

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

FERNANDA STACHOWSKI DAGOSTIN

**ESTUDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO-FOTOVOLTAICO EM UM EDIFÍCIO MISTO NO MUNICÍPIO DE
TUBARÃO, SC**

CRICIÚMA

2016

FERNANDA STACHOWSKI DAGOSTIN

**ESTUDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO-FOTOVOLTAICO EM UM EDIFÍCIO MISTO NO MUNICÍPIO DE
TUBARÃO, SC**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof MSc Mario Ricardo Guadagnin

**CRICIÚMA
2016**

FERNANDA STACHOWSKI DAGOSTIN

**ESTUDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SISTEMA HÍBRIDO
EÓLICO-FOTOVOLTAICO EM UM EDIFÍCIO MISTO NO MUNICÍPIO DE
TUBARÃO, SC**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Criciúma, 01 de dezembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mario Ricardo Guadagnin - Mestre - (UNESC) - Orientador

Prof^a Gilca Benedet - Mestre - (UNESC)

Prof. Luiz César Castro - Mestre - (UNESC)

**Dedico aos meus pais pela educação
que me deram, permitindo trilhar
este caminho.**

AGRADECIMENTOS

Inicio os meus agradecimentos dedicando primeiramente a Deus por me permitir a vida. Agradeço também aos meus pais e irmãs por todo o auxílio que me deram, isentando-me de algumas responsabilidades, para direcionar o foco nos estudos.

Ao meu namorado Charbel, pela parceria, paciência e confiança a mim depositada. Dentre tantas outras posturas e atitudes que foram extremamente necessárias para o meu desenvolvimento.

A Empresa Junior, ECO Jr., na qual tive a oportunidade de ter o primeiro contato com o mercado de trabalho, onde conheci pessoas incríveis e extremamente engajadas, me proporcionando um enorme desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos meus supervisores de estágio, Mainar Allgaier, Renata Porto Moraes e Nelson de Sousa que me propiciaram desenvolver habilidades para o exercício da profissão.

Agradeço também ao meu professor orientador Mario Ricardo Guadagnin por me instruir na elaboração do TCC além de me motivar constantemente. Dedico também a Marina Brino Rabello, que também auxiliou na orientação do trabalho.

Para finalizar, agradeço a todos os meus professores e colegas de faculdade, pois ao longo desses cinco anos de convivência, tivemos a oportunidade de aprender muito uns com os outros. Mas, principalmente a Luana Pasini Miguel e Bianca Mendes dos Santos, pela intensa convivência, logo, pela paciência dobrada, muito obrigada.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

Diante do cenário mundial que se apresenta a crise energética, as energias renováveis pouco a pouco estão tomando seu espaço e ganhando representatividade na matriz elétrica. Tecnologias são desenvolvidas para tornarem os aerogeradores e painéis fotovoltaicos cada vez mais eficientes. Para tanto, realizou-se um diagnóstico de viabilidade de implantação de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico, com o intuito de oferecer autonomia energética para o *Data Center* empresa. Adotou-se como objetivo geral estudar a viabilidade técnica, financeira e ambiental para implantação de um sistema de energia híbrido eólico-fotovoltaico em um edifício misto, localizado no município de Tubarão (SC). Para atingir o mesmo, atribuiu-se os seguintes objetivos específicos: a) identificar sistemas híbridos compatíveis com a edificação para geração de energia; b) efetuar estudos referentes à área diretamente afetada sobre incidência de radiação solar, velocidade, densidade e frequência dos ventos; c) verificar legislações vigentes acerca do uso de energias renováveis aplicáveis ao município de Tubarão (SC); d) propor um sistema de geração de energia híbrido conforme análise técnica, financeira, ambiental para edifício misto. Para isso, utilizou-se do banco de dados disponíveis pela NASA (2016) de irradiação global horizontal utilizando a série histórica de 22 anos e a velocidade média e direção dos ventos com dados de 10 anos para iniciar as análises. Adotou-se a configuração do sistema híbrido de 50% de geração de energia para cada fonte. O dimensionamento foi baseado no consumo pretendido e na capacidade de geração. Após, verificou-se o *payback* simples e estimou-se a redução de emissão de CO₂ durante o período de vida útil do sistema. Obteve-se como resultado a composição do sistema híbrido com um aerogerador de potência nominal de 2,4 kW e quatro painéis fotovoltaicos de potência nominal de 315 W. Constatou-se que o sistema teria um *payback* de 20 anos e 6 meses. Todavia, o custo do aerogerador representa 90% do investimento entre o aerogerador e o painel fotovoltaico. Enquanto que o primeiro apresenta somente 13% de eficiência de geração, se comparada com a sua potência nominal do e o segundo, atingiu 18% de eficiência. Ainda, com a utilização desse sistema, estimou-se a redução de aproximadamente duas toneladas de emissão de CO₂. Contudo, conclui-se que a análise técnica é muito importante para verificar o

potencial de geração de recursos renováveis e que por isso, o uso de *softwares* para otimização desses sistemas, auxiliará na configuração ótima, utilizando os recursos renováveis da melhor forma e obtendo o retorno do investimento em um período menor, a fim de tornar o projeto viável financeiramente.

Palavras-chave: Aerogerador. Energia renovável. Potência. Painel fotovoltaico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Componentes de um aerogerador | 18 |
| Figura 2 - Ilustração do rotor do aerogerador..... | 19 |
| Figura 3 - Composição de um módulo fotovoltaico | 24 |
| Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira – Ano base 2015 | 28 |
| Figura 5 – Caracterização da pesquisa..... | 32 |
| Figura 6 – Resumo da metodologia empregada | 39 |
| Figura 7 - Mapa de localização do futuro empreendimento | 40 |
| Figura 8 - Consumo mensal de energia elétrica do <i>Data Center</i> | 41 |
| Figura 9 - Velocidade média dos ventos a 40 m do solo | 42 |
| Figura 10 - Distribuição de Weibull e Rayleigh..... | 43 |
| Figura 11 – Direção dos ventos predominantes em Tubarão..... | 44 |
| Figura 12 - Irradiação Global Horizontal..... | 45 |
| Figura 13 – Classificação do local de estudo quanto ao zoneamento do Plano Diretor | 49 |
| Figura 14 - Comparativo entre disponibilidade eólica e solar | 51 |
| Figura 15 – Perfil diário de geração de energia..... | 53 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Tecnologias fotovoltaicas disponíveis no mercado mundial..... | 25 |
| Tabela 2 – Descrição dos principais equipamentos do <i>Data Center</i> | 41 |
| Tabela 3 - Descrição dos equipamentos selecionados para análise..... | 46 |
| Tabela 4 - Comparação entre a potência nominal e a potência de geração | 46 |
| Tabela 5 - Descrição dos painéis fotovoltaicos utilizados na análise | 47 |
| Tabela 6 - Relação entre a potência e o número de painéis | 48 |
| Tabela 7 – Especificações do aerogerador | 52 |
| Tabela 8 – Especificações do painel fotovoltaico | 52 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CONFAZ | Conselho Nacional de Política Fazendária |
| CRESESB | Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito |
| EMPP | Estação Meteorológica de Propriedade Particular |
| EVA | <i>Ethylene-vinyl acetate</i> |
| ICMS | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| NASA | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> |
| SWERA | <i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 ENERGIA EÓLICA..... | 15 |
| 2.1.1 Potencial eólico | 15 |
| 2.1.2 Tecnologias disponíveis e princípio de funcionamento | 17 |
| 2.1.3 Investimentos e <i>payback</i> | 20 |
| 2.1.4 Impactos ambientais | 21 |
| 2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA..... | 22 |
| 2.2.1 Potencial solar fotovoltaico..... | 22 |
| 2.2.2 Tecnologias disponíveis e princípio de funcionamento | 23 |
| 2.2.3 Investimento e <i>payback</i> | 25 |
| 2.2.4 Impactos ambientais | 26 |
| 2.3 SISTEMAS HÍBRIDOS | 26 |
| 2.3.1 Sistema <i>On-Grid</i> | 26 |
| 2.3.2 Sistema <i>Off-Grid</i> | 27 |
| 2.4 PANORAMA NACIONAL..... | 27 |
| 2.5 DISPOSIÇÕES LEGAIS A MICRO E MINIGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA | 29 |
| 3 METODOLOGIA | 31 |
| 3.1 DEFINIÇÃO DO PERFIL DE CONSUMO | 32 |
| 3.2 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA | 33 |
| 3.2.1 Potencial Eólico..... | 33 |
| 3.2.2 Potencial Solar Fotovoltaico | 35 |
| 3.3 PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO .. | 36 |
| 3.3.1 Dimensionamento da planta eólica..... | 36 |
| 3.3.2 Dimensionamento da planta fotovoltaica..... | 37 |
| 3.3.3 Aspectos legais sobre micro e minigeração..... | 38 |
| 3.4.4 Escolha do sistema..... | 38 |
| 3.5 ASPECTOS ECONÔMICOS | 38 |
| 3.6 ASPECTOS AMBIENTAIS | 39 |
| 4 ANÁLISE DOS DADOS | 40 |
| 4.1 DIAGNÓSTICO DA ÁREA E OBJETO DE ESTUDO | 40 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 4.1.1 | Caracterização da área de estudo | 40 |
| 4.1.2 | Caracterização do <i>Data Center</i> | 40 |
| 4.2 | ASPECTOS TÉCNICOS | 42 |
| 4.2.1 | Análise do potencial eólico | 42 |
| 4.2.2 | Análise do potencial solar fotovoltaico | 45 |
| 4.2.3 | Dimensionamento dos aerogeradores | 46 |
| 4.3.4 | Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos | 47 |
| 4.3.5 | Análise do entorno do empreendimento | 48 |
| 4.3.6 | Aspectos legais sobre a micro e minigeração | 50 |
| 4.3.7 | Determinação sistema híbrido eólico-fotovoltaico | 50 |
| 4.4 | ASPECTO ECONÔMICO | 53 |
| 4.5 | ASPECTO AMBIENTAL | 54 |
| 4.5.1 | Redução emissão CO₂ | 55 |
| 5 | CONCLUSÃO | 56 |
| | REFERÊNCIAS | 58 |

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a geração de energia elétrica por meio de combustíveis fósseis aumenta, por se tratarem de fontes finitas e também por serem oriundas de atividades extremamente impactantes ao meio ambiente. Dada a essas circunstâncias, a busca pelo estudo de viabilidade de fontes de energias renováveis tem aumentado em todo o mundo. O Brasil, por exemplo, atualmente possui 64% da matriz elétrica composta por fontes renováveis, e a micro e mini geração por fontes eólica e fotovoltaica tem sido incentivada em todo o País. A possibilidade de autonomia da concessionária e os menores impactos ambientais no momento da geração de energia são alguns dos atrativos. Ainda, tem-se buscado políticas públicas para aumentar e tornando-as mais acessíveis financeiramente à população.

Empresas e residências estão buscando novos recursos para fonte de geração de energia elétrica, mesmo possuindo na maioria das vezes, acesso a rede de distribuição de energia. Para as residências, observa-se um uso maior para os coletores solares os quais realizam o aquecimento da água.

A estrutura atual da empresa não realiza a geração de energia, todavia, há o interesse em atender a demanda energética do *Data Center* utilizando fontes eólica e fotovoltaica. Desta forma pretende-se fazer um estudo de viabilidade para estabelecer quais equipamentos precisam ser instalados, para atender mesmo que parcialmente, o consumo de energia elétrica deste setor da empresa. A principal demanda de eletricidade da empresa é do *Data Center* que opera ininterruptamente. Desta forma, com o uso de energia de fontes renováveis, poderão ser suprimidas eventuais falhas e interrupções quando ocorrerem problemas na rede de distribuição, além da redução de gastos mensais.

Neste contexto, o estudo da viabilidade técnica, financeira e ambiental para implantação de um sistema de energia híbrido eólico-fotovoltaico em um edifício misto, localizado no município de Tubarão (SC) justifica o objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

O perfil deste TCC está atrelado a linha de pesquisa Energia, Sociedade e Meio Ambiente, e para se atingir o objetivo norteador apresentam-se os objetivos específicos: a) identificar sistemas híbridos compatíveis com a edificação para geração de energia; b) efetuar estudos referentes à área diretamente afetada sobre

incidência de radiação solar, velocidade, densidade e frequência dos ventos; c) verificar legislação vigente acerca do uso de energias renováveis aplicáveis ao município de Tubarão (SC); d) propor um sistema de geração de energia híbrido conforme análise técnica, financeira, ambiental para edifício misto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A energia elétrica é algo imprescindível e atende grande demanda de atividades da vida humana. Desta forma, o advento de tecnologias viabilizou a geração de energia elétrica a partir de diversos recursos, de origem não renovável e/ou renovável. Para Goldemberg e Lucon (2007, p. 9) “[...] fontes renováveis de energia são repostas imediatamente pela natureza [...]”. A partir deste conceito, são classificadas como fontes de energias renováveis: hidráulica, eólica, biomassa, solar e oceânica (SOUZA, 2016).

2.1 ENERGIA EÓLICA

Os ventos originam-se principalmente por dois fatores: o aquecimento provocado pela radiação solar incidente e o movimento de rotação da Terra, sendo este último fator responsável pela movimentação das massas de ar (PINHO et al., 2008).

A utilização do vento para geração de energia surgiu da descoberta da conversão da energia nele contida através do uso de um instrumento transformador, como os moinhos de vento e até mesmo as velas de um barco, como exemplificado por Souza (2016). Assim, a energia eólica é aquela que é gerada a partir da captação da energia cinética dos ventos e transformada em energia elétrica, utilizando tecnologias para tal (COLOMBO et al., 2014).

2.1.1 Potencial eólico

A energia eólica para ser explorada, conta com estudos prévios a fim de diagnosticar a viabilidade de implantação de equipamentos e tecnologias para a geração. Para Pinho et al. (2008) são imprescindíveis o levantamento e a análise do potencial eólico, para assegurar a elaboração do projeto de sistemas eólicos, bem como, prever parcialmente os valores do investimento. Conforme Vanni (2008) o vento é um recurso que não está disponível de forma igualitária o ano todo, sofrendo variações anuais, sazonais, locais, horárias e até de curta duração.

Ao iniciar os estudos da área pretendida, é necessário utilizar desde dados secundários, como os mapas eólicos disponíveis no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE; ZACK; SÁ, 2001), topográficos, meteorológicos, observações visuais próximos à área de interesse até a realização do monitoramento *in loco* (PINHO et al., 2008). Os autores complementam que a velocidade dos ventos é imprescindível, pois é considerado o parâmetro mais importante para a análise de viabilidade.

Os instrumentos de medição denominados anemômetros precisam estar expostos a todas as direções do vento, onde os obstáculos devem estar localizados a no mínimo dez vezes a sua altura (SANTOS, 2010). Este equipamento adota várias formas e métodos de medição. Ainda, podem ser classificados como rotacionais e não-rotacionais. Os primeiros são os mais utilizados para medição de velocidade dos ventos, pois possuem boa faixa de exatidão e são mais viáveis financeiramente (PINHO et al., 2008).

Dos anemômetros rotacionais pode-se citar o de copos ou conchas e o de hélices. O primeiro mede a velocidade do vento a partir da velocidade de rotação do moinho, é constituído de três ou quatro copos hemisféricos cônicos dispostos nas extremidades de braços horizontais ligados a um eixo vertical (SOBRAL, 2009). Os anemômetros de copos são os mais utilizados pela indústria de energia eólica, dada a precisão, confiabilidade e por serem acessíveis financeiramente (PINHO et al., 2008). Ainda, os autores complementam que acoplado ao anemômetro estão anemoscópios (sensores de direção dos ventos) e após a coleta de dados realiza-se o armazenamento dos dados no *data-logger* (registrador eletrônico que dispensa uso de cabos).

Para o estudo do potencial eólico, além da medição da intensidade e direção dos ventos, outros fatores contribuem para o diagnóstico. Assim, temperatura, pressão e umidade são fatores a serem considerados nas análises e que influenciam na densidade do ar, sendo que esta última também é utilizada no estudo de viabilidade. (PINHO et al., 2008).

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro é uma base de dados que possibilita uma avaliação prévia para verificação do potencial eólico da região. Esse foi elaborado em um período de três anos utilizando *software* de modelagem numérica dos ventos de superfície. Assim, através de simulações computacionais, determinou-

se os regimes de ventos e fluxos de potência eólica a uma altura de 50 m. Amarante, Zack e Sá (2001) salientam que o perfil de circulação atmosférica do sul do país encontra variações significativas na mesoescala e microescala. O autor complementa que essas diferenças são em decorrência da propriedade da superfície.

Para elucidar, a mesoescala envolve fenômenos meteorológicos em até cem quilômetros. Os fenômenos menores são classificados pelos valores da microescala, enquanto que os de maior extensão estão inseridos na escala sinótica (INMET, 2016).

Todavia, a rugosidade do terreno é outro fator que interfere para o potencial eólico do local. Santos et al. (2006) afirma que regiões que possuem construções elevadas como edifícios, possuem velocidades de vento inferiores se comparadas na mesma altitude, mas em regiões de mar aberto. Para Pinho et al. (2008) há dois modelos que são comumente utilizados para expressar a variação da velocidade do vento em função da altura, são eles o perfil exponencial e logarítmico. Os autores salientam que estes modelos dependem do coeficiente de Hellmann (parâmetro dependente da rugosidade do terreno) e do comprimento da rugosidade.

2.1.2 Tecnologias disponíveis e princípio de funcionamento

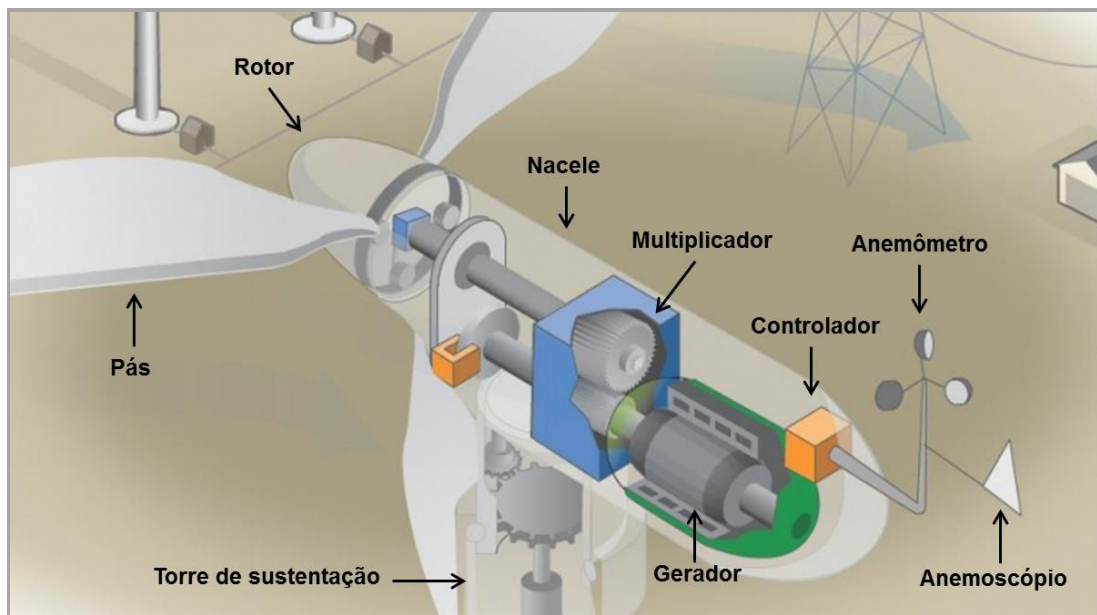
Os equipamentos utilizados para a geração de energia eólica são os aerogeradores. De acordo com CRESESB (2012), o princípio de funcionamento consiste no movimento de rotação das pás do aerogerador, provocada pela incidência do vento na mesma. Segundo a entidade, essa energia cinética dos ventos é convertida em potência mecânica rotacional no eixo do rotor, que é então conduzida para o gerador, que produz uma potência elétrica de saída através do processo de conversão eletromecânica.

Os aerogeradores podem ser classificados conforme sua potência nominal. Desta forma, os aerogeradores de pequeno porte correspondem a uma potência nominal inferior ou igual a 500 kW (utilizado para residências, fazendas e locais remotos); médio porte caracteriza-se pela potência de 500 kW a 1000 kW (aplica-se à utilização de pequenas comunidades, em sistemas híbridos e geração distribuída); já os equipamentos de grande porte, são assim chamados pois atuam

com uma potência nominal acima de 1 MW (emprega-se em parques eólicos e geração distribuída) (ANEEL, 2005).

De acordo com Pinho et al. (2008), os componentes imprescindíveis de um aerogerador são: o rotor (formado pelo cubo, cone e pás), o gerador, multiplicador, a torre e a nacele (Figura 1).

Figura 1 - Componentes de um aerogerador



Fonte: Adaptado de WIND ENERGY, 2016.

O rotor é o componente que realiza a transformação da energia cinética para a mecânica. As pás da turbina ficam ligadas a ele e todo o conjunto é conectado a um eixo que faz a transmissão da rotação para o gerador (CRESESB, 2012). O gerador tem a função de realizar a conversão da energia mecânica para elétrica (CE-EÓLICA, 2016).

A nacele é o local que fica em cima da torre e armazena o gerador, multiplicador de velocidade, sistema de controle de monitoramento do vento e motores de rotação do sistema (HORN, 2010). Este compartimento possui uma grua de manutenção, quando se trata de grande porte (PINHO et al., 2008).

Já as torres são a sustentação do equipamento. Na maioria das vezes possuem formato tubular e são fabricadas em aço ou concreto e possuem cor cinza claro e o acabamento é fosco, a fim de diminuir a luz refletida (EWEA, 2016).

potências maiores, de 2,5 kW a 5kW, recomenda que a altura de instalação seja superior a 12 metros.

2.1.3 Investimentos e *payback*

As empresas que fabricam e comercializam aerogeradores, possuem sucursais instaladas no Brasil: Enercon, Gamesa, Alstom, Impsa (CRESESB, 2012). Contudo, conforme Colombo et al. (2014), para aplicação em menor escala, residencial, a marca Air Breeze apresenta-se com maior representatividade no mercado nacional. Ainda, o País conta com distribuidoras que revendem os equipamentos dessas marcas e de outras importadas, a fim de disponibilizar máquinas para geração de energia em grande, média e pequena escala.

O uso de energia proveniente de fonte eólica requer investimentos. Todavia, é através do *payback* (tempo de retorno do investimento) sendo ele simples, descontado ou uma análise econômica completa para verificar se é viável financeiramente a concretização de um projeto (BISCHOFF, 2012).

Os custos da geração de energia a partir de fonte eólica levam em consideração vários fatores para determinação da viabilidade de implantação do sistema eólico. Para pequenas propriedades ou residenciais, a velocidade dos ventos, altura da torre, local de instalação e equipamentos necessários, são requisitos para verificação de instalação de um sistema eólico de pequeno porte (COLOMBO et al., 2014).

Para elucidar, a faixa de valores para aquisição dos aerogeradores oscila conforme o seu porte, era de até US\$ 3000/kW para equipamentos de pequeno porte e US\$ 800/kW para grande porte (PINHO et al., 2008). Os autores também comparam valores de torres treliçadas de ferro utilizadas na instalação de pequeno porte, onde os valores oscilavam entre R\$ 20.000,00 a R\$ 30.000,00, sendo que estas pesquisas foram realizadas no início de 2008. Contudo, Colombo et al. (2014), ressaltam que a instalação em sistemas isolados se comprovada a viabilidade técnica, é possível reduzir o período de retorno do investimento, tornando-o viável economicamente.

2.1.4 Impactos ambientais

Os impactos ambientais decorrentes da geração de energia por fonte eólica utilizando aerogerador de pequeno porte são baixos (CRESESB, 2016). Todavia, para parques eólicos, é possível detectar impacto visual, sonoros e desvios de rotas migratórias de aves e à morte de animais (PINHO et al., 2008). Vale salientar, que além destes impactos citados, há autores que abordam outros impactos oriundos da geração eólica em grande escala (parques eólicos). Desta maneira, pode-se acrescentar o uso do solo, erosão e drenagem, interferência eletromagnética e socioeconômica no período da operação (MMA, 2009)

Em relação ao impacto sobre a possibilidade de morte de aves, em estudos comparativos realizados, a cada 10000 mortes de aves, uma é em decorrência de um aerogerador. Comparando-se com outras estruturas que podem afetar a rota migratória de aves, os aerogeradores têm um impacto reduzido visto que, no mesmo trabalho relata que em construções/janelas ocorreram 5820 casos (GWEO, 2008).

Os ruídos emitidos por pequenas turbinas eólicas (considerou-se uma turbina de 10kW de potência nominal), é responsável por gerar ruídos entre 40 e 60 dB a uma distância de 30 metros, enquanto que uma residência emite ruídos a 50 dB (AWEA, 2003). Barbosa (2008) salientou que o ruído acima de 85 decibéis é considerado poluição sonora. A autora também alertou que uma pessoa exposta a ruídos acima deste índice e por mais de oito horas consecutivas, está sujeita a ter problemas auditivos, sendo este um empecilho para implantação em centros urbanos.

Porém, os aerogeradores destinados a auto geração (consumidores geradores de energia) reduzem os impactos ambientais e aumentam o aproveitamento da energia gerada, pois dispensam linha de transmissão, conseqüentemente, reduzem as perdas do processo (SILVEIRA, 2011).

E apesar da ocorrência desses impactos, esta atividade não emite CO₂ durante a geração de energia (RUIZ, 2016). Neste âmbito, a Abeeeólica (2016) verificou que do período de junho de 2015 a maio de 2016 poderia ser evitado no país a emissão correspondente a cerca de 8 milhões de automóveis.

2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar “[...] é a energia eletromagnética proveniente do sol, onde é produzida através de reações nucleares e, que, propagando-se através do espaço interplanetário, incide na superfície da Terra.” (CRESESB, 2016). Essa energia é contabilizada anualmente, tendo como resultado $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia fornecida do Sol para a Terra, que equivale a dez mil vezes o consumo mundial de energia neste mesmo intervalo de tempo (PINHO et al., 2008). A energia solar pode ser aproveitada utilizando coletores solares (aquecimento de água) e painéis fotovoltaicos (geração de energia elétrica) (RUIZ, 2016). Ainda há os concentradores solares, que geram eletricidade a partir do emprego de espelhos, direcionando a radiação solar para o fluido de transferência de calor, denominadas heliotérmicas (MIT, 2015).

2.2.1 Potencial solar fotovoltaico

Para geração de energia fotovoltaica, faz-se necessário a análise do potencial solar da área pretendida para que se possa verificar a viabilidade de implantação da tecnologia. Rüter (2004) exemplifica a importância do conhecimento dessas questões. O autor mostra que se a represa da usina hidrelétrica de Itaipu fosse coberta com módulos fotovoltaicos de filmes finos comercialmente disponíveis, seria possível gerar o dobro de energia gerada pela própria hidrelétrica. Logo, a área quanto maior a área de implantação com condições apropriadas, maior a geração de energia.

Neste sentido, o levantamento do potencial solar para constatação da radiação solar incidente no País, faz-se necessário instrumentos de medição, modelos e mapeamento via satélite (PINHO et al., 2008). Para Tiba et al. (2000, p. 23) “os instrumentos solarimétricos medem a potência incidente por unidade de superfície, integrada sobre os diversos comprimentos de onda”.

Os instrumentos de medição comumente utilizados são o piranômetro para medidas de irradiação global e o pireliômetro para medidas da irradiação indireta (PINHO; GALDINO, 2014).

Os dados de radiação solar são coletados a cada segundo, porém, são agrupados em grupos de dez minutos, uma hora ou até mesmo um dia (PINHO et al., 2008). Os autores reforçam que quanto menor o período de amostragem, melhor, pois reduz a perda de informação tornando os resultados cada vez mais precisos. Estas informações posteriormente são processadas e apresentadas em forma de gráficos e mapas.

Como resultado dessas medições, há a publicação do Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) e Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006). O primeiro contém a média anual do total diário da irradiação solar, além de mapas mensais, ilustrando como é a variação da radiação solar no plano horizontal no território brasileiro (RÜTHER, 2004). O segundo também apresenta essas informações, fazendo uso de uma série histórica mais atualizada, se comparada ao primeiro.

2.2.2 Tecnologias disponíveis e princípio de funcionamento

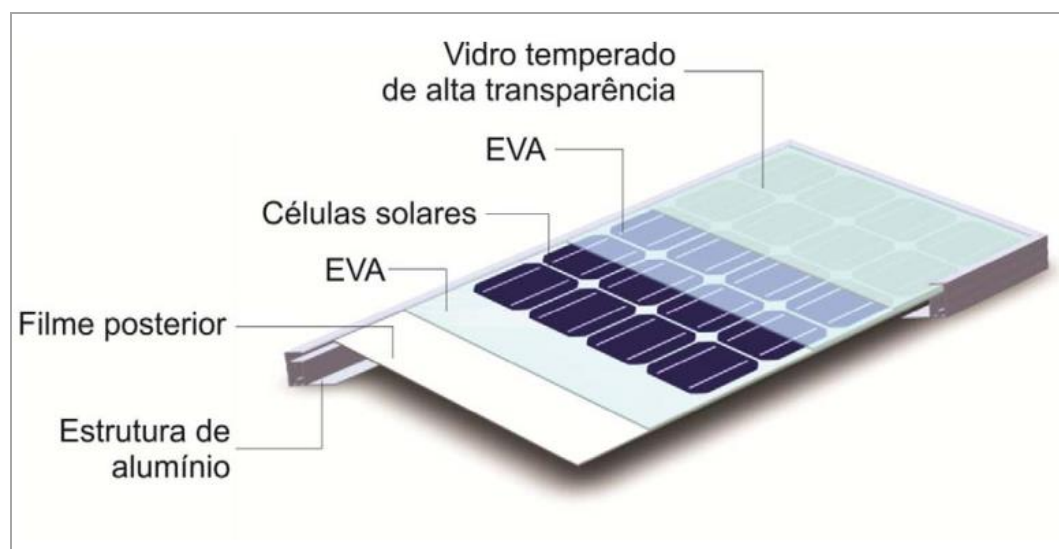
A energia solar fotovoltaica é viabilizada a partir de equipamentos que conseguem converter a luz em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico (KONZEN, 2016). Os painéis são constituídos pela união das células fotovoltaicas, compostas por um material semicondutor formando um campo elétrico com um lado positivo e outro negativo (RUIZ, 2016). No momento em que os fótons entram em contato com a célula solar, provoca o deslocamento dos elétrons no material semicondutor, gerando a eletricidade, complementa o autor.

Segundo Pinho et al. (2008), o material semicondutor mais empregado nas células fotovoltaicas é o silício, pois é o mais utilizado em escala comercial por ser atóxico, encontra-se em abundância e é uma tecnologia solidificada, já que é muito utilizado na microeletrônica.

Todavia, as células fotovoltaicas possuem diversas tecnologias para melhor absorção da irradiação solar, tais como: células laminadas ou *wafer based* (células utilizando silício como semicondutor, tanto como mono ou poli cristalino); filmes finos (o material semicondutor fica depositado em um substrato isolante e flexível); células de multijunção (onde ocorre a sobreposição de duas ou três células fotovoltaicas a fim de aumentar a eficiência) e concentração fotovoltaica (KONZEN, 2016).

Os painéis fotovoltaicos são formados basicamente por uma moldura de alumínio que é a parte estruturante do módulo. Na sequência há o vidro temperado que protege as células fotovoltaicas e os condutores e evita a reflexão da luz que atinge o vidro. O *Ethylene-vinyl acetate* (EVA) é um material encapsulante que protege as células da umidade e dos materiais externos. O filme posterior também atua como isolante e as células fotovoltaicas são os componentes responsáveis pela conversão direta da energia eletromagnética para a energia elétrica (TOLMASQUIM, 2016). Segue Figura 3 abaixo ilustrando a composição de um módulo fotovoltaico.

Figura 3 - Composição de um módulo fotovoltaico



Fonte: PINHO; GALDINO (Org.), 2014.

Desde janeiro de 1993 são realizados estudos internacionais para avaliar a eficiência, as melhorias e os avanços ocorridos na utilização de células de captação de energia fotovoltaica e publicadas listagens com dados mensais pela *Progress in Photovoltaics* (GREEN et al., 2013).

Na Tabela 1 são apresentadas as tecnologias de painéis fotovoltaicos e respectivamente o grau de eficiência de cada um deles:

Tabela 1- Tecnologias fotovoltaicas disponíveis no mercado mundial

| Tecnologia | | Eficiência (%) |
|--|---|----------------|
| Silício | Monocristalino | 25,0 ± 0,5 |
| | Policristalino | 20,4 ± 0,5 |
| | Filmes finos transferidos | 20,1 ± 0,4 |
| Compostos III A-VA (ou 13-15) | GaAs (filme fino) | 28,8 ± 0,9 |
| | GaAs (policristalino) | 18,4 ± 0,5 |
| | InP (policristalino) | 22,1 ± 0,7 |
| Calcogênios Compostos II B-VI A (ou 12-16) | CIGS (CuIn _x Ga _(x-1) Se ₂) (filme fino) | 19,6 ± 0,6 |
| | CdTe (filme fino) | 18,3 ± 0,5 |
| | Amorfo (a-Si)(filme fino) | 10,1 ± 0,3 |
| Silício amorfo / nanocristalino | Nanocristalino (nc-Si) | 10,1 ± 0,2 |
| Células sensibilizadas por corantes (DSSC) | | 11,9 ± 0,4 |
| Células orgânicas (filme fino) | | 10,7 ± 0,3 |
| Multijunção | InGaP/GaAs/InGaAs | 37,7 ± 1,2 |
| | a-Si/nc-Si/nc-Si(filme fino) | 13,4 ± 0,4 |

Fonte: (GREEN et al. (2013) *apud* PINHO; GALDINO (Orgs), 2014).

2.2.3 Investimento e *payback*

O investimento e o *payback* (tempo de retorno do investimento) da geração fotovoltaica variam em decorrência da finalidade e tecnologia envolvida. Neste sentido, Pinho et al. (2008), afirmam que para sistemas isolados (sistemas que não possuem conexão com a rede de distribuição) o *payback* pode variar entre 4 a 6 anos, sendo um dos motivos a perdas relacionadas ao condicionamento de potência. Todavia, um módulo fotovoltaico (mesmo que painel fotovoltaico) tem garantia de 20 anos e vida útil de 30 anos, com exceção das baterias que duram entre 4 e 5 anos (CRESESB, 2016).

Os investimentos podem variar em decorrência de uma série de fatores. Torres (2012) aborda esta questão apresentando três estudos de caso utilizando os municípios de Porto União (SC), São Carlos (SP) e Petrolina (PE). A autora utilizando um período de retorno simples (investimento inicial dividido pela economia anual) constatou que os investimentos oscilaram de 27 a 30 mil reais aproximadamente e que o *payback* variou de 18 a 14 anos. Sendo que a mesma adotou o período de vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos.

2.2.4 Impactos ambientais

Os impactos ambientais decorrentes da geração de energia fotovoltaica são considerados pequenos se comparados aos de fontes de energias não renováveis, como termoelétricas abastecidas com carvão, por exemplo. Pinho et al. (2008) afirmam que a tecnologia fotovoltaica não gera resíduos sólidos, líquidos e gasosos durante o processo de geração de energia. Os autores complementam que os impactos estão ligados a ocupação do solo e impacto visual. Vale ressaltar que não foram comparados os impactos para a fabricação dos equipamentos.

Todavia, para as heliotérmicas há o aumento da mortalidade de aves em decorrência das temperaturas elevadas e do choque com a estrutura instalada no local; aumenta ocupação do solo interferindo na fauna e flora local; aumenta a pressão sobre os recursos hídricos em decorrência do uso da água (KONZEN, 2016). Contudo, para aplicação em residências, edifícios, não se faz necessário ocupação do solo, reduzindo ainda mais os aspectos ambientais (RUIZ, 2016).

2.3 SISTEMAS HÍBRIDOS

Híbrido remete a mistura, a algo que não é puro. Desta forma, os sistemas híbridos são aqueles que geram eletricidade utilizando mais de uma fonte. Por isso, são mais comumente implantados em locais remotos, onde não é possível chegar à energia utilizando o sistema interligado. Estes sistemas aplicam-se principalmente para: sistemas de iluminação pública, iluminação de emergência, controle de tráfego e estações de telecomunicações (SANTOS, 2010). Todavia, estes podem ser utilizados para a autogeração de energia em residências, utilizando fontes solar, eólica, biomassa e diesel (PINHO et al., 2008).

2.3.1 Sistema *On-Grid*

Sistemas *On-Grid*, são aqueles que disponibilizam a energia gerada à rede (PINHO et al., 2008). Aplica-se tanto para a geração em grande escala, quanto para escalas menores, como residências que podem possuir um sistema superdimensionado a fim de injetar o excesso de energia para a rede.

Nestes casos, para realizar a interligação, é imprescindível o uso de equipamentos que garantam proteção, conversão (inversor de frequência) e sincronismo entre a tensão e a frequência das fontes geradoras. Desta forma, estará assegurada a qualidade da energia elétrica em operação normal ou de contingência (falta na rede, perda de geração) (BARBOSA, 2006).

2.3.2 Sistema *Off-Grid*

O sistema *Off-Grid*, trata-se de um sistema isolado de geração de energia elétrica, ou seja, não há o envio da energia para a rede. Neste caso, dá-se prioridade para calcular o consumo de energia elétrica para verificar se atende às necessidades do local pretendido (SANTOS, 2010).

O sistema *Off-Grid* é composto basicamente por: painel fotovoltaico (composto por um ou mais módulos fotovoltaicos), banco de baterias, controlador de carga e inversor de frequência (CARREIRAS, 2013).

Para Debastiani (2013) o sistema híbrido eólico-fotovoltaico não apresenta muito interesse em escala comercial, todavia, é uma boa alternativa para a aplicação em residências e até mesmo em comunidades isoladas. Entretanto, o autor reforça que se apresenta como desvantagem para locais isolados a implantação deste tipo de sistema híbrido, pois dependem única e exclusivamente dessas fontes para a geração de energia elétrica. Contudo, para àqueles que possuem acesso à energia fornecida pela rede, introduzir o sistema híbrido desde que viável tecnicamente é uma alternativa de geração de energia elétrica.

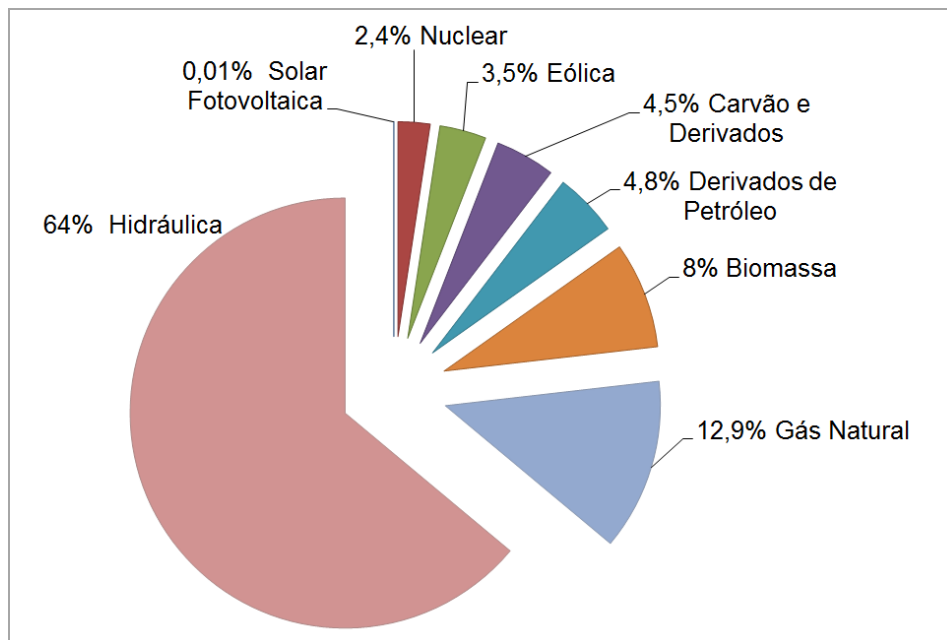
2.4 PANORAMA NACIONAL

Há preocupação, em nível mundial, para que cada país consiga suprir sua demanda de energia interna, a fim de prevenir a escassez da mesma em decorrência do possível fim dos combustíveis fósseis. Neste sentido, as fontes de energias renováveis são o alvo para que viabilize esta autossuficiência (PACHECO, 2006).

O Brasil, em suas dimensões continentais e sua localização no globo terrestre, possui características que viabilizam a geração de energia por fontes

renováveis. Pode-se afirmar que o Brasil possui sua matriz elétrica basicamente de fonte renovável, pois a maior parcela da geração (64%) de energia elétrica (Figura 4) é decorrente de fonte hidráulica (EPE, 2016).

Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira – Ano base 2015



Fonte: EPE, 2016.

O Brasil tem como a base da matriz elétrica a fonte hidráulica em decorrência do grande potencial hidroelétrico do país e que só foi e é possível devido aos numerosos rios e bacias com regimes hidrológicas complementares (GUERRA; YOUSSEF, 2011).

Todavia, estão despontando outros cenários, abrindo espaço para o uso de outras fontes de energia renováveis, possibilitando a redução dos impactos ambientais. Neste sentido, observa-se que o gráfico da matriz elétrica brasileira de 2015 (Figura 4), ilustra que a energia fotovoltaica representa apenas 0,01% e a eólica compreende 3,5%. São valores aparentemente pequenos percentualmente se comparados com a energia de fonte hidráulica, mas que, ainda podem ser muito explorados. O Brasil possui áreas extensas próximas ao litoral, viabilizando a geração de energia elétrica a partir de fonte eólica e o limite territorial nacional está inserido em sua maior parte entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, aumentando o potencial de exploração dessas fontes renováveis (GUERRA; YOUSSEF, 2011).

De acordo com o Portal Brasil (2016), a energia solar fotovoltaica vem ganhando cada vez mais espaço. Segundo a reportagem, o Brasil deve apontar no *ranking* dos vinte melhores produtores de energia fotovoltaica em 2018. Sendo que, a expansão do uso deste recurso no País, bem como a potência 2,6 GW já contratada, contribuirá nos indicadores para se atingir essa meta. Já a energia eólica também desponta rumo ao crescimento, visto que atualmente, há 400 usinas instaladas no País, com capacidade de geração de 10 GW, todavia, há a capacidade de 8,37 GW ainda em construção (ABEEEÓLICA, 2016).

As fontes de energias renováveis, fotovoltaica e eólica podem ser produzidas também em escalas menores, para abastecimento de uma residência e/ou de um edifício. Possuindo um sistema próprio, a fim de suprir de forma parcial ou integral as necessidades dos moradores do imóvel, contribuindo para a redução da não interrupção da energia elétrica, além de proporcionarem a redução dos custos da energia viabilizada pela concessionária (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006).

Como prova disso, a micro e mini geração até julho de 2016, continha 4517 unidades consumidoras no Brasil que já possuíam a geração distribuída. Sendo 98% desse total correspondente a geração fotovoltaica. Os outros 2% incluem a geração de energia pela biomassa, eólica, hidráulica e sistemas híbridos, com geração eólica-fotovoltaica. A projeção realizada é que em 2024, o Brasil atinja 1,2 milhão de consumidores geradores de energia (AGÊNCIA SENADO, 2016).

2.5 DISPOSIÇÕES LEGAIS A MICRO E MINIGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem por finalidade regulamentar e fiscalizar toda a produção até a comercialização da energia elétrica gerada.

A ANEEL por meio da Resolução Normativa 482/2012 dá diretrizes para o acesso à distribuição de energia elétrica a partir da micro e mini geração, geração, bem como o sistema de compensação. A Resolução 687/2015 tem por objetivo impulsionar a micro e mini geração de energia elétrica, visto que as distribuidoras de energia precisam se adequar para receber essa demanda. Ainda, esta iniciativa contribui para a introdução de energias renováveis à matriz elétrica brasileira.

A ANEEL diferenciou os consumidores geradores em dois grupos. O primeiro classifica-se como micro geração distribuída, para aquela que possui potência de geração instalada menor ou igual a 75 kW. Já para a geração acima de 76 kW até 3 MW utilizando fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, caracteriza-se como mini geração distribuída (ANEEL, 2015).

A unidade consumidora geradora que injeta o excedente de energia elétrica para a rede acumula um crédito de energia, e este deverá ser consumido num prazo de cinco anos. Após este período, o saldo de energia é expirado (ANEEL, 2015).

O Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), no Convênio ICMS 10 de 21 de março de 2014, altera e prorroga o Convênio ICMS 101/97. Essas alterações permitem que as unidades federativas vinculadas ao convênio, possam realizar a isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para operações com equipamentos e componentes para a geração de energia elétrica para pequeno porte. A medida prorroga a isenção do ICMS para 31 de dezembro de 2021, que através dessa ação, incentiva o uso das energias renováveis. Atualmente, dezenove estados mais o Distrito Federal fazem parte do convênio (CONFAZ, 2015).

Em Santa Catarina, o convênio ainda não é uma realidade, mas por meio do Decreto nº 233/15 permitiu a instituição do Programa Catarinense de Energias Limpas (Programa SC+ENERGIA). Este tem por objetivo unificar os órgãos públicos e privados que tem o propósito de diversificar a matriz energética do estado de Santa Catarina, utilizando fontes de energias renováveis. Ainda, o Estado conta com um Projeto de Lei nº 198/15 que estabelece condições gerais para isenção do ICMS, para mini e microgeração distribuídas.

3 METODOLOGIA

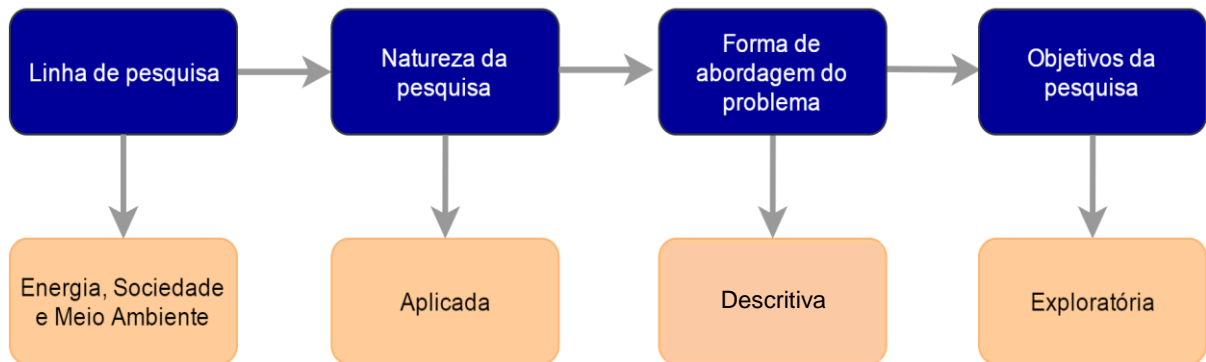
O trabalho desenvolvido dentro da linha de pesquisa de Energia, Sociedade e Meio Ambiente. É um estudo de caso, que para Gil (2002) é caracterizado como um estudo intenso podendo ter um ou até mais de um objeto, de tal forma que possibilite o conhecimento na íntegra deste. Desta forma, o trabalho consistiu na aplicação de técnicas de engenharia para avaliação da disponibilidade de geração de energia por fontes renováveis (eólica e fotovoltaica), bem como os custos e o período de retorno do investimento e os impactos ambientais oriundos dessa atividade.

As pesquisas são classificadas quanto à natureza, forma de abordagem do problema e objetivos. A natureza da pesquisa é considerada pura, todavia, é inadequado pensar que as duas formas de natureza da pesquisa, básica e aplicada, pois a ciência busca a visão sistêmica dessas duas formas (GIL, 2002). Neste trabalho, trata-se de uma pesquisa aplicada.

Ainda, a abordagem do problema referente ao estudo de viabilidade para instalação de equipamentos de captação e geração de energia eólica e fotovoltaica que atendam mesmo que parcialmente, o consumo de energia elétrica da empresa de automação, será realizado através de pesquisa aplicada, exploratória, qualitativa.

Sobre os objetivos da pesquisa, estes podem ser classificados como: exploratórias, descritivas e explicativas, o presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória. Tal diagnóstico pode ser comprovado pelo fato da pesquisa exploratória ser assim chamada, pois “[...] têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses” (GIL, 2002, p. 41).

Figura 5 – Caracterização da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

3.1 DEFINIÇÃO DO PERFIL DE CONSUMO

Para definição do perfil de consumo fez-se a caracterização do local, apresentando as coordenadas de localização do futuro empreendimento. O edifício terá um uso misto, sendo para fins comercial e residencial. Todavia, o objeto de estudo trata-se de um *Data Center* que fica ligado de forma ininterrupta, fazendo necessário o uso de energia elétrica constantemente. Diante deste cenário, avaliou-se os recursos eólico e solar para o local e verificou-se a potência de geração necessária para atender a 100% da demanda energética do *Data Center*.

Para propor o sistema híbrido eólico-fotovoltaico, fez-se necessário delinear o perfil de consumo do local de estudo. Por isso, realizou-se primeiramente, o levantamento de dados do consumo energético do *Data Center* nas dependências da empresa, onde opera atualmente. Procedeu-se desta forma porque, segundo a empresa os mesmos equipamentos serão alocados na nova sede. Para isso, fez-se um inventário de todos os equipamentos com sua potência de pico, verificando-se quantas horas do dia e quantos dias no mês os equipamentos estão ligados. Todavia, como a potência pico é a potência máxima que um equipamento pode suportar em momentos de pico, realizou-se também a estimativa diária e mensal com dados de consumo nominal/real.

Utilizando de um medidor de consumo de energia, mediu-se a demanda de energia do período de 22 de setembro de 2016 a 22 de outubro de 2016. A partir desta medição, gerou-se um fator de proporcionalidade entre o consumo total de energia elétrica do mês pela empresa e pelo *Data Center*. Com este fator,

extrapolou-se para os demais meses do ano, definindo um perfil de consumo de energia mensal para o período de dezembro de 2015 a novembro de 2016.

3.2 DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Para realizar o diagnóstico do potencial do recurso eólico e solar da área de estudo pretendida, buscou-se referências, adotando-se como norteadoras na metodologia, Ruiz (2016) (eólico e solar), Chiuso e Silva (2004) (eólico) e Pinho e Galdino (2014) (fotovoltaico), bem como, alguns dos autores referenciados por estes.

3.2.1 Potencial Eólico

A fim de verificar o potencial de geração de energia elétrica por fonte eólica, coletaram-se informações dos bancos de dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), fomentado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), *Surface meteorology and Solar Energy*, mantido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e uma Estação meteorológica de propriedade particular (EMPP).

A série histórica dos dados da NASA (2016) é de um período de 10 anos e a da EMPP de 05 anos. A última localiza-se a aproximadamente 1,5 km do futuro empreendimento. Como sugerem Pinho et al. (2008), realizou-se médias mensais e anuais para constatação do consumo anual, desta forma, será possível diagnosticar os meses que possuem um consumo mais elevado de energia elétrica.

Todavia, os dados coletados são correspondentes a alturas de 50 m e 10 m. Por isso, realizou-se a interpolação para corrigir a altura do edifício. Assim, utilizou-se a equação para corrigir a altura desejada.

$$v(z) = v_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

Sendo, $v(z)$ a velocidade do vento a altura desejada; v_0 é a velocidade do vento na altura de referência; z é a altura pretendida; z_0 é a altura de referência e α é o coeficiente de rugosidade. Desta forma, 0,143 é o fator utilizado para áreas de

baixa rugosidade e 0,23 para áreas urbanas densas (M. HUSSAIN, 2002; G. L. JOHNSON, 1985; E. J. PLATE, 1999 apud LU; SUN, 2013).

Após a correção da velocidade do vento em função da altura, realizou-se a distribuição de Weibull e Rayleigh, pois são distribuições que representam a frequência do vento à determinada velocidade. Sendo que, a função densidade de probabilidade de Rayleigh caracteriza bem o perfil de vento com velocidades moderadas, porém como depende apenas da velocidade média, causa implicações quando se trata de simulações com velocidades altas. Enquanto que, a distribuição de Weibull é biparamétrica, utilizando o fator de forma e escala além da velocidade média. (SILVA; GUEDES; ARAÚJO, 1999).

Segue abaixo a função densidade de probabilidade de Weibull:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Sendo que k é o fator de escala; c é o fator de forma e V é a velocidade do vento, como explica Silva, Guedes e Araújo (1999). Utilizou-se velocidades de 1 a 15 m/s para verificar a frequência do vento. Os fatores de escala e o de forma foram disponibilizados pela CRESESB (2016) a uma altura de 50m. Assim, realizou-se cálculos para correção do fator k a altura pretendida, segue abaixo:

$$n = \frac{0,37 - 0,088 \ln(a_1)}{1 - 0,088 \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)} \quad (3)$$

$$a_2 = a_1 \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^n \quad (4)$$

$$k_2 = k_1 \frac{1 - 0,088 \ln\left(\frac{h_1}{10}\right)}{1 - 0,088 \ln\left(\frac{h_2}{10}\right)} \quad (5)$$

Onde, n é o expoente da Equação 4; a_1 é o fator de escala na altura h_2 ; h_1 é a altura de referencia; h_2 é a altura desejada para calcular os parâmetros de Weibull; k_1 é o fator de forma na altura h_1 e o k_2 é o fator de forma na altura h_2 (CUSTÓDIO, 2007 apud SILVEIRA, 2011).

Na sequência, realizou-se o cálculo da função densidade de probabilidade de Rayleigh. Segue abaixo:

$$f(V) = \frac{\pi V}{2 \bar{V}} \exp \left[-\frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Onde V é a velocidade do vento, sendo que, para esta função aplicou-se velocidades de 1 a 15 m/s e \bar{V} é a velocidade média do vento em m/s (RUIZ, 2016). Com estas informações estima-se a disponibilidade do recurso eólico para o local de estudo em Tubarão, SC.

3.2.2 Potencial Solar Fotovoltaico

Para o cálculo do potencial solar fotovoltaico do local desejado, utilizou-se a base de dados da *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) cujos os dados inseridos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a base de dados da NASA *Surface Meteorology and Solar Energy*. As informações do INPE contem uma série histórica de sete anos que abrange o período de 1995 a 2002. Enquanto que os dados da NASA são a compilação de 22 anos de monitoramento, de 1983 a 2005.

Com os dados de irradiação global horizontal, calcularam-se as horas de Sol pleno que são as horas de irradiação significativa para geração fotovoltaica. Ainda o período das 12h as 14h é o intervalo onde se obtêm a maior irradiação solar do dia, todavia, este horário pode variar de acordo com o local (RUIZ, 2016).

Para a realização do cálculo de horas de Sol pleno, segue abaixo a equação:

$$HSP = \frac{N^{\circ} \text{ horas irradiação}}{1000} \quad (7)$$

Conforme Pinho e Galdino (2014), HSP é dado em horas/dia; número de horas de irradiação em kWh/m²/dia e o número 1000 é a irradiação necessária para se ter um bom rendimento do painel fotovoltaico e sua unidade é W/m². Por meio dessas informações, viabilizou-se a realização do dimensionamento dos painéis.

3.3 PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO HÍBRIDO EÓLICO-FOTOVOLTAICO

Na realização do dimensionamento híbrido-eólico fotovoltaico, considerou-se a demanda total a ser atendida. Após, realizou-se os cálculos de potência, considerando que 50% do sistema teria contribuição eólica e os outros 50% contribuição solar fotovoltaica (RUIZ, 2016). Nos dimensionamentos desconsiderou os inversores de frequência, controladores de carga, os investimentos com bateria e suporte para os equipamentos dada a complexidade de avaliação, pois se faz necessário uma equipe multidisciplinar para obtenção um melhor aproveitamento.

3.3.1 Dimensionamento da planta eólica

Para a elaboração do dimensionamento dos aerogeradores, selecionou-se alguns equipamentos disponíveis no mercado nacional. Após, realizou-se o cálculo de potência máxima que estes poderiam gerar através da velocidade média dos ventos. Segue abaixo a equação utilizada:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_r \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad (8)$$

De acordo com Chiuso e Silva (2004), P é a potência gerada em W; ρ é a densidade do ar em kg/m³; A_r é a área transversal do rotor em m²; V é a velocidade média do vento em m/s; C_p é um coeficiente aerodinâmico de potência do rotor e η é a eficiência do conjunto gerador. Adotou-se para os cálculos, a densidade do ar como sendo 1,225 kg/m³ (SILVA; GUEDES; ARAÚJO, 1999); para o C_p e η adotou-se os valores 0,45 e 0,98 respectivamente, que tratam dos valores máximos para esses coeficientes (CHIUSO; SILVA, 2004).

Após, com as estimativas de potências que foram geradas, verificou-se com base na demanda de energia, a área varrida pelo aerogerador necessária para atender a demanda. Assim, efetuaram-se estes cálculos que permitiram verificar a quantidade de aerogeradores necessários. Conforme fórmula:

$$A_r = \frac{2 \cdot P}{\rho \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta} \quad (9)$$

Segundo Chiuso e Silva (2004), as variáveis da equação se mantêm as mesmas, a única que altera é P, pois agora P refere-se a potência demandada em W. Ainda, o cálculo para definição da quantidade de equipamentos é definido por:

$$N = \frac{A_{necessária}}{A_{fornecida}} \quad (10)$$

Onde, N é o número de aerogeradores necessários, $A_{necessária}$ é a área varrida do rotor necessária para atender a demanda e $A_{fornecida}$ é a área varrida do rotor do aerogerador (CHIUSO; SILVA, 2004).

3.3.2 Dimensionamento da planta fotovoltaica

Para determinação da potência de geração de energia fotovoltaica, Pinho e Galdino (2014) orientam que em face do banco de dados que tiver acesso, para cálculo de dimensionamento, deve-se utilizar as piores médias mensais de irradiação solar.

Seguindo a metodologia adotada por Bernal et al. (2014), quantificou-se o do *Data Center* no período de um ano (utilizando apenas 50%). Após, calculou-se a incidência solar anual. Realizou-se a relação entre as duas e obteve-se a potência necessária para implantação dos painéis fotovoltaicos. Outro método para o cálculo de potência considera a quantidade, eficiência e área, além da radiação solar (ROBERTS, 2012). Desta forma, segue abaixo a Equação 11:

$$P = \eta \cdot N \cdot A \cdot I_T \quad (11)$$

Onde η é a eficiência do painel fotovoltaico (%); N é o número de painéis fotovoltaicos; A é área do painel (m^2) e I_T é a radiação solar (W/m^2) (ROBERTS, 2012).

Com esses dados, realizou-se testes com modelos de painéis fotovoltaicos, variando tanto a marca, quanto potência, e verificou-se qual deles tem um aproveitamento melhor e atenderia a necessidade.

3.3.3 Aspectos legais sobre micro e minigeração

Verificou-se a legislação vigente relacionadas a micro e minigeração distribuída de energia elétrica, conforme explanadas no referencial teórico e analisou-se a aplicação delas ao estudo de caso.

3.4.4 Escolha do sistema

Como parte do estudo de caso identificaram-se normas legais referentes ao uso de energias renováveis. Efetuou-se a análise do Plano Diretor do município de Tubarão, a fim de verificar a altura máxima permitida para construção de edifícios próximos ao futuro local onde será instalado o sistema híbrido, uma vez que obstáculos podem dificultar a geração eólica e a sombra, a geração fotovoltaica.

Após analisou se havia a área mínima necessária para implantação dos equipamentos escolhidos, pois para a instalação de mais de um aerogerador, deve-se obedecer uma distância mínima, da mesma forma, os painéis fotovoltaicos necessitam de um direcionamento. Assim, utilizou-se o *software* PV*SOL Premium da Valentin Software para simular a incidência solar no prédio, a fim de verificar se havia área suficiente para implantar os painéis e se gerarão a potência calculada.

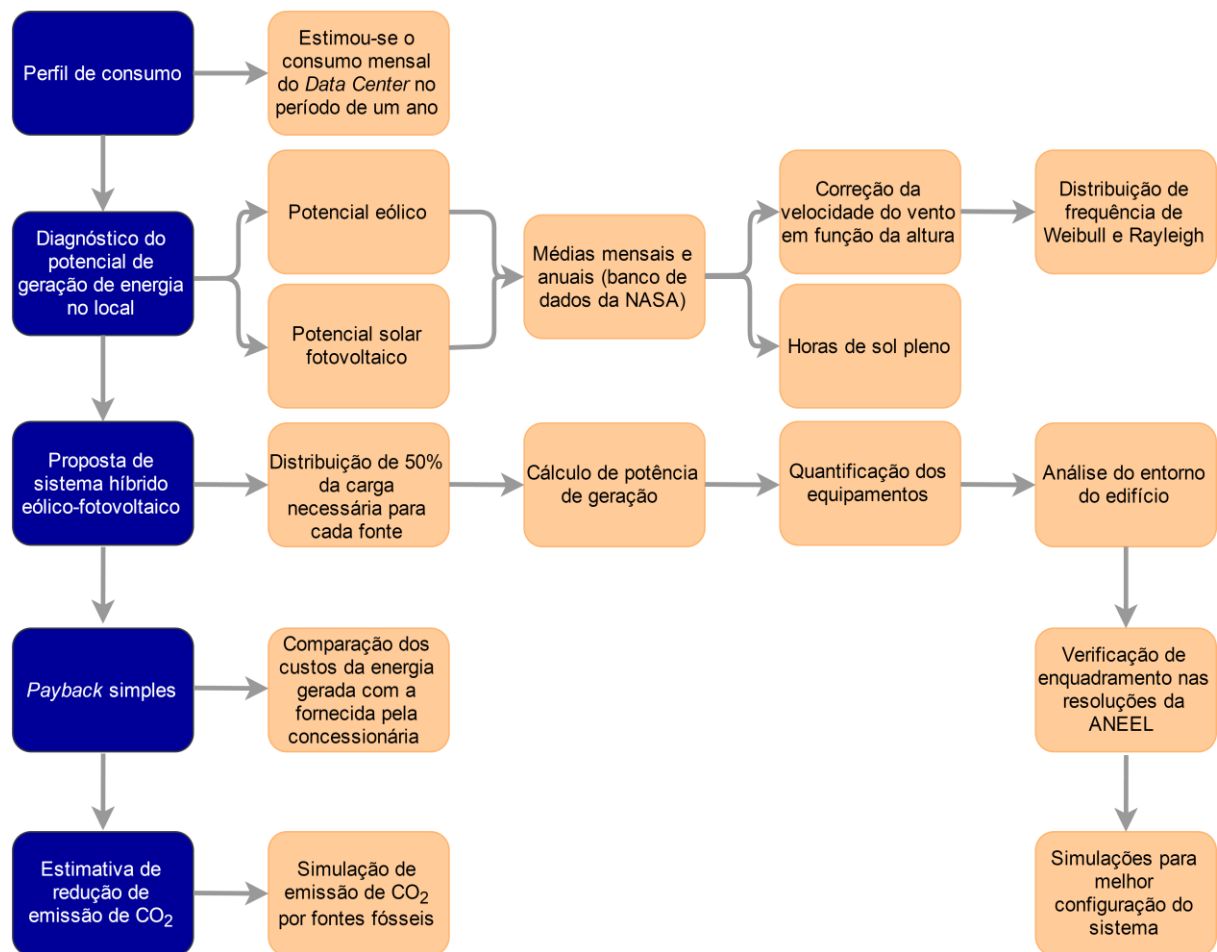
3.5 ASPECTOS ECONÔMICOS

Realizou-se na verificação do *payback* simples, pois conforme Bischoff (2013) *payback* trata-se do tempo necessário para que seja o investimento inicial no sistema seja recuperado. Assim, aplicou-se este método e verificou-se em o período de retorno do investimento com a escolha dos equipamentos que se apresenta na análise técnica.

3.6 ASPECTOS AMBIENTAIS

Abordou-se ainda o descarte correto dos equipamentos e também estimou-se a quantidade evitada de emissões de CO₂ emitida no período de vida útil do sistema. Vale ressaltar que essa não emissão é referente a uma comparação realizada em gerar energia por fonte renovável com uma termoelétrica movida a combustíveis fósseis. Pois apesar do país ter a hidroelétrica em maior parcela de geração, sendo que esta também apresenta emissões atmosféricas em decorrência do reservatório. Porém, adotou-se as termoelétricas, pois compõem a matriz elétrica nacional e geram muitos impactos ambientais.

Figura 6 – Resumo da metodologia empregada



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

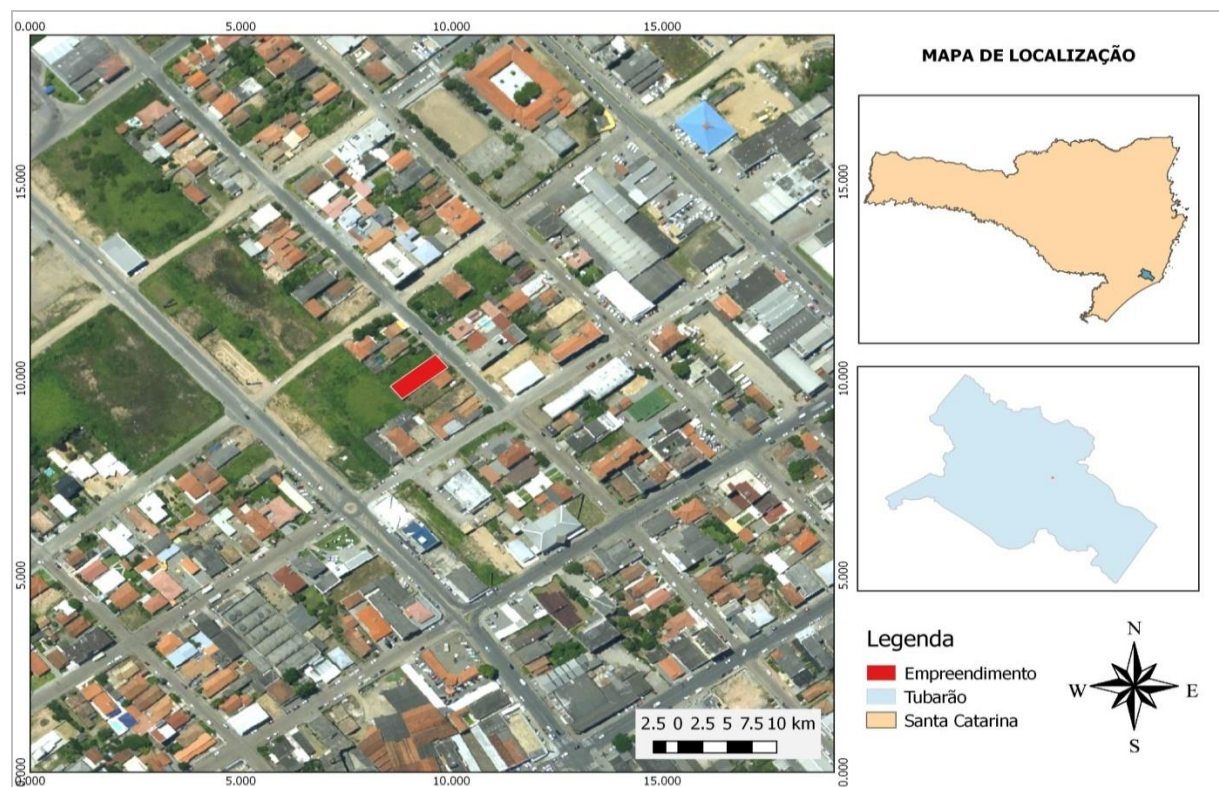
4 ANÁLISE DOS DADOS

4.1 DIAGNÓSTICO DA ÁREA E OBJETO DE ESTUDO

4.1.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo situada no sul de Santa Catarina, no município de Tubarão (SC), nas coordenadas: latitude $28^{\circ}28'37.59''\text{S}$ e longitude $49^{\circ}0'39.04''\text{O}$. Segundo informações fornecidas no mapeamento realizado pela Secretaria do Estado de Desenvolvimento Sustentável (SDS, 2016), o local de estudo localiza-se a uma altitude de 6,52m do nível do mar (Figura 7).

Figura 7 - Mapa de localização do futuro empreendimento



Fonte: Elaborado pela autora (2016) adaptado de Ortofoto SDS (2010) e vetores IBGE (2016).

4.1.2 Caracterização do *Data Center*

O *Data Center* é o ambiente onde são armazenados os servidores da empresa, por isso o mesmo precisa manter-se ligado de forma ininterrupta. Em

decorrência dessa situação, faz-se uso de climatização para conservação dos equipamentos.

Tabela 2 – Descrição dos principais equipamentos do *Data Center*

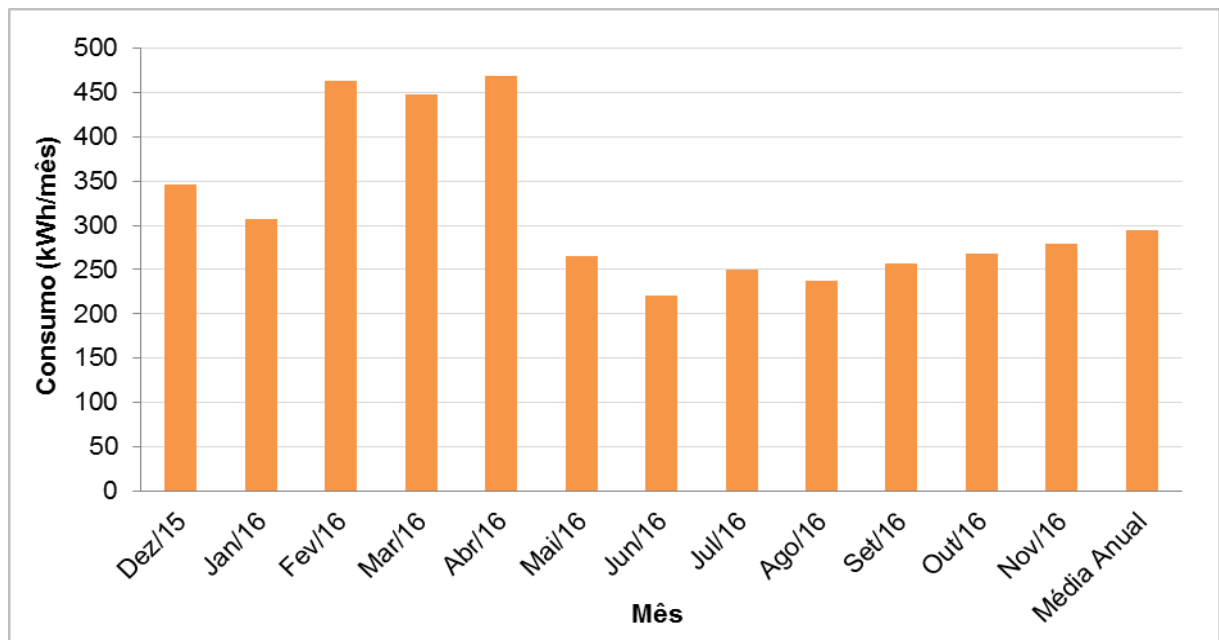
| Qtde (un) | Identificação |
|-----------|--------------------------|
| 1 | Ar condicionado 7500 BTU |
| 2 | Bateria 12V 40A |
| 4 | Computador Desktop |
| 4 | Modens ADSL |
| 1 | Monitor LCD 15" |
| 1 | Nobreak 2kVA |
| 1 | Notebook 15.4" |

Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Com a apresentação dos equipamentos na Tabela X, pode-se constatar um consumo máximo de 1925 kWh/mês e uma potência de pico de 2674W.

O consumo contabilizado no período monitorado foi de 267,6 kWh/mês, representando aproximadamente 40% do consumo total da empresa atualmente. Desta forma, segue abaixo o perfil de consumo estimado (Figura 8).

Figura 8 - Consumo mensal de energia elétrica do *Data Center*



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Pode-se observar que a média anual atinge o consumo de 294,1 kWh, correspondendo a uma média diária de aproximadamente 10 kWh e uma potência

média mensal anual de 408,5 W. Ainda, o mês de maior consumo foi em janeiro de 2016 (lido em fevereiro) com 463 kWh e o de menor consumo foi em maio de 2016 (lido em junho) com 221 kWh. Estes consumos são compatíveis com as estações do ano, visto que em janeiro, verão, as temperaturas são mais elevadas e por isso o aparelho de refrigeração permaneceu ligado por um período maior, sendo que o inverso ocorre em maio.

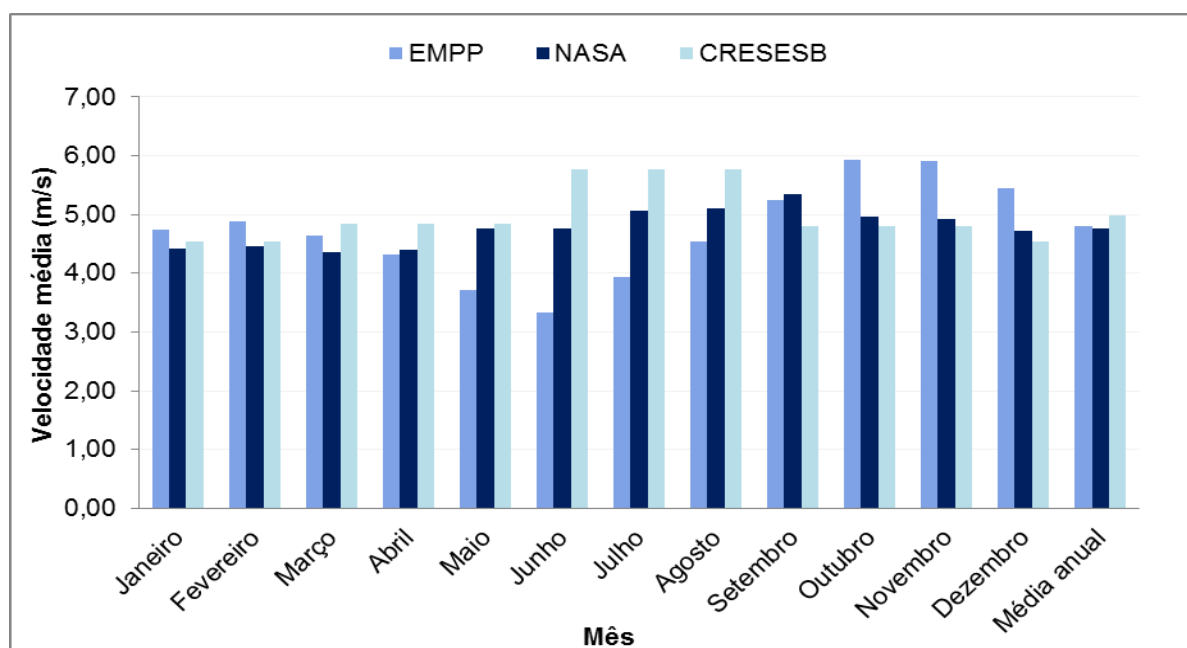
Para o dimensionamento do sistema adotou-se a média anual da potência nominal, visto que em nenhum momento no consumo real, dado ao período especificado anteriormente, foi atingido o valor de pico. Ainda, foi considerada a média mensal anual.

4.2 ASPECTOS TÉCNICOS

4.2.1 Análise do potencial eólico

Para determinação do recurso eólico da área de estudo, empregando a equação de correção de velocidade para 40m, que é a altura pretendida. Assim, segue abaixo o perfil dos bancos de dados da EMPP, NASA e CRESESB (Figura 9).

Figura 9 - Velocidade média dos ventos a 40 m do solo

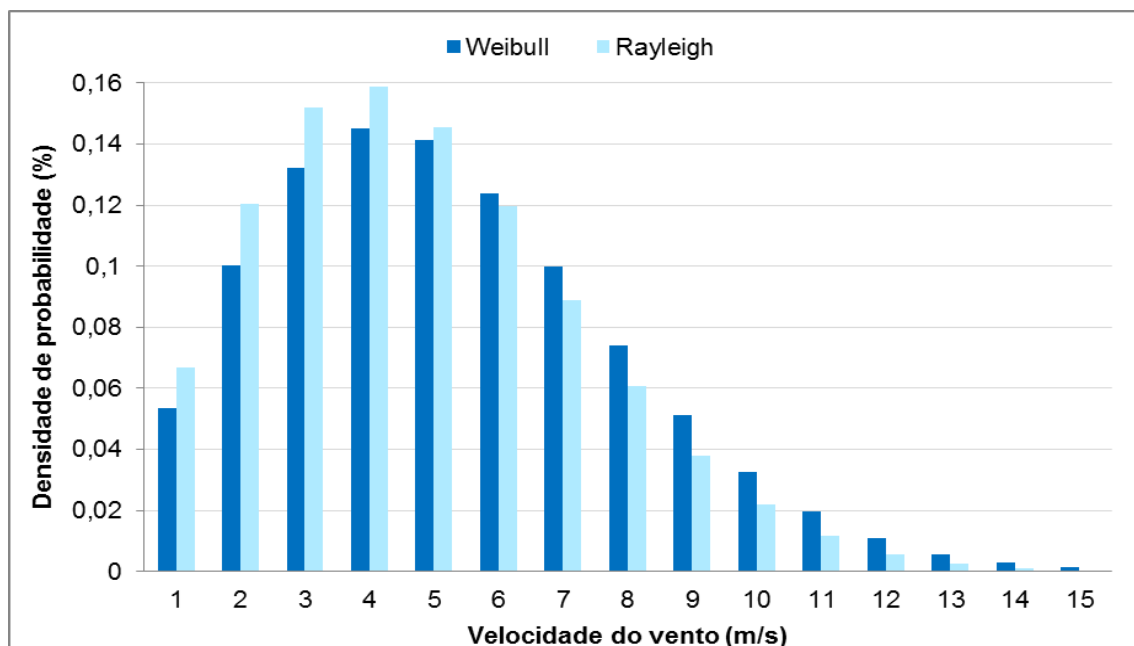


Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Comparando o banco de dados da EMPP, NASA e CRESESB, os dados da NASA foram os que apresentaram menores oscilações se comparadas a EMPP, apesar de a média anual da velocidade dos ventos apresentarem uma variação de 0,22 entre o banco de dados com a maior e menor média anual. Porém, optou-se por utilizar para análise de potência de geração os dados da NASA, já que possui a maior série histórica apresentada. Pois a EMPP possui a metade do tempo de monitoramento se comparado ao da NASA. Já a CRESESB, foi descartada por apresentar valores médios trimestrais, impossibilitando a verificação da geração de energia mensal de forma mais específica. De acordo com os dados da NASA, a mínima foi 4,36m/s no mês de março (verão), enquanto que a máxima ocorreu em setembro com 5,34m/s (primavera) e a média anual fechou em 4,77m/s.

Com a definição do perfil anual da velocidade média dos ventos, efetuou-se os cálculos para definir a frequência dos ventos, conforme a velocidade nominal e a velocidade de arranque. Assim, dos equipamentos pesquisados, localizou-se a menor velocidade de arranque de 2,5 m/s e a máxima da velocidade nominal encontrada foi de 15m/s. Segue abaixo o gráfico das funções densidade de probabilidade de Weibull e Rayleigh (Figura 10).

Figura 10 - Distribuição de Weibull e Rayleigh

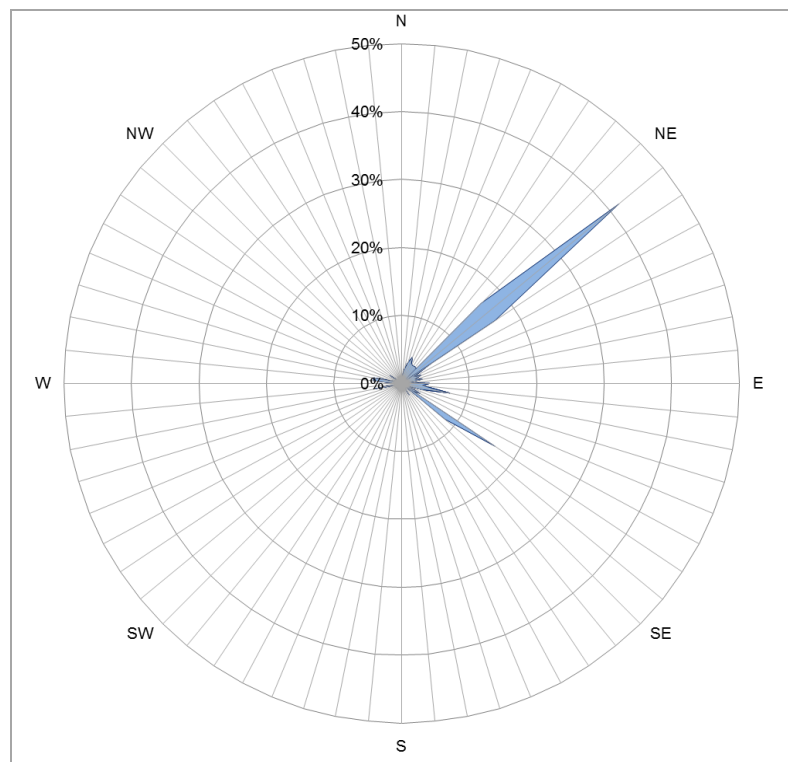


Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Para avaliação da distribuição dos ventos do local de estudo, utilizou-se a distribuição de Weibull, pois Silva, Guedes e Araújo (1999), explicam que Weibull trata-se de uma função mais complexa do que de Rayleigh, possibilitando um melhor desempenho. Assim, como apresentado no gráfico (Figura 10), a frequência de geração de energia eólica a partir da velocidade de arranque é de 84,1%, sendo 28,65% entre as velocidades de 4m/s e 5m/s. Já as chances de se trabalhar com o equipamento gerando a sua potência máxima, conforme as curvas de potências dos equipamentos estudados são de apenas 4,0%. Enquanto que o percentual de 15,41% representa o período em que o vento não terá velocidade suficiente para atingir a velocidade de arranque do aerogerador. Pode-se observar que a frequência que o equipamento será inutilizado é quase quatro vezes menor do tempo em que este funcionará em plena carga.

Ainda, utilizando os dados de direção dos ventos médios mensais do banco de dados da NASA, pode-se constatar que a direção dos ventos predominantes no município é nordeste (Figura 11).

Figura 11 – Direção dos ventos predominantes em Tubarão

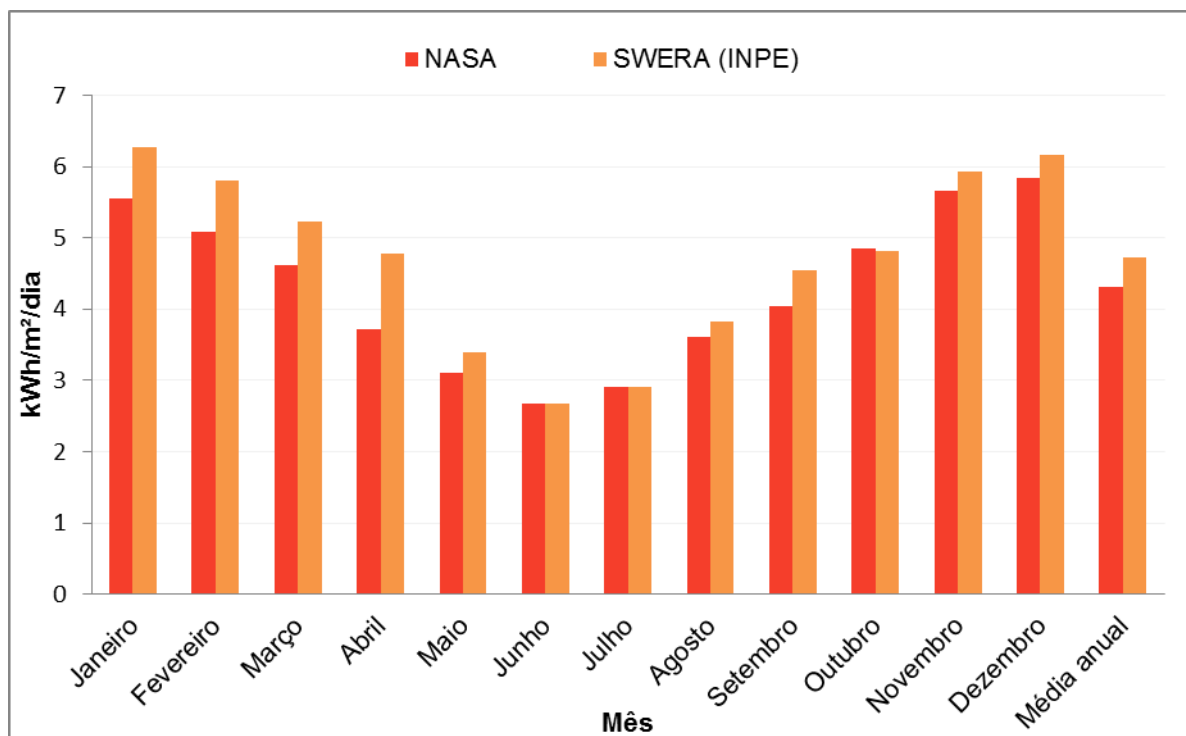


Fonte: NASA, adaptado pela autora, 2016.

4.2.2 Análise do potencial solar fotovoltaico

Com a base de dados da NASA e do INPE, via projeto SWERA, realizou-se o perfil anual utilizando as médias mensais e anuais de cada base de dados. Com a plotagem destes, pode-se observar através da Figura 12, que os meses com menor incidência solar, tratam-se dos meses de junho e julho, sendo que, estes são os meses de inverno. Já o mês de dezembro, segundo o monitoramento da NASA, é o mês de maior incidência, enquanto que o banco de dados do INPE aponta este mês como sendo janeiro. Todavia, ambos contemplam o verão, justificando o aumento da incidência da radiação solar.

Figura 12 - Irradiação Global Horizontal



Fonte: NASA; SWERA, 2016 adaptado pela autora.

Desta forma, constatou-se que junho se obteve o mês com menor horas de Sol pleno, com apenas 2,67, segundo informações do INPE. Já janeiro, ainda segundo o INPE, obteve-se a maior quantidade de horas, totalizando 6,28 horas de Sol pleno por dia.

4.2.3 Dimensionamento dos aerogeradores

O sistema eólico é responsável por atender 50% da demanda desejada, o que representa 147 kWh/mês e uma potência de 204,23W. Desta forma, segue na Tabela 3 os equipamentos selecionados conforme busca realizada em alguns pontos de revenda dos equipamentos disponibilizados no mercado nacional.

Tabela 3 - Descrição dos equipamentos selecionados para análise

| Fabricante | Modelo | Posição rotor | Potência nominal (W) | Velocidade de partida (m/s) | Velocidade nominal (m/s) | Área transversal (m ²) |
|-----------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Air Breeze | AIR 40 | Horizontal | 160 | 3,1 | 9,0 | 1,1 |
| Enersud | NOTUS138 | Horizontal | 350 | 2,0 | 12,5 | 1,5 |
| Ista Breeze | 500i | Horizontal | 400 | 3,0 | 12,5 | 1,0 |
| Enersud | RAZEC 180 | Vertical | 500 | 2,5 | 14,0 | 1,8 |
| HYE Wind Power Energy | NERA 1000 | Horizontal | 1000 | 2,5 | 11,7 | 3,0 |
| Enersud | GERAR 246 | Horizontal | 1000 | 2,0 | 12,5 | 4,8 |
| Enersud | RAZEC 266 | Vertical | 1500 | 2,5 | 12,0 | 3,1 |
| Xzeres Wind | SKYSTREAM LAND | Horizontal | 2400 | 3,5 | 12,0 | 10,8 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Para realização do cálculo da potência de geração no local de estudo, utilizou-se a velocidade média mensal anual dos ventos, conforme banco de dados da NASA, sendo o valor de 4,77 m/s. Na Tabela 4 consta a relação de equipamentos com suas respectivas potências nominais e a potência de geração.

Tabela 4 - Comparação entre a potência nominal e a potência de geração

| Modelo | Potência nominal (W) | Potência de geração no local de estudo (W) | Número de equipamentos | Valor total (R\$) |
|-----------|----------------------|--|------------------------|-------------------|
| AIR 40 | 160 | 31,5 | 6,5 | 37520,00 |
| NOTUS138 | 350 | 43,8 | 4,7 | 15500,00 |
| 500i | 400 | 30,4 | 6,7 | 12943,00 |
| RAZEC 180 | 500 | 51,8 | 3,9 | 27200,00 |

| | | | | |
|----------------|------|-------|-----|----------|
| NERA 1000 | 1000 | 88,4 | 2,3 | 14880,00 |
| GERAR 246 | 1000 | 139,2 | 1,5 | 15000,00 |
| RAZEC 266 | 1500 | 92,0 | 2,2 | 42000,00 |
| SKYSTREAM LAND | 2400 | 315,0 | 0,6 | 49900,00 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Observa-se na Tabela 4 que a variação da capacidade de geração por equipamento ocorre em decorrência da variação da área transversal do rotor. Concomitantemente, tem-se uma potência de geração maior, logo, mais elevado são os custos dos investimentos. Nota-se que dos modelos apresentados conforme pesquisa realizada no mercado nacional, para atendimento da potência desejada, faz-se necessário a instalação de 1 a 7 equipamentos.

4.3.4 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

A fim de determinar a escolha e a quantidade de painéis fotovoltaicos, utilizou-se o consumo anual de 50% resultando em 1904,21 kWh e ainda, a incidência solar anual totalizando 1571,33 $W_p h$.

Ainda, o fator da relação do consumo sobre a irradiação, possibilitou o dimensionamento da quantidade de painéis fotovoltaicos necessários de acordo com alguns modelos apresentados abaixo (Tabela 5), conforme pesquisa realizada no mercado nacional.

Tabela 5 - Descrição dos painéis fotovoltaicos utilizados na análise

| Fabricante | Modelo | Composição | Eficiência (%) | Dimensões (mm) | Potência W_p |
|----------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Canadian Solar | CS6P-260P | Policristalino | 16,16 | 1638x982x40 | 260 |
| Canadian Solar | CS6P-265P | Policristalino | 16,47 | 1638x982x40 | 265 |
| Canadian Solar | CS6X315P | Policristalino | 16,42 | 1954x982x40 | 315 |
| Globo Brasil | GBR-260P | Policristalino | 16,05 | 1640x990x40 | 260 |
| Globo Brasil | GBR-265P | Policristalino | 16,40 | 1640x990x40 | 265 |
| Upsolar | UP-M260MB | Monocristalino | 16,00 | 1640x992x35 | 260 |
| Yingli solar | YL260P-29B | Policristalino | 16,00 | 1640x990x35 | 260 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Pode-se observar que a eficiência é o fator determinante para implantação dos painéis fotovoltaicos. Sua potência de geração está atrelada a sua eficiência de conversão de energia elétrica. Assim pode-se observar nas dimensões dos painéis, quanto maior sua potência e menor sua dimensão, sua capacidade de geração provavelmente será mais elevada. Nota-se que os equipamentos com maior eficiência são dois modelos da fabricante Canadian, possuindo 16,47% e 16,42%.

Para verificação da quantidade e da área necessária para implantação do sistema, segue abaixo a Tabela 6 para melhor compreensão.

Tabela 6 - Relação entre a potência e o número de painéis

| Fabricante | Potência W_p | Número de painéis fotovoltaicos | Área ocupada pelos painéis (m^2) | Valor unitário (R\$) |
|----------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Canadian Solar | 260 | 4,66 | 8,04 | 885,00 |
| Canadian Solar | 265 | 4,57 | 8,04 | 789,00 |
| Canadian Solar | 315 | 3,85 | 7,67 | 939,00 |
| Globo Brasil | 260 | 4,66 | 8,10 | 999,00 |
| Globo Brasil | 265 | 4,57 | 8,08 | 1231,50 |
| Upsolar | 260 | 4,66 | 8,13 | 850,00 |
| Yingli solar | 260 | 4,66 | 8,13 | 1049,99 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Pode-se observar que de acordo com os modelos apresentados na Tabela 6, para implantação, arredondou-se para cima todas as quantidades de painéis necessários para que a potência desejada seja atendida. Assim, o modelo de potência de $315W_p$ apresentou a menor área ocupada, e apesar de não possuir o menor valor unitário, todavia, apresentou o menor valor total, para instalação de 4 painéis. Enquanto que, o modelo de potência de $265W_p$ da Canadian apresentar a maior eficiência e o menor valor unitário, utilizou-se de uma área um pouco maior, necessitando de 5 painéis, aumentando assim os investimentos para aquisição dos equipamentos.

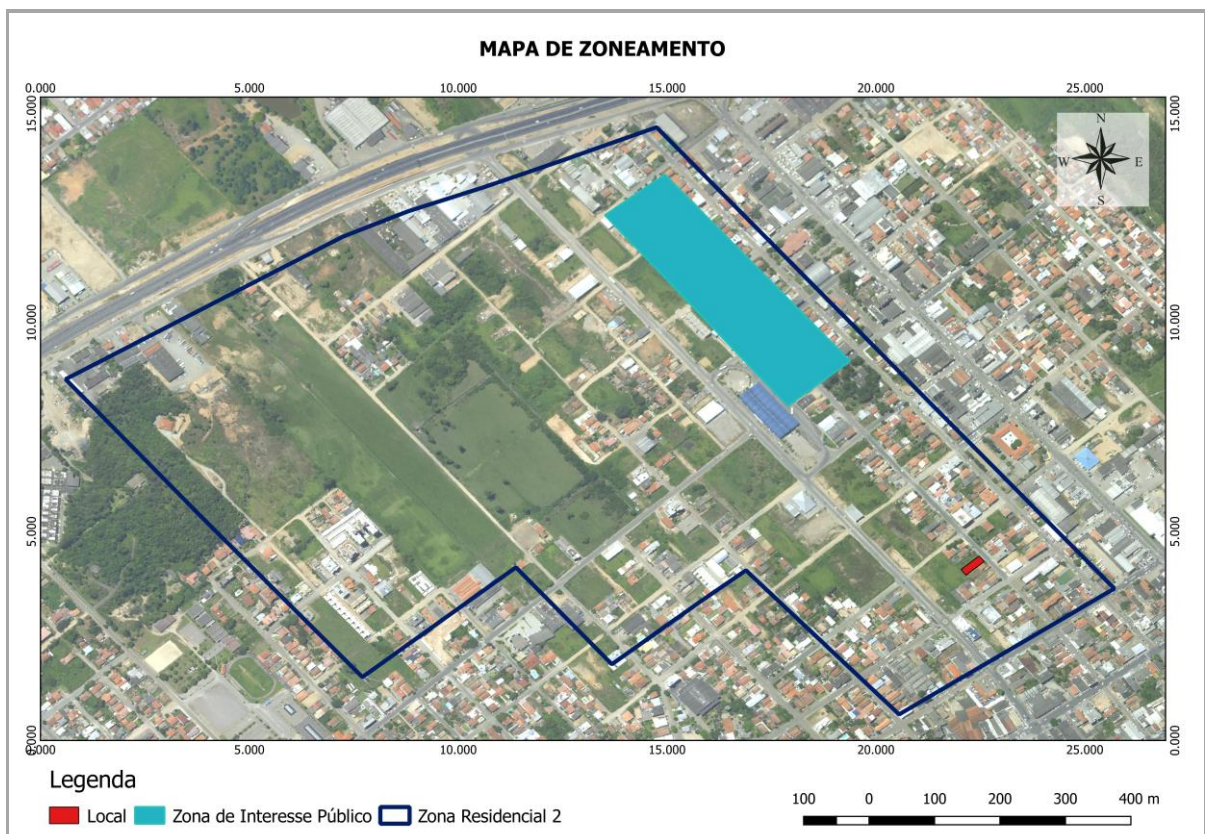
4.3.5 Análise do entorno do empreendimento

Para um bom funcionamento no sistema, é necessário que a instalação do aerogerador não sofra bloqueios de obstáculos próximos, como prédios, árvores,

morros, evitando a passagem dos ventos bem como, impossibilitando a geração fotovoltaica devido às sombras. O sombreamento mesmo que parcial, pode provocar a perda de potência do painel, bem como, o fenômeno *hotspot*, produzindo intenso calor na célula atingida, com extrusão do vidro e até a fusão de polímeros e metais (PINHO; GALDINO, 2014).

Neste sentido, avaliou-se a área do entorno, localizando o obstáculo mais alto depois da altura do edifício, a uma distância de 300m a sudeste do empreendimento, trata-se de um edifício de 5 andares. A localização do empreendimento conforme preconiza o Plano Diretor Municipal de Tubarão como Zona Residencial 2. Esta área permite construções de 10 andares podendo-se estender por mais 2 para uso estacionamento. Atualmente, esta normativa trata-se de um risco eminente para o local de estudo, já que, a esquerda e aos fundos do terreno (considerando a frente do lote voltado para a rua) não há construções, sendo que estas podem se estabelecer em menos de vinte anos (comparação com o período de vida útil do sistema híbrido), prejudicando a geração eólica e fotovoltaica.

Figura 13 – Classificação do local de estudo quanto ao zoneamento do Plano Diretor



Fonte: Elaborado pela autora (2016) adaptado de Ortofoto SDS (2010) e vetores IBGE (2016).

4.3.6 Aspectos legais sobre a micro e minigeração

Diante da legislação apresentada no referencial teórico, a ANEEL por meio das Resoluções Normativas nº 482/2012 e nº 687/2015 fomenta a micro e mini geração distribuída, por meio da geração de energia elétrica por fontes renováveis.

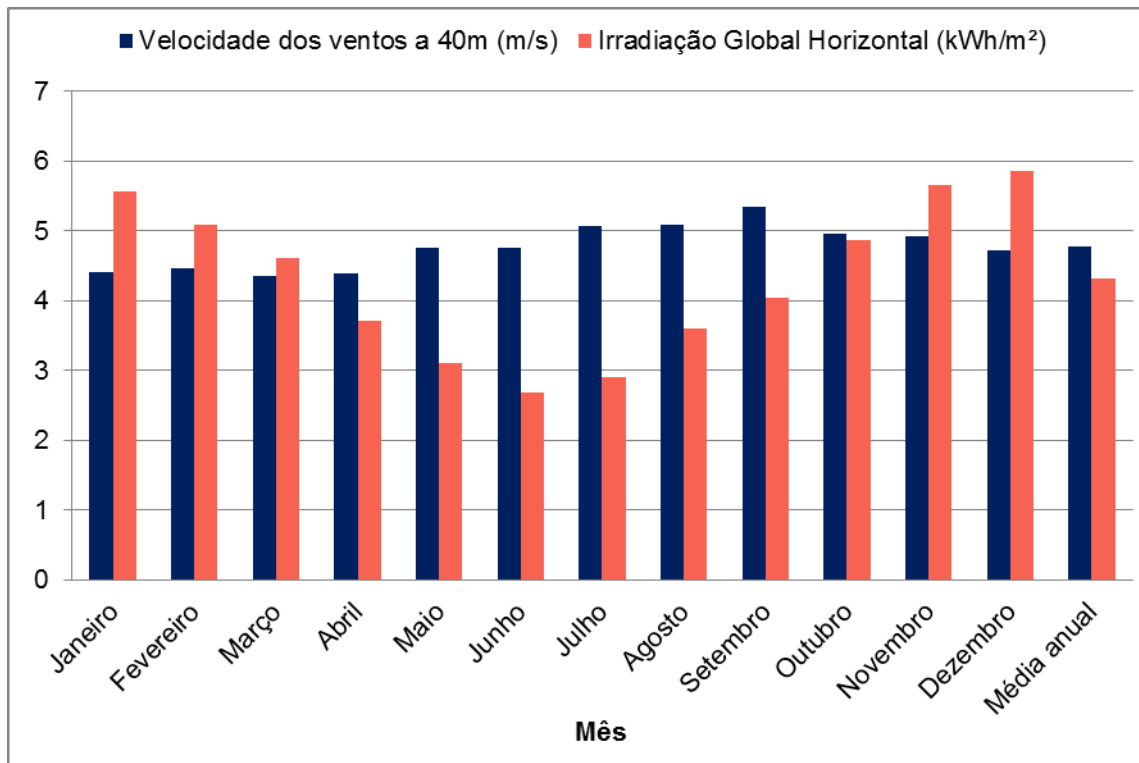
O empreendimento em estudo não se enquadra a estas legislações, pois sua geração não será distribuída, ou seja, caso haja algum excedente gerado, este será direcionado para baterias ou para outro setor da empresa. Todavia, se houvesse a geração distribuída, o mesmo se caracterizaria como um micro gerador, pois sua potência instalada não poderia ultrapassar os 75 kW e o estudo realizado para o empreendimento é voltado para uma potência instalada de 408,5 W.

Neste contexto, se o estudo de caso realizasse a micro geração distribuída, teria que arcar com os impostos, pois o ICMS em Santa Catarina ainda não foi isento, ou seja, o imposto é cobrado sobre todo o consumo, desconsiderando a energia injetada na rede pela micro geração.

4.3.7 Determinação sistema híbrido eólico-fotovoltaico

Para a definição da proposta do sistema híbrido eólico-fotovoltaico considerou-se os dados analisados anteriormente. Para a escolha, definiu-se a alternativa que tivesse contribuição de 50% de energia fotovoltaica, e outros 50% de energia eólica (RUIZ, 2016). Utilizou-se desta metodologia, visto que não se fez uso de softwares para otimização do sistema, bem como, dada a representação gráfica (Figura 14), a geração eólica e fotovoltaica por serem intermitentes, se complementam.

Figura 14 - Comparativo entre disponibilidade eólica e solar



Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

O gráfico acima mostra que, a geração de energia elétrica nos três meses de maior irradiação solar, logo, maior número de horas de Sol pleno, há um aumento na geração fotovoltaica, segundo a maior média mensal deste período (janeiro, novembro e dezembro) houve um aumento de 32% no potencial de geração de energia elétrica em relação à média anual. Enquanto nestes mesmos meses, a potência de geração de energia reduziu para 2% quando adotada a média anual como referencia.

Também pode-se analisar, que nos meses de menor incidência de radiação solar, entre maio e julho, houve um decréscimo da potência de geração fotovoltaica de 33%, enquanto que para os mesmos meses, a geração eólica aumentou em 2%, ambos em relação a média anual. Neste sentido, confirma-se a colocação de Pinho et al. (2008) quando afirma que esta combinação visa utilizá-las de forma satisfatória no tempo.

Assim, com os dados médios mensais anuais, possibilitaram o dimensionamento de diversos aerogeradores e painéis fotovoltaicos, de variadas marcas e potências. Desta forma, verificou-se manualmente as opções de equipamentos que poderiam ser instalados no local, adequando as distâncias entre

os aerogeradores.

Contudo, a melhor opção encontrada foi o aerogerador de potência de 2400 W, o modelo Skystream Land (Tabela 7), de todos os aerogeradores apresentados este apresentou os valores mais elevados. Porém, as demais opções apresentadas não atendiam o espaçamento necessário para implantação da quantidade dimensionada de equipamentos para atender a demanda.

Com relação aos painéis fotovoltaicos, há uma restrição um pouco maior, pois ao centro do telhado há uma torre de aproximadamente 7 m de altura, aumentando a área de sombra do telhado. Neste sentido, verificou-se a área que se mantém exposta a luz do Sol nas quatro estações do ano e nas horas de Sol pleno, concluindo-se que seria possível alocar todos os tipos de painéis citados anteriormente. Todavia, optou-se por aquele que possuía o menor valor de investimento inicial, que foi o painel fotovoltaico de 315W_p, o modelo CS6X315P da Canadian Solar (Tabela 8), com instalação de 4 painéis, ocupando uma área mínima de aproximadamente 8m².

Tabela 7 – Especificações do aerogerador

| | |
|---|---------------|
| Equipamento | Aerogerador |
| Modelo | Skystram Land |
| Posição rotor | Horizontal |
| Potência nominal | 2400 W |
| Potência de geração no local | 315 W |
| Velocidade de partida | 3,5 m/s |
| Aproveitamento da potência nominal | 13% |
| Quantidade | 1 un |
| Valor total | R\$ 49900,00 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

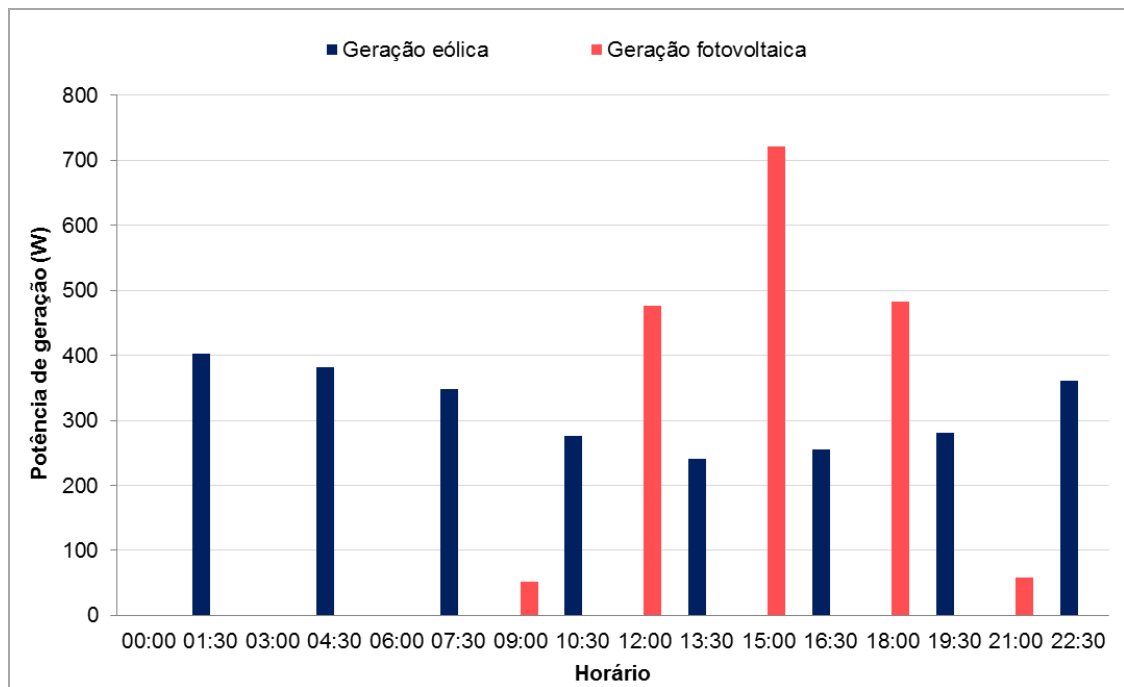
Tabela 8 – Especificações do painel fotovoltaico

| | |
|---|---------------------|
| Equipamento | Painel fotovoltaico |
| Modelo | CS6X315P |
| Composição | Policristalino |
| Dimensões (mm) | 1954x982x40 |
| Potência nominal | 1260 W |
| Potência de geração no local | 226,3 W |
| Eficiência | 16,42% |
| Área mínima | 8m ² |
| Aproveitamento da potência nominal | 18% |
| Quantidade | 4 un |
| Valor total | R\$ 3756,00 |

Fonte: Elaborado pela autora, 2016.

Com isso, obteve-se um valor inicial de R\$ 53656,00, sendo que, 90% deste valor representa somente a geração eólica. Todavia, segue abaixo o perfil diário da geração de energia:

Figura 15 – Perfil diário de geração de energia



Fonte: NASA, adaptado pela autora, 2016

Verificou-se no perfil diário que a geração eólica e fotovoltaica possuem uma complementariedade. Enquanto no período noturno há uma maior geração eólica, o fotovoltaico destaca-se sua geração durante o dia. Todavia, a geração eólica é contínua e apresenta resultados significativos de geração, mesmo nos horários em que há menor geração, enquanto que a fotovoltaica não apresenta valores de geração no período noturno.

4.4 ASPECTO ECONÔMICO

O cálculo de *payback* simples considerou o valor da tarifa atual com a inclusão dos impostos por kWh. Também se somou à geração mensal do sistema eólico-fotovoltaico e expandiu para todo o ano. Desta forma, obteve-se a tarifa de R\$ 0,62/kWh e o total de geração anual de 4676,62 kWh/ano.

Para o valor total do investimento, considerou-se apenas o valor do aerogerador e dos painéis fotovoltaicos, resultando em R\$ 53656,00.

No cálculo de *payback*, desconsiderou-se: a taxa de depreciação anual dos equipamentos, gastos com operação e manutenção e demais equipamentos do sistema, pois não houve o dimensionamento total deste. Também se desconsiderou os reajustes tarifários realizados pela distribuidora, ou seja, com o uso do *payback* simples, não se avaliou o valor do dinheiro no tempo.

Desta forma, o resultado do *payback* simples foi de aproximadamente 20 anos e seis meses. Lembrando que, o tempo de vida útil indicado por ambos os fabricantes é superior a 20 anos de vida útil. Assim, realizou-se também o *payback* separado, para verificar em um primeiro momento, qual das fontes teria um melhor retorno financeiro. Pode-se observar que a geração fotovoltaica teria um retorno em aproximadamente 3 anos e 1 mês, enquanto que, a geração eólica teria um retorno em apenas 29 anos e 8 meses.

Contudo, avalia-se que tecnicamente e financeiramente (através do *payback* simples) que a geração eólica não é a mais recomendada para o local de estudo.

4.5 ASPECTO AMBIENTAL

A geração de energia eólica-fotovoltaica é uma atividade que possui alguns impactos ambientais durante seu funcionamento. Pode-se destacar a emissão de ruídos por parte do aerogerador, mortalidade de pássaros (MMA, 2009). Quanto aos ruídos, verificou-se que o aerogerador selecionado Skystream Land 2,4kW gera um ruído de 46,4 dB a 60 m, quando a velocidade dos ventos forem 8 m/s. Assim, pode-se observar que os níveis de ruído são inferiores aos de carros (80 dB) e de uma casa (50dB) a 30 metros de distância (AWEA, 2003). Assim, faz-se necessário estudos complementares para quantificar a real influência do aerogerador no local de estudo.

Ainda, se analisado todo o ciclo de vida destes equipamentos, será possível observar que para a obtenção destes, faz uso de mineração da matéria-prima, e esta, trata-se de uma atividade impactante (mineração). Todavia, por meio

de uma estimativa, quantificou-se a redução de emissão de CO₂, considerando a geração de energia elétrica por fontes fósseis.

4.5.1 Redução emissão CO₂

Como comparativo entre fontes convencionais e fontes renováveis, estimou-se a redução de emissão de CO₂ utilizando dados de J. H. Cheng, C. H. Yeh e C. W. Tu, 2008 apud Cucchiella et. al., 2012. Segundo sua análise, constatou-se que para produzir 1kWh de eletricidade, deve-se queimar 2,56 kWh de combustíveis fósseis, emitindo 0,53 kg de CO₂ para a atmosfera.

Diante dessas informações, as estimativas de CO₂ que não serão emitidas utilizando energia de fontes renováveis estimado para alimentar o *data center* da empresa foi de aproximadamente 2 toneladas de CO₂.

Com base neste resultado pode-se constatar que esse é mais um motivo para incentivar o uso de energias renováveis, pois possui impactos ambientais de pouca relevância se comparado aos impactos decorrentes de outras fontes que compõem a matriz energética nacional, sendo que não há a emissão de poluentes no momento da operação do sistema.

5 CONCLUSÃO

Um novo olhar para a geração de energia elétrica por fontes renováveis tem despertado a atenção para o mundo. O cenário que se apresenta mostra a preocupação com o uso dos combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica, por ser fonte finita e também por se tratar de atividade impactante ao meio ambiente.

Empreendimentos e residências estão experimentando o uso de energias renováveis, principalmente o uso da energia fotovoltaica, mesmo àqueles que possuem acesso à energia elétrica da distribuidora. Neste interim, estudos de viabilidade para implantação de geração de energia eólica e fotovoltaica e até mesmo sistemas híbridos são extremamente importantes para que se possa aproveitar ao máximo os recursos energéticos disponíveis para o local. Conforme a potência de geração e a potência demandada é possível até fazer uso somente das fontes de energias renováveis ou então disponibilizar o excedente para a rede de distribuição e resgatar este saldo posteriormente.

Com este intuito, avaliou-se a viabilidade técnica, financeira e ambiental para um empreendimento localizado em Tubarão (SC). Neste estudo, pode-se comprovar que para uma demanda média anual de consumo de 294,1 kWh/mês, pode-se projetar um sistema híbrido eólico-fotovoltaico para geração de 390 kWh/mês. Todavia, constatou-se que o aerogerador mesmo apontando a geração da energia necessária, seria subutilizado, aproveitando somente 13% da sua potência nominal. Outra constatação é que a implantação deste sistema oferece um período de retorno próximo ao tempo de vida útil dos equipamentos. Em contrapartida, a geração de energia elétrica através dessas fontes possui poucos impactos ambientais se comparado a geração por fontes fósseis. O resultado na comparação mostrou que durante o período de geração por fontes híbridas haverá se evitará a emissão de aproximadamente 2 ton de CO₂ se comparada a geração de energia oriunda de combustíveis fósseis.

Diante dos resultados apresentados, estudos voltados para a micro e minigeração são necessários para obter-se um bom diagnóstico dos recursos disponíveis no local de implantação do sistema. Assim, atingiu-se os seguintes objetivos propostos: a identificação de sistemas híbridos compatíveis com a

edificação para geração de energia; realizou-se estudos referentes à área diretamente afetada sobre incidência de radiação solar, velocidade, densidade e frequência dos ventos; verificou-se legislação vigente acerca do uso de energias renováveis aplicáveis ao município de Tubarão (SC).

Contudo, dada a complexidade em propor um sistema de geração de energia híbrido conforme análise técnica, financeira, ambiental para edifício misto, realizou-se o estudo de viabilidade técnica, mas não se determinou um sistema híbrido com toda a composição deste. Pois, faz-se necessário o trabalho com uma equipe multidisciplinar para a realização. A análise econômica necessita do uso de outras ferramentas e metodologias para uma previsão mais exata da viabilidade financeira do sistema.

Assim, faz-se necessário estudos complementares a cerca do assunto. Para isso, sugere-se para trabalhos futuros, o dimensionamento completo do sistema híbrido eólico-fotovoltaico, pois há perda da energia elétrica gerada no momento das conversões de um equipamento para o outro. Além disso, utilizar metodologias e/ou softwares para obter a otimização dos recursos energéticos afim de encontrar a configuração ótima para geração de energia, mesmo que o sistema não seja híbrido.

REFERÊNCIAS

ACUNHA JR, I. C.; ALMEIDA, J. A. **Análise do desempenho de um aerogerador de pequeno porte**. Rio Grande: 2006. Disponível em:

<<http://www.semengo.furg.br/2006/06.pdf>> Acesso em: 18 set. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2 ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p.: il. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>>. Acesso em: 13 set. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília: DOU - **Diário Oficial da União**, p.45 -46, seção 01 02 dez. 2015. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: DOU **Diário Oficial da União**, de 19 abr. 2012, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76.

Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> >

AGÊNCIA SENADO. **Brasil poderá ter 1,2 milhão de consumidores geradores de energia em 2024**. Brasília, 15 set. 2016. Disponível em:

http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/09/15/brasil-podera-ter-1-2-milhao-de-consumidores-geradores-de-energia-em-2024#google_news. Acesso em: 17 set. 2016.

AMARAL, B. M. **Modelos VARX para Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados à Comercialização de Energia**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/19308/19308_3.PDF>. Acesso em: 13 set. 2016.

AMARANTE, O. A. C. do; ZACK, M. B. J.; SÁ, A. L. de. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, 44 f. 2001.

Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2016.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION – AWEA. **Permitting small wind turbines: a handbook**. Washington, 2003. 44 f. Disponível em:

<https://energy.idaho.gov/informationresources/d/awea_permitting.pdf>. Acesso em: 07 dez 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA – ABEEEÓLICA. **Números do setor**. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/>>. Acesso em: 06 set. 2016.

BARBOSA, A. C. L. **Avaliação ambiental do uso da energia eólica para usuários de pequeno porte**. 2008. 116 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/18065>>. Acesso em: 02 set. 2016.

BARBOSA, C. F. O. **Avaliação tecnológica, operacional e de gestão de sistemas híbridos, para geração de eletricidade na Região Amazônica**. 2006. 210 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/3340>. Acesso em: 03 set. 2016.

BERNAL, J. L. O. et al. (Org.). Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial zero-energia. 454. ed. São Paulo: 2014. 32 p. Disponível em: <http://seeds.usp.br/portal/uploads/RTC454_Dimensionamento_casasolar6.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2016.

BISCHOFF, L. **Análise de projetos e Investimentos: teoria e questões comentadas**. Disponível em: https://www.editoraferreira.com.br/medias/1/media/Livros/Sumarios/analise_proj_inv_estimentos.pdf. Acesso em: 31 out. 2016.

CARREIRAS, J. M. P. **Sistema híbrido de produção de energia para sistema de comunicações rádio**. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Sistemas de Engenharias Renováveis, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ipvc.pt/handle/123456789/1202>>. Acesso em: 16 set. 2016.

CENTRO DE ENERGIA EÓLICA - CE-EÓLICA. **Perguntas Frequentes sobre Energia Eólica**, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ceeolica/faq.php?q=10#10>>. Acesso em: 19 set. 2016.

CENTRO DE REFERENCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESESB. **FAQ Eólica**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid\[\]=1&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=1&catid[]=5)>. Acesso em: 10 set. 2016.

CENTRO DE REFERENCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO – CRESESB. **FAQ Solar**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid\[\]=2&catid\[\]=5](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&catid[]=2&catid[]=5)>. Acesso em: 10 set. 2016.

CHIUSO, J. E.; SILVA, A. J. da. PROPOSTAS PARA DIMENSIONAMENTO DE UM PARQUE EÓLICO NA REGIÃO DE ARARAQUARA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: 2005. p. 1 - 6. Disponível em: <http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CBPE2004/Artigos/PROPOSTAS_PARA_DIMENSIONAMENTO_DE_UM_.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2016.

COLOMBO, F. et al. Dimensionamento de um sistema eólico residencial. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 9., 2014, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUC-RS, 2014. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/5234554-Dimensionamento-de-um-sistema-eolico-residencial.html>>. Acesso em: 31 ago. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA – CONFAZ. Convênio ICMS 10/2014, de 21 de março de 2014. Altera e prorroga o Convênio ICMS 101/97, que concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica que especifica. DOU - **Diário Oficial da União**, p. 33, despacho 49/14 26 mar. 2014. Disponível em: <http://app1.sefaz.mt.gov.br/sistema/legislacao/legislacaotribut.nsf/07fa81bed2760c6b84256710004d3940/543d1e440d2fff0a84257ca7006d8aa3?OpenDocument#_48d7kslmi9p4ku8298d6l681h60m20h2540p328248kg4qgaig17g_http://acij.com.br/noticias/show/area/al-quota-de-icms-sobre-energia-el-trica-e-telecomunica-es-ser-superior-al-quota-geral-de-sc-abre-margem-restitui-o-retroativ>. Acesso em: 16 set. 2016.

CUCCHIELLA, F. et al. (2012). Renewable energy options for buildings: Performance evaluations of integrated photovoltaic systems. *Procedia - Energy and Buildings*, 55, 208-217. Disponível em: file:///C:/Users/guilherme/Downloads/fullText.study_263829.pdf. Acesso em: 31 ago. 2016.

DEBASTIANI, G. **Avaliação da eficiência energética de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico para Cascavel-Paraná**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013. Disponível em: <[http://200.201.88.199/portalpos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Gilson_Debastiani\(1\).pdf](http://200.201.88.199/portalpos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Gilson_Debastiani(1).pdf)>. Acesso em: 16 set. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço Energético Nacional 2016**. Relatório Síntese - ano base 2015. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 62 f. 18 jul. 2016. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175p.

GLOBAL WIND ENERGY OUTLOOK – GWEO. Bruxelas, Bélgica: Global Wind Energy Council, 2008. 60 f. Disponível em: <http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/08/GWEO_2008_final.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2016.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energias renováveis: um futuro sustentável**. **REVISTA USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro. 2006-2007**. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564/15382>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

GREEN et al. **Solar cell efficiency tables (version 48)**. Austrália: 2013. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2788/epdf>. Acesso em: 10 set. 2016.

GUERRA, J. B. S. O. A; YOUSSEF, Y. A. (Orgs.). **As energias renováveis no Brasil: entre o mercado e a universidade**. Palhoça: Ed. Unisul, 2011. 231 p. Disponível em http://www.jelareproject.eu/Downloads/Energias_Renovaveis_no_Brasil.pdf

HORN, D. A. **Análise numérica da esteira aerodinâmica formada por uma turbina eólica com dimensionamento ótimo de Betz**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26540?locale=pt_BR>. Acesso em: 01 set. 2016.

KONZEN, G. S. In: TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Coord.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, p. 310-408: il. 16 maio 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

LU, L.; SUN, K. Wind power evaluation and utilization over a reference high-rise building in urban area. *Energy and Buildings*, v. 68, n. PARTA, p. 339–350, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.029>>.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY - MIT. **The future of solar energy: an interdisciplinary mit study**. Massachusetts: MIT, 2015. 356 f. Disponível em: <<http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

MATRIZ ENERGÉTICA. **Portal Brasil**, Brasília, 28 jul. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/07/brasil-deve-integrar-top-20-em-energia-solar-em-2018>>. Acesso em: 09 set. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL – MMA. **Pesquisa sobre licenciamento ambiental de parques eólicos**. Brasília: MMA, 2009. 9 f. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao26022010101115.pdf Acesso em: 4 dez. 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. 2016. Disponível em: <<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

NREL - NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY is a National Laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC. Disponível em <<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>>

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **REVISTA CONJUNTURA E PLANEJAMENTO**, Bahia, n. 149, p. 4-11, outubro. 2006. Disponível em: <http://ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%C3%A1veis.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2016.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. il. 60 p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2016.

Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

PINHO, J. T. et al. **Sistemas híbridos: soluções energéticas para a Amazônia**. 1. Ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 398 p. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2016.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (Orgs.). **Manual de engenharia**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2016.

ROAF, S.; FUENTES, M; THOMAS, S. **Ecohouse**. A Casa Ambientalmente Sustentável. 2. Ed. Tradução Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2006. 408 p.

ROBERTS, J. J. **Análise de desempenho de um sistema híbrido de geração de energia solar-eólico-diesel considerando variações probabilísticas da carga e dos recursos renováveis**. 2012. 152 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

RUIZ, J. M. A. **Aspectos técnicos, econômicos e ambientais da implementação de energia eólica e solar fotovoltaica em edifícios**. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/143418>>. Acesso em: 05 set. 2016.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC: LABSOLAR, 2004. 115 p. Disponível em: <<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2016.

SANTA CATARINA. Decreto nº 233, de 24 de junho de 2015. Institui o Programa Catarinense de Energias Limpas (Programa SC+ENERGIA) e estabelece outras providências. Florianópolis: DOU – **Diário Oficial da União**, jun. 2015. Disponível em: <http://legislacao.sef.sc.gov.br/legtrib_internet/html/decretos/2015/dec_15_0233.htm>. Acesso em: 14 set. 2016.

SANTA CATARINA. Projeto de Lei 0198.8/2015. Estabelece condições gerais para isenção do ICMS de micro geração e mini geração de energia elétrica, cedidas e distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica no âmbito do Estado de Santa Catarina. 02 jun. 2015. Disponível em: <http://www.alesc.sc.gov.br/expediente/2015/PL__0198_8_2015_Original.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016.

SANTOS, A. A. et al. **Projeto de Geração de Energia Eólica**. 2006. 75 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Santa Cecília, Santos, 2006. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/mecanica/polari/energiaeolica-tcc.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2016.

SANTOS, H. D. R. **Software de apoio à implementação de sistemas híbridos de produção de energia eléctrica baseados em energias renováveis**. 2010. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia Eletroeletrônica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <<http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/2591>>. Acesso em: 13 set. 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL – SDS. Sistemas de Informações Geográficas. 2016. Disponível em: <http://sigsc.sds.sc.gov.br/>. Acesso em: 11 ago. 2016.

SILVA, P. de C.; GUEDES, V. G.; ARAÚJO, M. R. P. de. OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15., 1999, Águas de Lindoia. Anais... São Paulo, 1999. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/artigo/aaciih.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

SILVEIRA, S. R. **Geração descentralizada de energia através de fonte alternativa**. 2011. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/33088?locale=en>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

SOBRAL, F. S. B. **Avaliação do potencial eólico para geração de energia na**

SOUZA, G. B. H. de. Eólica. In.: TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Coord.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética – EPE, p. 237-309: il. 16 maio 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

SWERA. Disponível em:

<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>. Acesso em: 16 set. 2016.

THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION - EWEA (Bruxelas). **Wind energy's frequently asked questions (FAQ)**. Disponível em: <<http://www.ewea.org/wind-energy-basics/faq/>>. Acesso em: 16 set. 2016.

TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.: il., tab., mapas. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em: 02 ago. 2016.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/pt-br.php>>. Acesso em: 08 set. 2016.

VALENTIN SOFTWARE. PV*SOL - Premium da Valentin Software. Disponível em: <http://www.valentinsoftware.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium>. Acesso em: 03 ago. 2016.

VANNI, S. R. **Viabilidade econômica de fontes alternativas de energia para uma comunidade rural típica da região nordeste do Brasil**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo, 2008. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-29092009-154302/pt-br.php>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

YAMAMOTO, S.; PISNI, F. **Boletim de Dados**. Mês base julho de 2016. São Paulo: ABEEÉOLICA, 07 f. 31 jul. 2016. Disponível em: < <http://www.portalabeeolica.org.br/images/pdf/Boletim-de-Dados-ABEEolica-Agosto-2016-Publico.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2016.

Zona rural no estado de Sergipe. 2009. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009. Disponível em: < <http://200.17.141.110/pos/prodema/files/dis09/FbioStefano.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2016.