes empresas ou cidades, mas, visando projetos pontuais, principalmente onde a distribuição da energia elétrica produzida possui baixa acessibilidade ou a região é rica em fontes alternativas para ser independente do sistema (CANALBIOENERGIA, 2015).

Todos estes processos somente podem ser realizados por para profissionais habilitados e equipamentos específicos, pois, o processo de geração de energia elétrica compartilha o uso de gestão de um projeto elétrico, para a garantia de melhores fins e sucesso de desenvolvimento (LOPES, FERNANDES, CHRISTINA, 2015).

Segue, desta forma, com a definição de etapas que seguem posteriormente a transmissão, a movimentação ou transporte e, inclui a distribuição até o usuário final, em busca de atender a um conjunto de requisitos como os cuidados mínimos em relação aos riscos de choque e mortes que podem ser causados pelo mais simples dos fios (LOPES, FERNANDES, CHRISTINA, 2015).

O processo de geração de energia até a distribuição ao usuário final em si é simplificado, porém, passa a existir maior complexidade dados os equipamentos utilizados e existência de responsabilidade ao realizar o transporte de energia elétrica até os usuários finais, pois, sempre haverá a observação de buscar a forma mais adequada possível e, também, a menos onerosa (BARROS, 2012).

Em geral, todos os usuários são leigos e não possuem capacitação adequada para entender e manusear adequadamente e com segurança a energia gerada, nem suas fontes, se dispondo totalmente a mercê dos riscos existentes, o que faz com que todo o sistema de energia seja adequado para simplesmente ser utilizada diretamente pelo usuário, prevendo sua segurança (LOPES, FERNANDES, CHRISTINA, 2015).

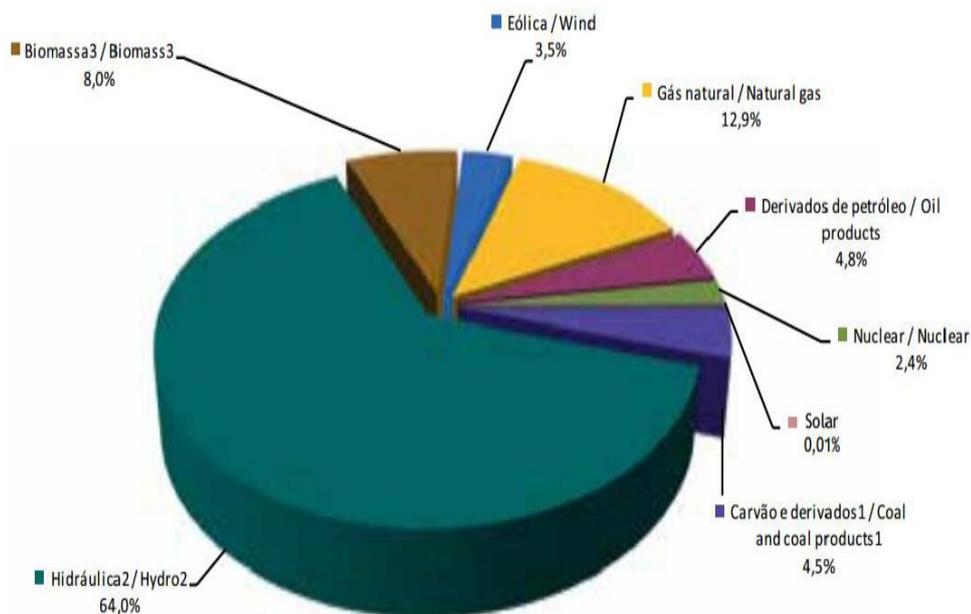
Não obstante, se faz de grande importância conhecer que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão brasileiro responsável pelo gerenciamento do processo de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica, fiscalizando o cumprimento das legislações brasileiras em relação a eletricidade e seus processos de conversão de fonte primária de energia em energia elétrica (ANICETO, CRUZ, 2012).

Cabe entender ainda o conceito de potencial elétrico, sendo este aquele que possui diferenças entre dois pontos, responsável em fundamentar a produção da energia elétrica determinando as possibilidades de estabelecimento de uma corrente elétrica entre estes dois pontos (BARROS, 2012).

Cabe, ainda, com grande importância, observar como ocorre no Brasil a oferta de energia elétrica as fontes de energia renováveis disponíveis, pois, diante a busca constante pelo investimento em alternativas de uso de fontes de energia mais limpas e eficientes, se faz necessário deter a maior quantidade de informações possível (LOPES, FERNANDES, CHRISTINA, 2015).

Assim, conforme a busca de investimentos em perspectivas futuras, modificando o processo de geração de energia elétrica proveniente de fontes de recursos esgotáveis, ou seja, finitas, para aprimorar e desenvolver a utilização de fontes de recursos de capacidade inesgotável de renovação, seguem as opções de geração como as hidráulicas, as solares, as eólicas, as biomassas, as geotérmicas e as maremotrizes, entre outras, conforme mostra a Figura 1 (GUIRELLI, MATILE, 2014).

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no país



Fonte: MME (2016)

A Figura 1 mostra uma representação gráfica da Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil, demonstrando segundo o MME (2016) que no Brasil as quantidades relativas da demanda interna de eletricidade por fonte no ano de 2015 foi bem diversificada, destacando maior uso da hidráulica com 64% e de gás com 12,9%, predominantes no mercado conforme investimento social e tecnológico.

Cabe, porém, destacar que possui oferta da fonte de Biomassa em 8%, derivados de

petróleo em 4,8%, carvão e derivados em 4,5%, eólica em 3,5%, Nuclear em 2,4% e Solar em apenas 0,01%, indicando o nicho de aproveitamento existente ao desenvolver o uso das energias eólica e solar, fontes limpas de energia (MME, 2016).

A energia renovável no Brasil possui grandes benefícios em relação a geração de energia elétrica estruturada por características essenciais decorrente de grandes blocos de geração de hidrelétricas, a grande dependência brasileira, passível de falhas de abastecimento devido ao crescimento médio estimado anual (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

O cenário de fornecimento de energia elétrica no Brasil retrata a necessidade de planos de expansão para suprir e assegurar o atendimento a demanda energética no país, evoluindo o crescimento da matriz energética, destacando em paralelo efetivamente, o crescimento de utilização das fontes de energia eólica e solar, requerendo melhor aproveitamento de seu potencial (CELPE, 2020).

As civilizações e a sociedade como um todo, desde os primórdios históricos buscam de alguma forma a provisão da geração, armazenamento, fornecimento e distribuição de energia, seja pela água, pelo vento, pelo sol, ou afins, com a mesma essencialidade pela qual detinha a necessidade de consumo de água e alimentos para a alimentação (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

A energia elétrica foi a revolução do desenvolvimento humano, gerando a necessidade de sua conversão e armazenamento, para que fosse possível seguir as demais etapas do processo e, assim, atender a demanda, por meio da inserção das tecnologias disponíveis, facilitando o manuseio e melhoria da performance dos processos, além da gestão ambiental que busca sustentabilidade e fontes de energia limpa (PINTO, 2014).

As fontes de energia renováveis possuem regeneração na natureza e, por isso, não ocorre a geração de problemas ambientais. Exatamente por não serem fontes de energia esgotáveis e, sim, renováveis, são indicadas como as fontes de energia mais aconselhadas, devido a não serem provenientes de geração de poluentes para o meio ambiente (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

O principal papel do processo de geração, conversão e armazenamento busca otimizar e melhorar o rendimento na utilização de fontes de energias renováveis, fontes sem disponibilidade integral a todo tempo, para fins de maior e melhor acessibilidade e eficiência na transformação da viabilidade de fontes em produtos de maior capacidade e melhor controle para a atendimento a demanda existente (PINTO, 2014).

2.1.1 BREVE HISTÓRICO

Os primeiros sistemas híbridos surgiram em meados da década de 1970, com instalações realizadas para atender as necessidades de alternativas energéticas quando houve a crise do petróleo em 1973, destacando a implantação de projetos de sistemas híbridos eólicodiesel, em 1977, como o projeto instalado em Clayton, Novo México, Estados Unidos da América e, em 1978, o projeto de sistema híbrido fotovoltaicodiesel, com instalação na reserva indígena Papago, Arizona, EUA (ABINEE, 2020).

A instalação do primeiro sistema híbrido no Brasil ocorreu em 1986, na ilha de Fernando de Noronha, no Estado de Pernambuco, por inserção de um sistema que utilizava as fontes eólicodiesel para funcionamento estruturado com uma potência eólica de 75 KW e dielelétrica de 50 KW (BLASQUES, 2005).

O projeto seguiu com a repotencialização do sistema para especificações de uma capacidade nominal de geração de 2,1 MW, onde, as especificações foram de 75 KW + 225 KW de eólica e 1,8 MW de diesel. Seu término ocorreu em 2009, quando um raio atingiu a pá do aerogerador e provocou um incêndio que gerou a destruição do equipamento. Com este acontecimento, as operações da ilha passaram a ser somente pelo sistema a diesel (ABINEE, 2020).

A empresa de fornecimento de energia elétrica Celpe, resolveu firmar uma parceria em 2014 com os governos norte americano e alemão, em um processo que gerou a inauguração da usina solar Noronha I com potência instalada de 400 KWp (*quillowatt-pico*). Esta parceria foi realizada por meio da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), da Agência de Cooperação Alemã (GIZ) e, do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

O governo de Pernambuco concebeu outra parceira com a Celpe, uma segunda usina solar, a Noronha II, estruturada com 1.836 módulos fotovoltaicos de silício policristalino e capacidade de instalação de 550 KWp. Esta parceria rendeu as duas usinas a responsabilidade pela capacidade de cerca de 10% da energia destinada ao consumo neste arquipélago, o que representa aproximadamente economia no consumo anual de 400 mil litros de diesel na termelétrica local.

Enel Green Power (EGP) foi a empresa responsável pela inauguração de uma usina híbrida eólicasolar, em 1914, com localização no Nordeste do Brasil, em Tacaratu,

Pernambuco. A composição do projeto se estruturou pelo parque eólico de 80 MW (Fonte dos Ventos), 34 aerogeradores Siemens (BLASQUES, 2005).

Inaugurou, ainda, no ano seguinte duas plantas fotovoltaicas, as Fontes Solar I e II, com estrutura capacitada pela instalação de 11MWp, originando a usina híbrida eólico solar, com capacidade operacional de produção de mais de 17 GWh anualmente, o que chega a ser aproximadamente equivalente ao consumo de 90 mil residências. Contribui, desta forma, para reduzir e evitar a emissão de mais de 5.000 toneladas de CO₂ na atmosfera anualmente (ABINEE, 2020).

A maior parceria da história em escala mundial de usinas híbridas eólico solar se refere a um projeto em concepção por meio da joint venture, o SPK, referente as empresas Samsung Renewable Energy, Korea Electric Power Corporation e Pattern Energy. O projeto recebeu a denominação de Grand Renewable Energy Park, com localização aproximada ao lago de Lake Erie, na região de Ontario, no Canadá.

A estrutura deste parque híbrido contempla 150 MW de parques eólicos e 100 MW solar fotovoltaica, um projeto híbrido na totalidade de 250 MW, com inclusão de layout com 67 aerogeradores, 425.000 módulos fotovoltaicos, uma subestação coletora de 34,5/230 kV e 20 km de linha de transmissão em 230 kV (BLASQUES, 2005).

2.2 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é uma fonte de energia renovável considerada como a melhor opção simultânea a utilização da energia solar, porém, cabe considerar a importância de suas características de energia totalmente limpa em relação as demais existentes, sobrepondo vantagens e desvantagens de sua utilização (PINTO, 2014).

Energia limpa é considerada toda energia que possibilita a redução da emissão de gases poluentes, os quais provocam o efeito estufa, ou mesmo aquela que não gera impacto, ou ainda a que consegue minimizar o impacto ambiental, contribuindo para a resolução de desafios e questões ambientais em discussão no século XXI (PIRES, 2010).

Esta energia é produzida por meio da utilização da força dos ventos para realizar a movimentação de enormes aerogeradores, um dos principais elementos que compõe a estrutura de componentes conectados a turbinas para a geração da energia elétrica, denotando o cumprimento da promessa de uma grande atração, tanto para o mercado como para o atendimento as necessidades dos usuários deste século XXI (THIELMANN; SILVA, 2013).

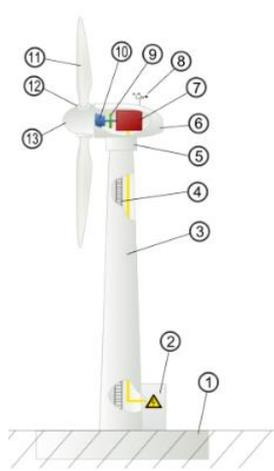
Para realizar a produção de energia eólica requer a instalação dos aerogeradores, posicionados em locais que sejam abundantes em ventos, tanto em volume como em regularidade, ou seja, não basta somente haver ventos fortes, requer essencialmente que os ventos possuam constância de velocidade com superioridade a 3,6 m/s, para que sejam suficientes (PINTO, 2014).

A produção de energia eólica possui grande potencial de desenvolvimento no Brasil, pois, o país possui regiões em que decorrem existência da presença dos ventos favoráveis a instalação de parques eólicos, determinando um cenário propício, com destaque as instalações dos parques eólicos, como na região nordeste que contém o Complexo eólico Alto Sertão I no estado da Bahia; o Parque eólico de Osório no Rio Grande do Sul e; a Usina de Energia Eólica de Praia Formosa no Ceará (CELPE, 2020).

A energia dos ventos é uma fonte de Energia Renovável, limpa, abundante e disponível em todos os lugares, porém, a geração de eletricidade em escala de energia comercial teve início no Brasil, somente pouco mais de trinta anos, sendo aprimorada por meio da intervenção da automação para inserção de novas tecnologias que possam gerar inovações neste segmento (EPE, 2020).

Existem os rotores tripás, mas, tradicionalmente, no Brasil, o aproveitamento dos recursos eólicos é realizado por meio do uso de cata-ventos multipás, responsáveis por realizar o bombeamento de água, porém, o fator de potencial catalizador ainda é possui muito pouca exploração identificada neste setor (EPE, 2020). Um sistema e estrutura de funcionamento básico de uma torre eólica pode ser simplificada, como mostra o aerogerador na Figura 2.

Figura 2 – Composição de estrutura básica de um aerogerador



Fonte: Silva (2015)

A utilização de energia eólica possui certa complexidade e alto investimento, porém, existem em andamento alguns estudos simplificados que aliados aos conceitos e dispositivos da automação buscam a transformação deste cenário em melhor absorção da capacidade potencializadora (EPE, 2020).

Estes sistemas simplificados prometem invenções catalizadoras que proporcionam o aproveitamento da energia eólica por meio do deslocamento de ar gerado em relação ao deslocamento de outros meios que possuam a capacidade de captar as velocidades de deslocamento de ar (ventos) e realizar a transformação em geração de energia elétrica, como ocorre com os trens em linhas férreas (FORSSEL et. al. 2011).

Um dos promovedores do bom funcionamento neste sistema de energia eólica é exatamente a regularidade dos ventos, promovendo uma garantia de que os rotores eólicos verticais ou horizontais, dispostos serão movimentados pelos deslocamentos de ar proporcionados pelo movimento dos elementos, e assim mover os geradores de energia elétrica sejam eles síncronos ou assíncronos (FORSSEL et. al. 2011).

A geração de energia limpa e renovável deve ser uma preocupação mundial, com a contribuição de governos, empresas, a comunidade científica e toda a sociedade, sempre objetivando o melhor aproveitamento de fontes de energia renováveis, por sinal muito mais baratas, facilitadoras em minimizar, ou de preferência absoluta, passíveis de não causar nenhum tipo de impacto negativo para o meio ambiente (CELPE, 2020).

Um dos grandes desafios e, também, um dos maiores problemas que requer solução mundial está bem exemplificada no setor de transportes, decorrente da busca por reduzir ou eliminar a responsabilidade de uma parcela significativa das emissões de poluentes globais, em virtude de suas emissões serem resultantes da forma de utilização da energia, transformando os sistemas (PIRES, 2010).

A Energia Eólica é uma das mais promissoras formas de Energia Limpa, a considerar que as tecnologias aplicadas na fabricação dos rotores eólicos e geradores de energia elétrica, seguem com a contribuição de composição que utilizam novos materiais, como ocorre com os compósitos, metais ou poliméricos (THIELMANN; SILVA, 2013).

As especificações seguem critérios de tensões, deformações e cálculo da força gerada pelo vento, conforme especificado na norma ABNT 6123, em busca de produção em estruturas mais leves e de novas concepções, sejam elas de eixo vertical ou horizontal (PINTO, 2014).

A geração de energia elétrica em projetos para ventos a partir de 2,5 m/s de velocidade, com faixa de velocidades do vento entre 2,5 e 25 m/s, já são possíveis, considerando esta mesma tecnologia, para a conversão de energia cinética eólica em energia elétrica (CELPE, 2020).

Para estas novas especificações, deve a proposta do sistema possuir estrutura básica de um rotor eólico que pode ser vertical, quando o seu eixo de rotação é ortogonal ao plano horizontal e, horizontal, quando o seu eixo de rotação é ortogonal ao plano vertical. Deve possuir, ainda, uma entrada de ar de alimentação do rotor, onde a velocidade do ar é v_1 , porém, tais considerações se devem somente a projetos de menor potência (FORSSEL et. al. 2011).

Geralmente a estrutura se compõe por um gerador de eletricidade, que pode ser síncrono ou assíncrono, um jusante ou saída do ar posicionado na saída do rotor, onde a velocidade do ar é v_3 , com um eixo de rotação e mancal do rotor e, um sistema de ampliação ou redução de velocidade, uma ou mais conforme a necessidade, posicionado junto ao rotor (FORSSEL et. al. 2011).

Neste contexto é possível observar que a energia eólica já conta com as inovações tecnológicas e pode ser adaptada a muitos projetos e em muitas configurações, sempre conforme as possibilidades técnicas de cada sistema disponível (FORSSEL et. al. 2011).

Neste contexto, a principal adoção remete ao uso de configurações que podem ser adaptadas ao sistema de geração elétrica por meio de rotores eólicos, diretamente nos equipamentos de geração de energia ou na superfície de contato, com uma ampla diversidade de possibilidades e de posicionamentos (PIRES, 2010).

Estas adaptações seguem objetivando realizar a admissão de ar do sistema de geração de energia elétrica por meio da geração de energia eólica e, também podem ser adotadas diversas formas de seção transversal de admissão de ar para os sistemas em projeto (FORSSEL et. al. 2011).

Muitos projetos compreendem características compostas de estrutura por um rotor eólico; uma entrada de ar de alimentação do rotor; um gerador de eletricidade; um jusante posicionado após o rotor; um eixo de rotação, um mancal do rotor e, um sistema de ampliação ou redução de velocidade posicionado junto ao rotor (FORSSEL et. al. 2011).

Desta forma, o sistema proporciona que a energia cinética eólica do deslocamento de ar gerado pelo deslocamento de objetos em movimento também seja aproveitada, sendo que suas velocidades de deslocamento de ar (ventos) sofrem transformação em geração de energia elétrica (FORSSEL et. al. 2011).

2.3 ENERGIA SOLAR

A energia solar em sua forma química pura, possibilita a transformação da luz do sol em energia elétrica ou energia fotovoltaica, ou, somente em calor, energia térmica. O princípio se deve a que a luz em sua forma química possibilita o armazenamento por longos períodos sem que ocorra a perda da energia, requerendo somente a utilização de um catalisador, pequenas mudanças de temperatura e, um flash para liberação da energia (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

A produção de energia solar infere na utilização de conceitos dos sistemas fotovoltaicos, para fins de obter mais eficiência, sob o entendimento de que em dias ensolarados estes sistemas geram melhor retorno, mas, durante os picos de demanda, como ocorre em picos de consumo no fim da tarde, à noite ou em dias nublados, a eficiência passa a ser comprometida, decorrente de maior consumo e geração nula, passível somente ao consumo e abastecimento da energia que foi gerada durante o dia (THIELMANN; SILVA, 2013).

A combinação de sistemas fotovoltaicos com as baterias e os sistemas de armazenamento geram redução de custos para o consumidor final, pois, impactam diretamente sobre os valores pagos pela energia injetada na rede, incentivando obter benefícios, mesmo que os projetos envolvam utilizar baterias para obter melhor eficiência dos sistemas de armazenamento (BBC, 2020).

Muitos fatores levam a busca por soluções como realizar o armazenamento da energia produzida fotovoltaica, pois, como a produção ocorre durante o dia, ao ser armazenada, possibilita consequente utilização em períodos em ocorram a baixa, ou mesmo, nenhuma captação solar (ASSIS, 2010).

Observa-se, pois, que em períodos de temperaturas elevadas, tempestades mais fortes, elevação dos níveis dos mares, ou seja, diante a condições drásticas de mudanças climáticas, se não houver adequado controle de armazenamento, outras opções devem ser adotadas para atender a demanda (ASSIS, 2010).

Historicamente as opções mais utilizadas eram a queima de combustíveis fósseis como petróleo, gás e carvão, principais responsáveis pelo fornecimento de energia até os tempos contemporâneos para a humanidade, porém, em termos de maior inovação tecnológica as propostas envolvem sistemas híbridos com outras combinações (THIELMANN; SILVA, 2013).

A sociedade vivencia constantemente desafios, abrangentes a constância de mudanças e transformações que requerem prover soluções alternativas. No século XXI, tais soluções

decorrem por meio da utilização das energias renováveis e suas combinações, como ocorrem com a energia solar e eólica (ASSIS, 2010).

Um dos principais desafios existentes nestas propostas de soluções alternativas envolve a definição mais adequada de combinação entre os sistemas, alternando a geração, armazenamento e o fornecimento destes tipos de energia, considerando que as fontes renováveis sofrem com algumas barreiras existentes e limitam haver melhor aproveitamento (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Não obstante, estes processos contam constantemente com intempéries como ocorre com a falta de vento para o aproveitamento da energia eólica e, quando ocorre a presença de sol mais fraco para os painéis solares, definindo grandes preocupações sobre como definir este processo, principalmente se a proposta envolver a geração em grande escala (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Existem muitos métodos para prover a geração de energia, assim, tais considerações deixam realmente de ser mais grave problema, porém, se faz necessário definir adequadamente os sistemas geração e armazenamento deste tipo de energia, bem como o fornecimento e distribuição (THIELMANN; SILVA, 2013).

Os sistemas fotovoltaicos surgem para inserir maior acessibilidade aos usuários em suas residências, de forma a atender projetos de ofertas residenciais, onde, se apresentam como a solução mais plausível em termos de alternativas de demanda e custos, com vantagens de desligamento da rede elétrica, garantia da estabilidade no fornecimento de energia e, ainda redução no consumo de energia, principalmente durante horários de alta demanda de consumo (CELPE, 2020).

2.3.1 Sistemas de bateria solar Off-Grid

Um Sistema de bateria solar isolado da rede (*OFF-GRID*) é recomendável para uso em locais que não possuem conexão à rede elétrica. Nestes sistemas, a geração de eletricidade ocorre 100% por meio de painéis solares, com armazenamento realizado em baterias solares para utilização específica no período noturno como mostra a Figura 3 (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Figura 3 – Sistema de energia solar Isolado da rede ou Off-Grid (autônomo)



Fonte: CanalBioenergia (2015)

Os sistemas de energia solar isolados possuem como principais vantagens determinações de propriedade que detém ilha própria com autossuficiência elétrica deixando de lado a utilização de medidor, portanto, sem a geração de contas de luz (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Como principais desvantagens apresenta configurações totalmente isolados da rede, sinônimos de altos custos. Uma exemplificação em relação as desvantagens demonstram que para este sistema, o investimento seria cerca de no mínimo R\$ 65.000,00 (CELPE, 2020).

Sob estas indicações, seria recomendável somente para usuários que precisam incondicionalmente optar por este tipo de sistema, como ocorre diante a necessidade de atendimento em áreas isoladas (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

O sistema fotovoltaico com geração de energia solar com bateria off-grid não requer o auxílio da rede de energia local. Realiza o consumo e armazenamento durante o dia para utilizar no período noturno ou em situações de insuficiência do sol (THIELMANN; SILVA, 2013).

Como principais características, possui maior simplicidade em relação a utilização de um gerador híbrido, porém, a quantidade de baterias para energia solar deve ser calculada com folga para evitar falta de energia como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Funcionamento de um Gerador de Energia Solar isolado da rede (Off-Grid)



Fonte: CanalBioenergia (2015)

- 1 – Painel Solar produz energia elétrica (CC);
- 2 – Inversor Solar converte a energia em Corrente Alternada;
- 3 – Energia produzida pelos painéis é armazenada na bateria solar;
- 4 – Quadro de Luz distribui energia para casa
- 5 – Consumo de Energia.

2.3.2 Sistemas de bateria solar On-Grid

Dentre grandes benefícios, estes sistemas se caracterizam essenciais, pois, diferentemente dos sistemas Off-Grid, apresentam custos muito mais baixos. Requerem uma quantidade menor de baterias para geração da energia solar e, ainda possibilitam realizar a programação de utilizar a energia armazenada somente em períodos de alta demanda na distribuidora, aumentando a autonomia em caso de falha no abastecimento pelas concessionárias distribuidoras de energia convencionais (THIELMANN; SILVA, 2013).

Apresenta como principal desvantagem não gerar autonomia suficiente para que a unidade geradora seja totalmente independente das concessionárias distribuidoras de energia convencionais (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

O funcionamento de um sistema fotovoltaico que gere energia solar com bateria híbrida possui alta simplicidade. Os princípios a serem seguidos seguem os mesmos de conexão de um

gerador solar na rede com um *back-up* de baterias, funcionando como se fosse um *nobreak* (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Assim, se faz recomendável observar as vantagens, objetivos e a economia gerada por cada um dos sistemas, bem como a utilização híbrida, para fins de identificar condições de escolha e aplicação, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Comparativo dos tipos de sistemas de energia solar

TIPO DE SISTEMA	OBJETIVO	ECONOMIA
On-Grid Solar (Sistema de Energia Solar sem Baterias)	Geração de energia elétrica própria com a luz do sol	Redução da conta de luz em até 95%
Off-Grid Solar	Geração de energia elétrica própria com a luz do sol; Maior independência e autonomia; Sem submissão as falhas de abastecimento de energia	Sem conta de luz a pagar
Híbrido Solar	Geração de energia elétrica própria com a luz do sol; Maior segurança por meio das baterias solares em caso de submissão de falhas da distribuição da rede concessionária	Redução da conta de luz em até 95%

Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Não existe alta complexidade na utilização dos sistemas de armazenamento de energia fotovoltaica e está, pode ainda, contar com diferentes formas de adaptações, diferenciadas pelos

tipos de sistemas e pelas formas de armazenamento, como ocorre em relação as baterias. As definições, adaptações e inovações dependem muito dos objetivos principais e condições para investimento (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Os trabalhos cíclicos representam uma das principais características dos sistemas fotovoltaicos, objetivando funcionamento constante durante período da geração da energia, em todo o processo, para fins de minimizar o período de não geração, momento em que a energia é entregue à instalação, proveniente da utilização das baterias (ASSIS, 2010).

Se tornou muito comum associar a instalação dos sistemas de armazenamento fotovoltaicos à altas temperaturas, sob as considerações de disposição de alta e baixa intensidade (THIELMANN; SILVA, 2013).

Em relação ao consumo adequado dos equipamentos, requer informações sobre a potência a ser consumida pelos equipamentos e sua adequação ao sistema de alimentação estabelecido, possibilitando o dimensionamento da potência do sistema consumidor. Em relação ao tempo para a manutenção desses equipamentos, deve ser estabelecido, prevendo a ligação determinada para o tempo de autonomia em pretensão (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Sobre os inversores, devem ser conhecidos os níveis de tensão de trabalho do inversor, sendo este um equipamento que realiza a transformação da corrente contínua das placas solares e das baterias em corrente alternada, necessárias para realizar a alimentação dos aparelhos consumidores (ASSIS, 2010).

A vida útil pretendida para o sistema deve ser estabelecida e conhecida, considerando o tempo de duração para programação de trocas, objetivando preservar a vida útil dos componentes do sistema, sendo está definida conforme a profundidade de descarga e sua respectiva imposição (THIELMANN; SILVA, 2013).

Portanto, sob as observações dos tipos de energia eólica e solar, se torna perceptível a recomendação da uso de sistemas híbridos para melhor aproveitamento do acumulo de energia por meio da combinação dos sistemas eólica e solar, provendo as soluções necessárias para melhor eficiência, atendimento a demanda e resolução de problemas da intermitência das fontes de energia renováveis (THIELMANN; SILVA, 2013).

2.4 SISTEMA HÍBRIDO

Os sistemas híbridos de energia elétrica se caracterizam sob as definições de utilização de uma ou mais fontes de geração de energia realizando a geração e distribuição de energia elétrica conforme a disponibilidade de recursos existentes, porém, com otimização e custos minimizados. Dispõem-se ao atendimento a uma determinada carga ou a uma rede elétrica, isolada ou conectada a outras redes (BLASQUES, 2005).

Os sistemas híbridos possuem aplicação típica para o atendimento as residências que estão afastadas ou em isolamento de locais com rede elétrica convencional disponível estabilizando a confiabilidade do fornecimento e a garantia de haver acesso ao recurso energético, principalmente porque diante as possibilidades de faltas temporárias de um tipo de fonte, o abastecimento de energia será realizado pela outra (EPE, 2020).

Um sistema híbrido eólico solar possui arranjos e configurações com base em realizar o aproveitamento dos recursos naturais de vento e sol, fontes renováveis limpas, que combinadas possibilitam melhor exploração de sua potencialidade, com satisfação de aproveitamento diante a complementação que ocorre entre ambas no tempo, suprimindo uma a outra (CANALBIOENERGIA, 2015).

Os sistemas de geração de eletricidade individuais que utilizam as fontes de energia solar e eólica, caracterizam como principal desvantagem a intermitência de utilização do recurso, que se torna parcial ou totalmente superada na utilização conjunta por meio de projetos de sistemas híbridos. As fontes se complementam garantindo maior confiabilidade ao sistema de fornecimento de energia (THIELMANN; SILVA, 2013).

A previsibilidade comportamental da radiação solar ao longo do dia segue um padrão razoável que se inicia pela manhã com valores discretos, atinge um ponto máximo próximo ao meio dia e, decresce até o pôr-do-sol (THIELMANN; SILVA, 2013).

A previsibilidade comportamental do recurso eólico, porém, possui menor previsibilidade, decorrente da variação natural da velocidade dos ventos. Sob observação complementar, o perfil típico possui velocidades mais elevadas justamente em períodos em que o nível de radiação solar se apresenta mais baixo, ou mesmo, inexistente, o que confere ao sistema maior continuidade na geração de energia elétrica (PINTO, 2016).

2.4.1 TIPOS DE SISTEMAS HÍBRIDOS

Os sistemas híbridos eólico solares possuem classificação diversificada e as mais usuais se referem as formas de interligação para com a rede elétrica e porte da usina que podem ser caracterizadas em sistemas isolados, definidos pelo atendimento a um conjunto de carga totalmente independente (EPE, 2020).

Estes sistemas se estruturam normalmente por meio de uma mini rede, isolada do sistema de interligação, ou ainda, por sistemas interligados aos quais a geração da energia elétrica escoar na rede convencional de uma distribuidora ou transmissora (CANALBIOENERGIA, 2015).

Possuem grupos de bateria que tornam permissíveis o fornecimento em período de indisponibilidade dos recursos renováveis, utilizando para a distribuição da energia elétrica gerada aos consumidores, mini redes. As estruturas das minis redes se compõem por postes, transformadores, cabos chaves e isoladores (BLASQUES, 2005).

A interligação dos sistemas possui como principal benefício o intercâmbio da energia elétrica diante a diversidade de pontos de geração e consumo, com funcionamento como blocos de geração complementar dentro da matriz energética e, conexão por meio dos sistemas elétricos interligados (THIELMANN; SILVA, 2013).

Os sistemas híbridos eólico solares podem ser classificados em relação ao porte e intervalos de capacidades nominais, como: (PINTO, 2016)

2.4.1.1 MICROSSISTEMAS HÍBRIDOS

A característica principal está em sua capacidade < 1 KW e utilização dessa faixa de potência para o atendimento de pequenas cargas individuais.

2.4.1.2 SISTEMAS HÍBRIDOS DE PEQUENO PORTE

A característica principal está em: $1 \text{ KW} \leq \text{Capacidade} < 100 \text{ KW}$, sendo que, esta faixa de potência é a mais encontrada nos sistemas utilizados em operação.

2.4.1.3 SISTEMAS HÍBRIDOS DE MÉDIO PORTE

A característica principal está em: $100 \text{ kW} \leq \text{Capacidade} < 1.000 \text{ KW}$, a considerar que nesta faixa de potência, a constituição típica é por grandes capacidades relativas ao subsistema de geração elétrica.

2.4.1.4 SISTEMAS HÍBRIDOS DE GRANDE PORTE

A característica principal está em: $\text{Capacidade} > 1.000 \text{ KW}$, sob considerações de que existem poucos sistemas híbridos no mundo que estejam dentro dessa faixa, compostos geralmente por blocos de geração complementares no sistema interligado.

3. METODOLOGIA

Este trabalho utiliza como metodologia a Revisão de Literatura, por meio da realização de pesquisa bibliográfica que busca segundo Marconi et. al. (2011) indicar em sequência lógica e sequencial a descrição literária sobre o tema em desenvolvimento, indicando seus principais conceitos, definições, procedimentos e benefícios.

O que possibilitou o alcance dos objetivos estabelecidos previamente foram os recursos metodológicos definidos para a pesquisa como qualitativa e descritiva, indicando os principais pontos literários apontados pelos principais autores do tema como um breve histórico, importância, utilização, entendimento isolado de uma energia renovável, seus tipos e, a combinação de duas ou mais formando os sistemas híbridos.

4. RESULTADOS

A união da eficiência energética e proteção ao impacto gerado no planeta, insere no mercado a automação com recursos renováveis, como a energia solar e, a energia eólica, com aplicações em ambientes industriais e residenciais.

Em observação a um caso prático realizado na usina híbrida eólica solar de Caetité, batizado de Caetité-Va buscou-se a geração de energia elétrica para comercialização em ambiente de contratação livre. A estrutura disponibilizada possuía 26,4 MW, dentre os quais 21,6 MW eram provenientes da fonte eólica e 4,8 MWp da fonte de energia solar fotovoltaica.

Caetité é um município situado no Estado da Bahia e não possuía nenhum projeto híbrido eólico solar até o Caetité-Va, empreendimento de energia de negociação no mercado livre de energia, com capacidade de geração de 12 MW médios, o que proporciona energia equivalente ao consumo de uma cidade com 130 mil pessoas.

A escolha por Caetité foi devido aos recursos de financiamento de apoio governamentais e a premissas de atratividade dos recursos eólicos pela velocidade do vento em m/s e, solar, pela radiação Wh/m²/dia, associados à média de temperatura anual da ordem de 22 °C, com localização em propriedade rural, de área total de aproximadamente nove hectares e, distância de 15 km da sede do município de Caetité (BA) e altitude média de 905 m.

A montagem das estruturas de suporte dos módulos para a energia fotovoltaica foi facilitada pelo relevo do terreno que inclui áreas planas e declives de até 3,8%. O aproveitamento da infraestrutura civil dos parques eólicos existentes na região facilitou dispensando a necessidade de construção dos novos acessos externos, com conexão, tanto para os parques eólicos, quanto para a usina fotovoltaica, na subestação coletora 12.1, de finalidade de escoamento de energia de outros parques eólicos da região.

Foi possível aproveitar ainda as linhas de transmissão e de subestação adicionais, minimizando custos do projeto. Ainda, a linha de transmissão de 500 kV, em fase de execução, permite a conexão da subestação coletora 12.1, com a rede básica por meio da ligação com a subestação Igaporã III de propriedade da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf).

Inicia se assim a verificação do estudo de complementariedade da dinâmica de longo prazo dos regimes eólico e solar na região da usina híbrida Caetité, fundamentado no banco de dados do MERRA (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications), que possibilitou a extração de informações de maior precisão, pois, possuem banco de dados com histórico desde o ano de 1970.

A energia solar possui como fonte o sol, gerador da energia eletromagnética, uma fonte de energia alternativa e limpa, diferindo pela ausência de gerar resíduos, o que faz com que, conseqüentemente, gere benefícios ambientais, como a redução de emissões de gases de efeito estufa e, a absorção de carbono do consumidor final, contribuindo com as Engenharias, a comunidade científica e, a Sociedade.

As análises climatológicas foram realizadas por meio da verificação da existência de periodicidades nas séries de radiação solar e velocidades de vento, observando a previsão das situações de variabilidade existentes ao longo do tempo, com indicação de períodos bons e ruins, utilizando à série de velocidades mensais de vento e radiação solar com transformação em Fourier, e energia/periodicidade interanuais contidas no sinal.

A avaliação do espectro desta série índia que a periodicidade pelo período de quarenta e seis anos com defasagem aproximada entre a eólica e solar pelo período aproximado de quinze anos em um processo de espelhamento, onde, a complementariedade entre as energias, ou seja, quando a radiação solar diminui a velocidade dos ventos aumenta e vice-versa.

O histórico de informações permitiu observar que para os próximos anos a tendência geral dos ventos seriam mais desfavoráveis passíveis de mudanças climáticas históricas nunca vivenciadas, portanto, sem a análise devida. No inverso da dinâmica eólica, a fonte de energia solar tendenciada a momentos de produção muito mais elevada, decorrentes dos parâmetros comportamentais esperados dentro do regime de flutuações de aproximadamente 15 anos.

Ocorre, desta forma, a complementação necessária, pois, onde ocorre a queda de produção de uma fonte se eleva o aumento de produção da outra fonte, gerando a complementariedade necessária entre as fontes, indicando evidências da importância de produtos híbridos de maior agregação de valor, com capacidade de garantia de maior estabilidade no produto gerado e, menor dependência das variações climáticas.

As operações em usinas híbridas possibilitam as análises dinâmicas anuais por meio da observação de dados brutos com mensuração realizada *in loco* evidenciando por meio do banco de dados do MERRA os benefícios, potencial e oportunidades juntamente ao Ministério de Minas e Energia e demais órgãos competentes, comprovando a eficácia e o aproveitamento das usinas híbridas eólica-solar em leilões de contratação de energia elétrica.

Verificou se, portanto, a existência de eficácia da complementariedade existente na região da usina Caetité-Va, pois, em períodos de aumento do recurso eólico, ocorre a redução da disponibilidade da irradiação solar, em um processo de compensação, valorizando a

utilização de um sistema composto com produtos híbridos, gerando maior capacidade de garantia de estabilidade dos produtos e menor vulnerabilidade climatológica.

O aproveitamento do sol e do vento por meio da utilização de fontes eólicas e solar tendência a práticas que minimizam a emissão de poluentes na atmosfera, pois, não geram a combustão para gerar a energia elétrica, sendo essenciais quanto possuem complementação mútua nas oscilações intermitentes, favorecendo a regularidade dos sistemas.

Diversificação da matriz energética, se torna sinônimo de utilização das fontes de energia renováveis com atuação positiva, favorecendo o desenvolvimento econômico local, por meio da transferência de tecnologia, desenvolvimento da cadeia produtiva e criação de mercados descentralizados.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho identificou a importância da utilização de um sistema híbrido eólico solar para a garantia do fornecimento de energia elétrica conforme as informações existentes na literatura sob a complementariedade diversificada pelas matrizes energéticas eólicasolar, indicando oportunidades de crescimento como alternativas de maior competitividade.

Os sistemas híbridos passam a prover, desta forma, soluções práticas, inovadoras e necessárias, reduzindo a dependência, minimizando os problemas de faltas e falhas no consumo, não sendo uma solução definitiva, porém, impactando direta e positivamente na maior parte dos problemas existentes em relação a demanda e consumo de energia elétrica.

As soluções híbridas combinam o armazenamento e o enorme potencial de alavancar os abundantes recursos de energia renovável em busca da garantia de um sistema de fornecimento da eletricidade com muito mais consistência e confiabilidade, fornecendo as respostas necessárias as necessidades de consumo, demanda e fornecimento das empresas e usuários.

Conclui se que a busca por um sistema que utilize energia renovável, com eficiência e baixo custo e segura, porém, não possui tanta facilidade de desenvolvimento, mas, decorre que as inovações e evoluções são constantes, o que faz com que surjam sempre novas alternativas e condições de adaptações.

Como a demanda de energia que existe é muito grande, optar por sistemas híbridos, combinando os benefícios e, utilizando as características de um para compensar ou complementar a desvantagem do outro, se tornou a melhor e mais sábia alternativa.

A utilização de fontes renováveis no suprimento de energia elétrica, independentemente de ser fotovoltaicas, eólicas, ou, a combinação entre elas, resultam em soluções alternativas e inovações que agregam valor aos processos de abastecimento de energia da sociedade, viabilizando a integração destas fontes aos sistemas de distribuição convencionais e, ainda, alternativas de abastecimento autônomo.

Surgem, portanto, com os sistemas híbridos, alternativas que proporcionam aos usuários maior segurança, garantia, economia, independência e autonomia, além de maior equilíbrio entre as ofertas e demandas existentes, reduzindo as variáveis decorrentes de funções oriundas das condições climáticas, entre outros fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfmf>. Acesso em nov. de 2020.

ANICETO, Larry Aparecido; CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Instalações elétricas: Fundamentos, prática e projetos em instalações residenciais e comerciais**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2012. 432 p.

ASSIS, Andre Koch Torres. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal, Quebec: Apeiron, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA -ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em nov. de 2020.

BARROS, Benjamin Ferreira de; SANTOS, Daniel Bastos dos. **Sistema Elétrico de Potência: Guia Prático. Conceitos, Análises e Aplicação da NR-10**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

BARROS, Murillo Vetroni. **Avaliação do ciclo de vida de geração de energia elétrica no Brasil: histórico e perspectivas futuras em termos de aquecimento global**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento De Engenharia De Produção, Engenharia De Produção. Trabalho de Conclusão de Curso, Ponta Grossa, 2017.

BBC - Guia de energia Global Brasil. **Energias elétricas e eólica. Imagens**. Brasil, 2020. Disponível em https://www.bbc.com/portuguese/especial/1931_energia/page4.shtml. Acesso em nov. de 2020.

BLASQUES, L. C. M. **Estudo da viabilidade técnico–econômica de sistemas híbridos para geração de eletricidade**. 2005. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

CANALBIOENERGIA. 2015. **Enel Green Power inicia construção de duas plantas fotovoltaicas no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/enel-green-power-inicia-construcao-de-duas-plantas-fotovoltaicas-no-brasil/Severino>>. Acesso em nov. de 2020.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE PERNAMBUCO - CELPE. Notícias&Impresa. Disponível em: < <http://www.celpe.com.br/Noticias/Pages/Governo-de-Pernambuco-e-Celpe-inauguram-Usina-Solar-Noronha-II-.aspx> >. Acesso em nov. de 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano Decenal de Energia**. PDE, 2024. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>>. Acesso em nov. de 2020.

FORSSSEL, Bruno Francisco Rodrigues; PAES, Cristiano Rocha. **Sistema de aproveitamento da energia eólica gerada nos túneis de linha férrea pelo deslocamento de trens subterrâneos e/ou de superfície para geração de energia elétrica**. Número da publicação: Requerimento WO2011060515 A1, 26 maio 2011.

GAZOLI, J. R; VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações – Sistemas Isolados e Conectados à rede**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2013.

GUIRELLI, Cleber Roberto; MATILE, Ivanilda. **Transmissão de energia elétrica: teoria e prática em linhas aéreas**. São Paulo: Mackenzie, 2014. 174 p. (Conexão inicial; 7). ISBN 9788582930298.

LOPES, Yona; FERNANDES, Natalia Castro; CHRISTINA, D. M. **Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação**. Em: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2015, pp. 2–55.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MME – MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. (Org.). **Balanço Energético Nacional (BEN)**. Brasil, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em nov. 2020.

PINTO, Leontina. **Estudo das Características Técnicas e Sinergias de Projeto Híbrido Solar e Eólica**. Engenho Pesquisa e Consultoria, 2016.

PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: Copyright, 2014.

PIRES, J. C. P. **Estudo de rotor para turbina eólica de eixo horizontal de pequeno porte com aplicação de modelagem e simulação virtual**. 2010. 102p. Dissertação de Mestrado em Design – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SAMSUNG. 2012. **GRAND RENEWABLE WIND AND SOLAR**. 2010. Disponível em: <http://www.samsungrenewableenergy.ca/haldimand>. Acesso em nov. de 2020.

SILVA, Renato Ferreira. **Emulação de uma Turbina Eólica e Controle vetorial do geração de indução do rotor gaiola de esquilo para um sistema eólico**. Monografia, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005198.pdf>. Acesso em nov. de 2020.

THIELMANN, Ricardo; SILVA, Monique Sampaio Corrêa da. **A Importância da Gestão de Projetos para Inovação em Empresas: o Caso do Setor de Energia**. Gestão e Tecnologia para a Competitividade. Outubro, 2013.