



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

## **Monografia de Graduação**

**Aerogerador de pequeno porte construído a partir  
de materiais reutilizáveis para aplicação em  
sistema isolado.**

**Luiz Gilberto Konrath Júnior**

**Pelotas, Fevereiro de 2014.**

**Por**

Luiz Gilberto Konrath Júnior

# **Aero gerador de pequeno porte construído a partir de materiais reutilizáveis para aplicação em sistema isolado.**

Trabalho acadêmico apresentado ao  
Curso de Engenharia de Materiais da  
Universidade Federal de Pelotas, como  
requisito parcial à obtenção do título  
de Engenheiro de Materiais.

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Diaz de Oliveira

Pelotas, 2014

Banca Examinadora:

---

**Prof. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Diaz de Oliveira**

(Presidente/Orientador)

---

**Prof. Dr<sup>a</sup>. Margarete Regina Freitas Gonçalves**

(1º Examinador)

---

**Prof. Dr. Sergio da Silva Cava**

(2º Examinador)

Dedico este trabalho a minha mãe, pelo apoio e  
suporte durante minha graduação em  
engenharia de materiais.

"Nem todos os caminhos são para todos os caminhantes."  
Goethe

"Nenhum vento sopra a favor de quem não sabe pra onde ir."  
Sêneca

## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração desse trabalho só foi possível devido à ligação e colaboração direta ou indireta de muitas pessoas. Exponho minha gratidão a todas elas e de forma particular:

À deus, pela vida;

À Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade cedida;

Ao curso de Engenharia de Materiais da (UFPel);

À minha família, por sempre me apoiar e incentivar;

Em especial a Prof. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Diaz de Oliveira orientadora, por todo apoio, atenção e ensinamentos prestados e pela amizade intensificada pelo convívio; aos meus professores que compõem a banca examinadora Prof. Dr<sup>a</sup>.

Margarete Regina Freitas Gonçalves e Prof. Dr. Sergio da Silva Cava;

A todo o corpo docente do curso de engenharia de materiais da (UFPel);

A empresa Toolmec pelo processo de usinagem e soldagem;

Aos meus colegas de curso que direta e indiretamente contribuíram de alguma forma.

## RESUMO

JÚNIOR, L. G. K. **Aerogerador de pequeno porte construído a partir de materiais reutilizáveis para aplicação em sistema isolado.** 2014. 64f. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2014.

No presente trabalho se construiu um aerogerador eólico de pequeno porte na escala de produção de microgeração utilizando materiais reutilizáveis para sua concepção tendo como seu gerador um alternador automotivo modificado. Também foram apresentados os materiais envolvidos no projeto, seu custo de aquisição, de processamento, de usinagem e soldagem.

No trabalho questões relacionadas ao tema de aerogeradores de pequeno porte foram abordadas como o potencial eólico Brasileiro, do estado do Rio Grande do Sul e da região de Pelotas; a classificação de aerogeradores quanto a capacidade de geração de energia elétrica tanto por enquadramento de pesquisadores, da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica e da WWEA - *World Wind Energy Association*, tipo de sistemas eólicos e equipamentos que compõem cada sistema não deixando de passar pelo tema legislação tanto internacional como nacional encerrando a revisão bibliográfica com o estudo de mercado e previsão do seu crescimento a capacidade instalada mundialmente.

No encerro, o aerogerador artesanal projetado com cálculos empíricos apresentou desempenho equivalente para efetivo emprego, na conversão de energia eólica em elétrica, conjugado com um gerador elétrico de potência nominal inferior ou igual a 500 W. O alternador automotivo modificado apresentou satisfatório desempenho exclusivamente em altas rotações.

Palavras-chave: Energia eólica, pequeno porte, materiais reutilizáveis.

## ABSTRACT

JÚNIOR, L. G. K. **Small wind turbine built from reusable materials for application in an isolated system.** 2014. 64s. Completion of course work – Materials Engineering Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2014.

In present work built we constructed a wind turbine small in the production scale microgeneration using reusable materials for their design as their having an automotive alternator generator modified the materials involved in the project and their cost were also presented and processing as machining and welding.

At work issues related to the topic of wind turbines small were addressed such as the Brazilian wind energy potential , the state of Rio Grande Sul and the region of Pelotas , classification of wind turbines as the ability to generate electricity for both framing researchers , ANEEL - Agency National Energy Electricity and WWEA - Word Wind Energy Association , wind and type of equipment that comprise each system systems not letting go of the topic both international and national legislation ending the literature review with the market survey and forecast their growth capacity installed worldwide.

In confinement, the artesanal turbine designed with impíricos calculations showed equivalent performance for effective use in the conversion of wind energy into electricity, coupled with an electric generator rated power less than 500 W. The automotive alternator modified presented exclusively at high rotation performance.

Keywords: Wind power, small, reusable materials.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. - Ilustração do movimento da massa atmosférica gerada pelo aquecimento não uniforme e pelo movimento de rotação do planeta.....	21
Figura 2. - Atlas do potencial eólico Brasileiro com legenda da média anual da velocidade do vento a 50 metros de altura.....	24
Figura 3. - Atlas do potencial eólico Brasileiro por região com legenda da média anual da velocidade do vento a 50 metros de altura à esquerda da figura e a direita a capacidade de produção de energia por região.....	24
Figura 4. - Indicação das melhores áreas do Rio Grande do Sul com potencial para aproveitamento da energia eólica na geração de energia elétrica.....	26
Figura 5. - Curva de potência de um aerogerador de potencia nominal de 1KW.....	28
Figura 6. - a) Turbina eólica de eixo horizontal. b) Turbina eólica de eixo vertical...	29
Figura 7. - Exemplos de turbinas eólicas quanto à potência a) Turbina de Pequeno Porte com capacidade de produção até 50 KW b) Média Porte (potência de 50 a 1MW) c) Grande Porte (acima de 1MW de potência).....	29
Figura 8. - Imagem ilustrativa dos componentes da constituição de um aerogerador de pequeno porte.....	30

Figura 9. - Imagem ilustrativa dos possíveis sistemas de conexão de aerogeradores de pequeno porte a esquerda da imagem há um sistema de conexão a rede e a direita da imagem um sistema isolado de uso do armazenamento de energia por baterias.....	36
Figura 10. - Imagem ilustrativa de um aerogeradores de pequeno porte em um sistema de conexão a rede de energia.....	37
Figura 11. - Gráfico circular da distribuição mundial de fabricantes de aerogeradores de pequeno porte.....	45
Figura 12. - Gráfico de barra com valor do número de aerogeradores instalados no mundo computado em ordem cumulativa e decrescente por países.....	46
Figura 13. - Gráfico de barra com o valor do número da capacidade cumulativa instalada por países em ordem decrescente com dados apurados no final do ano de 2010.....	47
Figura 14. - O gráfico de barra plota os valores da capacidade anual global instalada por aerogeradores PP (MW) – barras azuis escuras; a estimativa anual instalada globalmente de aerogeradores PP (MW) até 2020 – barras azuis claras; a capacidade instalada acumulada mundialmente de aerogeradores PP até 2020 (MW) – linha vermelha.....	49

Figura 15. - Imagem dos onze principais itens de construção do aerogerador PP constituídos por materiais recicláveis exposto em ordem numérica de acordo com a Tabela 5.....54

Figura 16. - Imagem do aerogerador PP e dos quatro itens que constituem o aerogerador já alocados; os círculos indicam os treze parafusos, porcas e ruelas; os quadrados o tanque polimérico; os triângulos as braçadeiras e as setas com um x indica a posição da correia polimérica conforme a Tabela 5.....54

Figura 17. - Processo de modificação do rotor do alternador automotivo modelo Argentino Lucas disposto em sequência conforme as imagens a), b), c) e d) da figura 17 acima.....56

Figura 18. - A figura 18 a) Mostra o processo de produção das hélices; 18 b) O processo de produção do leme; 18 c) A disposição das peças de montagem do sistema de giro das hélices e 18 d) e e) O balanceamento das hélices.....57

Figura 19. - Imagem 19 a) Usinagem do cano 5 para encaixe no rolamento especial que contém o cano 4 e soldagem da prancheta 8 para atuar como suporte do alternador; 19 b) Soldagem de um pedaço de cano 4 no cano 4, perpendicular, e colocação do leme segurado pelas braçadeiras.....57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. - Classificação sugerida por WENZEL e pela agência ANEEL quanto á geração de energia elétrica de pequeno, médio e grande porte.....	32
Tabela 2. - Apresenta a classificação dos aerogeradores de acordo com a potência gerada por cada equipamento conforme LEHMANN; KOENEMANN, 2005.....	33
Tabela 3. - Valores do consumo médio anual de energia elétrica de famílias pertencente a 3 continentes diferentes e a potência necessária dos aerogeradores para suprir esse consumo.....	44
Tabela 4. - Empresas nacionais fabricantes e/ou instaladoras de aerogeradores PP por estado no Brasil.....	51
Tabela 5. - Lista os itens de construção do aerogerador PP construído de materiais reutilizáveis em ordem numérica, a quantidade, o diâmetro, o comprimento, o valor de cada peça e a soma resultante.....	55
Tabela 6. - Valores de aquisição dos materiais envolvidos no processo de produção e montagem do aerogerador PP constituído por materiais reutilizáveis e os custos de processamento como usinagem e soldagem.....	58

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.**

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ABraDEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
CBEE	Centro Brasileiro de Energia Eólica
CELPE	Companhia Energetica de Pernambuco
Cepel	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CDTec	Centro de Desenvolvimento Tecnológico
CA	Corrente alternada
CC	Corrente continua
CE-Eólica	Centro de Energia Eólica
EUA ou USA	Estados Unidos da América
GW	Gigawatt
h	Hora
ISO	Organização Internacional para Padronização
KW	Kilowatt
MW	Megawatt
MME	Ministério de Minas e Energia

m	Metro
mm	Milímetro
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PUC-RS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
PCHs	Pequenas centrais hidrelétricas
PVC	Policloreto de vinila
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PP	De Pequeno Porte
RJ	Rio de Janeiro
R\$	Reais
RS	Rio Grande do Sul
SP	São Paulo
TEEH	Turbinas eólicas de eixo horizontal
TEEV	Turbinas eólicas de eixo vertical.
TCC	Trabalho de conclusão de curso
UFPel	Universidade Federal de Pelotas
X	Versus
Ø	Diamâmetro.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	7
<b>ABSTRACT.....</b>	8
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	9
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	12
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	13
<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	17
<b>1.1 - Objetivos.....</b>	20
1.1.1 - Objetivo geral.....	20
1.1.2 - Objetivos específicos.....	20
<b>2 - REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	20
<b>2.1- Energia eólica.....</b>	20
2.1.1 - Potencial eólico Brasileiro.....	22
2.1.2 - Potencial eólico do Rio Grande do Sul.....	25
<b>2.2 - Aerogeradores.....</b>	27
2.2.1 - Conceito de aerogerador.....	27
2.2.2 - Curva de potência de um aerogerador.....	27
2.2.3 - Classificação de aerogeradores.....	28
2.2.4 - Componentes de construção de um aerogerador.....	29
2.2.5 - Aerogeradores PP.....	32
2.2.6 - Sistemas de conexão de um aerogerador PP.....	34
2.2.6.1 - Sistemas Interligados à Rede.....	34
2.2.6.2 - Sistemas Isolados.....	35

2.2.7 - Equipamentos complementares do sistema de aerogeradores PP.....	36
<b>2.3 - Legislação para fontes de energias renováveis PP.....</b>	<b>37</b>
2.3.1 - Legislação internacional para fontes de energias renováveis PP.....	37
2.3.2 - Resolução normativa Brasileira N° 482 da ANEEL.....	40
<b>2.4 - Mercado mundial de aerogeradores de PP.....</b>	<b>42</b>
2.4.1 - Introdução ao mercado mundial de aerogeradores PP.....	42
2.4.2 - Instalação mundial de aerogeradores PP.....	45
2.4.3 - Capacidade mundial de geração de energia por aerogeradores PP.....	46
2.4.4 - Previsão da capacidade instalada mundial de aerogeradores PP.....	48
<b>2.5 - Mercado Brasileiro de aerogeradores PP.....</b>	<b>49</b>
2.5.1 - Introdução ao mercado Brasileiro de aerogeradores PP.....	49
2.5.2 - Empresas Brasileiras.....	50
<b>3 - MATERIAIS E METODOLOGIA UTILIZADA NA FABRICAÇÃO DE UM AEROGERADOR PP DE EIXO HORIZONTAL.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 - Montagem de um aerogerador PP obtido com materiais reutilizáveis.....</b>	<b>53</b>
3.1.1 - Materiais utilizados.....	53
3.1.2 - Etapas da montagem e processo de produção.....	55
<b>3.2 - Custos dos materiais e de processamento do aerogerador PP.....</b>	<b>58</b>
<b>4 - RESULTADO.....</b>	<b>58</b>
<b>5 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## **1 - INTRODUÇÃO**

A busca por formas de extração de energia do vento, especialmente na transformação desta em eletricidade, vem sendo, cada vez mais, discutida no que se refere ao futuro e tem despertado cada vez mais o interesse de empresas e governos em todas as esferas municipal, estadual e nacional. O interesse maior no assunto vem acompanhado de pesquisas que preveem o esgotamento das fontes energéticas não renováveis, como o petróleo, carvão mineral e gás natural. O Brasil possui um dos maiores programas de energias renováveis do mundo; o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), o qual vem incentivando o crescimento e a estruturação deste mercado no país (MME, 2003).

As fontes renováveis de energia terão participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas próximas décadas. A crescente preocupação com as questões ambientais e o consenso mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vêm estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que vislumbram a incorporação dos efeitos da aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração desta tecnologia.

O debate sobre o aumento da segurança no fornecimento de energia, impulsionado pelos efeitos de ordem ambiental e social da redução da dependência de combustíveis fósseis, contribui para o interesse mundial por soluções sustentáveis por meio da geração de energia oriunda de fontes limpas e renováveis. Nessa agenda, o Brasil ocupa posição destacada em função da sua

liderança nas principais frentes de negociação e da significativa participação das fontes renováveis na sua matriz energética (HINDRICH e KLEINBACH, 2004).

O Brasil atualmente se destaca claramente na macrogeração de energia elétrica por fonte eólica, a qual compreende a capacidade de geração acima de 1MW, com expansão de parques eólicos de grande porte por todo o Brasil, em uma num a previsão para 2013, segundo a capacidade instalada de energia eólica poderia dobrar no país. Os dados são da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), (TRAIRI, 2013).

Ao passo que a geração de grande porte se expande, a de PP para sistemas conectados a rede recém começa a ser regulamentada dentro do território nacional com a promulgação da resolução normativa nº 482 da (ANEEL) de 17 de abril de 2012 que regulariza a mini e microgeração no país, estes compreendem a capacidade de geração abaixo de 1MW permitindo sua conexão à rede, o que segundo a (ANEEL) é uma grande oportunidade para o crescimento desse setor (MME, 2012).

O retardo de uma legislação normalizadora brasileira de aerogeração PP em relação a outros países inibiu um maior crescimento da indústria nacional na fabricação desses equipamentos. As mais recentes pesquisas, datadas de 2011, mostram que de todas as unidades fabris existentes no mundo apenas 0,6% dessas são brasileiras, o que é uma grande desigualdade contra a predominância de 50% desse nicho pelos países Estados Unidos da América, China, Alemanha, Canadá e Reino Unido. Essa desigualdade é existente pelo incentivo político a

tecnologia de fontes alternativas e renováveis nesses países principalmente nos Estados Unidos da América que são os maiores detentores de empresas fabris de aerogeradores PP (WWEA, 2012). O Brasil, mediante esse retardo vem estimulando a pesquisa nacional de aerogeradores PP por intermédio do plano de subvenção econômica a energias renováveis PP. Como exemplo mais recente a chamada pública N º 74/2013 foi aberta no final de 2013, com destino específico de capacitação laboratorial e formação de recursos humanos em energia eólica e heliocêntrica PP (CNPQ, 2013).

Estudos relacionados ao desenvolvimento de aerogeradores principalmente na escala de geração PP, em centros universitários ou entidades privadas, colaborariam com a eminent necessidade de abastecimento a sistemas isolados, o qual é o setor que mais sofre pela falta de oferta de energia, esses estudos poderiam ainda causar um impacto na redução do preço de aquisição da turbina eólica para sistemas não só isolados, mas também conectados, evitando investimentos governamentais em grande escala para geração e distribuição de energia elétrica no país.

Um protótipo construído com materiais reutilizáveis poder ser uma alternativa viável e eficaz para abastecer um pequeno sistema isolado, principalmente na região de Pelotas a qual possui media de ventos anuais entre 4 e 8 m/s com 50% de predominância durante o ano.

## **1.1 - Objetivos**

### **1.1.1 - Objetivo geral**

Projetar e construir um aerogerador PP para utilização em um sistema isolado, constituído basicamente de materiais reutilizáveis que são adquiridos a um baixo preço de mercado, de fácil acesso em qualquer desmâncão automotivo ou ferro velho.

### **1.2.1 - Objetivos específicos**

Disseminar o conhecimento sobre a mini e microgeração de energia dentro da região de Pelotas-RS com a produção de um aerogerador artesanal.

Divulgar a recente resolução normativa brasileira nº 482 da (ANEEL) de 17 de abril de 2012, a qual é favorecedora à tecnologia de aerogeração PP para conexão a rede, e ainda o atraso do país às legislações já vigentes em outros países.

Amadurecer as habilidades acadêmicas do discente proponente desse trabalho sobre forma do requisito parcial ao término do curso de graduação em Engenharia de Materiais da UFPel.

## **2 - REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1- Energia eólica**

A energia eólica é uma energia renovável proveniente do aquecimento não uniforme do planeta pelos raios solares e pelo movimento de rotação da terra (SÁ *et al*, 2001). Esses fenômenos causam a rotação da massa de ar dando origem

aos ventos. Por volta de 2% da energia que incide no nosso planeta é transformada em energia cinética dos ventos, o que representa dezenas de vezes a mais do que a energia solar aproveitada na fotossíntese das plantas (SÁ *et al*, 2001).

Na Figura 1, as áreas vermelhas e amarelas ilustram as temperaturas mais altas do globo, posicionadas no centro do planeta, e as cores azuis, situadas nos polos da figura, as mais baixas. Por essa variação de temperatura no globo gera-se uma diferença de pressão atmosférica que, na busca de sua estabilidade, escoa enormes quantidades de massa nas camadas inferiores da atmosfera formando o fenômeno natural conhecido como vento.

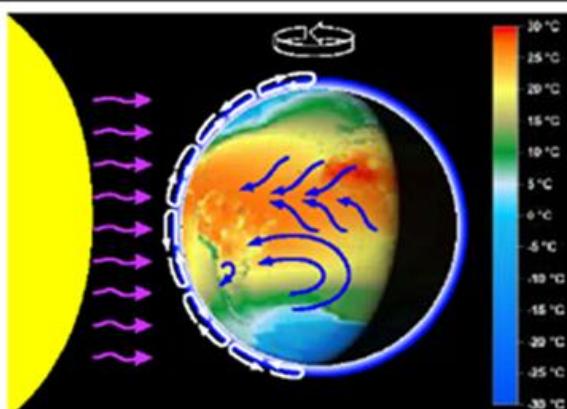


Figura 1. Ilustração do movimento da massa atmosférica gerada pelo aquecimento não uniforme e pelo movimento de rotação do planeta.

Fonte – AMARANTE, 2001.

O uso da energia eólica consiste na conversão da energia cinética de uma massa de ar em movimento em energia mecânica. Esta é gerada pela rotação das pás em torno de um eixo, que, através de um gerador elétrico, converte a mesma em energia elétrica (CARVALHO, 2003).

A conversão de energia eólica em elétrica é uma tecnologia que se tornou técnica e economicamente viável nos últimos 30 anos e a produção vem

crescendo a cada ano. A energia eólica é uma fonte de energia limpa e disponível mundialmente, em lugares com velocidades de vento maiores que 5m/s. (CARVALHO, 2003).

Desta forma, o vento em si é uma massa de ar em movimento, representando, assim, energia cinética, que aumenta com a velocidade ao quadrado e pode ser parcialmente aproveitada para executar trabalho ou gerar energia elétrica (HINDRICH e KLEINBACH, 2004).

### **2.1.1 - Potencial eólico Brasileiro**

Diante da importância da caracterização dos recursos eólicos no Brasil para caracterização dos locais favoráveis ao emprego da energia eólica, foi lançado o atlas eólico brasileiro, apresentado nas Figuras 2 e 3 abaixo. Este atlas teve como objetivo principal desenvolver modelos atmosféricos, analisar dados de ventos e elaborar mapas eólicos. Toda a pesquisa foi realizada pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), órgão do Ministério de Minas de Energia (MME) em 2001 onde foi citado que o Brasil possui um potencial de mais de 140 GW na geração de energia eólica (AMARANTE, 2001).

Estes estudos se iniciam com um modelo macro ou mais conhecido como mesoescala. Neste modelo, são utilizados dados de torres anemométricas com alturas entre 10 e 50 m espalhadas pela região que já possui um histórico de dados de velocidade e direção do vento de pelo menos 12 meses. Os dados medidos são então validados e correlacionados com dados de estações meteorológicas existentes na região, as quais normalmente possuem um histórico de vários anos de dados de velocidade e direção do vento, porém a uma altitude

menor. Após esta validação estes dados são então tratados para considerar a influência do relevo e da rugosidade da região utilizando um programa de simulação em Mesoescala, como por exemplo, os programas MesoMap e WindMap. Como resultado, são apresentados os regimes da região pretendida e ventos interpolados com resolução de 1 km por 1km para o restante, levando em consideração os principais processos físicos atuantes na movimentação da atmosfera da área, constituindo assim o mapa eólico da região (AMARANTE, 2001).

O atlas eólico de 2001 que mapeou todo o Brasil constatou que no litoral do nordeste ocorreram ventos com velocidades médias anuais entre 6,0 e 8,5 m/s a 50 metros de altura, de direção predominantemente nordeste e pouca turbulência durante o ano. Os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte os que possuem as áreas de maior potencial do país. Além destes, foi verificado que o estado de Minas Gerais, mesmo a mais de 100 km de distância do mar, possui um bom potencial eólico (AMARANTE, 2001).

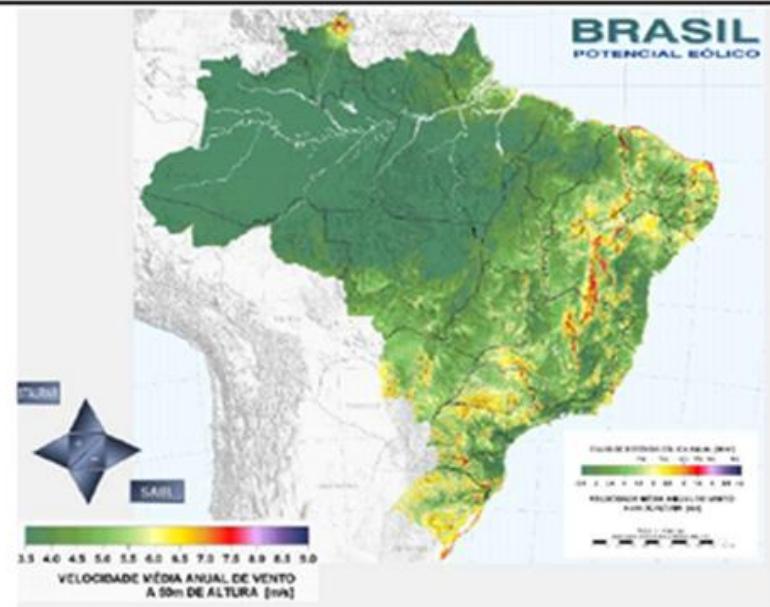


Figura 2. Atlas do potencial eólico brasileiro com legenda da media anual da velocidade do vento a 50 metros de altura.  
Fonte – AMARANTE, 2001.

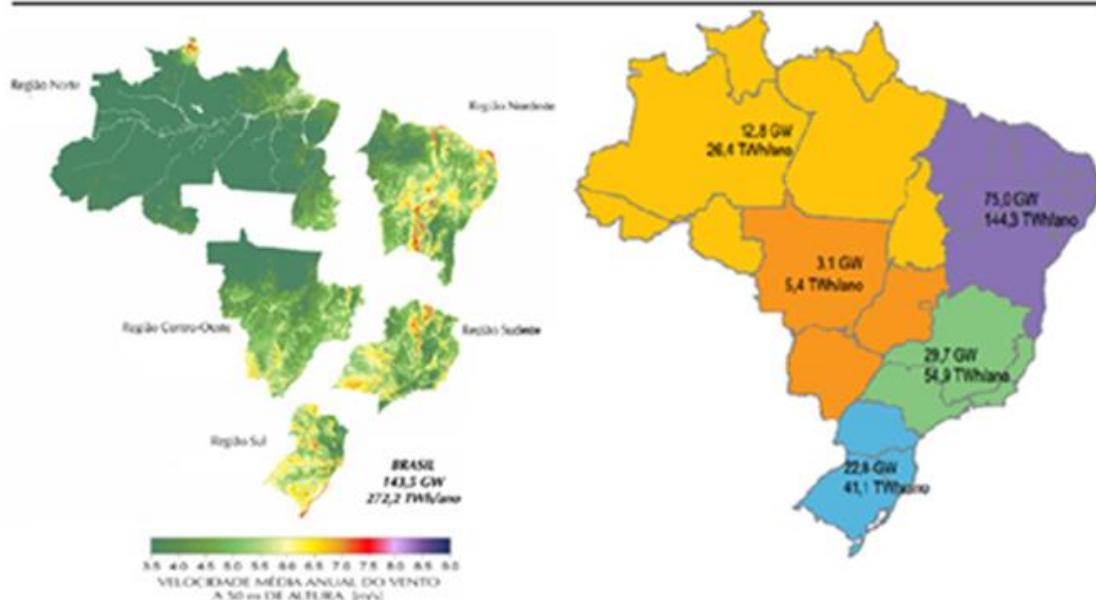


Figura 3. Atlas do potencial eólico brasileiro por região com legenda da media anual da velocidade do vento a 50 metros de altura à esquerda da figura e a direita a capacidade de produção de energia por região.  
Fonte – AMARANTE, 2001.

## **2.1.2 - Potencial eólico do Rio Grande do Sul**

Com base no resultado do potencial eólico da região Sul de 2001, em 2006 houve uma importante iniciativa para a avaliação das velocidades do vento no primeiro Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (SEMC, 1997). A metodologia utilizada para a elaboração deste Atlas foi semelhante àquela utilizada na elaboração do Atlas Eólico do Potencial Brasileiro, comentada anteriormente. Os ventos foram estimados a alturas de 10, 50, 75 e 100m de altura. A partir dos trabalhos realizados pelas equipes envolvidas no projeto de elaboração do primeiro Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, foram identificadas regiões com potencial eólico diferenciado no estado. A Figura 4 mostra as principais regiões do RS que, de acordo com a metodologia utilizada, apresentaram um maior potencial eólico. Destaca-se o litoral do Estado (região 1 e 2), com aproximadamente 600 Km de extensão de áreas adequadas para aproveitamento eólico-elétrico. Além da região litorânea, outras 4 regiões, mais interiores ao Estado, também podem ser aproveitadas para a geração de energia elétrica através da instalação de aerogeradores. As melhores áreas para aproveitamento da energia eólica na geração de energia elétrica têm velocidades iguais ou superiores a 7m/s a 75m de altura.

Os trabalhos encontrados na literatura especializada sobre ventos no Rio Grande do Sul são pontuais, na medida em que foram realizados com dados de ventos obtidos em uma determinada cidade SILVA et al. (1997)

SILVA et al. (1997) utilizaram dados de velocidade média mensal e máxima mensal para um período total de 42 anos, com tratamento estatístico calculado

combinatoriamente de 20 anos consecutivos respectivamente, com dados da cidade de Pelotas-RS na estação meteorológica da Embrapa, obtidos a 7m de altura. As informações de direção dos ventos também foram analisadas. Para os dados de velocidades médias mensais, os autores construíram distribuições de frequências divididas em 8 classes, com velocidades variando de 2 a 16m/s (com incremento de 2m/s). Como resultado, os autores encontraram que mais de 50% das velocidades médias mensais foram de 4 a 8m/s. Considerando variações das velocidades médias mensais entre 4 e 10m/s, os meses de novembro e dezembro se destacam, com mais de 80%.

A Figura 4 ilustra as melhores áreas do Rio Grande do Sul com potencial para aproveitamento da energia eólica na geração de energia elétrica.

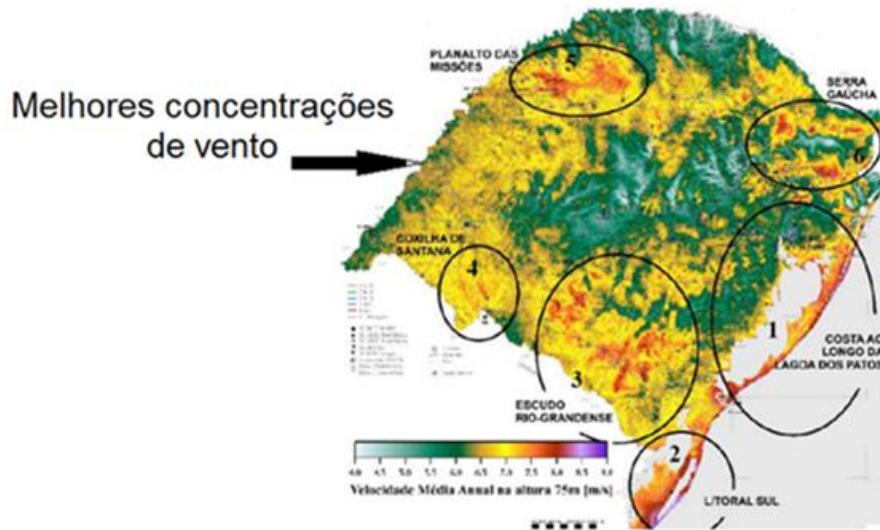


Figura 4. Indicação das melhores áreas do Rio Grande do Sul com potencial para aproveitamento da energia eólica na geração de energia elétrica.

Fonte – SEMC, 2006.

## **2.2 - Aerogeradores**

### **2.2.1 - Conceito de aerogerador**

Turbinas eólicas ou aerogeradores são máquinas que retiram a energia cinética do vento e transformam em outro tipo de energia. Normalmente estas máquinas são utilizadas para a geração de energia elétrica quando constituídas de um motor eletromagnético, mas também, as turbinas eólicas podem ser utilizadas em sistemas de bombeamento ou outros sistemas mecânicos (WENZEL, 2007).

### **2.2.2 - Curva de potência de um aerogerador.**

Os aerogeradores são máquinas totalmente dependentes do seu projeto no que cabe principalmente a sua capacidade de conversão de energia eólica em mecânica e por fim em elétrica. Esses equipamentos apresentam um limite máximo de potência em função da velocidade do vento assim, se a velocidade do vento ultrapassar a velocidade do projeto, conhecida como velocidade de potencia nominal, o equipamento exposto acima dessa taxa de velocidade do vento perde seu desempenho máximo que é, em média, dependendo do tipo de equipamento 13 m/s.

Em um pequeno aporte do que é possível, os sistemas desses aerogeradores podem contar com pás que mudam o seu ângulo de passo conforme o aumento da velocidade do vento para absorver a energia proveniente do vento e influenciar os valores da curva de potência em um melhor desempenho da conversão de energia eólica em elétrica.

O gráfico da Figura 5 ilustra a curva de potência de um aerogerador de potencia nominal de 1KW.

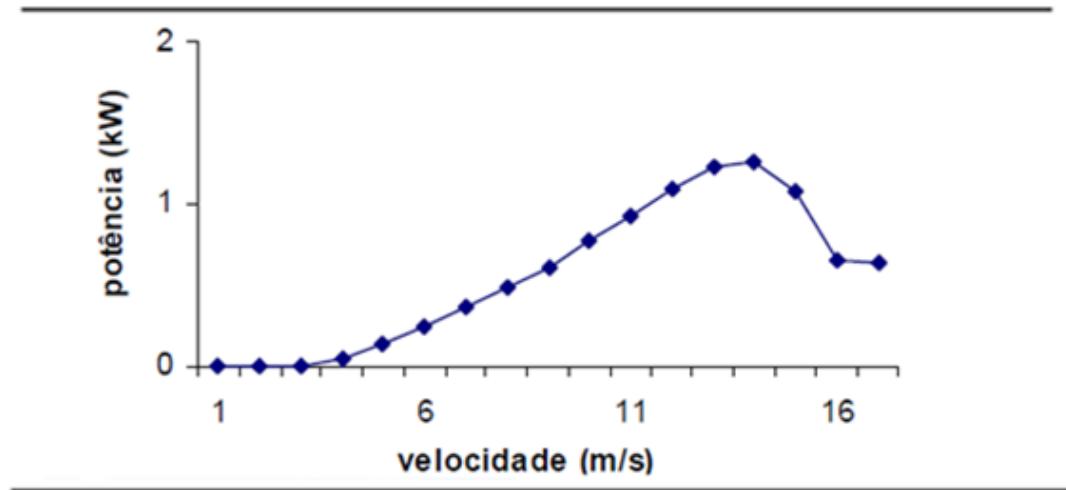


Figura 5. Curva de potência de um aerogerador de potencia nominal de 1KW.  
Fonte – REIS, 2011.

### 2.2.3 - Classificação de aerogeradores

Um aerogerador é classificado quanto: à forma construtiva de sua turbina eólica e quanto à sua potência nominal (WENZEL, 2007).

A Figura 6 ilustra duas turbinas eólicas: a) turbina eólica de eixo horizontal e na b) turbina eólica de eixo vertical.

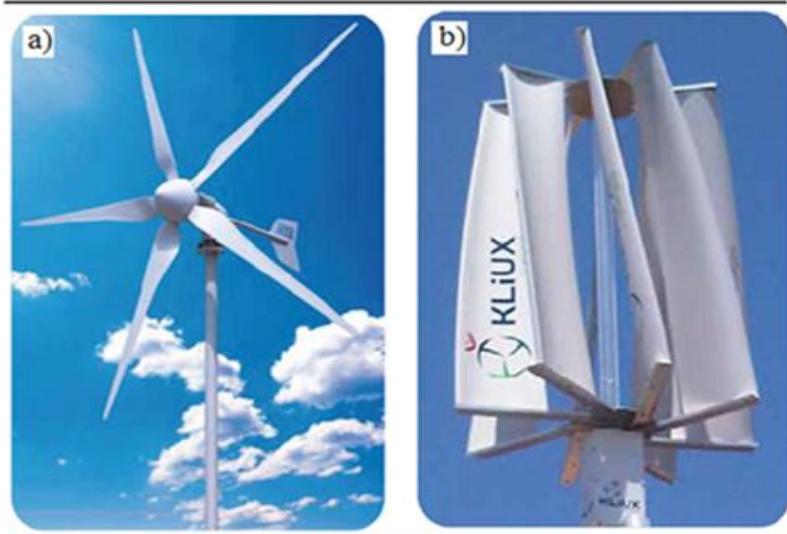


Figura 6. a) Turbina eólica de eixo horizontal. b) Turbina eólica de eixo vertical.  
Fonte – WWEA, 2012.

A Figura 7 ilustra três turbinas eólicas ou aerogeradores classificados quanto sua capacidade de geração de energia em watt (W).

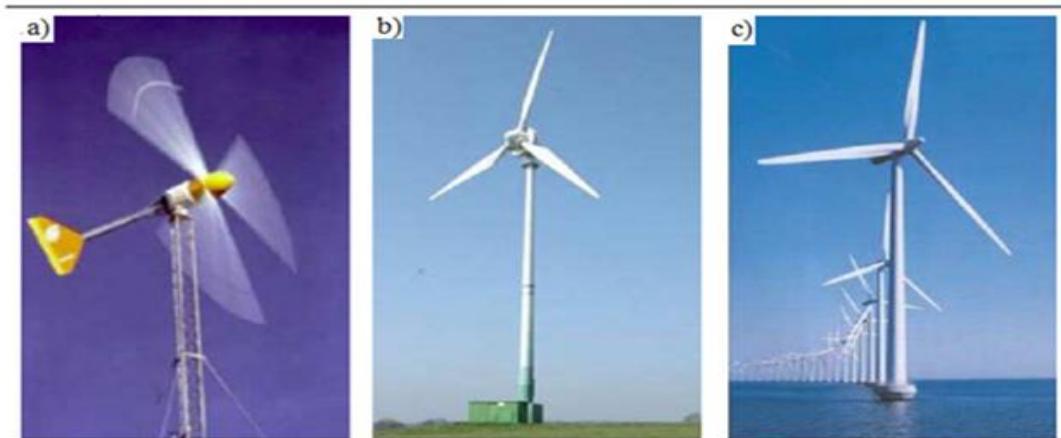


Figura 7. Exemplos de turbinas eólicas quanto à potência a) Turbina de Pequeno Porte com capacidade de produção até 50 KW b) Médio Porte (potência de 50 a 1MW) c) Grande Porte (acima de 1MW de potência).

Fonte – CBEE/UFPE, 2003.

#### **2.2.4 - Componentes de construção de um aerogerador.**

Michael Faraday foi um físico e químico inglês que, descobriu em 1831 que uma corrente elétrica era gerada ao posicionar um imã no interior de uma bobina de fio condutor, deduziu que se movesse a bobina em relação ao imã obteria uma corrente elétrica contínua, efeito que após comprovado recebeu o nome de indução eletromagnética.

Um aerogerador, em geral, é uma máquina tão simples em sua essência que advém da descoberta de M. Faraday que consiste na geração de energia elétrica pela variação de fluxo magnético no interior de uma bobina de cobre, o qual conhecemos por dínamo se produzir corrente contínua (CC) e alternador se produzir corrente alternada (CA). Resumidamente podemos dizer que, quando fala-se de aerogerador para conversão de energia eólica em elétrica está-se referindo a um motor de indução eletromagnética, rotor, pás, torre e leme.

A Figura 8 ilustra os componentes básicos de um aerogerador PP.

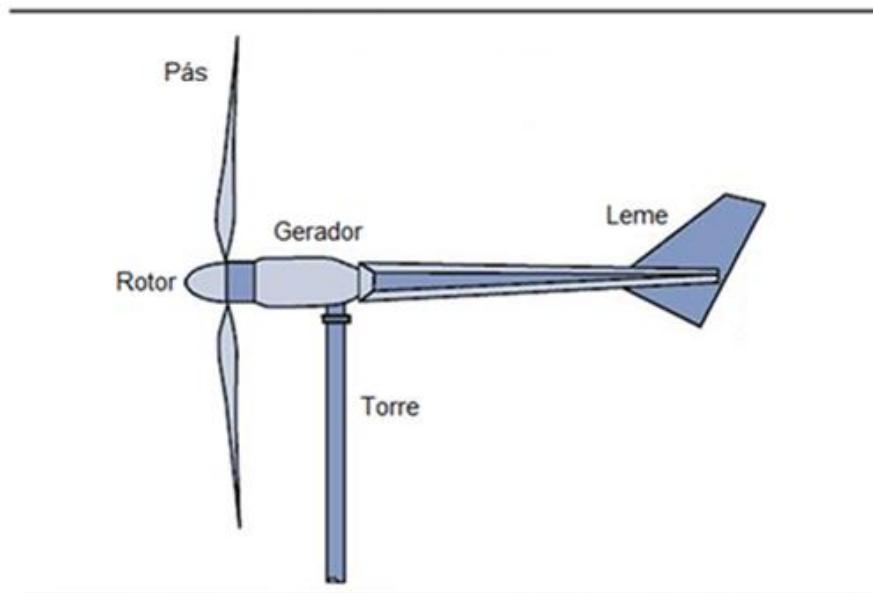


Figura 8. Imagem ilustrativa dos componentes da constituição de um aerogeradores de pequeno porte.

Fonte – CLARK, 2012.

As turbinas possuem três componentes básicos, o rotor com as pás, a gôndola (nacelle) e a torre. Na gôndola ficam os principais componentes tais como o gerador elétrico, caixa multiplicadora de velocidades, eixos, mancais, sistema de freios sistema de controle e mecanismos de giro da turbina. (WENZEL, 2007).

O rotor apresenta geralmente, um conjunto de três pás, podendo ter controle passivo ou ativo das mesmas para operar numa determinada rotação. Na maior parte, o eixo que conduz o torque das pás apresenta uma velocidade de rotação baixa sendo necessário aumentar a rotação utilizando um multiplicador de velocidades de mecanismo. Após o multiplicador é conectado ao gerador elétrico que transforma a energia mecânica em elétrica (WENZEL, 2007).

O gerador elétrico pode ser assíncrono (indução), adequado para trabalhar com rotação constante, ou gerador síncrono, utilizado em sistemas com rotação variável. (WENZEL, 2007).

As turbinas apresentam também um aprimorado sistema de controle que possibilita otimizar os ganhos de energia posicionando o rotor num plano perpendicular à velocidade do vento. Ainda possui sistemas para produzir procedimentos de segurança freando a máquina para velocidades muito altas (acima de 25 m/s). As pás podem ser fixas ou podem mudar o ângulo de passo. (WENZEL, 2007).

As turbinas eólicas apresentam diferentes tipos de comando para frenagem em velocidades de vento elevadas - são os controles por Stall ou Pitch. No controle por stall, há um desprendimento do fluxo de vento no perfil aerodinâmico, gerando vórtices e assim aumentando o arrasto e diminuindo a velocidade angular ou rotação. Já no controle por pitch, existe um sistema que gira as pás posicionando-as perpendicularmente ao vento, diminuindo a estrutura aerodinâmica e a rotação do rotor. (WENZEL, 2007).

## 2.2.5 - Aerogeradores PP

Em tese, todos os aerogeradores possuem os mesmos componentes básicos de construção e constituição como hélices, rotor, motor de indução eletromagnético que se diferenciam entre si somente pelo dimensionamento das peças. Por isso, surge a necessidade de classificá-los conforme a capacidade de conversão de energia eólica em elétrica como visto na Figura 7.

Os aerogeradores se classificam segundo WENZEL, 2007 quanto a sua posição espacial do rotor, que pode ser horizontal ou vertical (Figura 5) e quanto sua capacidade máxima de conversão da energia mecânica produzida pelo vento nas hélices em energia elétrica (Figura 7). Para classificar utilizando a potência nominal ou máxima, o conceito de pequeno porte compreende a capacidade de no máximo 50 KW; para médio porte entre 50 KW a 1 MW, e acima de 1MW de potência considera-se de grande porte.

No entanto, a ANEEL faz a classificação dos aerogeradores quanto à potência nominal de forma diferenciada. Conforme a agência, até 100 KW consideram-se pequeno porte (PP) - microgeração; entre 100 KW à 1 MW médio porte-minigeração e acima de 1MW grande porte - macrogeração. A Tabela 1 organiza os dados mediante os valores propostos pelo (WENZEL, 2007) e pela agência ANEEL.

A Tabela 1 - Classificação sugerida por WENZEL e pela agência ANEEL quanto à geração de energia elétrica de pequeno, médio e grande porte.

Classificação	WENZEL	ANEEL
	Potência [KW]	Potência [KW]
Grande porte / macrogeração	$P > 1000$	$P > 1000$
Médio porte / minigeração	$50 < P < 1000$	$100 < P < 1000$
Pequeno porte / microgeração	$0 < P < 50$	$0 < P < 100$

Fonte – Pelo autor extraído de WENZEL, 2007 ; ANEEL, 2012.

Na literatura há mais divergências quanto á classificação pela potência nominal dos aerogeradores. Para LEHMANN e KOENEMANN, (2005) microgeração e minigeração abrange a capacidade máxima de geração de energia elétrica menor que 30 KW o que entra em uma verdadeira discordância com (WENZEL, (2007)) e a ANEEL que estabelece este minigeração acima de 50KW e aquela microgeração abaixo do valor 100 KW. Os valores de potência nominal dos aerogeradores segundo (LEHMANN e KOENEMANN, (2005)) são plotados na tabela 2, abaixo.

A Tabela 2 apresenta a classificação dos aerogeradores de acordo com a potência gerada por cada equipamento conforme LEHMANN; KOENEMANN, 2005.

Classificação	Potência [KW]
Aerogeração industrial	$P > 500$
Aerogeração de grande porte	$100 < P < 500$
Aerogeração de pequeno porte	$30 < P < 100$
Minigeração	$1 < P < 30$
Microgeração	$1 > P$

Fonte – LEHMANN; KOENEMANN, 2005.

De forma geral a distinção entre WENZEL, (2007), LEHMANN e KOENEMANN, (2005) e a ANEEL refere-se ao que é aerogeração PP e como melhor utilizá-las dentro de cada necessidade. Com isso torna-se mais interpretativo e significativo assuntos e informações relativos à geração de energia elétrica por fontes eólicas.

No atual êxito da aerogeração de grande porte, o mercado para os aerogeradores PP está cada vez mais se disseminando, com uma previsão de crescimento anual em escala logarítmica até 2020, e este desenvolvimento é a nível mundial (CLARK, 2013).

Deve ser lembrado que um aerogerador de pequeno porte é uma máquina igual a um carro, trator, geladeira ou máquina de xerox, etc; que tem muitas partes, e há muitas opções diferentes, onde cada um é projetado para atender as diversas necessidades e desejos dos clientes (CLARK, 2013).

São diversas as aplicações, a depender das necessidades, principalmente em áreas remotas, onde são utilizados para geração doméstica de energia elétrica e para bombear água. Também são empregados em sítios turísticos ou naqueles longe das redes elétricas, para a geração de energia elétrica para operar todos os equipamentos de apoio e máquinas de processamento. Na navegação marítima, para alimentar estações remotas de rádio comunicação e pesquisa, sobretudo os aerogeradores PP são usados para o fornecimento de eletricidade. Atualmente, várias empresas instalam aerogeradores a fim de demonstrar comprometimento com as energias renováveis servindo, muitas vezes, como um instrumento de *marketing* para “capturar” clientes com consciência acerca das questões ambientais. (VOGT, 2010).

## **2.2.6 - Sistemas de conexão de um aerogerador PP**

### **2.2.6.1 - Sistemas Interligados à Rede**

Os sistemas interligados à rede não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Estes sistemas representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão interligados. Os sistemas eólicos interligados à rede apresentam as vantagens inerentes aos sistemas de geração distribuída tais como: a redução de perdas, o custo evitado de expansão de rede e a geração na

hora de pico quando o regime dos ventos coincide com o pico da curva de carga (RAMOS, 2006).

#### **2.2.6.2 - Sistemas Isolados**

Os sistemas isolados de pequeno porte, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias ou na forma de energia potencial gravitacional com a finalidade de armazenar a água bombeada em reservatórios elevados para posterior utilização. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida (RAMOS, 2006). Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O controlador de carga tem como principal objetivo não deixar que haja danos ao sistema de bateria por sobrecargas ou descargas profundas. Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário a utilização de um inversor. Este inversor pode ser de estado sólido eletrônico ou rotativo mecânico (RAMOS, 2006).

A Figura 9 ilustra os sistemas de conexão de um aerogerador de pequeno porte.

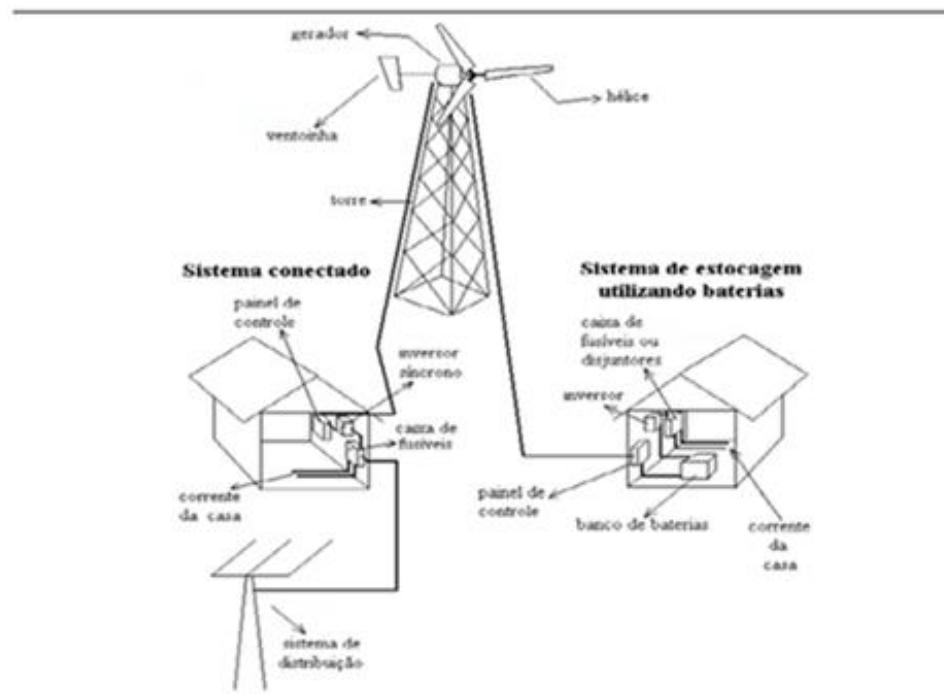


Figura 9. Imagem ilustrativa dos possíveis sistemas de conexão de aerogeradores de pequeno porte a esquerda da imagem há um sistema de conexão a rede e a direita da imagem um sistema isolado de uso do armazenamento de energia por baterias.

Fonte – RAMOS, 2006.

### 2.2.7 - Equipamentos complementares do sistema de aerogerador PP

Basicamente os equipamentos que compõem um sistema de um aerogerador PP são dependentes do tipo de conexão. Se for um sistema isolado, por exemplo, fica obrigatório: Controlador de carga, inversor de corrente próprio para esse tipo de conexão, caso exista a necessidade de alimentação elétrica em equipamentos ou iluminação por corrente alternada (CA) e um banco de baterias de alto ciclo, de preferência.

No caso de um sistema conectado a rede exclui-se o banco de baterias e o controlador de carga porque o inversor, este específico para o sistema conectado, já possui a função de controlador de carga. Em resumo, neste sistema não há necessidade do banco de baterias para armazenagem da energia pois a energia

produzida é cedida diretamente a concessionária sendo aproveitada por ela em repasse a outros consumidores.

A Figura 10 ilustra os principais equipamentos de um sistema conectado a rede no qual o projeto não exige um banco de baterias para armazenamento de energia.



Figura 10. Imagem ilustrativa de um aerogeradores de pequeno porte em um sistema de conexão a rede de energia.

Fonte – Pelo autor.

## 2.3 - Legislação para fontes de energias renováveis PP

### 2.3.1 - Legislação internacional para fontes de energias renováveis PP

No geral, é crescente por países desenvolvidos o incentivo a mais estudos, pesquisas, a aceitabilidade e a comercialização de aerogeradores de pequeno, médio e grande por meio de políticas voltadas a energias renováveis. Incentivo que se apresenta devido ao esgotamento dos recursos energéticos não renováveis como carvão mineral, o petróleo, o gás natural e os impactos

ambientes causados pela utilização indiscriminada desses materiais para geração de energia.

Muitos países como China, Alemanha, Dinamarca, Canadá e Espanha detém políticas modelo para conversão de energia elétrica por fontes de eólicas, no entanto os EUA é o país que mais investe em políticas voltadas para o setor eólico, por meio de uma combinação de incentivos federais, estaduais e locais sendo um exemplo a ser seguido pelo Brasil. Os incentivos federais são os financiamentos a P&D e incentivos fiscais. Os estaduais são, principalmente, os programas de compra compulsória de energia renovável e de incentivos à compra voluntária de geração de energia eólica. Outros programas estaduais incluem concessões para a produção, oferta de crédito e gerenciamento da produção (GAVINO, 2011).

Na década de 1980, o principal instrumento federal utilizado pelo EUA era o *ITC* (*investment tax credit*), uma forma de crédito fornecido para a instalação de parques eólicos. Somente em 1992, o governo estabeleceu um incentivo à produção de energia eólica, o *PTC* (*production tax credit*). No âmbito estadual, vários estados adotaram também o sistema de *RPS* (*Renewable Portfolio Standards*) no final dos anos 1990. Esses são os principais incentivos ao setor eólico utilizados no país atualmente (CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE, 2008).

Dos programas estaduais dos EUA destacam-se o *RPS* e o *Green Power*. O primeiro exige, por meio de legislação, dos produtores de energia elétrica que uma porcentagem de sua oferta seja proveniente de energias renováveis. Esse é

um importante instrumento de estabelecimento de metas de expansão das energias renováveis e de criação de um ambiente de competição entre as fontes renováveis, induzindo à redução dos preços. No ano de 2009, 28 dos 51 estados americanos adotavam esse instrumento. O *Green Power* é um programa composto de incentivos à compra voluntária de eletricidade por fonte renovável. Um exemplo é o *Green Pricing*, pelo qual o consumidor paga um bônus fixo sobre a taxa de eletricidade a fim de financiar o custo adicional da produção de energia por fonte renovável (GAVINO, 2011).

Os incentivos fiscais federais são os chamados *ITC* e *PTC*. O primeiro permite que 30% do investimento sejam reembolsados por meio de desconto no imposto de renda. Alternativamente, pode ser retirado na forma de concessão inicial equivalente a 30% do valor total do projeto. O *PTC* fornece um crédito baseado na produção de eletricidade por fonte eólica, reduzindo o imposto de renda devido e incentivando investimentos em novas plantas eólicas. O *PTC* vai para o dono do projeto de geração de energia renovável e é reduzido se o projeto já recebe outro benefício federal como financiamento de energia subsidiado e o *tax-exempt bonds* (títulos emitidos pelo governo sem obrigações tributárias federais). Além disso, apenas projetos localizados no país que comercializam seu produto podem ser qualificados para receber este incentivo. Em 2002, o *PTC* era de 1,8 centavos de dólar por quilowatt-hora (cUSD/kWh) produzido pelo período de 10 anos a partir do início da operação da turbina, e ajustada periodicamente pela inflação. Em 2009 o *PTC* estava em 2,1 cUSD/kWh (IEA, 2003 e 2010).

Os programas de P&D no setor eólico são, em sua maioria, financiados por meio do *Wind Program*. Este contém uma ampla variedade de pesquisas, tais

como em tecnologia de turbinas de grande porte, na difusão de tecnologia de turbinas de pequeno porte a fim de atender à crescente demanda observada, no incentivo ao aumento da produção de energia por fonte eólica e trabalhos referentes à aceitação da tecnologia por parte da população (IEA, 2009). Foram incluídos, também, créditos para investimentos em novos equipamentos de produção de energia e uma extensão do programa de garantia de empréstimo para energias renováveis (GAVINO, 2011).

Há também as atividades de pesquisa para incentivar a implantação e expansão da produção de energia por fonte eólica em instalações do governo, como nas dependências do Departamento de Energia Americano, das universidades e das forças armadas e bases militares, bem como em locais onde existem comunidades tribais. Outro destaque é a parceria com laboratórios para a realização de pesquisas referentes à resolução de problemas surgidos com o aumento da penetração da energia eólica na rede de distribuição. Este último ramo de pesquisa é essencial, pois a variabilidade da oferta de energia eólica provoca oscilações na rede e aumento de custos (GAVINO, 2011).

### **2.3.2 - Resolução normativa Brasileira N° 482 da ANEEL**

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é uma autarquia sob regime especial (Agência Reguladora), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com sede e foro no Distrito Federal, com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as Políticas e Diretrizes do Governo Federal. A ANEEL foi criada em 1996, pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, durante o primeiro mandato do Presidente Fernando Henrique Cardoso.

Recentemente a ANEEL implantou a resolução normativa nº 482, outorgada em 17 de abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso da microgeração a qual tem potência produzida menor ou igual a 100 KW e minigeração com potência maior de 100 KW e menor que 1000 KW, distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o qual prevê o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências (MME; ANEEL, 2012).

O sistema elétrico é análogo à rede da internet no que diz respeito a qualquer um poder baixar e subir arquivos. Na verdade, quem é consumidor também pode ser gerador de energia elétrica utilizando a mesma rede. O que impedia que isso acontecesse até o momento era a falta de um marco regulatório que estabelecesse as novas regras no Brasil e essa regulamentação hoje existe com a resolução normativa nº 482 de 17 de abril de 2012.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) deu “um pontapé inicial” ao definir a regulamentação da mini e microgeração no País, através da dessa resolução. A partir de agora, a agência acompanha com atenção a sua aplicação no mercado, porém ainda há várias barreiras à ampliação principalmente da microgeração no Brasil, como tributação e dificuldade de acesso a equipamentos e serviços como projeto de instalação, comissionamento e venda da tecnologia, mas se acredita que a perspectiva é de evolução significativa do mercado nos próximos anos em todas as fases de carência (FARID, 2013).

É difícil ter uma projeção exata, mas dados fornecidos pela Abradee (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica), aponta numa projeção de que a microgeração participe com cerca de 5% do mercado de energia no Brasil em 2030. Em alguns países, como a Alemanha, esse percentual

é bem grande, e também existem outros, como Espanha e Portugal, onde o próprio governo praticou uma política pública de incentivo maior para o desenvolvimento dessa geração, o que no Brasil ainda não é o caso (FARID, 2013).

O Brasil deu um primeiro passo para uma verdadeira expansão das energias renováveis classificadas dentro da potência de mini e microgeração, mas precisa melhorar sua política de incentivo fiscal e as fontes de financiamento para acessibilizar economicamente a tecnologia seguindo o modelo político para subsídio de energias renováveis dos EUA e outros países, pois por enquanto a resolução normativa nº 482 é a única medida beneficiadora da tecnologia de geração de energia de pequeno - microgeração e médio porte – minigeração no Brasil.

## **2.4 - Mercado mundial de aerogeradores PP**

### **2.4.1 - Introdução ao mercado mundial de aerogeradores PP**

Diferentemente dos aerogeradores de grande porte, para os quais a lista global de fabricantes não é muito extensa os dez maiores fabricantes de aerogeradores de grande porte dominam com cerca de 80% do mercado global na lista de fabricantes de aerogeradores de pequeno porte. De acordo com o portal de internet *House-Energy* ([www.houseenergy.com](http://www.houseenergy.com)), criado com o intuito de levar ideias de geração de energia e eficiência energética ao consumidor final, somente na Europa existe uma lista com mais de cinquenta fabricantes de aerogeradores de pequeno porte. O conhecido portal de internet *The Wind Power* ([www.thewindpower.net](http://www.thewindpower.net)) também disponibiliza uma lista com os principais fabricantes mundiais de aerogeradores de pequeno porte. Esta lista possui mais

de 120 fabricantes. Interessante é, porém, verificar que nove dos dez maiores fabricantes de aerogeradores de grande porte também estão no mercado de aerogeradores de pequeno porte, sendo estes aqui listados em ordem de importância no mercado de aerogeradores de grande porte: Vestas (Dinamarca), GE Wind Energy (EUA), Sinovel (China), Enercon (Alemanha), Goldwind (China), Gamesa (Espanha), Suzlon (Índia), Siemens Wind Power (Alemanha) e RE Power (Índia) (TREVISAN, 2011).

Embora os residentes rurais de países como os EUA, China e Cuba tenham utilizado a geração de energia pela utilização do vento desde a década de 1960 com pequenas turbinas eólicas, a industrialização global de energia eólica PP tem demonstrado um crescimento notável ao longo das últimas décadas a qual se observou um crescimento médio do mercado de aerogeradores PP e também o surgimento de novas indústrias nesse setor. Este padrão é em grande parte causada pelo crescente interesse em sistemas ligados à rede que vem principalmente do consumo residencial. Famílias americanas (USA) consomem por ano uma quantidade média de energia elétrica de 11.496 kWh e sob as mesmas hipóteses, uma turbina de 10 KW é necessária para cobrir o seu consumo total. Com base neste consumo, em comparação, uma família Européia exige uma turbina de 4 kW, enquanto uma família Chinesa, necessita devido seu consumo médio, de uma turbina de 1 kW, conforme apresentado na Tabela 3 (WWEA, 2012).

A Tabela 3 - Valores do consumo médio anual de energia elétrica de famílias pertencente a 3 continentes diferentes e a potência necessária dos aerogeradores para suprir esse consumo.

Famílias	Consumo médio anual (KWh)	Potência do aerogerador (KW)
Americanas (EUA)	11.496	10
Europeias	5.000	4
Chinesas	1.500	1

Fonte – Pelo autor extraído da WWEA, 2012.

No entanto, com base do consumo médio dos países ou dos continentes, uma definição aceitável da potência nominal de um aerogerador PP deve ser acordada para se medir o verdadeiro crescimento desse setor. Para tal, *wind world energy association* (WWEA) constitui um sistema de classificação internacional unânime para aerogeradores PP aceito por todas as partes da indústria. Para a finalidade de gerar gráficos, ficou escolhido o valor máximo de 100 KW como o ponto de referência temporário. A definição, no entanto, requerirá mais discussão até se chegar a um acordo global harmonizado (WWEA, 2012).

Tomando por base o ponto máximo de geração de energia pelos aerogeradores a *wind world energy association* (WWEA) mapeou de forma mais abrangente o número de empresas que fabricam, comercializam ou prestam consultoria nesse setor, aumentando esse valor de 120 conforme *The Wind Power*.

A Figura 11 plota em um gráfico circular os cinco maiores países, a esquerda da imagem, (Canadá, China, Alemanha, Reino Unido e os EUA) na supremacia de mais de 50% do mercado global das empresas fabricantes de aerogeradores PP, até o final de 2011, a (WWEA) listou 330 fabricantes em todo mundo. A distribuição global desses 330 fabricantes de aerogerador PP pode ser encontrada na Figura 11.

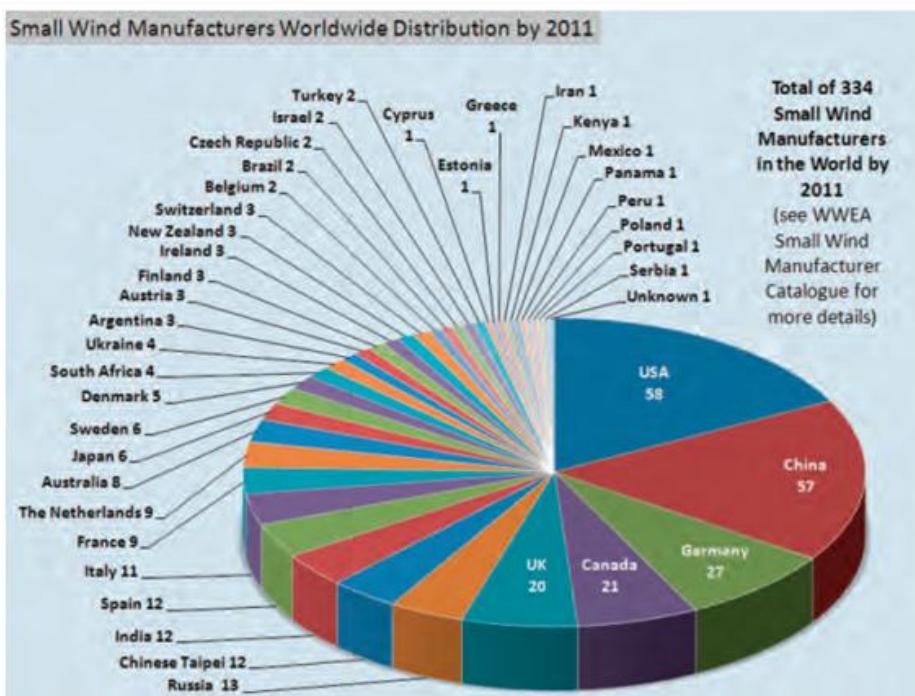


Figura 11. Gráfico circular da distribuição mundial de fabricantes de aerogeradores de pequeno porte.

Fonte – WWEA. 2012.

#### 2.4.2 - Instalação mundial de aerogeradores PP

No inicio de 2009, um total cumulativo de 521.102 aeroeradados PP já haviam sido instalados, em todo o mundo e ao longo desse ano mais 60.000 foram instalados com uma receita de vendas de mais de 215 milhões de dólares. Até o final de 2010, os sistemas eólicos mundiais totais instalados alcançaram 656.084 unidades, o que demonstra um crescimento de 26% em relação a 2009, com uma capacidade de geração de aproximadamente 382 gigawatt-hora (GWh) ao ano (WWEA, 2012).

A Figura 12 plota em gráfico de barra os valores em ordem decrescente do número cumulativo de instalação de aerogeradores PP por países no final do ano de 2010.

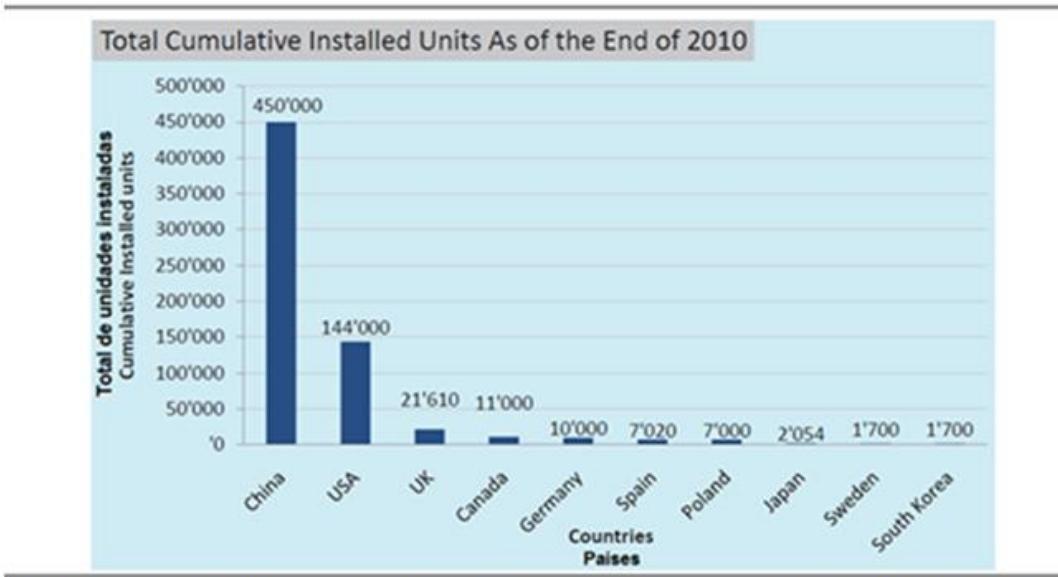


Figura 12. Gráfico de barra com valor do número de aerogeradores instalados no mundo computado em ordem cumulativa e decrescente por países.  
Fonte – WVEA, 2012.

#### **2.4.3 - Capacidade mundial de geração de energia por aerogeradores PP**

A capacidade de geração de energia pelos aerogeradores PP total instalada em todo o mundo atingiu 443,3 MW a partir do final de 2010. Só os Estados Unidos são responsáveis por aproximadamente 40% dessa capacidade de geração, com um total de 179 MW, o que é fator de indicação de que a quantidade de unidades instaladas não é sinônimo de ter maior capacidade de produção de energia conforme apresentado na Figura 11, na qual a China tem o triplo do número de instalação de aerogeradores PP do que os EUA. A realização dos Estados Unidos é atribuída ao vasto mercado e devido à cerca de 30 diferentes tipos de políticas de energia renovável, de apoio e regimes de ajuda financeira de pequenos projetos de energia eólica de todos os níveis do governo e, é claro também, ao seu enorme consumo e sua ainda dependência por fontes não renováveis de energia. (WVEA, 2012).

Com o sistema de conexão a rede, encontra-se cada vez mais aplicação para a geração de energia e, ao longo da última década, com os erogeradores dentro da maior capacidade para uma residência (capacidades entre 10 KW e 100 KW) estão impulsionando a demanda no mercado. Em 2009, aproximadamente 34,4 MW de aerogeradores PP foram vendidos globalmente, ligados à rede foram 82% do total desse mercado nesse ano, deixando 7,6 MW dessa capacidade fora da rede. Apesar da grande demanda por essas máquinas observa-se que nos países ocidentais desenvolvidos o mercado permanece frágil. Infelizmente as vendas e produção ainda são dependentes da magnitude de incentivos do governo, na forma de políticas de apoio ou programas de ajuda financeira, e apenas poucos países oferecem sistemas de apoio suficientes em áreas de conexão à rede e em áreas onde a rede elétrica não pode alcançar, e muitas vezes é economicamente inviável sem o apoio político adicional substituir a geração isoladas à diesel, produto caro e prejudicial ao ambiente (WWEA, 2012).

A Figura 13 apresenta a capacidade cumulativa instalada no mundo por ordem decrescente com dados apurados no final do ano de 2010.

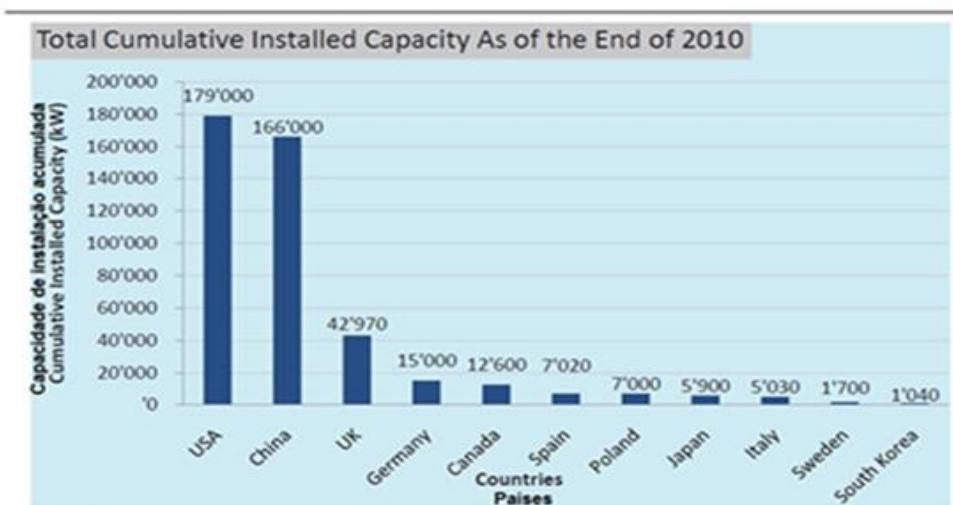


Figura 13. Gráfico de barra com o valor do número da capacidade cumulativa instalada por países em ordem decrescente com dados apurados no final do ano de 2010.  
Fonte – WWEA, 2012.

#### **2.4.4 - Previsão da capacidade instalada mundial de aerogeradores PP**

O apoio político pode ser esperado para aumentar a capacidade instalada de aerogeradores PP nos próximos anos. Em longo prazo, a indústria global de aerogeradores PP pode lentamente evoluir a partir de um modelo orientado de política para que se baseie na produtividade e na acessibilidade da própria turbina. O aumento dos preços dos combustíveis fósseis, o aquecimento global e a crescente demanda por energia elétrica serão os três pontos de apoio a longo prazo para a expansão da indústria de aerogeradores PP. A fim de que aerogeradores PP possam amadurecer, no entanto, a indústria deve ser conduzida por políticas e normas de apoio. Como a tecnologia de aerogeradores PP desafia os meios tradicionais de geração de energia, bem como revoluciona a relação entre concessionárias e clientes, a transição vai certamente levar tempo e determinação dos consumidores (WWEA, 2012).

Toda a previsão de crescimento desse específico mercado é baseada em opiniões de especialistas da indústria, utilizando o padrão de crescimento dos aerogeradores de grande porte, e a tendência de crescimento histórica da indústria renovável durante a última década que compartilha muitas características em comum com a indústria eólica de PP. Em comparação, a grande capacidade eólica instalada anual global, tem-se visto um crescimento médio de 22% entre 2001 e 2011 e a capacidade fotovoltaica instalada tem experimentado um aumento médio anual de 39% durante o período inicial de crescimento da indústria de energia solar, entre 2000 e 2010. Assim, para a indústria eólica de aerogeradores PP pode ser esperado um padrão de

crescimento semelhante ao de aerogeradores de grande porte e a energia solar até 2020 (WWEA, 2012).

A Figura 14 apresenta a capacidade anual instalada global (MW) – barras azuis escuras; a estimativa anual instalada globalmente de aerogeradores PP (MW) até 2020 – barras azuis claras e; a capacidade instalada acumulada mundial produzida por aerogeradores PP (MW) – linha vermelha.

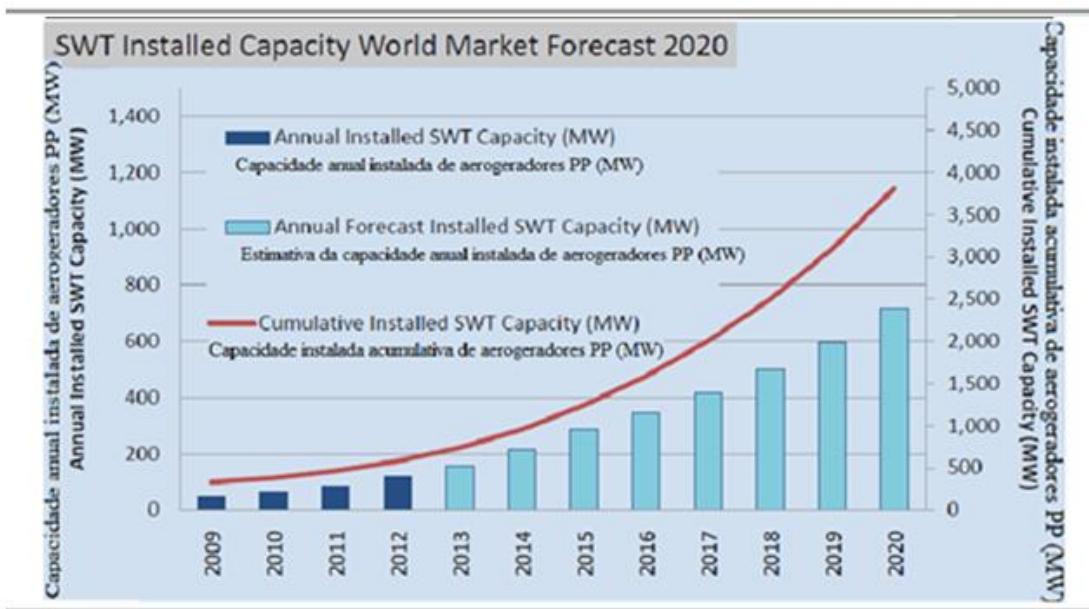


Figura 14. O gráfico de barra plota os valores da capacidade anual global instalada por aerogeradores PP (MW) – barras azuis escuras; a estimativa anual instalada globalmente de aerogeradores PP (MW) até 2020 – barras azuis claras; a capacidade instalada acumulada mundialmente de aerogeradores PP até 2020 (MW) – linha vermelha.

Fonte – WWEA, 2012.

## 2.5 - Mercado Brasileiro de aerogeradores PP

### 2.5.1 - Introdução ao mercado Brasileiro de aerogeradores PP

O Brasil foi o pioneiro na América Latina a instalar um aerogerador no início da década de 1990. Este projeto foi resultado de uma parceria entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de

Pernambuco (CELPE), através de financiamento do instituto de pesquisas dinamarquês *Folkecenter*. A turbina eólica de 75 KW foi instalada em Pernambuco em 1992, no arquipélago de Fernando de Noronha, e chegou a gerar 10% da energia elétrica consumida na ilha, economizando 70 mil litros de diesel por ano. Alguns outros projetos, muitos deles experimentais, foram realizados nos anos seguintes, nos Estados de Minas Gerais, Ceará, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraná e Santa Catarina (ANEEL, 2005). Durante os dez anos seguintes porém, pouco se avançou na consolidação da energia eólica como alternativa de geração de energia elétrica no país, em parte pela falta de políticas, mas principalmente pelo alto custo da tecnologia (SIMAS, 2012).

Pode-se considerar que o mercado de aerogeradores no Brasil foi inaugurado em 1992 em Pernambuco e ao contrário do que se pensa, a geração de pequeno porte no Brasil é mais antiga do que a de grande porte, já que dentro dessa capacidade de produção de 75 KW se abrange a produção em pequeno porte - microgeração (WWEA, 2012).

### **2.5.2 - Empresas Brasileiras**

Atualmente, o Brasil detém um número muito reduzido de empresas nacionais fabricantes de aerogeradores PP segundo Centro de Energia Eólica (CE-Eólica) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS) o país possui 6 empresas nacionais que fabricam e/ou instalam esses aerogeradores, todos com capacidade de produção inferior a 100 KW de potência. A Tabela 4 abaixo lista as empresas fabricantes e/ou instaladoras de aerogeradores PP por estado no Brasil. (CE-Eólica, 2013).

A Tabela 4 - Empresas nacionais fabricantes e/ou instaladoras de aerogeradores PP por estado no Brasil.

Fabricantes e/ou instaladoras	Estado
Altercoop	SP
Eletrovento	SP
Enersud	RJ
Energia Pura	RJ
Solarterra	SP
Workwind	RS

Fonte – Pelo autor extraído da CE-Eólica, 2013.

Apesar de existir empresas nacionais de aerogeradores PP, não há dados oficiais disponíveis que apontem o aumento do número de aerogeradores comercializados e muito menos a potência total gerada por esses aerogeradores. De acordo com o Centro de Energia Eólica (CE-Eólica) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), já na década de 1950 aerogeradores de baixa potência eram comercializados no estado e em outras localidades rurais do Brasil. Empresas do setor dão conta de que os bons ventos que sopram sobre os grandes fabricantes também têm chegado aos pequenos. A Eletrovento, de Campinas, SP, passou para o controle da empresa Everest, de Mairinque, SP, em fevereiro de 2011. Já a carioca Enersud passou a receber telefonemas de interessados com maior frequência (Época, 2011).

A Enersud foi uma das pioneiras a acreditar no negócio da “brisa”. Pereira, que criou a companhia em 1996, trabalhou por 35 anos como funcionário da Petrobrás. Seu último desafio antes da aposentadoria foi encarar o cargo de superintendente da refinaria de petróleo de Duque de Caxias, RJ. “Egresso” da energia fóssil, ele encontrou nas limpas a inspiração para empreender em sua fase “pós-carreira”. Após um projeto de gerador elétrico destinado a pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), usinas térmicas eólicas PP, Pereira chegou a seu primeiro modelo de aerogerador, instalado em regime de teste em 2001, com capacidade para gerar 700 watts (energia inferior à consumida por uma

residência). Depois, foram lançados equipamentos maiores e menores, de aplicações distintas. Aerogeradores de 300 watts eram procurados por proprietários de embarcações e veleiros ou por empresas de telecomunicação com torres em zonas rurais. Os de 1.000 watts (capazes de abastecer uma residência) tinham como destino as pequenas e médias propriedades ou empresas. “O produto visa especificamente quem não conta com energia elétrica da rede de distribuição”, diz Pereira. A máquina de 1 quilowatt foi por anos o carro-chefe da empresa, que já comercializou mais de 300 aerogeradores deste porte para todo o Brasil. O modelo mais novo tem capacidade para gerar 6 quilowatts, suficientes para cerca de quatro casas. Também vem sendo testada uma máquina de 12 quilowatts. A maior parte dos clientes da Enersud instala os equipamentos sem conectá-los à rede local, recorrendo a baterias disponíveis no mercado para armazenar a energia gerada pelos aerogeradores. Porém “Algumas distribuidoras, no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, têm permitido a conexão com a rede”. “Quanto mais à vista da população, mais interesse os aerogeradores geram”, diz Pereira (Época, 2011).

Com a experiência de quem apostou em energia limpa ainda na década de 90 no Brasil, Ronald Thomé, sócio da empresa Energia Pura, importadora de equipamentos para geração de energia solar e eólica com sede em Paraty (RJ), afirma que a demanda cresce dia a dia. “Quando abri a importadora, não havia um mercado de energia a partir de fontes renováveis no Brasil. Investi porque eu sabia que seria uma questão de tempo”, diz. Quase duas décadas depois, já realizou mais de 2 mil vendas e o faturamento deve chegar a R\$ 1,2 milhão neste ano. Ao contrário dos anos 90, Thomé observa que hoje é o cliente quem procura um projeto de energia solar ou eólica, com garantia de 25 anos e vida útil de

quatro décadas. “Muita gente já está disposta a contribuir com a preservação do planeta”, afirma o empresário, (Revista PGNE, 2010).

### **3 - MATERIAIS E METODOLOGIA UTILIZADA NA FABRICAÇÃO DE UM AEROGERADOR PP DE EIXO HORIZONTAL.**

#### **3.1 - Montagem de um aerogerador PP obtido com materiais reutilizáveis**

##### **3.1.1 - Materiais utilizados**

Para a execução da construção da unidade eólica foi necessário neste projeto: 1 - Um alternador de automóvel modelo (Argentino Lucas) e um par de ímãs de alto-falantes, 2 - Um cano de PVC de 100 mm de diâmetro ( $\varnothing$ ), 3 - Um cano de PVC de 60 mm ( $\varnothing$ ), 4 - Um cano metálico de 50 mm ( $\varnothing$ ), 5 - Um cano metálico 40 mm ( $\varnothing$ ), 6 - Um cano metálico de 27 mm ( $\varnothing$ ), 7 - Uma barra circular maciça de 25 mm ( $\varnothing$ ), 8 - Uma prancheta de 25 mm ou  $\frac{1}{2}$  polegada, 9 - Dois rolamentos 50 mm ( $\varnothing$ ), 10 - Um rolamento especial de automóvel modelo Corcel 11 - Um aro de bicicleta em formato de estrela (polimérico), 12 - Uma parte de tanque de lavar roupa (polimérico), 13 - Treze parafusos, porcas e ruelas, 14 - Quatro braçadeiras, 15 - Correia de polia, observação para a correia esta tem que ser um produto novo (borracha - polímero). As Figuras 15 e 16 apresentam os principais materiais envolvidos na construção do aerogerador PP e a Tabela 5 apresenta a lista dos itens utilizados no processo.



Figura 15. Imagem dos onze principais itens de construção do aerogerador PP constituídos por materiais recicláveis exposto em ordem numérica de acordo com a Tabela 5.

Fonte – Pelo autor.

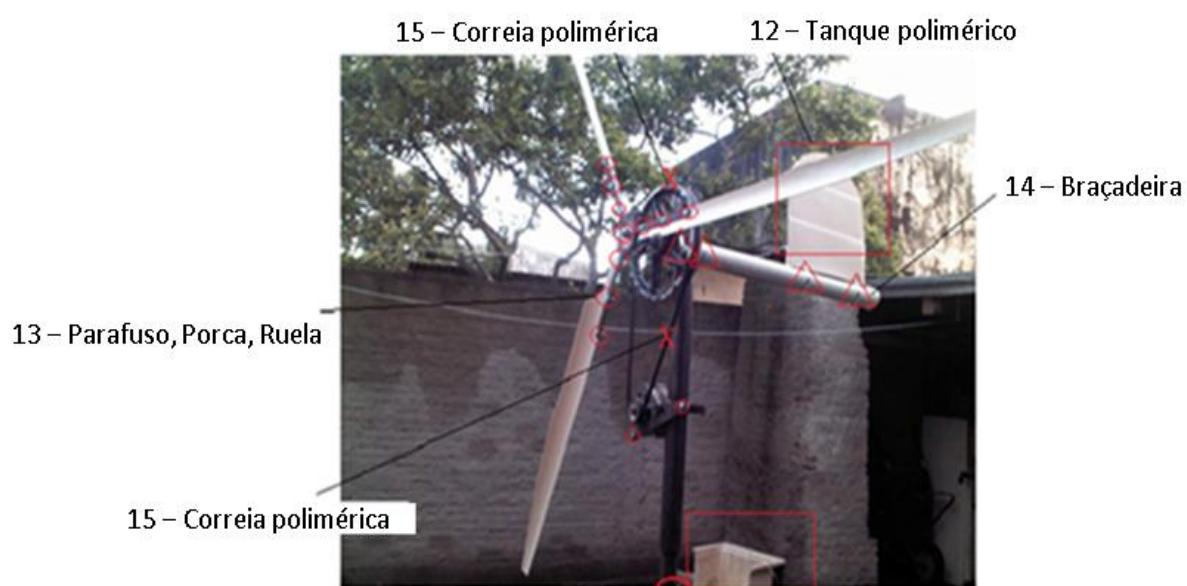


Figura 16. Imagem do aerogerador PP e dos quatro itens que constituem o aerogerador já alocados; os círculos indicam os treze parafusos, porcas e ruelas; os quadrados o tanque polimérico; os triângulos as braçadeiras e as setas com um x indica a posição da correia polimérica conforme a Tabela 5.

Fonte – Pelo autor.

A Tabela 5 - Itens de construção do aerogerador PP construído de materiais reutilizáveis sob ordem numérica, a quantidade, o diâmetro, o comprimento, o valor de cada peça e a soma resultante.

Nº	Item	Quantidade	Diâmetro (Ø; mm)	Comprimento (m)	Custo da peça R\$
1	Alternador + ímãs	3	-	-	100
2	Cano PVC	1	100	1,2	8
3	Cano PVC	1	60	1	5
4	Cano metálico	1	50	1,2	8
4	Cano metálico	1	50	0,2	1,5
5	Cano metálico	1	40	0,25	1
6	Cano metálico	1	27	0,1	1
7	Barra circular	1	25	0,4	5
8	Prancheta	1	-	2,2	1
9	Rolamento	2	50	-	5
10	Rolamento especial	1	50 - 40	-	10
11	Aro de bicicleta	1	349	-	10
12	Tanque de roupa	1	-	-	0
13	Parafuso, porca, ruela	13	-	-	3
14	Braçadeira	4	70 - 30	-	4
15	Correia polimérica	1	-	1,4	7
					<b>Valor total: 169,5</b>

Fonte – Pelo autor.

### 3.1.2 - Etapas da montagem e processo de produção

Como primeiro passo será apresentado na Figura 17 o processo de colocação dos ímãs de alto-falantes dentro do alternador, de acordo com a sequência de imagens, sendo: a) O alternador; b) A disposição do alternador aberto sobre a bancada; c) A medição para colocar os ímãs precisos dentro do rotor do alternador e d) Os ímãs de alto-falantes alocados dentro do rotor para a produção de um campo magnético permanente.



Figura 17. Processo de modificação do rotor do alternador automotivo modelo Argentino Lucas disposto em sequência conforme as imagens a), b), c) e d).  
Fonte – Pelo autor.

Como segunda etapa confeccionou-se o corte do cano de PVC 100 mm ( $\varnothing$ ) aproveitando 3 hélices exatamente a cada 1 metro de comprimento de cano conforme a Figura 18 a ; Na figura 18 b é apresentado o corte do tanque para confecção do leme; Na Figura 18 c a disposição do processamento das hélices, das pranchetas cortadas, dos rolamentos, da barra circular usinada, dos canos para encaixe dos rolamentos e do batente dos mesmos e finalmente na Figura 18 d e e As hélices fixadas por parafusos nas pranchetas soldadas e balanceadas com Durepox para um giro uniforme do sistema hélice.

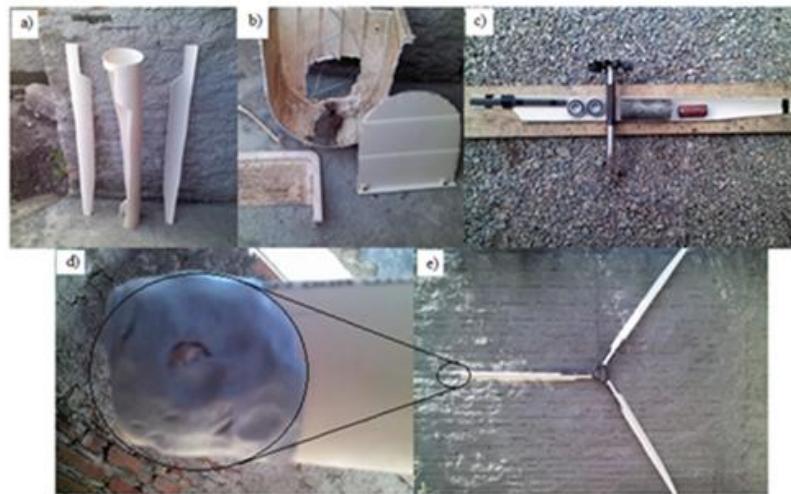


Figura 18. a) Processo de produção das hélices; b) O processo de produção do leme; c) A disposição das peças de montagem do sistema de giro das hélices e d) e e) O balanceamento das hélices.

Como último procedimento de construção do aerogerador PP fez-se, conforme apresentado na figura 19 a) Soldagem das pranchetas para apoio do alternador modificado, usinagem do cano metálico número 5 para colocação do rolamento especial, o qual proporciona o giro de 360° do equipamento; 19 b) A soldagem de 0,2 m de cano número 4 em 1,2 m de cano 4 de forma perpendicular e após colocação das braçadeiras para sustentar o conjunto leme.



Figura 19. Imagem 19 a) Usinagem do cano 5 para encaixe no rolamento especial que contém o cano 4 e soldagem da prancheta 8 para atuar como suporte do alternador; 19 b) Soldagem de um pedaço de cano 4 no cano 4, perpendicular, e colocação do leme segurado pelas braçadeiras.  
Fonte – Pelo autor.

### **3.2 - Custos dos materiais e de processamento do aerogerador PP**

O valor envolvido na produção do gerador eólico proposto neste trabalho abrange a compra dos materiais reutilizáveis e o processamento, o qual deve ser considerado para se prever a viabilidade de construção. A Tabela 5 lista todos os materiais envolvidos no projeto resultando em um valor de 169,5 R\$ e, para efeitos de cálculo, se somará esse valor ao dos processos de usinagem e soldagem apresentado na Tabela 6 em conjunto com a soma resultante do projeto. Como única exceção, a correia polimérica foi o único material que foi adquirido como produto novo.

A Tabela 6 - Valores de aquisição dos materiais envolvidos no processo de produção e montagem do aerogerador PP constituído por materiais reutilizáveis e os custos de processamento como usinagem e soldagem.

Etapas do Projeto	Valor R\$
Aquisição dos materiais reutilizáveis	169,5
Usinagem / soldagem	200
	<b>Soma total: 369,5</b>

Fonte – Pelo autor.

## **4 - RESULTADO**

Em ensaio empírico o aerogerador se mostrou apto ao emprego com um gerador elétrico de capacidade inferior ou igual à potência nominal de 500W.

O alternador modificado gerou cargas baixas a rotações relativamente normais, no entanto para rotações mais altas o alternador modificado apresentou geração de carga mais elevada, no valor superior de 3 Ampéres.

Todo o projeto para confecção do aerogerador PP com materiais reutilizáveis apresentou um custo de aquisição de materiais e processamento bem mais inferior ao custo de construção por uma unidade frabil, na média do valor de 369,5 Reais para esse projeto.

## **5 - CONCLUSÕES**

Tendo como necessidade não só mundial, mas também nacional a utilização de fontes de energia renováveis para geração de energia elétrica devido à futura escassez de energia poluente como carvão, petróleo e gás natural, ou mesmo inviabilidade financeira de grandes projetos hidroelétricos, a expansão e reestruturação de redes de distribuição aliada a todos os enormes impactos ambientais; devem ocorrer medidas governamentais muito mais promissoras do que a resolução normativa da ANEEL nº 482, outorgada em 17 de abril de 2012 no Brasil nos próximos anos, tendo como exemplo políticas externas a expansão maciça dessa tecnologia de aerogeradores PP.

O resultado obtido no alternador modificado apresentou geração de carga utilizável a altas rotações, já no emprego oposto, baixas rotações as cargas geradas produziram valores baixos tendo assim de ser melhorado o projeto de modificação do alternador automotivo para se ter um melhor aproveitamento da eólica energia em rotações mais baixas.

## **6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M., J.; ZACK, A. L SÁ ; “**Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**”, CEPEL, Eletrobrás e MME, Brasília: 2001, pp. 43.
- [2] ANEEL, **Atlas Energia Elétrica do Brasil**. 2ª. Ed. Brasilia : Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005.
- [3] CE-Eólica, CENTRO DE ENERGIA EÓLICA da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS); **Fabricante, engenharia e consultoria**. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ce-eolica/>>. Acesso em: 09 dezembro 2013.
- [4] CBEE, **Centro Brasileiro de Energia Eólica**. UFPE. 2000. Disponível em: <[www.eolica.com.br](http://www.eolica.com.br)>. Acesso em: 14 mar. 2013.
- [5] CRS, CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE Report for Congress; **Wind Powerin the United States: Technology, Economic, and Policy Issues**. Washington, 2008. Disponível em: <<http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34546.pdf>>. Acesso em: 20 novembro 2010.
- [6] CLARK, R. N.; **Small wind**: planning & building successful installations. 1ºed., EUA. 24 Setembro de 2013.
- [7] CARVALHO, P.; **Geração Eólica**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 146f, 2003.
- [8] CNPQ, CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO e TECNOLÓGICO. Brasil. **Chamada pública MCTI/CNPq N º 74/2013** Disponível em: [http://www.cnpq.br/web/guest/chamadas-publicas?p\\_p\\_id=resultadosportlet\\_WAR\\_resultadoscnpqportlet\\_INSTANCE\\_0ZaM&filtro=abertas&detalha=chamadaDivulgada&idDivulgacao=3921](http://www.cnpq.br/web/guest/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&filtro=abertas&detalha=chamadaDivulgada&idDivulgacao=3921). Acesso em: 20 outubro de 2013.
- [9] FARID J. ; **Hugo Lamin (ANEEL): Objetivo da Resolução 482 é reduzir barreiras para avanços da microgeração**, Disponível em :

<[www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/site/conteudo/Atuacao20/Noticia.aspx?C=phF5Dnfxs2I%3D](http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/site/conteudo/Atuacao20/Noticia.aspx?C=phF5Dnfxs2I%3D)>. Acesso em 10 novembro de 2013.

[10] GAVINO, N. A.; **Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009)**. 2011, 117f. monografia (Graduação em ECONOMIA) – Universidade federal do rio de janeiro, instituto de economia, Rio de Janeiro.

[11] HINDRICH, R. A.; KLEINBACH, M.; **Energia e o Meio Ambiente**, 3. ed., Editora Thomson, São Paulo, 2004

[12] IEA, WIND ENERGY ASSOCIATION ; **Annual Report 2003**. Boulder, 2004. Disponível em: <[http://www.ieawind.org/AnnualReports\\_PDF/2003.html](http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2003.html)>. Acesso em 10 abril 2010.

[13] IEA, WIND ENERGY ASSOCIATION; **Annual Report 2008**. Boulder, 2009. Disponível em: <[http://www.ieawind.org/AnnualReports\\_PDF/2008.html](http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2008.html)>.. Acesso em 10 abril 2010.

[14] IEA, WIND ENERGY ASSOCIATION; **Annual Report 2009**. Boulder, 2010. Disponível em: <[http://www.ieawind.org/AnnualReports\\_PDF/2009/2009AR\\_92210.pdf](http://www.ieawind.org/AnnualReports_PDF/2009/2009AR_92210.pdf)>. Acesso em 9 janeiro 2011.

[15] LEHMANN, K.P.; KOENEMANN, D.; Die Chancen der Kleinen; **Revista Some**, Wind & Wärme, P.23, junho de 2005.

[16] MME,MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; PROINFA - **Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica**; Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; Brasília 2003.

[17] MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA ; **Resolução normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de

compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 04 novembro de 2013.

[18] RAMOS, D. S. et al.; **Projeto de geração de energia eólica**. 2006. 75f. monografia (Graduação em engenharia industrial mecânica) - Universidade Santa Cecília, Santos, São Paulo.

[19] REIS M. M.; DEMERCIL S. O. JR. e CARVALHO P. C. M.; **Estudo de Viabilidade Econômica de Geradores Eólicos de Pequeno Porte no Modo Autônomo**, Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (UFC). Disponível em : <http://pt.scribd.com/doc/55129008/Analise-Custo-Ger-Eolico-1kW>. Acesso em : 04 de novembro de 2013.

[20] Revista PGNE, REVISTA PEQUENAS EMPRESAS GRANDE NEGÓCIOS; sustentabilidade – **Energia, A força da recriação**, Katia Simões, Disponível em: <<http://revistapegn.globo.com/Revista/Common/0,,EMI160916-17164,00-a+forca+da+recriacao.html>>. Publicado em agosto de 2010. Acesso em: 12 de dezembro de 2013.

[21] REVISTA ÉPOCA; sustentabilidade – **Energia, A força da brisa**, Clarice Couto, Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,ERT232207-16381,00.html>>. Publicado em 21 de novembro de 2011. Acessoem: 09 de dezembro de 2013.

[22] SÁ, A. L., et al.; “**Energia Eólica – Princípios e Aplicações**”, Relatório DPER 001-2001. Contrato petrobras/cenpes,CEPEL, 2001.

[23] SILVA B. J.; ZANUSSO, J.T.; SILVEIRA, D.L.M.; SCHONS, R.L.,LARROZA, E.G.; **Estudo da velocidade e direção dos ventos em Pelotas**, RS.Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 227-235, 1997.

[24] SEMC - **SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E COMUNICAÇÃO**, Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.semc.rs.gov.br/atlas>. Acesso em: 14 out. 2006. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 227-235, 1997.

[25] SIMAS, M.S.; **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: Estimativa de geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. 2012. 220 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

[26] TRAIRI; **Previsão de crescimento para a energia eólica no Brasil**. disponível em: <http://eolicastrairi.com.br/2012/12/2013-previsao-de-crescimento-para-a-energia-eolica-no-brasil>. Acesso em 20 de novembro de 2013.

[27] TREVISAN, A. S.; **Efeitos da Geração Distribuída em Sistemas de Distribuição de Baixa Tensão**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

[28] VOGT, H. H.; **Análise estrutural de pás de gerador eólico de pequeno porte feito de fibra vegetal brasileira**. 2010, 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

[29] WWEA, WORD WIND ENERGY ASSOCIATION; **Small Wind world repoter**; 2012. Disponível em:<http://www.wwindea.org/webimages/WWEA%20Small%20Wind%20World%20Report%20Summary%202012.pdf>. Pag1, Acesso em: 20 outubro de 2013.

[30] WENZEL, G. M.; **Projeto aerodinâmico de pás de turbinas eólicas de eixo horizontal**. 2007. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de

Engenharia Mecânica e Mecatrônica, DEMM - Faculdade de Engenharia - FENG,  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul 2007.

[31] WWEA - WORD WIND ENERGY ASSOCIATION; **Small Wind world repoter**; 2012. Disponível em: <http://www.wwindea.org/webimages/WWEA%20Small%20Wind%20World%20Report%20Summary%202012.pdf>. Pag 01. Acesso em: 20 de outubro de 2013.