

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

FELIPE SANCHES SANTOS PONTELLI

**VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE
AEROGERADORES EM UM PRÉDIO RESIDENCIAL**

JOINVILLE

2016

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

FELIPE SANCHES SANTOS PONTELLI

**VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE
AEROGERADORES EM UM PRÉDIO RESIDENCIAL**

Relatório da disciplina TCC-II submetido ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito necessário para obter o grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Buzzulini Prioste

JOINVILLE

2016

AGRADECIMENTOS

A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Ao meus pais Wilson Pontelli, Rejane Vellini e ao meu irmão Wilson Junior pelo apoio e todo o tipo de suporte.

A minha namorada Leticia Sayuri, por me apoiar nos momentos de dificuldade, por não me deixar desistir e por estar comigo em todos os momentos.

Ao meu orientador Fernando Prioste, pelos conselhos e por acreditar em mim.

A todos os professores da graduação.

RESUMO

A geração de energia elétrica por meio de turbinas eólicas constitui uma alternativa para diversos níveis de demanda, sendo considerada a energia mais limpa do planeta, disponível em diversos lugares e em diferentes intensidades, uma boa alternativa às energias não-renováveis.

As pequenas centrais podem suprir pequenas localidades distantes da rede, contribuindo para o processo de universalização do atendimento.

Quanto às centrais de grande porte, estas têm potencial para atender uma significativa parcela do Sistema Interligado Nacional (SIN) com importantes ganhos: contribuindo para a redução da emissão, pelas usinas térmicas, de poluentes atmosféricos; diminuindo a necessidade da construção de grandes reservatórios. Apesar de não queimarem combustíveis fósseis e não emitirem poluentes, centrais eólicas não são totalmente desprovidas de impactos ambientais.

Entre os principais impactos socioambientais negativos das usinas eólicas destacam-se os sonoros e os visuais. Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos.

O objeto desse trabalho é verificar a viabilidade da implantação de um número mínimo de aerogeradores em um prédio residencial para que se tenha um retorno econômico em um período considerado de médio ou curto prazo, ou seja, entre 5 e 15 anos. Durante esse estudo de viabilidade, não serão analisados apenas os aerogeradores, mas também o perfil do edifício que permitirá a implantação dessa tecnologia, assim como o custo dos conversores.

Palavras Chave: aerogerador, sustentabilidade, viabilidade.

ABSTRACT

The generation of electricity through wind turbines is an alternative to various levels of demand, being considered the cleanest energy on the planet, available in many different places and different intensities and a good alternative to non-renewable energies.

Small wind farms can supply small towns far from the energy grid, contributing to the universalization process of the service.

As for large wind farm, these have the potential to supply a significant portion of the National Interconnected System (SIN in Brazil) with important gains: reduction in the emission of air pollutants by thermal power plants; decreasing the construction of large water reservoir. Although not burning fossil fuels and do not emitting pollutants, wind farms are not fully exempt from environment impacts. Among the main negative socio-environmental impacts include acoustics and visuals.

The acoustics impacts are due to the noise of rotors and they vary according to the specifications of the equipment.

The object of this work is to check the viability of installing a minimum number of aero generators in a residential building to provide a financial feedback in a period between 5 and 15 years. During this viability study, it will not be analyzed only the aero generators, but also the profile of the buildings that will allow the installation of this technology, as well the cost of the converters.

Key words: aero generator, sustainability, viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Capacidade global instalada em 2013.	14
Figura 1.2	Sazonalidade das usinas eólicas do PROINFA para a região Nordeste.	15
Figura 1.3	10 primeiros países em capacidade instalada de energia eólica em 2013 – Representação em porcentagem.	16
Figura 1.4	10 primeiros países em capacidade instalada de energia eólica em 2013 – Representação em MW	17
Figura 1.5	Capacidade instalada da China em 2013 de 91,412GW	18
Figura 1.6	Capacidade instalada dos EUA em 2013 de 60,911GW.	19
Figura 1.7	Capacidade instalada da Alemanha em 2013 de 34,25 GW. .	20
Figura 1.8	Capacidade instalada da Espanha a em 2013 de 22,959 GW. .	20
Figura 1.9	Capacidade instalada da Índia em 2013 de 20,15 GW.	21
Figura 1.10	Capacidade de energia eólica instalada no Brasil.	21
Figura 1.11	Mapa dos ventos no Brasil.	22
Figura 1.12	Comparativo entre os tipos de geração	22
Figura 3.1	Nível de Tensão de Conexão.	27
Figura 3.2	Estrutura básica de uma mini/microgeração distribuída	28
Figura 3.3	Medidor Bidirecional	30
Figura 4.1	Etapas do projeto de instalação	31
Figura 4.2	Levantamento de carga.	32
Figura 4.3	Aerogerador	32
Figura 4.4	Controlador.	34
Figura 4.5	Especificações Técnicas	35
Figura 4.6	Velocidade do vento x Potência.	36
Figura 4.7	Retificador trifásico a diodo com ponto médio	37
Figura 4.8	Inversor trifásico de tensão com diodos de roda-livre.	38
Figura 4.9	Inversor Trifásico- SUNNY BOY 2500	39
Figura 4.10	Características Técnicas	40
Figura 4.11	Esquemático do Tranformador	40
Figura 4.12	Comparativo entre os transformadores	41
Figura 4.13	Transformador a seco	41
Figura 4.14	Especificações Técnicas.	42

Figura 4.15 Diagrama da Simulação	43
Figura 4.16 V1;V2;V3	43
Figura 4.17 V4	44
Figura 5.1 Rugosidade	46
Figura 5.2 Expoente α para diferentes tipos de superfície.	47
Figura 5.3 Comportamento do Vento de acordo com a região.....	48
Figura 5.4 Comportamento do vento em relação a obstáculos	48
Figura 5.5 Lei de Betz	49
Figura 6.1 Joinville Iate Clube	51
Figura 6.2 Página Inicial do site Prefeitura Digital	52
Figura 6.3 Velocidade do Vento de acordo com a altura.....	53
Figura 6.4 Distribuição Mensal da Potência	54
Figura 6.5 Gráfico da Distribuição Mensal da Potência	55
Figura 6.6 Investimento Inicial.....	56
Figura 6.7 Fluxo de Indicador de Investimento	57
Figura 6.8 PAY-BACK.....	59
Figura 6.9 Gráfico-PAY-BACK	60
Figura 6.10 Investimento 1	61
Figura 6.11 Indicadores de Investimento - Investimento 1	61
Figura 6.12 Comportamento mensal do condomínio.....	62
Figura 6.13 Retorno mensal e anual aos investidores	63
Figura 6.14 Comportamento de simulações em Laboratório do Aerogera- dor.....	63
Figura 6.15 Comportamento de simulações em Laboratório do Aerogera- dor.....	64
Figura 6.16 Investimento 2	65
Figura 6.17 Indicadores de Investimento - Investimento 2.....	66
Figura 6.18 Indicadores de Investimento - Investimento 1, Investimento 2	66
Figura A.1 Retificador	73
Figura A.2 Inversor	73
Figura A.3 Inversor	74
Figura A.4 Inversor	74
Figura A.5 Filtro.....	74
Figura A.6 Transformador	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Situação Atual da geração de energia eólica	13
2	OBJETIVOS	23
2.1	Problema	23
2.2	Justificativa	23
2.3	Objetivo Geral	23
2.4	Objetivos Específicos	24
3	METODOLOGIA PROPOSTA	25
3.1	Definições Técnicas	26
3.2	Características	27
3.3	Sistema de Compensação de Energia	29
4	PROJETO DE INSTALAÇÃO	31
4.1	Levantamento de Carga	31
4.2	Aerogerador	32
4.3	Conversores	36
4.3.1	Conversor CA/CC - Retificador	37
4.3.2	Conversor CC/CA - Inversor	38
4.4	Transformador	40
4.5	Simulação Psim	42
5	TEORIA GERAL DO REGIME DOS VENTOS	45
6	ESTUDO DE CASO	51
6.1	Região a ser Analisada e Leitura Mensal dos Ventos	51
6.2	Análise Financeira	56
6.2.1	Introdução aos Indicadores de Investimento	56
6.2.2	Aplicação	58
6.2.3	Resposta aos Investidores	61
6.2.4	Geração de simulações em Laboratório x Geração Ideal	63
7	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÊNDICE A - APÊNDICE	73

1 INTRODUÇÃO

A energia extraída do vento é empregada pela humanidade há muito tempo, sendo que a utilização mais antiga conhecida foi por volta de 3500 a.C. no antigo Egito, onde tal força era utilizada para impulsionar embarcações a vela. Por volta de 200 a.C. já eram utilizados moinhos rústicos para bombear água na China e também moinhos de eixo vertical para moagem de grãos na Pérsia.

Entretanto, apenas no século XI os moinhos de vento passaram a ser utilizados no continente Europeu, sendo aprimorados primeiramente pelos holandeses e depois pelos ingleses e passaram a funcionar com eixo horizontal. No século XVIII havia mais de dez mil unidades somente na Holanda, empregados para a moagem de grãos, bombeamento de água e também para acionar serrarias.

Contudo, os moinhos foram aos poucos sendo desativados com o advento da revolução industrial e a utilização de máquinas a vapor. Com o surgimento e popularização da energia elétrica, também ocorreu o desenvolvimento de moinhos de vento com dimensões maiores para gerar eletricidade, sendo que a primeira ocorrência foi na Dinamarca em 1890. Mas o baixo custo de geração de energia elétrica utilizando combustíveis fósseis, fez com que o interesse nessa fonte de energia diminuísse, ganhando força novamente nos anos 70 com a crise do petróleo e também com o interesse pela preservação ambiental.

A utilização de unidades eólicas para a produção de eletricidade se iniciou no século XIX, precisamente em 1887 na cidade de Glasgow na Escócia, com a construção de um aerogerador de eixo vertical, pelo engenheiro e professor James Blyth. Em 1888, Charles Brush, construiu nos Estados Unidos da América um aerogerador equipado com um gerador elétrico de corrente contínua de 12kW de potência, acoplado a uma turbina de 144 pás, característico de moinhos de vento.

Em 1957 o engenheiro dinamarquês Johannes Juul construiu o primeiro aerogerador para transmissão em corrente alternada. Esse aerogerador possuía três pás e utilizava-se do estol aerodinâmico para controlar o torque aerodinâmico e seu gerador era de 200kW.

As primeiras turbinas eólicas com pás aerodinâmicas para a produção de energia elétrica foram introduzidas em meados do século XX, sendo que o primeiro artefato para produção em massa foi construído nos anos 50. Ainda,

o primeiro aerogerador comercial ligado à rede elétrica foi instalado em 1976, na Dinamarca.

O primeiro teste com uma unidade eólica com capacidade de geração maior que 1MW foi feito na França, em 1963, onde foi utilizada uma unidade de 1,1MW. Em 1981 construiu-se uma turbina de eixo horizontal de 3MW. Nos anos 90, a geração de energia elétrica usando aerogeradores tornou-se uma das mais importantes e sustentáveis formas de geração de energia. Em 1991 foi construído o primeiro parque eólico *offshore* em Vindeby na Dinamarca, formado por 11 unidades de 450kW cada, localizadas a 3km da costa.

Atualmente o maior aerogerador o mundo tem potência nominal de 7,5MW e possui aproximadamente 135 metros e pás de 58 metros de comprimento. Hoje, o maior parque eólico *onshore* do mundo é o Jaisalmer Wind Park, localizado na Índia, cuja potência instalada é de 1,064GW, entretanto a previsão é que até o ano de 2020 o maior parque eólico seja o Gansu, localizado na China com capacidade instalada de 20GW.

Conforme visto até aqui, inicialmente as turbinas eólicas eram pequenas e geralmente ligadas à rede de distribuição e raras vezes em rede de transmissão. Entretanto, nos últimos anos, as tecnologias de conversão de energia eólica têm se desenvolvido bastante, juntamente com o avanço da eletrônica de potência. As turbinas se tornaram mais robustas e com alto rendimento, atingindo a faixa de megawatts e se viabilizando em grandes usinas geradoras.

Os estudos focados em geração de fontes de energia alternativas são motivados, sobretudo pelo fato de que, mesmo em países como o Brasil com matriz energética baseada em fontes renováveis, como a hídrica, pode ocorrer a carência no abastecimento devido a problemas climáticos, como o que vivemos hoje por conta do baixo nível de água em alguns reservatórios em usinas hidráulicas, especialmente no Sudeste brasileiro.

A matriz energética ideal do nosso tempo agrega a diversidade de fontes de energia, variando na forma conforme a região. A eletricidade deverá ser fornecida por várias combinações dentre energia hídrica, fontes renováveis intermitentes (eólica e solar), biomassa e geotérmica. A principal característica de qualquer fonte de energia deverá ser sua eficiência e as companhias de eletricidade deverão agregar um conjunto de fontes de geração.

Nesse sentido, diversos países criaram incentivos fiscais com o intuito de desenvolver novas tecnologias e também aprimorar as já existentes para fontes renováveis de energia, especialmente a fonte oriunda dos ventos, tornando assim a energia eólica cada vez mais competitiva. No Brasil tal incentivo foi dado através do PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas. Tal programa tem estimulado o crescimento do investimento, principalmente em geração de energia eólica.

Mesmo com o crescente avanço na utilização de fontes renováveis para a produção de energia elétrica, é estimado que quase 1,5 bilhão de pessoas no mundo estão sem eletricidade, quase 600 milhões só na África. Muitas dessas redes consistem de geradores a diesel, com energias renováveis utilizadas para complementar a rede e compensar o uso do diesel como combustível.

O uso de energia eólica pode ser uma solução viável para essas redes, sendo que um grande desafio é, no entanto, a operação e manutenção dessas turbinas eólicas de pequeno porte (entre 1kW e 100kW), da disponibilidade de peças de reposição e técnicos qualificados para atuar em regiões remotas.

1.1 SITUAÇÃO ATUAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

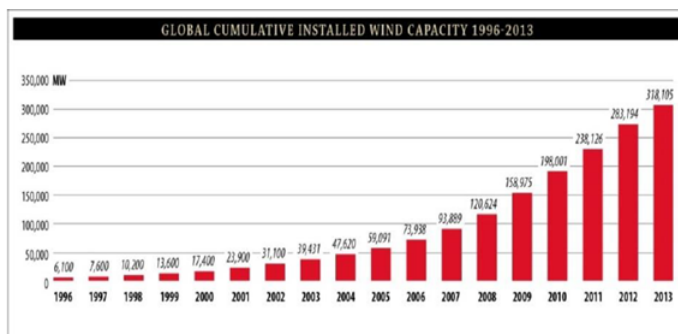
Um relatório publicado pelo Conselho Global de Energia Eólica (GWEC, 2014) – do termo em inglês – Global Wind Energy Council – em 2013 informa que a capacidade instalada de geração de energia eólica mundial passou de 6,1GW para 318,105 GW de 1996 a 2013, um aumento de mais de 52 vezes. Na prática, isso significa dizer que em 2013 a energia produzida a partir dos ventos em todo o mundo era equivalente a 20 hidroelétricas de Itaipu (IE – Instituto de Engenharia).

Segundo um otimista relatório do *Greenpeace*, de 21 de outubro de 2014, a capacidade de energia eólica produzida no mundo em 2030 poderá chegar a incríveis 2TW, sendo responsável por fornecer 19% de toda a energia elétrica consumida no mundo. Nesse mesmo documento é informado que no final de 2013 a capacidade instalada de energia originada dos ventos totalizou 318GW em todo o mundo, correspondente a 3% da eletricidade produzida no mundo. Esse último dado é fornecido por HORHAMMER (2014), conforme Figura 1.1. Nessa figura é mostrada a evolução da capacidade instalada de energia eólica ao longo dos anos em todo o mundo.

Entretanto, baseado em previsões da Agência Internacional de Energia, a GWEC publicou estudos mais conservadores que vislumbram um cenário um pouco mais moderado. Esses estudos são ancorados em políticas existentes de energia renovável e também supondo que a redução de emissões de gases poluentes que será discutida esse ano (2016) em Paris seja mais modesta. Nesse cenário mais conservador estima-se que a capacidade eólica instalada seja de 712GW em 2020, de 1.500GW até 2030 e cerca de 2.670GW até 2050. Significa dizer que a energia eólica pode suprir até 8% da demanda de energia elétrica global em 2020, de 13% a 15% até 2030 e cerca de 17 a 20% até 2050 (G1, 2015) e (GWEC, 2014).

Em um cenário mais otimista, baseado em taxas de crescimento mais ambiciosas e supondo acordos climáticos mais severos, a capacidade eólica

Figura 1.1 – Capacidade global instalada em 2013.



Fonte: GMEC 2014.

poderia alcançar 800GW, 2TW e 4TW em 2020, 2030 e 2050, respectivamente.

Mesmo com a evidente importância da utilização de fontes de energia renováveis, existem pessoas em algumas partes do mundo, especialmente na Europa que se opõe à energia eólica, por causa dos subsídios que os governos oferecem que elas afirmam ter contribuído para um aumento crescente nas contas de energia. Entretanto, a energia eólica é uma alternativa extremamente estratégica e necessária, visto que acrescenta uma nova capacidade à rede elétrica em números cada vez maiores. Nesse sentido, o custo para gerar energia a partir dos ventos só tende a cair.

Esse tipo de energia renovável compõe matrizes energéticas em diversos países no mundo inteiro, pois oferecem uma alternativa no suprimento de energia, em conjunto com outras fontes de energia renováveis. Em países como o Brasil, por exemplo, os picos de disponibilidade de energia oriunda dos ventos se opõem as condições de cheia de reservatórios de alguns rios, o que indica ser, a energia eólica, uma forte aliada no setor de geração de energia elétrica.

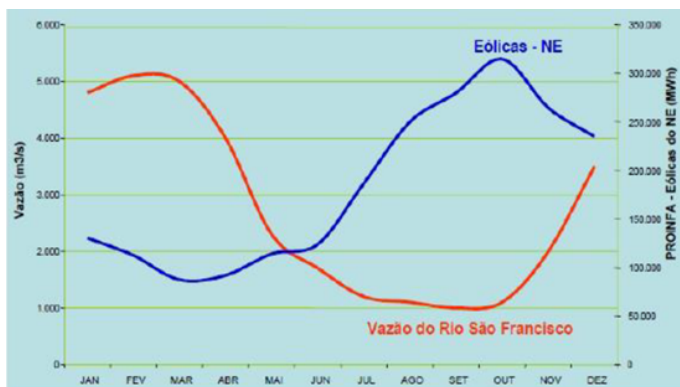
A Figura 1.2 apresenta um exemplo da sazonalidade entre usinas eólicas da região Nordeste, cujo potencial segundo (ANEEL, 2008) é de 75GW, e a vazão do Rio São Francisco (ELETROBRÁS, 2007).

No Brasil matriz energética é composta basicamente por fontes renováveis, devido à imensa produção de energia a partir de recursos hídricos, devido à geografia favorável do nosso país.

Entretanto, essa realidade não é pertinente em todos os países, onde os recursos hídricos são limitados. Esse fato, somado à crise do petróleo nos

anos 70 e à necessidade cada vez maior no investimento em energia limpa, fez com que diversos países criassem incentivos para gerar energia através de fontes alternativas, sobretudo energia eólica. Hoje o Brasil está entre os 15 países de maior capacidade instalada de energia eólica, sendo que em 2014 o Brasil ocupou o segundo lugar em expansão de energia eólica, ultrapassando a Alemanha e ficando atrás apenas da China (EPE, 2015).

Figura 1.2 – Sazonalidade das usinas eólicas do PROINFA para a região Nordeste.



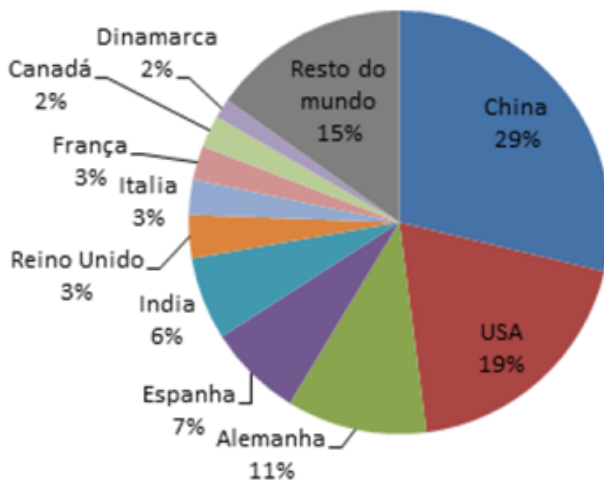
Fonte: ELETROBRÁS – (2007).

Os EUA e a Alemanha lideraram o ranking dos países em capacidade de energia eólica na primeira década do século XXI. Entretanto, devido a fortes investimentos, a China ultrapassou esses dois países, e segue em forte crescimento. As Figuras 1.3 e Figura 1.4 mostram a situação atual dos 10 primeiros países em capacidade de energia eólica instalada, até o final de 2013 (GWEC, 2014).

O crescimento da energia eólica nos cinco primeiros colocados em capacidade de energia eólica instalada, de 1997 até 2013 pode ser visto na Figura 1.5 até Figura 1.9. Nessas figuras é possível notar a evolução e consolidação da China em investimentos na área de energia eólica. A capacidade total instalada até 2004 contrasta totalmente com o súbito crescimento dessa fonte de energia no país.

Analisando os gráficos, dentre os quatro primeiros países, Estados Unidos da América, Alemanha e Espanha possuem uma política de investimentos em energia eólica bastante semelhante. Os três países tem um crescimento contínuo durante os últimos 17 anos e, mesmo que a China seja hoje

Figura 1.3 – 10 primeiros países em capacidade instalada de energia eólica em 2013 – Representação em percentagem.



Fonte: Próprio autor com base nos dados de GWEC – 2014.

o país onde mais se investe em energia eólica, tais países merecem destaque em relação à evolução e investimentos nessa área.

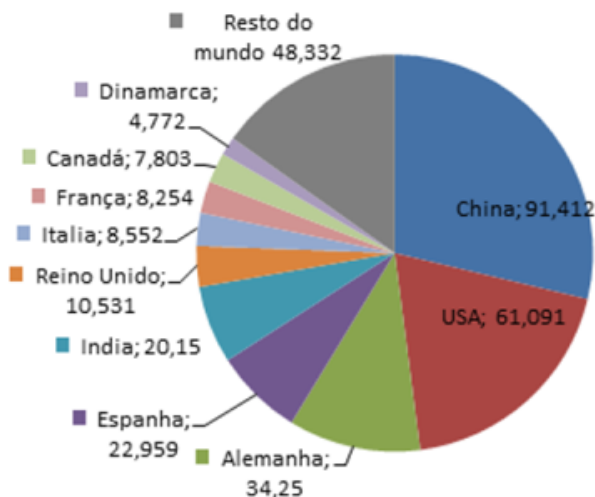
A Índia por sua vez, apresenta uma taxa de crescimento em capacidade de energia eólica instalada com características que se assemelham um pouco à China e um pouco com aos demais países. Apesar do crescimento da capacidade instalada ter aumentado ao longo dos 17 anos, foi a partir de 2005 que se deu um salto nessa capacidade.

Mesmo não aparecendo na lista dos 10 países em capacidade de energia eólica instalada, o Brasil está hoje na lista dos 10 países mais atraentes para investimento em energia eólica, e o décimo quinto país em capacidade de energia eólica instalada. Ainda, o país é o que tem maior capacidade de instalação de energia eólica dentre os países da América do Sul.

Destaca-se na Figura 1.10 as taxas de crescimento na capacidade de energia eólica instalada no Brasil, especialmente nos anos de 2006, 2009 e 2012, onde as taxas foram de 71,73%, 78,8% e 75,6%, respectivamente.

Todo esse crescimento está diretamente ligado aos investimentos propostos pelo governo federal por meio do PROINFA (Programa de Incentivo

Figura 1.4 – 10 primeiros países em capacidade instalada de energia eólica em 2013 – Representação em MW



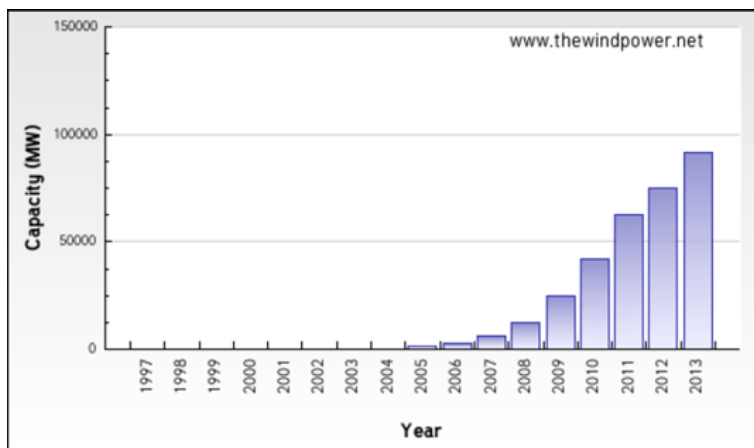
Fonte: Próprio autor com base nos dados de GWEC – 2014.

às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), através da Lei número 10.438, de 26 de abril de 2002, e revisado pela Lei número 10.762, de 11 de novembro de 2003.

O PROINFA tem por objetivo estratégico a diversificação da matriz energética brasileira, aumentando a segurança no abastecimento de energia em períodos de sazonalidade, além da valorização das características regionais e locais, através da criação de empregos e formação de mão de obra qualificada. Para exemplificar a importância do programa, através dessa iniciativa houve um crescimento substancial de 22MW em 2004 para 385MW em 2009, somando as usinas contratadas pelo programa com as que estão em operação comercial. Embora existam divergências nos dados, estima-se que hoje o potencial eólico no Brasil possa chegar a 140GW, o que corresponde a 11 usinas de Itaipu (ANEEL, 2008).

De acordo com o PN30 200, Plano Nacional de Energia 2030, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia com a colaboração da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), o potencial eólico do país juntamente com os investimentos no setor tem atraído fabricantes e representantes dos principais países relacionados às tecnologias envolvidas. Exemplo disso, são empresas

Figura 1.5 – Capacidade instalada da China em 2013 de 91,412GW



Fonte: STATISTICS – (2014).

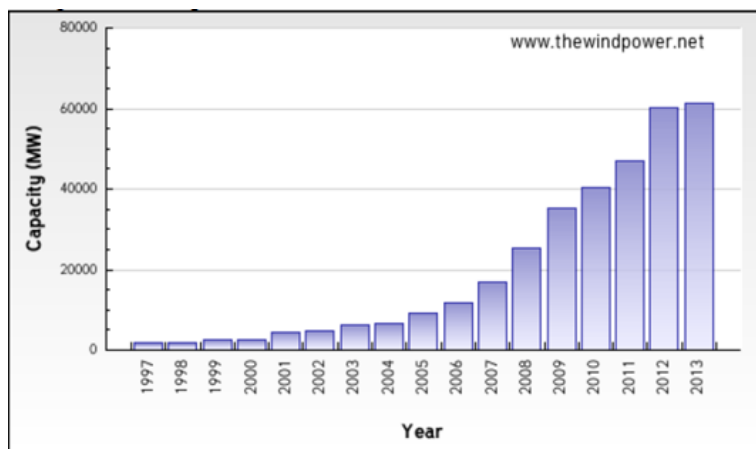
presentes no Brasil que comercializam aerogeradores de grande porte, como a Alston, ACCIONA, Gamesa, GE Energy, Siemens, Suzlon Energia Eólica do Brasil, Vestas do Brasil Energia Eólica e a WEG Equipamentos Elétricos, sendo essa última uma multinacional brasileira. Além dessas empresas destaca-se também a empresa brasileira Tectis Tecnologia e Sistemas Avançados, que é líder no mercado norte americano produzindo pás personalizadas de alta qualidade para os maiores produtores de turbinas eólicas do mundo.

Ainda assim, os investimentos no país podem ser considerados pequenos se comparados com outras potências econômicas, sobretudo com a China, que detém os planos mais ambiciosos no setor, desejando chegar em 2020 com cerca de 200MW de potência instalada de energia eólica.

Contudo, apesar da consolidação dos setores eólicos no mundo, 2015 será um ano teste em muitos países que enfrentam mudanças a favor e contra tal fonte de energia renovável (ABEEólica, 2015). Além da implementação de novas metas globais para renováveis anunciadas por países como a Índia, a França e os países do Oriente Médio e do Norte da África, a corrida para se beneficiar dos incentivos também deve fomentar o setor esse ano, já que muitos países estão reduzindo os subsídios para as renováveis.

Um exemplo disso é a China que deve colocar entre 22GW a 25GW de potência em novos parques eólicos ainda esse ano, com o objetivo, por

Figura 1.6 – Capacidade instalada dos EUA em 2013 de 60,911GW.



Fonte: STATISTICS – (2014).

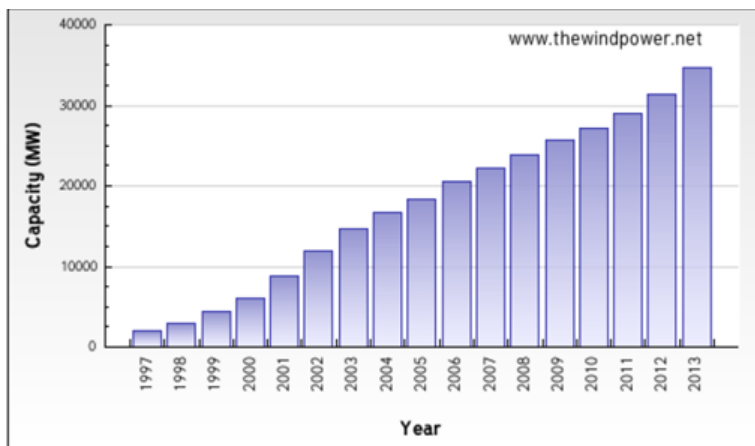
parte dos fabricantes, de receber o subsídio direto, antes que sejam reduzidos. Já na América Latina, o destaque é o Brasil, como já mencionado.

O Brasil é destaque não somente pela capacidade de energia eólica instalada, mas também virou referência entre seus vizinhos por conta do sucesso do modelo de leilões competitivos. O Chile, por exemplo, já considera mudanças na legislação, enquanto o Peru deve organizar um leilão para as fontes solar e eólica (ABEEólica, 2015).

Outras fontes de energia alternativa, como a fotovoltaicas também têm crescido, especialmente a fotovoltaica distribuída, que terá um ano de 2015 de plena expansão. Seja qual for à fonte de energia, desde que seja alternativa e limpa, sem o uso de queima de combustíveis fósseis ou geração de resíduo nuclear, essa fonte terá grandes investimentos e incentivos dos principais países do mundo nos próximos anos.

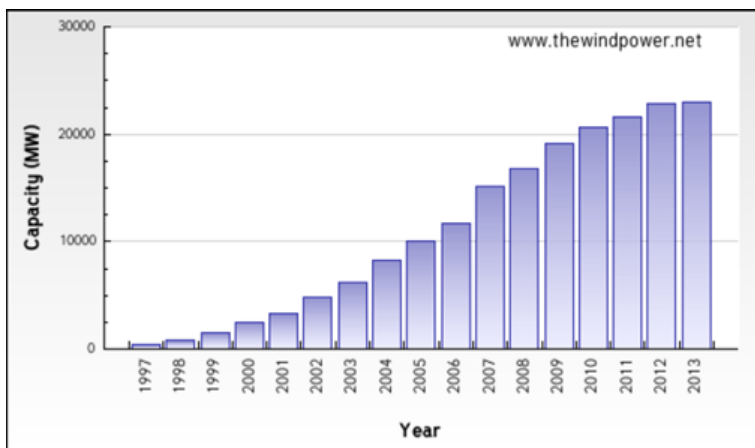
A Figura 1.11 representa a distribuição dos ventos do Brasil e a Figura 1.12, representa as principais características da geração eólica. Figuras utilizadas como base desse estudo.

Figura 1.7 – Capacidade instalada da Alemanha em 2013 de 34,25 GW.



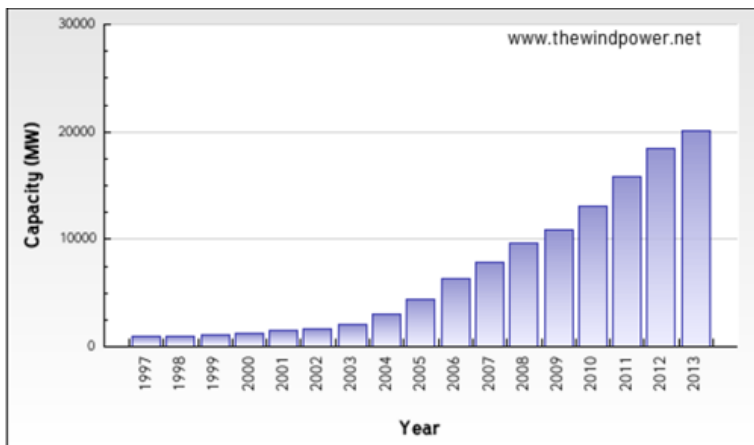
Fonte: STATISTICS – (2014).

Figura 1.8 – Capacidade instalada da Espanha a em 2013 de 22,959 GW.



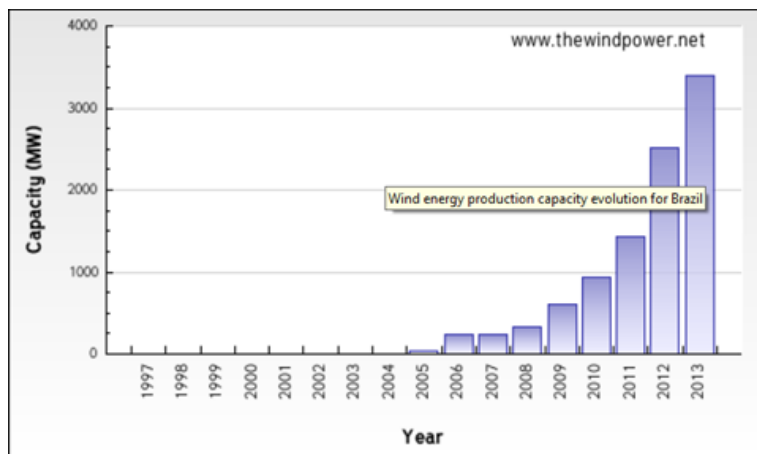
Fonte: STATISTICS – (2014).

Figura 1.9 – Capacidade instalada da Índia em 2013 de 20,15 GW.



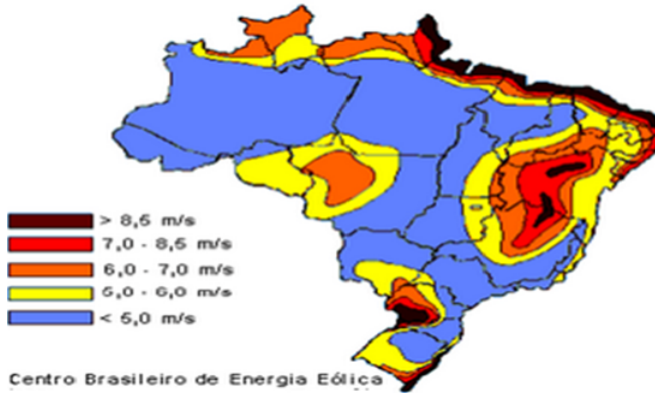
Fonte: STATISTICS – (2014).

Figura 1.10 – Capacidade de energia eólica instalada no Brasil.



Fonte: STATISTICS – (2014).

Figura 1.11 – Mapa dos ventos no Brasil.



Fonte:STATISTICS – (2014).

Figura 1.12 – Comparativo entre os tipos de geração

Item	Térmica(Sol)	Fotovoltaica	Hidrelétrica	Eólica
Custo Inicial	Alto	Alto	Muito Alto	Médio
Custo Operacional	Médio	Médio	Muito Baixo	Baixo
Eficiência Energética	15%	5-10%	80%	42%
Impacto Ambiental	Médio	Alto	Muito Alto	Baixo
Alta Escala	Muito Caro	Muito Caro	Possível	Possível
Baixa Escala	Não	Difícil	Difícil	Sim
Capacidade Unitária	1000MW	Depende da área	2000 - 6000MW	Variável

Fonte:STATISTICS – (2014).

2 OBJETIVOS

Nesse capítulo serão apresentados os objetivos desse trabalho.

2.1 PROBLEMA

O estudo da viabilidade realizado nesse trabalho, levou em consideração o alto potencial eólico presente no Brasil, como pode-se observar através da Figura 1.11, como também o qual apresenta maior acessibilidade de implantação, quando fala-se em mini ou microgeração (Figura 1.12). O potencial eólico no Brasil não é aproveitado.

2.2 JUSTIFICATIVA

Baseada na Resolução Normativa 482 que permite geração e "comercialização" de energia, propõe-se realizar uma análise técnico financeira de implantação de unidades de geração eólica de pequeno porte em um condomínio.

A aquisição de dados em relação ao comportamento do vento na cidade de Joinville foi realizado e autorizado pela Prefeitura de Joinville, juntamente com Secretária de Proteção e Segurança Pública/Defesa Civil.

2.3 OBJETIVO GERAL

Verificar a viabilidade da implantação de um número mínimo de aerogeradores em um prédio residencial para que se tenha um retorno econômico em um período considerado de médio ou curto prazo, ou seja, entre 5 e 15 anos. Durante esse estudo de viabilidade, não serão analisados apenas os aerogeradores, mas também o perfil do edifício que permitirá a implantação dessa tecnologia, assim como o custo dos conversores, transformador e o custo de instalação e manutenção.

2.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Análise do aerogerador;
- Análise dos conversores;
- Análise do transformador;
- Análise dos ventos;
- Diminuição dos gastos com energia elétrica;
- Período de retorno econômico em relação ao investimento realizado;
- Documentação dos resultados e análise obtidos;

3 METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo é apresentada a metodologia desenvolvida que permitiu a realização deste trabalho, apresentando a Resolução Normativa 482 (RN482) que possibilitou a realização do estudo de caso de análise técnico financeira da instalação de um sistema eólico em um edifício residencial localizado na cidade de Joinville-SC.

A resolução normativa 482 (RN 482) aprovada em 17 de abril de 2012 pela ANEEL tem por objetivo criar um sistema de compensação de energia que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local.

Essa compensação tem diversos benefícios ao sistema elétrico como: redução dos investimentos necessários para a ampliação nas redes de transmissão e distribuição; diminuição de perdas na circulação de energia, ocasionando maior eficiência energética e também, o aumento da competitividade no comércio de energia, fazendo com que as tarifas e custos tendam a diminuir.

Porém, esse mecanismo restringe a microgeração e minigeração ao uso próprio do consumidor/gerador, não permitindo a comercialização da energia não consumida. Eventuais excedentes de energia verificados em um determinado horário, deverão gerar créditos para o consumidor/gerador em relação à distribuidora, podendo ser compensado pelos seguintes débitos:

- Débitos verificados em outros horários dentro do mesmo ciclo de faturamento;
- Consumo médio no último ano subsequente à data do faturamento;
- Débitos da distribuidora contra outras unidades consumidoras do mesmo titular ou a ele reunidas por comunhão de interesses de fato (áreas contíguas) ou de direito (inscritos no mesmo CNPJ), desde que sejam atendidos pela mesma distribuidora;

Com o intuito de facilitar e tornar atrativa a implementação do sistema de geração compensação de energia elétrica, a ANEEL dividiu os custos referentes à instalação de micro e mini usinas entre o consumidor/gerador e a distribuidora. Assim, o consumidor/gerador deve arcar somente com os custos relativos à adequação do sistema de medição ao sistema de compensação ao passo que a distribuidora se responsabilize por adequar os sistemas comerciais e elaborar normas técnicas.

3.1 DEFINIÇÕES TÉCNICAS

Primeiramente para saber quem tem direito ao acesso de microgeração e minigeração, devemos conhecer algumas definições técnicas para o bom entendimento da Resolução Normativa 482 e também da instrução Normativa Cellesc:

- Microgeração distribuída: fonte geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100KW e que atenda as regulamentações da ANEEL, conectada ao sistema através de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração distribuída: fonte geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100KW e menor ou igual a 1MW, que atenda as regulamentações da ANEEL, conectada ao sistema através de instalações ou unidades consumidoras;
- Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda;
- Energia Elétrica Ativa: é aquela que efetivamente produz um trabalho útil. Sua unidade é medida em KWh;
- Energia Elétrica Reativa: é aquela que não produz trabalho, porém é indispensável para produzir o fluxo magnético necessário ao funcionamento dos motores e transformadores. Entretanto, a energia reativa “ocupa espaço” no sistema que poderia ser usado por mais energia ativa. Essa é expressa em KVArh.
- Unidade Consumidora: conjunto de instalação e equipamentos elétricos, caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor.
- Sistema Elétrico de baixa tensão (BT): é toda e qualquer parte do sistema elétrico da concessionária que esteja operando nas tensões nominais de 380/220 ou 440/220;

- Sistema elétrico de Média Tensão (MT): é toda e qualquer parte do sistema elétrico da concessionária que esteja operando nas tensões nominais de 13,8KV, 23KV ou 34,5KV;

A Figura 3.1 caracteriza o nível de tensão de conexão de acordo com a potência.

Figura 3.1 – Nível de Tensão de Conexão

Potência Instalada	Nível de Tensão da Conexão
Até 15 kW	Baixa Tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
Acima de 15 kW até 25 kW	Baixa Tensão (bifásico ou trifásico)
Acima de 25 kW até 75 kW	Baixa Tensão (trifásico)
Acima de 75 kW até 1.000 kW	Média Tensão

Fonte: NR 482

3.2 CARACTERÍSTICAS

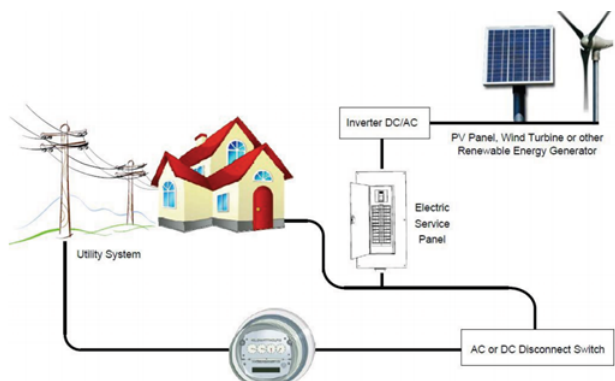
O incentivo da mini e micro geração distribuída tem como propósito geral, melhorar a qualidade de energia em todo o âmbito nacional. Também tem reflexos positivos em relação ao baixo impacto ambiental, afinal, a fonte de geração é considerada limpa (solar, eólica e biomassa). Por sua estrutura ser de pequeno porte, apresenta um menor número de implantação, ao contrário de grandes usinas. Por estar muito próximo ao consumidor final, reduz as perdas nas linhas de transmissão e também o carregamento nas redes.

Todos os fatores citados refletem em uma maior confiabilidade no sistema de geração e distribuição, além de diversificar a matriz energética nacional, fato esse primordial, diante dos escassos recursos naturais da terra.

Em contrapartida, há algumas dificuldades alegadas na implantação da mesma. Uma delas seria o aumento da complexidade de operação. Outros pontos referem-se à parte técnica como: o controle do nível de tensão da rede no período de carga leve, alterações dos níveis de curto-circuito das redes, aumento da distorção harmônica. Além disso, por se tratar de uma solução recente, ainda tem um alto custo de implantação e um tempo de retorno elevado para o investimento.

A Figura 3.2 consiste nos elementos básicos que deve conter uma mini/microgeração distribuída.

Figura 3.2 – Estrutura básica de uma mini/microgeração distribuída



Fonte: NR 482

3.3 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

Consiste na medição do fluxo de energia em uma unidade consumidora que possui uma mini ou microgeração através de medidores bidirecionais. Conhecidos também por netmetering, resulta no faturamento da unidade geradora conectada à rede, calculando a diferença entre a quantidade de energia consumida e a quantidade gerada. No modelo mais simples e adotado não há armazenamento de energia gerada e a medição líquida da energia aponta para três situações:

- Quantidade de energia gerada menor que a quantidade de energia consumida: o valor a ser faturado corresponde à energia consumida descontada da energia gerada.
- Quantidade de energia gerada igual à quantidade de energia consumida: não há faturamento na unidade geradora conectada à rede ou, apenas o pagamento de um valor mínimo, estipulado em regulamentação específica.
- Quantidade de energia gerada maior que a quantidade de energia consumida: a diferença é injetada na rede da distribuidora e gera créditos para compensação na fatura de energia elétrica em meses subsequentes.

Se a geração de energia for maior que o consumo de energia, o consumidor receberá um crédito em energia (isto é, em KWh e não em dinheiro) na próxima fatura. Caso contrário, ele pagará apenas a diferença entre a energia consumida e a gerada, mantida apenas o custo de disponibilidade. Os créditos terão prazo de validade de 12 meses.

A Figura 3.3, consiste no Medidor Bidirecional fornecido pela CELESC, após a aprovação do projeto.

O projeto de mini/microgeração distribuída é considerado de fácil implementação, pois consiste basicamente de 4 equipamentos:

- Aerogerador;
- Inversor;
- Transformador;
- Consumidor Final;

Figura 3.3 – Medidor Bidirecional



Fonte:NR 482

4 PROJETO DE INSTALAÇÃO

Nesse capítulo serão abordada as etapas referentes ao projeto de instalação.

O objetivo inicial desse trabalho é diminuir ao máximo os investimentos iniciais para implantação dessa tecnologia em um edifício residencial de 10 andares, localizado no Joinville Iate Clube , tendo como propósito, um retorno econômico em um tempo considerável de baixo ou médio prazo. Diante de tal propósito buscou se fabricantes nacionais, visando diminuir os custos referentes ao frete e à manutenção preditiva e preventiva.

Uma característica importante desse projeto é o fato de não utilizar o sistema com baterias. Primeiramente devido à não fabricação nacional bem como ao fato de tal equipamento elevar consideravelmente o custo do projeto como um todo.

O projeto mini/microgeração distribuída consiste de 5 etapas, conforme Figura 4.1.

Figura 4.1 – Etapas do projeto de instalação



Fonte: Próprio autor

4.1 LEVANTAMENTO DE CARGA

Antes de iniciarmos o projeto de instalação, será realizado um levantamento de carga, visando especificar o nível de tensão da conexão e as especificações técnicas do transformador e inversor.

Considerando um edifício de 10 andares localizado na região Joinville Iate Clube, foi realizado um levantamento de carga, conforme Figura 4.2

Figura 4.2 – Levantamento de carga

Levantamento de Carga - Edifício de 10 andares	
Equipamentos Eletrônicos	Potência(W)
2 Elevadores(7,5cv)	5520
2 Bombas de Recalque D'água(3cv) - 1 reserva	2207
2 Bombas de Água de Drenagem Pluviais(1cv)- 1 reserva	735,5
2 Bombas para sistemas de combate a incêndio(5cv) - 1 reserva	3678
1 portão da garagem(0,5cv)	368
10 câmeras de monitoramento	31,3
1 monitor de segurança	70
Iluminação Externa(8 Lâmpadas:LED=7W)	32
Iluminação da Recepção(6 Lâmpadas:LED=7W)	35
Iluminação dos corredores(4 Lâmpadas- 10 andares:LED=7W)	280
Iluminação Área de Festa(8 Lâmpadas:LED=7W)	32
Iluminação da Garagem(20 Lâmpadas:LED=7W)	140
5 ventiladores(Área de Festa + Recepção)	500
1 Refrigeradores(Área de Festa + Recepção)	1000
Microondas	1200
1 Cortador de grama	1300
10 Leds - Iluminação do Jardim(LED=3W)	30
Iluminação da Área de Festa	200
2 Televisores(Área de Festa + Recepção)	180
Grill	1200
2 Torneiras Elétricas	3000
1 Cd player	30
Total	21768,8

Fonte: Próprio autor

4.2 AEROGERADOR

Com o apoio e autorização da empresa Metalúrgica Fratelli, localizada no município de Santa Rosa – RS, foram fornecidas as informações técnicas e valores referentes ao aerogerador fabricado pelo mesmo. Este apresenta uma potência de geração de 2KVA, quando operando na velocidade nominal, conforme FRATELLI (2015).

A Figura 4.3 representa a imagem do aerogerador, fornecida pelo fabricante, considerado nesse projeto.

Figura 4.3 – Aerogerador



Fonte:Próprio fabricante

Características do produto:

- Segurança e robustez mecânica, oferecidas pela estrutura de alumínio fundida;
- Eficiência na geração de energia, com imãs de altíssima qualidade;
- Baixo nível de ruído e ótimo desempenho de pás injetadas;
- Excelente condição aerodinâmica, com carenagem em plástico rotomoldado;
- Sistema de controle eletrônico por microprocessador;

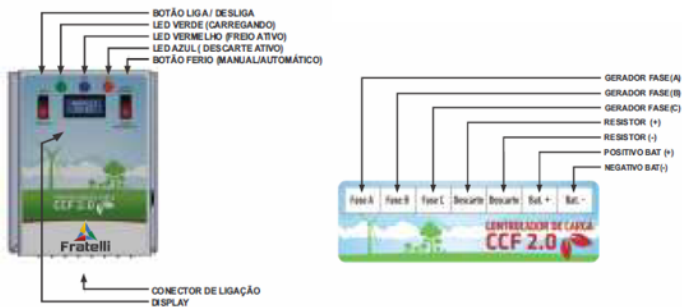
Características técnicas do controlador de Carga CCF – 2.0

O controlador de carga CCF – 2.0 foi desenvolvido para utilização em aerogeradores com potência de até 2KW, tendo como principais características:

- Retificador e freios integrados;
- Controle total da turbina e da produção de energia;
- Dissipação por convecção, não necessita de ventilação forçada por *cooler* ou ventiladores;
- Sistema de controle microcontrolados;
- *Display* de indicação cíclica, que alterna entre os dados de tensão e corrente automaticamente;
- Sensor de temperatura interno;
- Sensor de temperatura de banco de bateria (opcional);

O controlador presente no aerogerador, é de fácil compreensão, sendo bastante intuitivo, conforme Figura 4.4.

Figura 4.4 – Controlador



Fonte: Próprio fabricante

As especificações técnicas de instalação estão de acordo com a Figura 4.5

Características técnicas da turbina:

- Diâmetro do rotor – 3.10 m;
- Potência a 12.5 m/s – 2000VA;

Figura 4.5 – Especificações Técnicas

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
➤ Tensão máxima de entrada (CA)	30 V
➤ Tensão máxima de saída (CC)	MODO 12V : 13,3V
	MODO 24V : 26,6V
➤ Tensão de bloqueio do gerador	MODO 12V : 14,7V
	MODO 24V : 27,6V
➤ Corrente de carga máxima	50A
➤ Resistência de descarte	2Ω até 0,5Ω / >= 800W
➤ Temperatura de trabalho máxima	60°C

Fonte: Próprio fabricante

- RPM a 12.5 – 650 RPM;
 - Número de pás – 3 (Eixo horizontal);
 - Material das pás – PAG (Poliamida reforçada com fibra de vidro);
 - Ângulo de ataque – Fixo ajustável na instalação de 30 a 55 graus;
 - Velocidade de início de produção de – 3.5 m/s;
 - Torque da turbina para início de produção – 1.9Nm;
 - Controle de velocidade – chaveamento eletrônico a PWM;
 - Proteção contra altas velocidades – Freio eletromagnético com resistor de frenagem;
 - Alternador – Assíncrono de fluxo axial com ímãs permanentes de Neodímio;
 - Peso total – 35Kg(Turbina Completa);
 - Material Anti Corrosão –Alumio/Inox/Poliamida PAG/PPG;
- Características técnicas do alternador:
- Saída – Trifásica;
 - Tensão máxima de saída em Circuito aberto – 45 VCA;
 - Tensão máxima em saída de Circuito fechado – 30 VCA;
 - Corrente de curto circuito – 50 A;

Itens Incluídos:

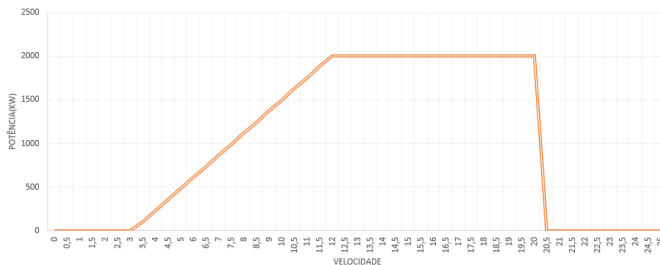
- 1 Kit turbina Eólica (GEF – 1.0);
- 1 Controlador de carga CCF – 2.0;
- 1 suporte para fixação CCF – 2.0;

Itens não incluídos:

- Inversores CC/AC;
- Projeto / Solicitação de Acesso à Rede Elétrica;

A Figura 4.6 representa o comportamento de geração do aerogerador, conforme (FRATELLI, 2015).

Figura 4.6 – Velocidade do vento x Potência



Fonte: Fratelli

A resolução normativa 482 estabelece que o consumidor/gerador comprometa-se em manter o padrão das normas técnicas designado pela Celesc, visando a implantação da conexão.

Foram utilizados dois conversores. O primeiro é um conversor CA/CC, ou seja um retificador trifásico a diodo com ponto médio, representado na Figura 4.7. O segundo é um inversor (CC/CA) conforme Figura 4.8.

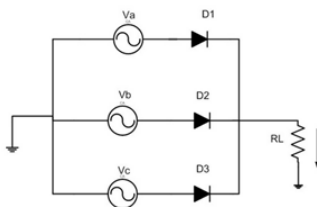
4.3 CONVERSORES

Nessa seção serão estudados os conversores para a condicionamento de energia do aerogerador.

4.3.1 Conversor CA/CC - Retificador

O circuito apresentado na Figura 4.7 pode ser considerado uma associação de três retificadores monofásicos de meia onda. Cada diodo é associado a uma das três fases da rede. Nesse tipo de retificador é indispensável o emprego do neutro do sistema de alimentação, conforme BARBI (2012a).

Figura 4.7 – Retificador trifásico a diodo com ponto médio



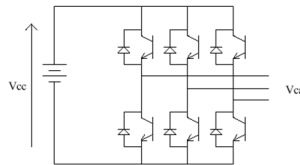
Fonte: Eletrônica de Potência – IVO BARBI

4.3.2 Conversor CC/CA - Inversor

O segundo é um conversor CC/CA, é o mais comum dos tipos de conversores CC/CA. O sinal alternado gerado na saída comporta-se como uma fonte de tensão alternada, com valor médio nulo. A tensão contínua na entrada pode ser originada a partir da saída de um retificador alimentado pela rede elétrica CA. Em outros casos, a tensão contínua de entrada pode ser originada a partir de uma fonte independente, como por exemplo, um banco de bateria ou um conjunto de painéis solares fotovoltaicos, conforme BARBI (2012b).

O conversor CC/CA trifásico de tensão, representado na Figura 4.8, com forma de onda retangular na saída, é uma das estruturas mais empregadas na indústria, normalmente aplicada em altas potências. Sua popularidade deve-se em princípio ao fato de ser um eficiente meio de se obter tensões trifásicas com frequência controlável.

Figura 4.8 – Inversor trifásico de tensão com diodos de roda-livre



Fonte: Introdução ao estudo dos conversores CC-CA – IVO BARBI

O inversor utilizado foi o Sunny Boy 2500, conforme Figura 4.9, caracterizado pela Figura 4.10, desenvolvido para trabalharem sincronia com a rede elétrica, pois possui a tecnologia *grid-tie*. Essa tecnologia tem a característica de que quando o mesmo é conectado, ao sistema de distribuição, há a necessidade de sincronizar a sua frequência de operação com a rede da concessionária, conforme NEOSOLAR (2015).

Além dessa importante característica, seu sistema de proteção há um mecanismo de “anti ilhamento”, garantindo que o sistema energize a rede quando o inversor for desligado, evitando acidentes com as pessoas responsáveis durante procedimentos de manutenção. Outras particularidades relacionadas à proteção do dispositivos são:

- Proteção contra inversão de polaridade;

- Interruptor-seccionador (ESS DC): como o próprio nome diz, ele engloba as duas funções, fazendo com que seja desnecessários a instalação de um interruptor ou disjuntor, facilitando a montagem do dispositivo, além de diminuir custos;
- Proteção contra curto circuito AC;
- Monitoramento de falha de aterramento;
- Monitoramento da rede elétrica (SMA Grid Guard – Consiste a infraestrutura que integra equipamentos e redes de comunicação de dados ao sistema de fornecimento de energia elétrica);
- Isolamento Galvânico AC: O isolamento galvânico é um princípio onde é evitado o fluxo de corrente, não existindo caminhos de condução metálicos. Ela é usada quando dois ou mais circuitos devem se conectar, mas seus terras devem estar em potenciais diferentes;

Figura 4.9 – Inversor Trifásico- SUNNY BOY 2500



Fonte:Próprio fabricante

Figura 4.10 – Características Técnicas

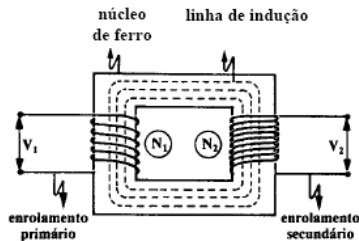
Technical data	Sunny Boy 1200	Sunny Boy 1700	Sunny Boy 2500	Sunny Boy 3000
Input (DC)				
Max. DC power (@ $\cos \phi = 1$)	1320 W	1850 W	2700 W	3200 W
Max. DC voltage	400 V	400 V	600 V	600 V
MPP voltage range	100 V - 320 V	147 V - 320 V	224 V - 480 V	268 V - 480 V
DC nominal voltage	120 V	180 V	300 V	350 V
Min. DC voltage / start voltage	100 V / 120 V	139 V / 180 V	224 V / 300 V	268 V / 330 V
Max. input current / per string	12.6 A / 12.6 A	12.6 A / 12.6 A	12 A / 12 A	12 A / 12 A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	1 / 2	1 / 2	1 / 3	1 / 3
Output (AC)				
AC nominal power (@ 230 V, 50 Hz)	1200 W	1550 W	2300 W	2750 W
Max. AC apparent power	1200 VA	1700 VA	2500 VA	3000 VA
Nominal AC voltage; range	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V
AC grid frequency; range	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz
Max. output current	6.1 A	8.6 A	12.5 A	15 A
Power factor ($\cos \phi$)	1	1	1	1
Phase conductors / connection phases	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Efficiency				
Max. efficiency / Euroeta	92.1 % / 90.9 %	93.5 % / 91.8 %	94.1 % / 93.2 %	95.0 % / 93.6 %

Fonte: Próprio fabricante

4.4 TRANSFORMADOR

O transformador é um dispositivo elétrico que transfere energia elétrica de um circuito elétrico para outro, através de um acoplamento magnético, conforme Figura 4.11.

Figura 4.11 – Esquemático do Transformador



Fonte: MSPC

Existem dois tipos de transformador em relação a sua construção:

De acordo com a Figura 4.12, o transformador a seco apresenta um tamanho menor e uma maior segurança em relação ao transformador a óleo. Porém o transformador a seco possui um maior custo. Devido ao fato do transformador a seco apresentar uma maior segurança e manutenção praticamente inexistente, o mesmo será utilizado. Transformadores a seco são

Figura 4.12 – Comparativo entre os transformadores



Fonte: Mag transformadores

utilizados em locais que apresentam uma grande circulação de pessoas, devido a não presença de óleo em seu interior, diminuindo consideravelmente o risco de explosão.

Nesse trabalho será utilizado um transformador trifásico a seco (2KVA) elevador de tensão, Figura 4.13. A tensão no enrolamento primário é de 26,6V, conforme Figura 4.5 e tensão no enrolamento secundário é de 380/220, conforme KIMARKI (2015).

Figura 4.13 – Transformador a seco



Fonte: KIMARKI(fabricante)

As especificações técnicas são apresentadas na Figura 4.14:

Figura 4.14 – Especificações Técnicas

Transformador	
Equipamento	Transformador Isolado seco
Quantidade	1 peça
Potência	2 KVA
Tensão Primária	26,6 V
Ligação Primária	Triângulo
Tensão Secundária	380 RMS
Ligação Secundária	Estrela com Neutro
Classe de Isolamento	0,6 KV
Classe de Temperatura	B (130°)
Número de Fases	Trifásico
Enrolamento	Alumínio impregnado com verniz
Frequência	60 Hz
Refrigeração	A seco
Blindagem Eletrostática	Não

Fonte: KIMARKI

4.5 SIMULAÇÃO PSIM

Nessa seção serão simulados todos os componentes apresentados através do software PSIM. Será apresentada a simulação do filtro, componente que não foi apresentado, porém o mesmo está presente no inversor, ou seja, quando citado o inversor, temos a presença tanto do inversor quanto do filtro.

As simulações utilizadas nesse trabalho constam no Apêndice A.

Conforme Figura 4.15 o sistema foi dividido em 5 partes.

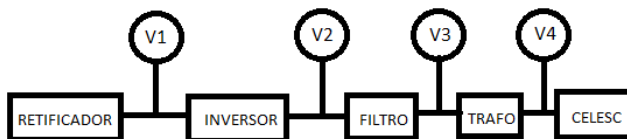
A Figura 4.16 representa:

- V1: Tensão de saída do retificador;
- V2: Tensão de saída do inversor;
- V3: Tensão de saída do filtro;

A Figura 4.17 representa:

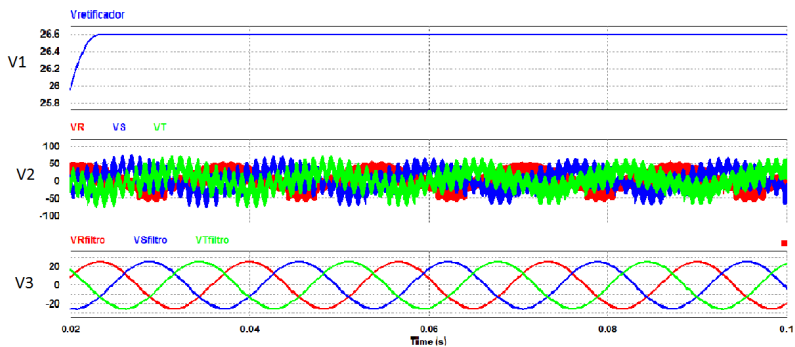
- V4: Tensão de saída do transformador;

Figura 4.15 – Diagrama da Simulação



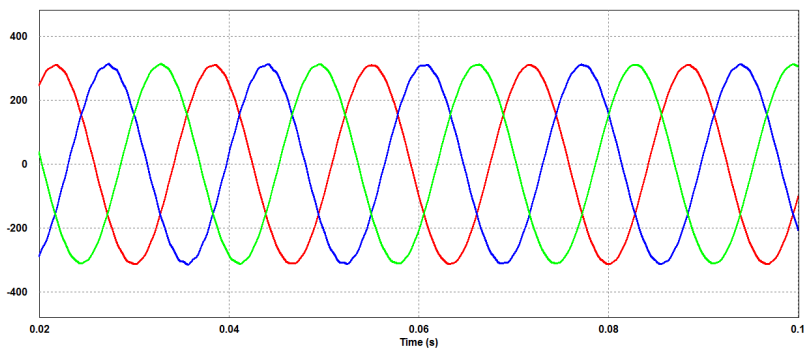
Fonte:Próprio autor

Figura 4.16 – V1;V2;V3



Fonte:Próprio autor

Figura 4.17 – V4



Fonte:Próprio autor

5 TEORIA GERAL DO REGIME DOS VENTOS

Nesse capítulo serão abordados as principais características da teoria do regime dos ventos.

A caracterização do recurso eólico depende de diversos parâmetros que condicionam, de forma mais ou menos determinante, o escoamento atmosférico de um dado local ou de uma dada região, sendo os seguintes aspectos os mais relevantes neste tipo de estudo, conforme (JERVELL, 2008).

- Caracterização do regime dos ventos do local;
- Topografia local
- Rugosidade
- Obstáculos
- Lei de Betz

Características:

A correta caracterização do escoamento atmosférico num dado local passa, necessariamente, pela medição das características de vento. Os estudos experimentais de medição são normalmente realizadas nos locais onde se pretende instalar os parques eólicos durante um período significativo de forma a reduzir as incertezas associadas à variabilidade anual do escoamento atmosférico.

Topografia local:

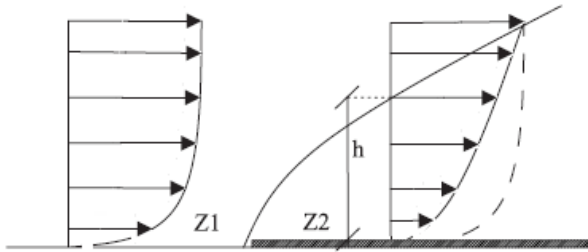
A ortografia constitui um dos elementos mais importantes na caracterização do escoamento de um dado local, dada a sua elevada dependência da complexidade do terreno em análise (terreno plano, elevações de declive suave ou terreno montanhoso).

Rugosidade:

A rugosidade de um terreno é o conjunto de elementos, árvores, arbustos, vegetação rasteira e pequenas construções sobre a superfície do solo que causam resistência na superfície terrestre à passagem do escoamento e podem

originar mudanças da direção e pequenas turbulências na superfície. Uma teoria que pode ser aplicada no caso do escoamento do vento sobre a superfície terrestre é a teoria da camada limite sobre uma placa plana. Esta demonstra que existe uma variação de velocidades do escoamento com o vertical sendo a velocidade na superfície nula e aumentando com o aumento da distância à placa, até atingir a velocidade de escoamento não perturbado. Esta variação é designada por perfil vertical de velocidades. Um exemplo da variação do perfil vertical de velocidades do vento em relação à diferença de rugosidade na superfície terrestre pode ser visto na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Rugosidade



Fonte: (JERVELL, 2008)

Para se observar a influência no perfil vertical do escoamento devido à mudança de rugosidade $Z1$ para $Z2$. A determinação da altura h torna-se de grande importância no posicionamento dos aerogeradores num determinado local, uma vez que, pode influenciar na produção de um aerogerador e nas questões cíclicas a que estão sujeitas, quando giram num campo de velocidade que varia na vertical. Em energia eólica são utilizados normalmente dois modelos matemáticos para prever o perfil vertical da velocidade: a lei logarítmica e a lei de potência. Contudo, ambos estão sujeitos a uma incerteza, devido à natureza complexa dos escoamentos turbulentos e pela dificuldade em caracterizar a superfície. A 'Lei da potência' é o modelo mais simples, de fácil utilização e pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$V(z) = V(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (5.1)$$

Onde:

α - o expoente da lei de potência.

$V(z_r)$ – velocidade do vento em que ocorreu a leitura

$V(z)$ - Velocidade do vento na altura desejada

z – altura desejada

z_r – altura em que ocorreu a leitura

O expoente α , utilizado na lei de potência, apresenta variação de acordo com o ambiente a ser analisado.

Figura 5.2 – Expoente α para diferentes tipos de superfície.

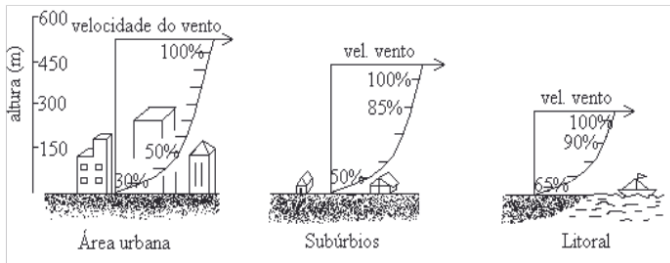
Descrição da superfície terrestre	α
Superfície lisa, lago ou oceano	0,10
Relva	0,14
Vegetação rasteira (até 0,3m), árvores ocasionais	0,16
Arbustos	0,20
Árvores, construções ocasionais	0,22-0,24
Áreas residências	0,28-0,40

Fonte: (JERVELL, 2008)

Na prática, o expoente α é altamente variável de acordo a altura, dia, estação do ano, velocidade do vento, natureza do terreno, temperatura e muitos outros mecanismos mais ou menos complexos.

Na Figura 5.3, temos a relação do aproveitamento em relação à altura de acordo com o área a ser analisada.

Figura 5.3 – Comportamento do Vento de acordo com a região

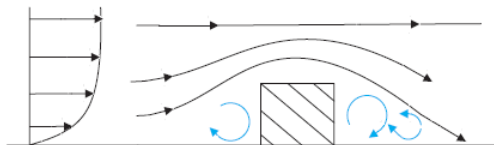


Fonte: (JERVALL, 2008)

Obstáculos:

Os obstáculos impedem a passagem das partículas de ar e alteram o seu perfil da velocidade. Na análise do escoamento verifica-se que este é influenciado por vários fatores como forma dos obstáculos, a distância entre eles, a sua rugosidade, entre outros. Normalmente quando se quer fazer um estudo quantitativo do desenvolvimento do escoamento influenciado por obstáculos, como por exemplo, rochas de grande volume, conjunto de árvores altas ou construções civis, é habitual serem considerados blocos paralelepípedicos e um escoamento bidimensional tal como a posição relativa em relação ao ponto de interesse e as suas dimensões. Verifica-se a separação da camada limite na aresta dianteira e conseqüentemente um perfil do escoamento turbulento a jusante, criando zonas de recirculação. A Figura 5.4 mostra o escoamento, em detalhe, em torno de um obstáculo, sendo visível o deslocamento do escoamento (setas azuis) junto ao obstáculo.

Figura 5.4 – Comportamento do vento em relação a obstáculos

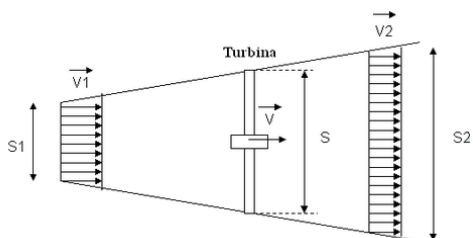


Fonte:(JERVALL, 2008)

Lei de Betz:

O modelo desenvolvido por Albert Betz, pode ser usado para determinar o funcionamento e a potência de um rotor ideal. Este modelo é baseado na teoria da quantidade de movimento axial. Basicamente este modelo consiste na passagem de ar por um tubo de corrente com um disco no seu interior, sendo este o simulador de uma turbina. O tubo de corrente tem duas secções transversais distintas e no local de transição de secção encontra-se o disco/turbina que vai criar uma descontinuidade na pressão do ar. A teoria do disco atuador fornece uma base lógica para demonstrar que a velocidade do escoamento no rotor é diferente da velocidade de corrente livre. A representação esquemática da Lei de Betz está presente na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Lei de Betz



Fonte: (JERVELL, 2008)

Na figura:

- v_1 - Velocidade do vento antes das pás da turbina
- v - Velocidade do vento nas pás da turbina
- v_2 - Velocidade do vento após a turbina
- S_1 – Secção do tubo antes da turbina
- S – Secção da turbina
- S_2 – Secção do tubo depois da turbina

Segundo o limite de Betz, os melhores registros teóricos de aproveitamento eólico num escoamento permanente nunca ultrapassaram os 59.3%, indicando isto que o coeficiente máximo de potência é 0.593. Este valor indica

que um rotor ideal projetado para funcionar de tal forma que a velocidade do vento no rotor é $2/3$ da velocidade do vento no seu livre percurso e $8/9$ dessa energia é desperdiçada através de uma velocidade de esteira diferente de zero, o produto deste dois fatores resulta no coeficiente máximo teórico.

A teoria dos ventos foi apresentada a fim de se poder utilizar conceitos sobre os ventos no estudo de caso do Capítulo 5, no qual serão realizadas medições reais, através de dados obtidos da Secretaria da Defesa Civil de Joinville.

6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso tem como finalidade analisar se o projeto escolhido no início desse estudo é viável tecnicamente e financeiramente.

6.1 REGIÃO A SER ANALISADA E LEITURA MENSAL DOS VENTOS

A área escolhida para análise nesse estudo foi o Joinville Iate Clube, conforme Figura 6.1. Os dados utilizados nesse trabalho como por exemplo velocidade do vento, umidade e altura que estão instalados os sensores de umidade e velocidade do vento foram cedidos e autorizado para a utilização nesse trabalho pela Defesa Civil de Joinville. Os mesmos foram obtidos através do Portal de Serviços da Prefeitura Municipal de Joinville.

Figura 6.1 – Joinville Iate Clube



Fonte: Jornal BOLSÃO

Os dados referentes à medição , foram obtidos através de login e senha fornecidos pela Secretária de Defesa Civil de Joinville, conforme Figura 6.2.

A Defesa Civil de Joinville apresenta 11 estações meteorológicas sendo monitoradas na cidade, sendo essas:

Figura 6.2 – Página Inicial do site Prefeitura Digital



Fonte: Prefeitura de Joinville

- Cachoeira Área Central;
- Ceasa;
- Companhia Águas no Bucarein;
- Cubatão;
- Guanabara;
- Itaum;
- Jativoca;
- Joinville Iate Clube;
- Paraíso;
- Rodovia do Arroz;
- Unidade de Obras;

O local escolhido para análise desse estudo não foi escolhido de maneira aleatória, pelo contrário. Conforme Figura 5.3 pode-se afirmar que regiões litorâneas necessitam de uma menor altitude para atingir maior velocidade do vento e conseqüentemente um melhor aproveitamento, se comparada a regiões urbanas ou subúrbios.

As leituras de dados realizadas pela Defesa Civil de Joinville estão localizadas a 10 metros de altura. Esse estudo considerou um edifício localizado na região do Iate Clube Joinville de 40 metros de altura. Sendo assim, é necessário a transposição da altura.

A transposição de altura e conseqüente de velocidade será realizada através da Lei da Potência, conforme Capítulo 5.

O Iate Clube Joinville é constituído de árvores e construções ocasionais. Conforme Figura 5.2 o expoente α para esse tipo de região pode variar de 0,22 a 0,24. Para esse estudo utilizou-se o seguinte valor do expoente α : $\alpha=0,24$.

Através desses dados, temos:

$$V(z) = V(zr) \cdot \left(\frac{40}{10}\right)^{0,24} \quad (6.1)$$

Os valores obtidos pela Defesa Civil de Joinville são valores em Quilômetros por hora (Km/h), sendo assim é necessário converter para metros por segundo (m/s), para facilitar os cálculos. Na Figura 6.3, temos 5 colunas. A primeira coluna representa o dia e horário de cada leitura. A segunda coluna representa o número de dados que foram obtidos no ano de 2015. A terceira coluna representa a leitura da velocidade do vento em quilômetros por hora. A quarta coluna representa a velocidade do vento a uma altura de 10 metros em metros por segundo (m/s). A quinta e última coluna representa a velocidade em metros por segundos (m/s) a uma altura de 40 metros (altura referente ao prédio escolhido como estudo desse trabalho).

Figura 6.3 – Velocidade do Vento de acordo com a altura

DATA/HORA	NUM. DADOS	Km/h	m/s-10m	m/s-40m
01/01/2015 00:00	1	11,52	3,20	4,463
01/01/2015 01:00	2	6,984	1,94	2,706
01/01/2015 02:00	3	10,84	3,01	4,200
01/01/2015 03:00	4	9,36	2,60	3,626
01/01/2015 04:00	5	4,21	1,17	1,632
01/01/2015 05:00	6	6,88	1,91	2,664
.
.
.
.
.
31/12/2015 18:00	7482	9,47	2,63	3,669
31/12/2015 19:00	7483	6,08	1,69	2,357
31/12/2015 20:00	7484	27,18	7,55	10,530
31/12/2015 21:00	7485	22,97	6,38	8,899
31/12/2015 22:00	7486	19,12	5,31	7,408
31/12/2015 23:00	7487	21,71	6,03	8,411

Através da Figura 6.3 e Figura 4.6, temos a figura 6.5 e 6.4, que representam a potência mensal, apresentado na seção seguinte.

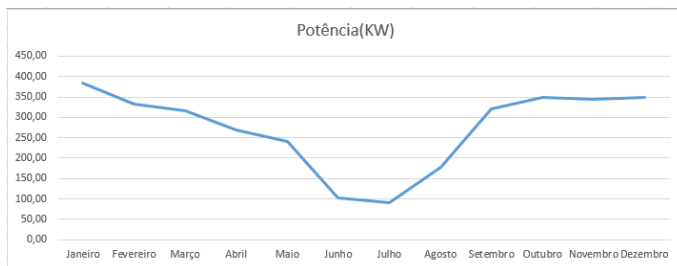
Figura 6.4 – Distribuição Mensal da Potência

Mês	Potência(KW)
Janeiro	383,79
Fevereiro	331,32
Março	316,22
Abril	268,03
Maior	241,78
Junho	103,38
Julho	90,06
Agosto	177,30
Setembro	320,66
Outubro	349,90
Novembro	343,28
Dezembro	349,90

Fonte: Próprio Autor

A Figura 6.5 representa a distribuição mensal da Potência.

Figura 6.5 – Gráfico da Distribuição Mensal da Potência



Fonte: Próprio Autor

Os dados obtidos aqui nesta Seção possuem fundamental importância para a análise de viabilidade financeira do projeto.

6.2 ANÁLISE FINANCEIRA

Nessa seção será avaliado se o investimento realizado pelos moradores do condomínio é viável financeiramente. Investimento inicial conforme Figura 6.6.

Figura 6.6 – Investimento Inicial

INVESTIMENTO INICIAL		
AEROGERADOR	R\$	12.677,50
INVERSOR	R\$	6.710,00
TRANSFORMADOR	R\$	850,00
TOTAL	R\$	20.237,50

Fonte: Próprio Autor

6.2.1 Introdução aos Indicadores de Investimento

Um investimento, é um desembolso feito visando gerar um fluxo de benefícios futuros. A lógica subjacente é a de que somente se justificam sacrifícios presentes se houver perspectiva de recebimento de benefícios futuros. Hoje, em função da própria dinâmica dos negócios, as técnicas de análise de investimentos estão sendo usadas para avaliação de empresas, de unidade de negócios e para investimentos de porte. Encontram uso também nas operações de curto prazo, como, por exemplo, nas decisões rotineiras sobre compras à vista versus compras a prazo.

A decisão de se fazer investimento de capital é parte de um processo que envolve a geração e a avaliação das diversas alternativas de investimentos que atendam as especificações técnicas dos investimentos. Após relacionadas as alternativas viáveis tecnicamente é que se analisam quais delas são atrativas financeiramente. É nessa última parte que os indicadores gerados auxiliarão o processo decisório.

Os indicadores de análise de projetos de investimentos podem ser subdivididos em dois grandes grupos: indicadores associados à rentabilidade (ganho ou criação de riqueza) do projeto e indicadores associados ao risco do projeto. Na primeira categoria estão o Valor Presente Líquido; o Valor Presente Líquido Anualizado (VPLa), a taxa interna de retorno, o Índice Benefício/ Custo (IBC) e o Retorno sobre investimentos Adicionado (ROIA). Na

segunda parte da categoria estão a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Período de Recuperação do Investimento (Pay-back) e o Ponto de Fisher.

- $VPL > 0$: Indica que o projeto merece continuar sendo analisado;
- O risco do projeto aumenta à medida que o Pay-back se aproxima do final do horizonte de planejamento.

O presente trabalho também utilizou a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como indicador de rentabilidade. Entende-se como TMA a melhor taxa, com baixo grau de risco, disponível para aplicação do capital em análise. A decisão de investir sempre terá pelo menos duas alternativas para serem avaliadas: investir no projeto ou “investir na taxa mínima de atratividade”. Fica implícito que o capital para investimento não fica no caixa, mas, sim, aplicado a TMA. Assim, o conceito de riqueza gerada deve levar em conta somente o excedente sobre aquilo que já se tem, isto é, o que será obtido além da aplicação do capital de TMA. Esse conceito, desde há muito defendido pelos economistas, denomina-se lucro residual. Mais recentemente, uma variação desse conceito de excedente tem sido tratada como Valor Econômico Agregado ou Economic Value Added (EVA), conforme (CLEMENTE, 2004).

A Figura 6.7, representa o diagrama do Indicador de Investimento.

Figura 6.7 – Fluxo de Indicador de Investimento



Fonte: Próprio Autor

- $TIR > TMA$: Indica que há mais ganho investindo-se no projeto do que na TMA;

- TIR próxima à TMA: O risco do projeto aumenta segundo a proximidade dessas taxas.

6.2.2 Aplicação

Visando uma análise mais completa e realista, foram realizadas as seguintes considerações:

- 1 KWh = R\$ 0,648 (Consideração realizada de acordo com a média do KWh - tarifa vigente cobrada pela Celesc para condomínios e não residências.)
- A manutenção preventiva no sistema de energia eólica deve ser realizada em um intervalo de 5 anos. O valor da manutenção preventiva foi fornecido e autorizado pelos fornecedores dos equipamentos analisados nesse trabalho.
- Foi considerado um custo de R\$1.500,00 para a instalação de todos os equipamentos no edifício.

O primeiro indicador de investimento analisado nesse trabalho foi o PAY-BACK, conforme Figura 6.8. Esse indicador nada mais é do que o número de períodos necessários para o fluxo de benefícios supere o capital investido.

Através de um pay-back simples, foi gerado o seguinte gráfico, apresentado na Figura 6.8.

As Figuras 6.8 e 6.9 ilustram o início de retorno do capital investido, iniciando após o décimo primeiro ano.

Figura 6.8 – PAY-BACK

ANO	INVESTIMENTO	GERAÇÃO	Manutenção
1	R\$ 21.737,50	R\$ 2.184,84	R\$ -
2	R\$ 21.737,50	R\$ 4.369,68	R\$ -
3	R\$ 21.737,50	R\$ 6.554,52	R\$ -
4	R\$ 21.737,50	R\$ 8.739,36	R\$ -
5	R\$ 21.737,50	R\$ 10.924,20	-R\$ 1.000,00
6	R\$ 21.737,50	R\$ 12.109,04	R\$ -
7	R\$ 21.737,50	R\$ 14.293,88	R\$ -
8	R\$ 21.737,50	R\$ 16.478,72	R\$ -
9	R\$ 21.737,50	R\$ 18.663,56	R\$ -
10	R\$ 21.737,50	R\$ 20.848,40	-R\$ 1.000,00
11	R\$ 21.737,50	R\$ 22.033,24	R\$ -
12	R\$ 21.737,50	R\$ 24.218,08	R\$ -
13	R\$ 21.737,50	R\$ 26.402,92	R\$ -
14	R\$ 21.737,50	R\$ 28.587,76	R\$ -
15	R\$ 21.737,50	R\$ 30.772,60	-R\$ 1.000,00
16	R\$ 21.737,50	R\$ 31.957,44	R\$ -
17	R\$ 21.737,50	R\$ 34.142,28	R\$ -
18	R\$ 21.737,50	R\$ 36.327,12	R\$ -
19	R\$ 21.737,50	R\$ 38.511,96	R\$ -
20	R\$ 21.737,50	R\$ 40.696,80	R\$ -

Fonte: Próprio Autor

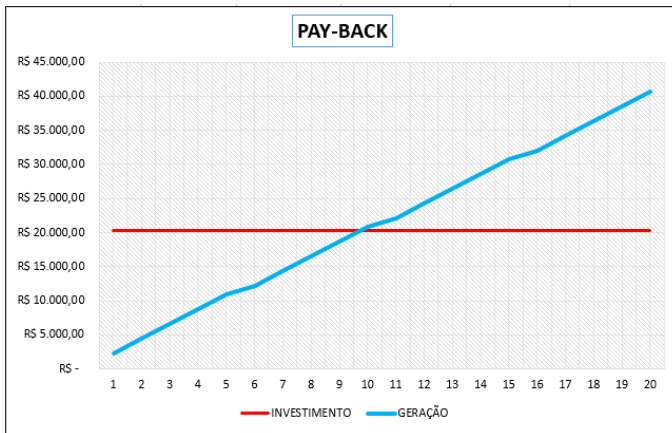
Na segunda parte da análise de investimentos, foram utilizados os seguintes indicadores:

- TMA: Taxa de mínima de atratividade;
- TIR: Taxa Interna de Retorno;
- VPL: Valor Presente Líquido;

Os cálculos realizados foram realizados através do gráfico idealizado cedidas pelo fornecedor, conforme Figura 4.6.

A Figura 6.10 e 6.11, representa a análise financeira.

Figura 6.9 – Gráfico-PAY-BACK



Fonte: Próprio Autor

Considerando os indicadores de investimentos mencionados, temos:

Como mencionado, se $TIR > TMA$: indica que há mais ganho investindo-se no projeto do que na TMA. Assim, o conceito de riqueza gerada deve levar em conta somente o excedente sobre aquilo que já se tem, isto é, o que será obtido além da aplicação do capital de TMA e $VPL > 0$, indica que o projeto merece continuar sendo analisado. Nesse trabalho, considerou-se que $TMA =$ rendimento da poupança. Através da média dos últimos anos temos um rendimento de 0,5% ao mês, rendendo 6,168% ao seja:

$$TMA = 6,168\%$$

Se os condôminos pegassem os valores investidos e aplicassem na poupança teriam apenas os juros a esta taxa no período de 20 anos. Porém investindo no projeto com $TIR > TMA$, teria comprado os equipamentos e lucrado 426 reais a mais do que apenas aplicar o dinheiro do investimento na poupança. implica que foi comprado o equipamento no valor investido e ainda obteve um lucro de 426 reais com o dinheiro do investimento aplicado na poupança.

Acima desse valor, o projeto deixa de ser viável, conforme Figura 6.11.

Figura 6.10 – Investimento 1

ANO	INVESTIMENTO 1	Manutenção
0	R\$ 21.737,50	R\$ -
1	R\$ 2.108,84	R\$ -
2	R\$ 2.108,84	R\$ -
3	R\$ 2.108,84	R\$ -
4	R\$ 2.108,84	-R\$ 1.000,00
5	R\$ 1.108,84	R\$ -
6	R\$ 2.108,84	R\$ -
7	R\$ 2.108,84	R\$ -
8	R\$ 2.108,84	R\$ -
9	R\$ 2.108,84	-R\$ 1.000,00
10	R\$ 1.108,84	R\$ -
11	R\$ 2.108,84	R\$ -
12	R\$ 2.108,84	R\$ -
13	R\$ 2.108,84	R\$ -
14	R\$ 2.108,84	-R\$ 1.000,00
15	R\$ 1.108,84	R\$ -
16	R\$ 2.108,84	R\$ -
17	R\$ 2.108,84	R\$ -
18	R\$ 2.108,84	R\$ -
19	R\$ 2.108,84	R\$ -
20	R\$ 2.108,84	R\$ -

Fonte: Próprio Autor

Através das considerações realizadas, o projeto é viável.

6.2.3 Resposta aos Investidores

Com base na Figura 4.2, foi criado o comportamento mensal do edifício. Na Figura 6.12, foi estimado o número de horas de utilização de cada equipamento, visando o mapeamento e construção da conta de energia.

Figura 6.11 – Indicadores de Investimento - Investimento 1

INVESTIMENTO 1						
TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA
1%	2%	3%	4%	5%	6,168%	7,442%
VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL
R\$ 13.599,59	R\$ 10.275,97	R\$ 7.388,15	R\$ 4.869,57	R\$ 2.664,86	R\$ 426,21	-R\$ 1.671,39
TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR
6,411%	6,411%	6,411%	6,411%	6,411%	6,411%	6,411%

Fonte: Próprio Autor

Considerando o preço do KWh = R\$ 0,648, obteve-se o valor mensal da conta de energia do condomínio.

Figura 6.12 – Comportamento mensal do condomínio

Levantamento de Carga - Edifício 10 andares					
Equipamentos Eletrônicos	Potência(W)	Dias semanais(horas)	Final de semana(horas)	Total mês(KWh)	Conta(R\$)
2 Elevadores(7.5cv)	5520	1	1	38,64	110,88
2 Bombas de Recalque D'água(3cv) - 1 reserva	2207	4	4	61,796	177,33
2 Bombas de Água de Drenagem Pluviais(1cv) - 1 reserva	735,5	1	1	5,1485	14,77
2 Bombas para sistemas de combate a incêndio(5cv) - 1 reserva	3678	0	1	7,356	21,11
1 portão da garagem(0,5cv)	368	2	1	4,416	12,67
10 câmeras de monitoramento	31,3	24	24	5,2684	15,09
1 monitor de segurança	70	24	24	11,76	33,75
Iluminação Externa(8 Lâmpadas:LED-7W)	32	12	12	2,888	7,71
Iluminação da Recepção(5 Lâmpadas:LED-7W)	35	12	12	2,94	8,44
Iluminação dos corredores(4 Lâmpadas- 10 andares:LED-7W)	280	1	1	1,96	5,62
Iluminação Área de Festa(8 Lâmpadas:LED-7W)	32	5	10	1,44	4,13
Iluminação da Garagem(20 Lâmpadas:LED-7W)	140	1	1	0,98	2,81
5 ventiladores(Área de festa + Recepção)	500	1	2	4,5	12,91
1 Refrigeradores(Área de Festa + Recepção)	1000	10	10	70	200,88
Microondas	1200	1	0,5	7,2	20,66
1 Cortador de grama	1300	1	0	6,5	18,65
10 Leds - Iluminação do Jardim(LED-3W)	30	12	12	2,52	7,23
Iluminação da Área de Festa	200	4	12	6,8	25,25
2 Televisores(Área de Festa + Recepção)	180	8	6	9,36	26,86
Grill	1200	1	4	15,6	44,77
2 Torneiras Elétricas	3000	1	1	21	60,26
1 Cd player	30	1	6	0,61	1,46
Total	21788,8			290,37	833,27

Fonte: Próprio Autor

Através da Figura 6.12, a conta de energia elétrica mensal é de R\$833,27. Considerando que o edifício tem 40 apartamentos divididos em 10 andares, a última coluna da Figura 6.13, representa o retorno financeiro.

Figura 6.13 – Retorno mensal e anual aos investidores

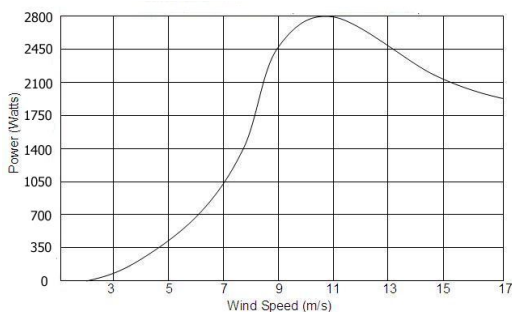
RENDIMENTO ANUAL TOTAL E POR APARTAMENTO				
MÊS	CONTA(R\$)	VALOR(R\$)	DIFERENÇA	APARTAMENTO(ECONOMIA)
JANEIRO	833,27	248,70	-584,578	6,22
FEVEREIRO	833,27	214,69	-618,580	5,37
MARÇO	833,27	204,91	-628,359	5,12
ABRIL	833,27	173,68	-659,586	4,34
MAIO	833,27	156,67	-676,597	3,92
JUNHO	833,27	66,99	-766,280	1,67
JULHO	833,27	58,36	-774,912	1,46
AGOSTO	833,27	114,89	-718,378	2,87
SETEMBRO	833,27	207,79	-625,482	5,19
OUTUBRO	833,27	212,98	-620,294	5,32
NOVEMBRO	833,27	222,45	-610,822	5,56
DEZEMBRO	833,27	226,73	-606,537	5,67
		2108,84		52,72

Fonte: Próprio Autor

6.2.4 Geração de simulações em Laboratório x Geração Ideal

Nessa seção foi utilizado o gráfico de geração de simulações em Laboratório do aerogerador, obtido através de uma situação real de geração, situação de geração baseada em uma turbina de mesma potência, porém de um outro fabricante, conforme Small-windturbine.

Figura 6.14 – Comportamento de simulações em Laboratório do Aerogerador



Fonte: Small-windturbine

Utilizando um dia de maneira aleatória do ano analisado(2015) e utilizando a Figura 6.14 para geração dos dados, foi realizada a comparação com o gráfico idealizado fornecido pelo fabricante.

- Investimento 1: Fluxo de caixa obtido via curva de potência idealizada do gerador, conforme 4.6
- Investimento 2: Fluxo de caixa obtido via curva de potência de simulações em Laboratório do gerador, conforme 6.14

Figura 6.15 – Comportamento de simulações em Laboratório do Aero gerador

Geração Real x Geração Ideal									
DATA/HORA	NUM. DADOS	Km/h	m/s-10m	m/s-40m	GERADOR	Potencial(KW)-IDEAL	Valor(R\$)-IDEAL	Potencial(KW)-LAB	Valor(R\$)-LAB
12/03/2015 00:00	1681	11,09	3,68	4,297	4,297	0,408	0,264	0,569	0,369
12/03/2015 01:00	1682	12,74	3,54	4,936	4,936	0,468	0,303	0,707	0,458
12/03/2015 02:00	1683	12,64	3,51	4,897	4,897	0,465	0,301	0,699	0,453
12/03/2015 03:00	1684	12,24	3,40	4,742	4,742	0,450	0,292	0,667	0,432
12/03/2015 04:00	1685	7,632	2,12	2,957	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12/03/2015 05:00	1686	7,092	1,97	2,748	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12/03/2015 06:00	1687	9,43	2,62	3,653	3,653	0,347	0,225	0,417	0,270
12/03/2015 07:00	1688	6,372	1,77	2,469	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12/03/2015 08:00	1689	8,68	2,41	3,363	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
12/03/2015 09:00	1690	9,76	2,71	3,781	3,781	0,359	0,232	0,448	0,291
12/03/2015 10:00	1691	13,14	3,65	5,091	5,091	0,483	0,313	0,739	0,479
12/03/2015 11:00	1692	15,95	4,43	6,179	6,179	0,586	0,380	0,941	0,610
12/03/2015 12:00	1693	18,97	5,27	7,350	7,350	0,697	0,452	1,120	0,726
12/03/2015 13:00	1694	22,54	6,26	8,733	8,733	0,829	0,537	1,278	0,828
12/03/2015 14:00	1695	27,18	7,35	10,530	10,530	0,999	0,647	1,398	0,906
12/03/2015 15:00	1696	29,92	7,20	10,042	10,042	0,953	0,617	1,376	0,891
12/03/2015 16:00	1697	30,74	8,54	11,910	11,910	1,130	0,732	1,425	0,924
12/03/2015 17:00	1698	32,33	8,88	12,526	12,526	1,188	0,770	1,419	0,919
12/03/2015 18:00	1699	27,14	7,54	10,515	10,515	0,998	0,646	1,398	0,906
12/03/2015 19:00	1700	18,97	5,27	7,350	7,350	0,697	0,452	1,120	0,726
12/03/2015 20:00	1701	13,63	3,23	4,506	4,506	0,426	0,277	0,615	0,399
12/03/2015 21:00	1702	18,76	5,21	7,268	7,268	0,690	0,447	1,109	0,718
12/03/2015 22:00	1703	24,08	6,69	9,329	9,329	0,885	0,574	1,328	0,861
12/03/2015 23:00	1704	30,6	8,50	11,855	11,855	1,125	0,729	1,425	0,924
							9,191		13,088

Fonte: Próprio Autor

Comparando os valores em destaque da Figura 6.15, observa-se que os dados obtidos através do gráfico de geração de simulações em Laboratório é de 30% maior que a geração do gráfico idealizado.

Tomando essa informação como base, temos:

Figura 6.16 – Investimento 2

ANO	INVESTIMENTO 2	Manutenção
0	R\$ 21.737,50	R\$ -
1	R\$ 2.741,49	R\$ -
2	R\$ 2.741,49	R\$ -
3	R\$ 2.741,49	R\$ -
4	R\$ 2.741,49	-R\$ 1.000,00
5	R\$ 1.441,49	R\$ -
6	R\$ 2.741,49	R\$ -
7	R\$ 2.741,49	R\$ -
8	R\$ 2.741,49	R\$ -
9	R\$ 2.741,49	-R\$ 1.000,00
10	R\$ 1.441,49	R\$ -
11	R\$ 2.741,49	R\$ -
12	R\$ 2.741,49	R\$ -
13	R\$ 2.741,49	R\$ -
14	R\$ 2.741,49	-R\$ 1.000,00
15	R\$ 1.441,49	R\$ -
16	R\$ 2.741,49	R\$ -
17	R\$ 2.741,49	R\$ -
18	R\$ 2.741,49	R\$ -
19	R\$ 2.741,49	R\$ -
20	R\$ 2.741,49	R\$ -

Fonte:Próprio Autor

Através da Figura 6.16, temos os indicadores de investimento:

Figura 6.17 – Indicadores de Investimento - Investimento 2

INVESTIMENTO 2									
TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA
1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL
R\$ 24.200,71	R\$ 19.880,01	R\$ 16.125,85	R\$ 12.851,69	R\$ 9.985,56	R\$ 7.467,41	R\$ 5.246,99	R\$ 3.282,15	R\$ 1.537,40	-R\$ 17,24
TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR
9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%

Fonte: Próprio Autor

- TIR > TMA: Indica que há mais ganho investindo-se no projeto do que na TMA
- VPL > 0 : Indica que o projeto merece continuar sendo analisado

Comparando a Figura 6.11 com a Figura 6.17, os valores de TIR (taxa interna de retorno) e TMA (taxa mínima de atratividade) são maiores e conseqüentemente o valor VPL aumenta, viabilizando de maneira considerável o projeto.

A 6.18 representa a comparação entre os investimentos.

Figura 6.18 – Indicadores de Investimento - Investimento 1, Investimento 2

INVESTIMENTO 1							
TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA
1%	2%	3%	4%	5%	6,168%	7,442%	
VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL
R\$ 13.599,59	R\$ 10.275,97	R\$ 7.388,15	R\$ 4.869,57	R\$ 2.664,86	R\$ 426,21	-R\$ 1.671,39	
TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR
6,411%	6,411%	6,411%	6,411%	6,411%	6,411%	6,411%	6,411%

INVESTIMENTO 2									
TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA	TMA
1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL	VPL
R\$ 24.200,71	R\$ 19.880,01	R\$ 16.125,85	R\$ 12.851,69	R\$ 9.985,56	R\$ 7.467,41	R\$ 5.246,99	R\$ 3.282,15	R\$ 1.537,40	-R\$ 17,24
TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR	TIR
9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%	9,988%

Fonte: Próprio Autor

Pela definição de VPL, significa que o projeto consegue recuperar o investimento inicial, remunera também aquilo que teria sido ganho se o capital inicial tivesse sido investido em uma TMA e ainda sobram valores iguais ao VPL.

Assim, se aplicar o dinheiro no projeto, se recuperaria R\$1.537,00 a mais do que se o condomínio tivesse aplicado o capital inicial investido a uma TMA de 9%. Com a vantagem de que agora tem-se o sistema de geração.

7 CONCLUSÃO

Embora pareça nova, a energia eólica é usada há mais de 3 mil anos. Antigamente ela era utilizada por meio dos moinhos, que serviam para bombear ou drenar água, moer grãos e outras atividades que dependiam de força mecânica. Ao longo do tempo, passaram a utilizar a força dos ventos não só para gerar força mecânica, mas também energia elétrica. Com o avanço tecnológico, os aerogeradores se tornaram aptos a gerar uma quantidade maior de energia, até que surgiram as primeiras usinas eólicas.

Além de ser uma fonte renovável e competitiva, a energia eólica se apresenta como complementar à fonte hidroelétrica, na medida em que os melhores ventos ocorrem nos períodos de menor regime de chuvas. A geração eólica auxilia na recomposição dos níveis dos reservatórios, ou seja, possibilita a formação de acúmulo de água para geração futura.

Os mapas eólicos desenvolvidos pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica apontam que os ventos brasileiros apresentam ótimas características para a geração elétrica, com boa velocidade, baixa turbulência e boa uniformidade.

O presente trabalho apresenta como principal objetivo verificar que o sistema desenvolvido é viável economicamente além de ambientalmente. Apesar da energia eólica estar sendo utilizada a muitos anos, os equipamentos utilizados para geração desse tipo de energia ainda apresentam um custo elevado.

O método utilizado no presente trabalho não é convencional para baixas potências, devido a não utilização de baterias.

Provou-se que o método desenvolvido é viável economicamente e ambientalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBI, I. ELETRÔNICA DE POTÊNCIA. 7a. ed. FLORIANOPOLIS: [s.n.], 2012.

BARBI, I. INTRODUCAO AOS CONVERSORES CC-CA. 3a. ed. FLORIANOPOLIS: [s.n.], 2012.

CLEMENTE, A. S. A. DECISOES FINANCEIRAS E ANALISE DE INVESTIMENTOS. [S.l.: s.n.], 2004.

FRATELLI. GERADOR EOLICO FRATELLI VERTICAL. [S.l.], 2015.

HORHAMMER, K. Global wind statistics 2014. 2014. 2014.

JERVELL, J. T. Estudo da influencia das caracteristicas do vento no desempenho de aerogeradores. 2008. 2008.

KIMARKI. TRANSFORMADORES INDUSTRIA E COMERCIO LTDA. [S.l.], 2015.

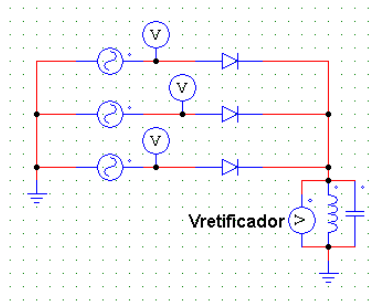
NEOSOLAR. INVERSOR GRID-TIE SMA SUNNY BOY 2500. [S.l.], 2015.

APÊNDICE A – APÊNDICE

A.1 APÊNDICE A

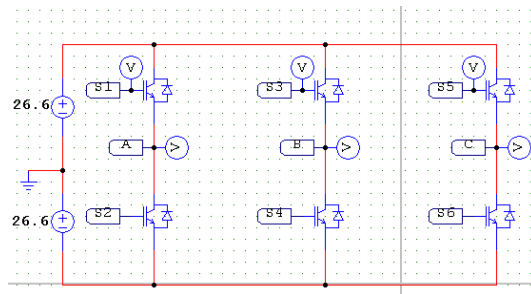
Imagens de simulação através do software PSIM.

Figura A.1 – Retificador



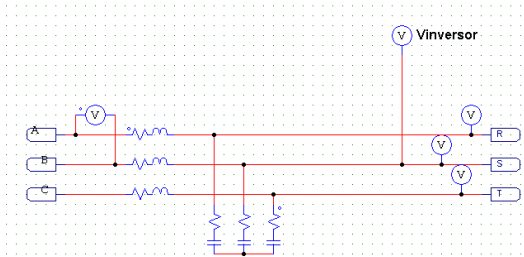
Fonte: Próprio autor

Figura A.2 – Inversor



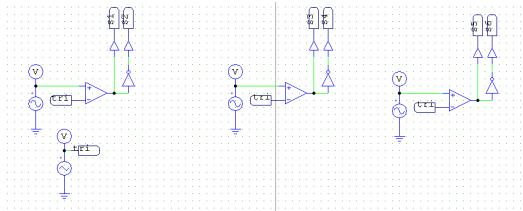
Fonte: Próprio autor

Figura A.3 – Inversor



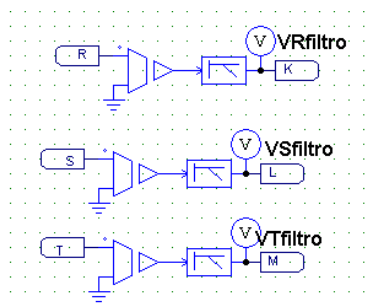
Fonte: Próprio autor

Figura A.4 – Inversor



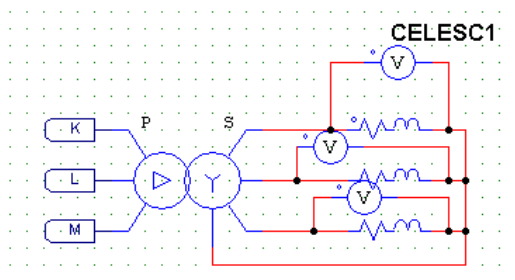
Fonte: Próprio autor

Figura A.5 – Filtro



Fonte: Próprio autor

Figura A.6 – Transformador



Fonte: Próprio autor