

**ÁTILA POLL MENEZES**

**INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA COM FOTOVOLTAICA EM  
SISTEMAS ISOLADOS – CAMPUS ALEGRETE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, de Alegrete.

Orientador: José Wagner Maciel Kaehler

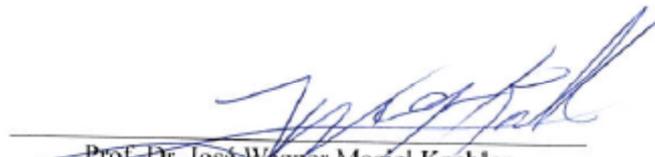
**ALEGRETE  
2011**

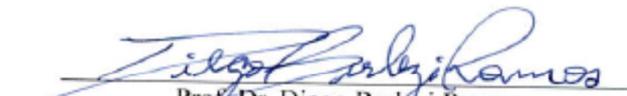
**ÁTILA POLL MENEZES**

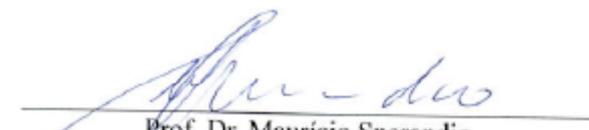
**INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA COM  
FOTOVOLTAICA EM SISTEMAS ISOLADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como parte das atividades para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Elétrica na  
Universidade Federal do Pampa.

Trabalho apresentado e aprovado em: 22 de Dezembro de 2011.  
Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. José Wagner Maeli Kaehler  
Orientador  
Engenharia Elétrica - UNIPAMPA

  
Prof. Dr. Diego Berlezi Ramos  
Engenharia Elétrica - UNIPAMPA

  
Prof. Dr. Mauricio Sperandio  
Engenharia Elétrica - UNIPAMPA

*“Dedico este trabalho a toda minha  
família que sempre me apoiou em especial  
meus pais que sem eles nada disso seria  
possível.”.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Desejo agradecer a todos aqueles que acreditaram em mim e no meu potencial, e aqueles que de uma forma ou outra contribuíram decisivamente na consecução deste trabalho.*

*Inicialmente agradeço aos meus pais, Jorge Clayton e Simone Poll por fazerem de mim quem eu sou hoje, e pela força, perseverança e paciência.*

*Agradeço a minha irmã e a meu cunhado, Mirela e Carlos Eduardo pela companhia e apoio em todos esses anos e a todos meus familiares. Por último, mas não menos importante minha namorada, Pâmela Paz, pela paciência, amor e carinho nesses últimos anos e toda sua família que sempre me acolheu. Sem esquecer-me de agradecer a Deus por ter me dado forças para sempre seguir em frente.*

*“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado”.*

***Roberto Shinyashiki***

## RESUMO

A exploração integrada e descentralizada de recursos energéticos renováveis apresenta-se hoje como uma alternativa efetivamente viável tanto do ponto de vista técnico-econômico como ambiental. Constitui-se efetivamente numa solução a ser avaliada nos processos de energização rural em propriedades distantes da rede elétrica convencional. Particularmente, são propostas soluções que integram a energia solar fotovoltaica e a energia eólica através de aerogeradores.

Em função desta premissa, o conceito da pesquisa focada na integração destes dois meios de geração em áreas isoladas tem como objetivo, em primeira estância do projeto, a análise das características individuais de cada fonte de geração, levando em consideração a variação sazonal do clima e paralelamente os meios de se extrair o melhor rendimento de cada fonte. Após esta primeira fase passa-se a analisar a geração já integrada das fontes. Avalia-se a introdução de diferentes cargas resistivas e indutivas no sistema, como iluminação, laser e força motriz para simular uma residência com consumo básico, desconsiderando, no entanto os sistemas de aquecimento, como exemplo o caso da produção doméstica de água quente sanitária.

A Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, dispõe de um sistema integrado de energias renováveis, composto basicamente por um gerador eólico e um painel fotovoltaico. Com base na integração destes elementos de geração serão feitos estudos que servirão de base na análise do rendimento deste sistema em especial. Tem assim como objetivo apontar conformações do sistema em questão, visando, por exemplo, criar formas de se obter maior rendimento com a operação integrada das fontes de geração.

Palavras-chave: Energias Alternativas, Energias Renováveis, Energia Eólica, Energia Fotovoltaica, Integração da Geração.

## ABSTRACT

The exploration of integrated and decentralized renewable energy resources presents itself today as a viable alternative effectively both from a technical-economic and environmental. It is indeed on a solution to be evaluated in the process of energizing rural properties far from the conventional power grid. Particularly, we propose solutions that integrate solar photovoltaic and wind energy through wind turbines.

In light of this premise, the concept of research focused on the integration of these two modes of generation in isolated areas is aimed at first resort project, the analysis of individual characteristics of each power generation, taking into account the seasonal variation of climate and parallel means to extract the best performance from each source. After this first phase is to analyze the generation sources already integrated. We analyze the introduction of different resistive and inductive loads in the system, such as lighting, laser and the motor to simulate a residence with basic consumption, excluding, however, the heating systems, the example of the domestic hot water.

The Federal University of Pampa, Alegrete Campus, offers an integrated system of renewable energy, basically consisting of a wind generator and a photovoltaic panel-based co.Com generation integration of these elements will be done studies to underpin the analysis of income this system, in particular. So has the purpose of pointing conformations of the system in question in order, for example, created ways to obtain higher yield with the integrated operation of generation sources.

Word-keys: Renewable Energy; Wind Energy; Solar Energy; Photovoltaic Systems; Integrated Energy Resources.

## SUMÁRIO

<b>Introdução</b> .....	<b>11</b>
<b>Desenvolvimento Teórico</b> .....	<b>15</b>
<i>Energias Renováveis</i> .....	15
<i>Fontes Renováveis de Geração de Energia Elétrica</i> .....	15
<i>Funcionamentos dos Geradores Eólicos</i> .....	16
<i>Funcionamento dos Geradores Fotovoltaicos</i> .....	18
<i>Integração das fontes de geração: Eólica e Fotovoltaica</i> .....	19
<b>Metodologia de Pesquisa</b> .....	<b>21</b>
<i>Descrição sistema Utilizado</i> .....	21
<i>Homer Software</i> .....	21
<i>Wireless Cobra 4</i> .....	23
<i>Inversor de Frequência (Conversor CC-CA)</i> .....	24
<i>Controlador de Carga e Descarga</i> .....	24
<i>Banco de Bateria (Estacionárias e Seladas)</i> .....	25
<i>Painel Fotovoltaico</i> .....	26
<i>Gerador Eólico</i> .....	27
<i>Pás</i> .....	27
<i>Freio</i> .....	27
<i>Controlador</i> .....	28
<i>Casa de máquinas</i> .....	28
<i>Passo</i> .....	28
<i>Rotor</i> .....	28
<i>Torre</i> .....	28
<i>Estação Meteorológica WMR928NX</i> .....	28
<i>Anemômetro</i> .....	29
<i>Higrômetro</i> .....	29
<i>Pluviógrafo ou Pluviômetro</i> .....	29
<i>Alimentação e Comunicação</i> .....	29
<i>Base</i> .....	29
<i>Software Measure</i> .....	30
<b>Aplicação Prática</b> .....	<b>31</b>
<i>Tratamento submetido aos dados adquiridos</i> .....	32
<i>Estudo Geração Fotovoltaica Isolada</i> .....	32
<i>Conclusão Geração Fotovoltaica Isolada</i> .....	34

<i>Estudo Geração Eólica Isolada</i> .....	34
<i>Conclusão Geração Eólico em Isolada</i> .....	35
<i>Estudo Geração com o Sistema Integrado</i> .....	36
<i>Participação Individual das Fontes Integradas</i> .....	38
<i>Conclusão Integração De Fontes</i> .....	39
<i>Análise do sistema Integrado com o Homer Software em Condições Ideais</i> .....	42
<i>Sistema Equivalente com Menor Custo – Possível Solução</i> .....	44
<b>Aplicação Real do Sistema</b> .....	<b>45</b>
<i>Projeto Sistema Autossuficiente Televisivo De Monitoramento</i> .....	45
<i>Funcionamento do projeto</i> .....	46
<i>Simulação do Sistema com Software Homer</i> .....	46
<b>Recomendações Para Trabalhos futuros</b> .....	<b>48</b>
<b>Considerações finais</b> .....	<b>49</b>
<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>50</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Média de Geração Anual no Brasil. Fonte [4] .....	19
Gráfico 2 – Média de Geração Fotovoltaica Anual no Brasil. Fonte [4] .....	20
Gráfico 3 – Medição Energia Gerada com Integração: Eólica e Fotovoltaica.....	20
Gráfico 4 – Curvas Painel Fotovoltaico .....	33
Gráfico 5 - Curva Aero Gerador.....	34
Gráfico 6 – Curva de Potências do Sistema Integrado.....	37
Gráfico 7 - Curva corrente e tensão banco de baterias.....	38
Gráfico 8 – Contribuição Individual das Gerações .....	38
Gráfico 9 – Geração painel fotovoltaicas com Luminosidade Ideais cidade Alegrete (Fonte Atlas).....	42
Gráfico 10 – Geração Eólica com velocidade ideal dos Ventos cidade Alegrete (Fonte Atlas) .....	42
Gráfico 11 – Contribuição do Sistema em Regime Ideal.....	43
Gráfico 12 - (Gráfico gerado no Software Homer) .....	43
Gráfico 13 - (Gráfico gerado no Software Homer) .....	43
Gráfico 14 – Geração Solar – Sistema Autossuficiente .....	47
Gráfico 15 - Densidade Geração Anual - Sistema Autossuficiente .....	47
Gráfico 16 – Estado da carga da bateria – Sistema Autossuficiente .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento Gerador Eólica Fonte [4].....	16
Figura 2 – Funcionamento Geradores Fotovoltaicos [2].....	18
Figura 3 - Software <i>Homer</i> .....	22
Figura 4 - Software <i>Homer</i> .....	22
Figura 5 - Base de comunicação (Fonte: Cobra 4 Family, 2011).....	23
Figura 6 - Módulo de Medição Corrente e Tensão (Fonte: Cobra 4 Family, 2011).....	23
Figura 7 - Módulo de Medição: Pressão do ar, Umidade, Altitude, Temperatura, Intensidade Luminosa (Fonte: Cobra 4 Family, 2011).....	23
Figura 8 - Inversor de Frequência .....	24
Figura 9 – Controlador de Carga .....	25
Figura 10 – Banco de Bateria .....	26
Figura 11 - Painel Solar Kyocera .....	26
Figura 12 – Estrutura Gerador Eólico [4].....	27
Figura 13 - Estação Meteorológica WMR928NX [6] .....	28
Figura 14 – Imagem Software <i>Measure</i> .....	30
Figura 15 - Fonte: Base da Imagem do Google Earth com posicionamento do próprio autor das instalações e da Rosa dos Ventos de Alegrete na primavera. ....	31
Figura 17 – Disposição do aereo gerador em relação à UNIPAMPA.....	40

**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 - Descrição Painel Fotovoltaico.....	27
Tabela 2 – Referência às Datas .....	33
Tabela 3 – Contribuição Individual das Fontes (%).....	39
Tabela 4 – Custos Sistema Integrado .....	41
Tabela 5 – Custos Sistema Integrado Idealmente.....	44
Tabela 6 – Custos Sistema Equivalente Simplificado.....	44
Tabela 7 – Custo Projeto Câmera Autossuficiente.....	46

## INTRODUÇÃO

Hoje em dia o Brasil, se encontra em um período de transição, onde os investimentos nas áreas de energias renováveis cresceram consideravelmente, principalmente na geração eólica. Um dos principais projetos desenvolvidos pelo governo federal foi o PROINFA [11], o qual fomentou boa parte dos projetos sustentáveis hoje em operação no Brasil. O subsídio e incentivos fiscais para esses fins, resultaram de uma espécie de parceria que o governo brasileiro disponibilizou com os investidores do setor privado, onde o empréstimo foi à juro quase zero para projetos nestas áreas. [11]

Essa evolução traz consigo a importância do desenvolvimento de pesquisas nestas áreas, as quais oferecem benefícios às tecnologias que envolvem os processos de geração utilizando fontes renováveis. Junto com esse avanço conseqüentemente, os custos tendem a diminuir, conforme comprovado nos sucessivos leilões de Energia Renováveis e de Energia de Reserva promovidos pelo MME.

Assim este trabalho propõe-se abordar a questão da integração de energias renováveis através da complementaridade das fontes de geração eólica e fotovoltaica, tendo como referência de campo o sistema existente na Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete. Executou-se uma análise do comportamento deste sistema integrado, observando a contribuição de cada fonte em relação às cargas RLC que foram conectadas ao sistema para a execução dos testes. Após esta etapa, foram estudadas as formas para se melhorar o rendimento do sistema em si.

O sistema integrado de produção de energia, além das fontes de geração dispõe de um banco de oito baterias estacionárias, um controlador de carga e um inversor monofásico de potência. Para os dados adquiridos, como por exemplo, curva de geração (Tempo x Geração), potência (Corrente x Tensão), em ambas as fases do projeto (geração individual e geração integrada) está sendo feita uma análise correlativa, que visa averiguar a viabilidade da integração do ponto de vista funcional do sistema.

As aquisições dos dados foram feitas em dias com características climáticas variadas, com o intuito de examinar o comportamento do sistema com tais variações. Através da coleta de dados e informações adquiridas via medições conectadas às fontes de geração e ao banco de bateria, serão feitas análises da contribuição individual de ambas. Após as fases de aquisição, análise e comparação do sistema real com simulações dos dados de geração, serão demonstrados as conclusões e os motivos dos acontecimentos, a respeito dos resultados obtidos. Apontando possíveis melhorias para o sistema que automaticamente aumentaria o rendimento do sistema.

## DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

### Energias Renováveis

Energia Renovável como o próprio nome já faz referência é algo que se renova, autossustentando-se. Teoricamente, algo bastante viável, mas na prática é necessário levar em consideração outras variáveis, que podem tornar a geração destas energias não tão viáveis. O objetivo deste trabalho primeiramente é fazer uma análise do funcionamento da geração de energia eólica e fotovoltaica, segue-se de uma análise teóricas da integração destas duas fontes, buscando que as aplicações destes meios se tornem mais viáveis economicamente, funcionando em complementação.

Comprova-se que as explorações dos recursos energéticos renováveis muitas vezes só se viabilizam com suporte governamental, em função de sua desvantagem econômica em relação aos outros processos clássicos de geração. Assim, um dos objetivos deste trabalho foi o de analisar as formas integradas mais viáveis de geração de energia. [2]

### Fontes Renováveis de Geração de Energia Elétrica

Hoje um dos assuntos mais discutido e estudado na geração de energia é a questão da exploração dos recursos renováveis, não só por ser corretamente ecológica, mas também por ter uma fonte teoricamente inesgotável e relativamente de graça. [1] Citam-se alguns exemplos, de como está o surgimento de novas áreas de pesquisa neste âmbito de energias renováveis.

- Os mares e oceanos: energia maremotriz.
- As ondas: energia das ondas.
- A matéria orgânica: biomassa, biocombustível.
- O calor da Terra: energia geotérmica.
- Água salobra: energia azul.
- Solar: Energia Radiante, fotovoltaico e térmica.
- Eólico: energia dos ventos.

Serão abordadas neste trabalho estas duas últimas formas de transformação que se constituem nos elementos práticos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

### Funcionamentos dos Geradores Eólicos

Na figura 1, podemos ver o esquema de funcionamento de um gerador eólico similar ao utilizado nos experimentos.

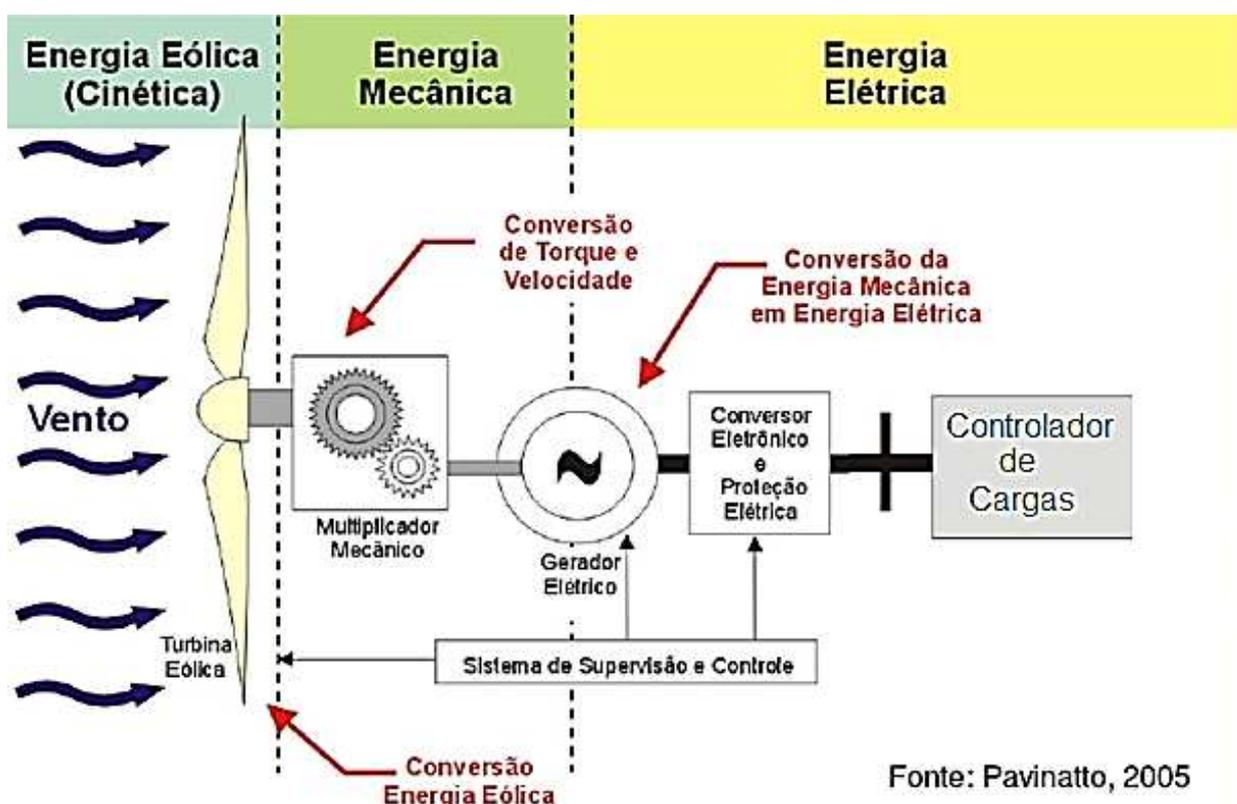


Figura 1 – Funcionamento Gerador Eólica Fonte [4]

A geração da energia eólica pode ser definida como a transformação de energia mecânica, fornecida pelos ventos, em energia elétrica, através dos aero geradores.

A potência (P) disponível nas pás do gerador em uma turbina depende diretamente da velocidade do vento que passa através delas. Esse é o motivo da variação e instabilidade das fontes de energias provenientes dos ventos.

Uma possível maneira de calcular a potência do vento que passa perpendicularmente através de uma área circular, usamos a seguinte equação 1: [4]

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 \pi r^2 \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

$P$  = potência média do vento em Watts [W]

$V$  = velocidade média do vento [m/s]

$\rho$  = Densidade do ar seco = 1,225 kg/m<sup>3</sup>

$r$  = Raio do rotor em m [metros]

Mas não se esquecendo de levar em consideração as perdas existentes no nosso sistema, então adaptando nossa equação de forma a deixar mais preciso nosso cálculo (Equação 2, adaptada). [4]

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 \pi r^2 C_b \text{ (Equação 2)}$$

O coeficiente de potência foi introduzido pela teoria de Betz. O **coeficiente  $C_b$**  caracteriza o nível de rendimento de uma turbina eólica; pode ser definido pela razão, equação 3:

$$C_b = \frac{\text{Potência Disponível no Eixo}}{\text{Potência Disponível (recuperável)}} \text{ (Equação 3)}$$

Algumas arquiteturas de geradores que são mais largamente utilizadas, por suas características nominais, são os geradores síncronos e assíncronos, a respeito deles tem algumas informações pertinentes a considerar, e elas são:

*Geradores Síncronos:* Os aero geradores utilizam este esquema para a conversão eletromecânica, pois tem como vantagens:

- Possuem alta eficiência ( $\eta=0,98$ ), pode-se citar que não há limitação de potência para sua fabricação, pode ser ligada diretamente à rede elétrica ou também, em sistemas isolados, para carregar baterias;
- Permitem um melhor controle de fator de potência da carga;

E como desvantagens:

- A questão de precisar de um regulador de tensão acoplado ao campo;

Tendo que manter uma velocidade constante na rotação (se caso ligado à rede). Para evitar-se isso necessitasse de sistemas de controles de elevados preços para obter um bom sincronismo.

*Geradores Assíncronos:* Analisando os desempenhos dos geradores síncronos e assíncronos, o último para gerar uma maior indução, ele necessita de um maior torque de partida, logo existem variações limitadas de rotação, levando em consideração que esteja dentro da margem de escorregamento do gerador. Isso gera uma maior elasticidade em rotação do que no gera-

dor síncrono, reduzindo as tensões mecânicas e flutuações elevadas de potência gerada quando da ocorrência de rajadas de vento de curta duração. É preciso levar em conta que um gerador de indução é mais robusto e necessita mínima manutenção e tem um tempo de vida útil maior que outras arquiteturas de geradores.

Estes geradores, também podem ser ligados diretamente à rede, mas podem acarretar alguns problemas como a disponibilidade de magnetização, função da corrente de partida (perturbação na rede elétrica) e com o controle da potência reativa, com isso tendo que utilizar capacitores para corrigi-lo, sendo mais um dispêndio. [1]

### Funcionamento dos Geradores Fotovoltaicos

No esquema abaixo (figura 2) mostra o arranjo genérico de um sistema fotovoltaico suprido um sistema isolado.

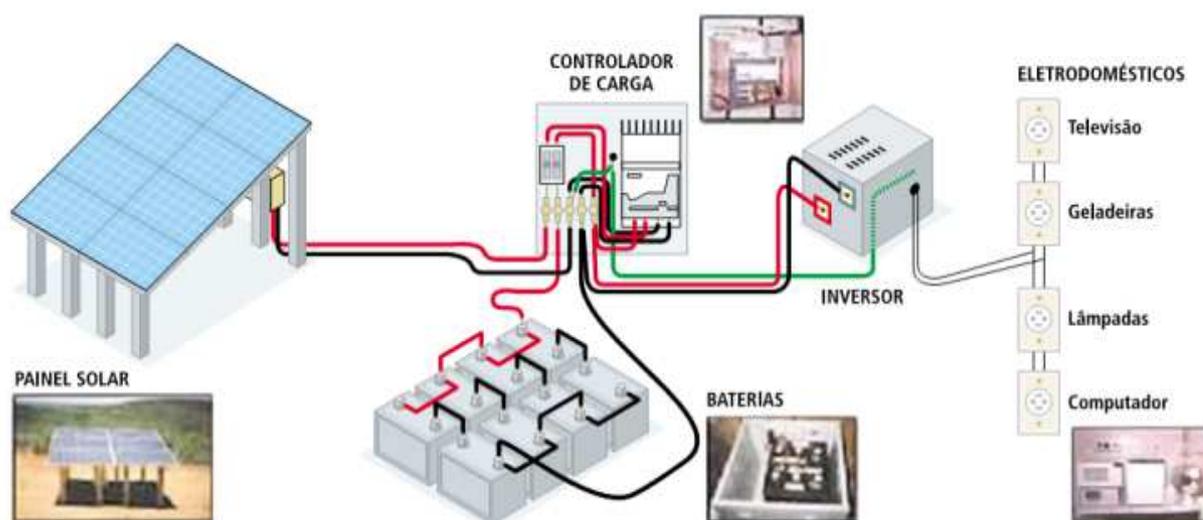


Figura 2 – Funcionamento Geradores Fotovoltaicos [2]

Ao classificar a tecnologia aplicada em painéis fotovoltaicos, pode se dividir em três princípios tecnológicos responsáveis pela geração de energia fotovoltaica. A primeira tecnologia construtiva considera uma camada única formada de diodo de junção (p-n), com a capacidade de gerar energia elétrica a partir da incidência de uma fonte luminosa, variando de acordo o comprimento de onda desta luz. Normalmente na fabricação destas placas é utilizado o silício cristalino como matéria prima. Esta tecnologia ocupa 86% das aplicações de módulos para a geração de energia que utiliza o sol como fonte primária.

Como segundo princípio tecnológico tem-se os painéis fotovoltaicos fundamentados no uso de películas finas de depósitos de semicondutores. Uma diferença muito importante que nota-se em relação à primeira fase é o seu tamanho, como essas são películas mais finas, ocu-

pam um espaço muito menor, e também o que se tem que analisar é o custo de produção dos módulos, pois este é menor em relação à primeira conformação tecnológica.

Dentre algumas tecnologias utilizadas na fabricação de placas do segundo estágio tem-se o silício amorfo, o silício policristalino ou microcristalino, telúrico de cádmio, cobre-Índio-Gálio-Selênio. Tecnicamente observa-se que a eficiência deste método é relativamente baixa, mas em função do seu baixo custo, acaba-se por conseguir uma boa relação custo x benefício.

Esta terceira evolução tecnológica fotovoltaica, tem como característica utilizar semicondutores que dependam da junção p-n para separar partículas carregadas por foto deposição. Estes novos dispositivos incluem células foto eletroquímicas e células de nano cristais. É uma tecnologia com um melhor rendimento em relação as primeiras, mas com um custo elevado em relação as primeiras opções tecnológicas analisadas. [7]

### **Integração das fontes de geração: Eólica e Fotovoltaica**

Com base na referência [4], o Atlas de Energia Elétrica da ANEEL, representa-se nos gráficos de 1 a 3 os potenciais de geração de energia eólica e solar no Brasil. Ao analisar o gráfico 1 e 2 pode-se notar uma singularidade em ambas no decorrer dos meses do ano, qual seja, quando o rendimento da eólica cai, a da fotovoltaica sobe e vice e versa.

Ao unificar a exploração destas fontes, o objetivo principal seria alcançar um melhor benefício, na utilização de ambas, se tornando mais viáveis economicamente. O gráfico 3, demonstra uma simulação da integração das duas fontes já em funcionamento, podendo-se notar uma maior eficiência de geração ao decorrer do ano, assim melhorando a relação custo/benefício do empenho das tecnologia. [4]

**Gráfico 1 – Média de Geração Anual no Brasil. Fonte [4]**

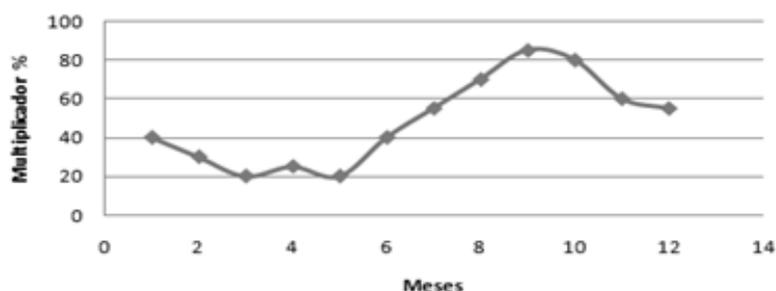


Gráfico 2 – Média de Geração Fotovoltaica Anual no Brasil. Fonte [4]

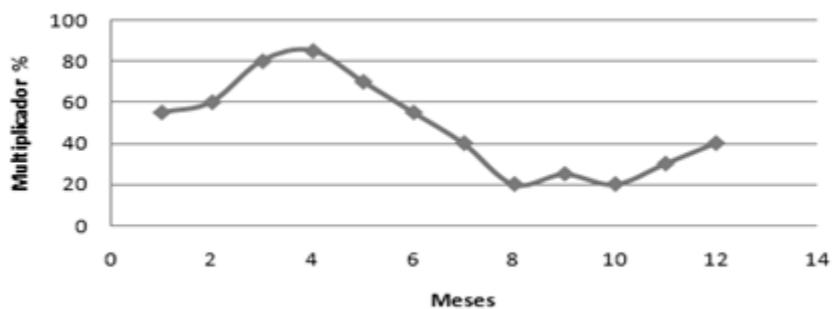
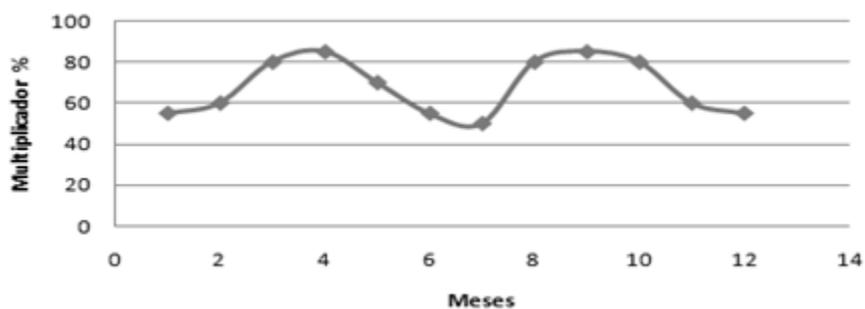


Gráfico 3 – Medição Energia Gerada com Integração: Eólica e Fotovoltaica



Observação: Multiplicador é a relação entre potência instalada e potência gerada.

## **METODOLOGIA DE PESQUISA**

O capítulo a seguir abordará as descrições técnicas de todos os equipamentos envolvidos no projeto. E o modo que foi desenvolvido os experimentos, como, por exemplo, equipamentos utilizados nas medições, conversores, controlador de carga, banco de bateria, painel fotovoltaico e gerador eólico.

### **Descrição sistema Utilizado**

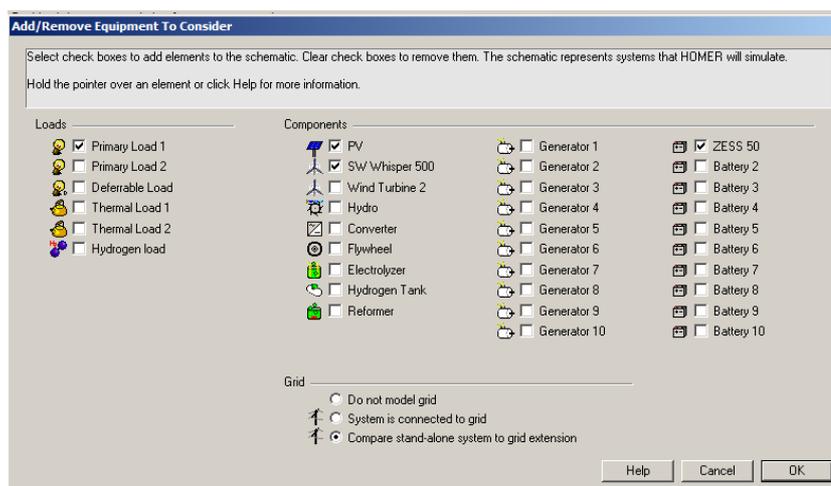
Este item conterà uma breve análise dos componentes utilizados nos experimentos.

#### ***Homer Software***

Este software é um simulador de sistemas de geração, com diversas possibilidades de configurações funcionais no sistema a ser simulado, possibilitando fazer uma análise de um projeto a ser implantado ou até mesmo servir como modelo comparativo para sistemas já em funcionamento, ajudando a obter mais informações a respeito do mesmo, que é a razão do uso deste software nesta pesquisa.

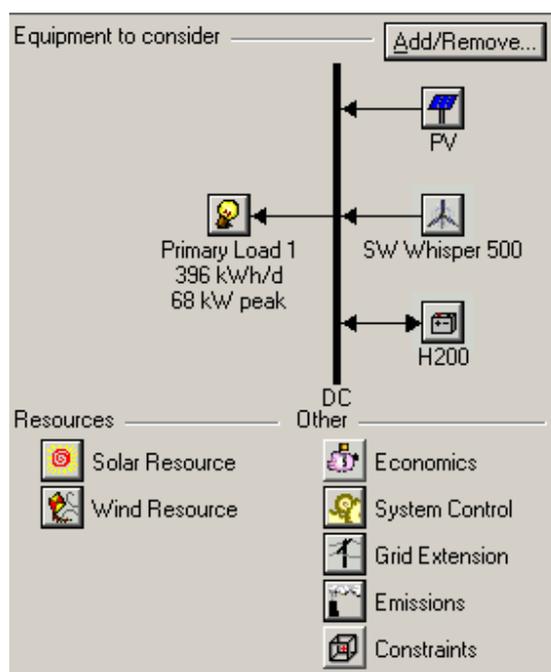
Além de verificar a compatibilidade do sistema desejado, por exemplo, se o sistema é autossuficiente, configurado com dados corretos como o valor de mercado dos equipamentos, consumo diário, cargas no sistema, ele retornar informações precisas sobre o gasto com manutenção, custo total, custo por kWh do seu sistema e etc.[12]

Na figura 3, nesta interface adiciona-se o sistema a ser analisado.



**Figura 3 - Software *Homer***

Logo na figura 4, tem-se a todo o sistema a ser testado.



**Figura 4 - Software *Homer***

Nesta interface colocam-se, todas as informações pertinentes ao sistema, por exemplo, perfil de velocidade de vento, posição geográfica, luminosidade diária, nível em relação ao mar, a carga a ser alimentada e as características técnicas do sistema a ser implantado.

Após as devidas configurações, este software fornece informações, como o custo do kWh, possíveis avarias que o sistema pode ocorrer e o mais importante informam se o arranjo do sistema é suficiente para atender as necessidades do projeto.

## Wireless Cobra 4

Sistema de aquisição de dados por sensoriamento, de muita importância ao projeto. Este equipamento é responsável que coleta de dados. Cada módulo (medidor tensão, corrente, temperatura, luminosidade e etc.) é interligado a uma base, que por sua vez faz a comunicação via *wireless*, com um computador, aonde é feito a armazenagem dos valores medidos por cada por cada módulo.

Nas figuras 5,6 e 7, tem-se a descrição da função de cada componente deste equipamento.



Figura 5 - Base de comunicação (Fonte: Cobra 4 Family, 2011)



**Electricity**  
Current, voltage

Figura 6 - Módulo de Medição Corrente e Tensão (Fonte: Cobra 4 Family, 2011)



**Weather**  
Air pressure, humidity, altitude,  
temperature, light intensity

Figura 7 - Módulo de Medição: Pressão do ar, Umidade, Altitude, Temperatura, Intensidade Luminosa (Fonte: Cobra 4 Family, 2011)

A base, responsável pela comunicação, assimila automaticamente qualquer módulo a ele conectado.

### Inversor de Frequência (Conversor CC-CA)

Este componente faz a conexão entre a saída do controlador de carga (12V<sub>cc</sub>) e entre as cargas RLC (220V<sub>ac</sub>, monofásica). Basicamente, ele monitora a corrente e a tensão de saída.

O inversor de frequência utilizado é basicamente composto por transistores que chaveiam várias vezes por ciclo, variando a amplitude, de forma a se aproximar do formato de uma onda senoidal, os pulsos são controlados por um sistema PWM (*Pulse Width Modulation*).

Após a etapa de retificação, tem-se a filtragem, feita por um conjunto de filtros que melhora a qualidade da tensão AC de saída, retirando em parte as harmônicas do sistema.

Logo abaixo, na figura 8, tem-se o modelo do conversor utilizado.

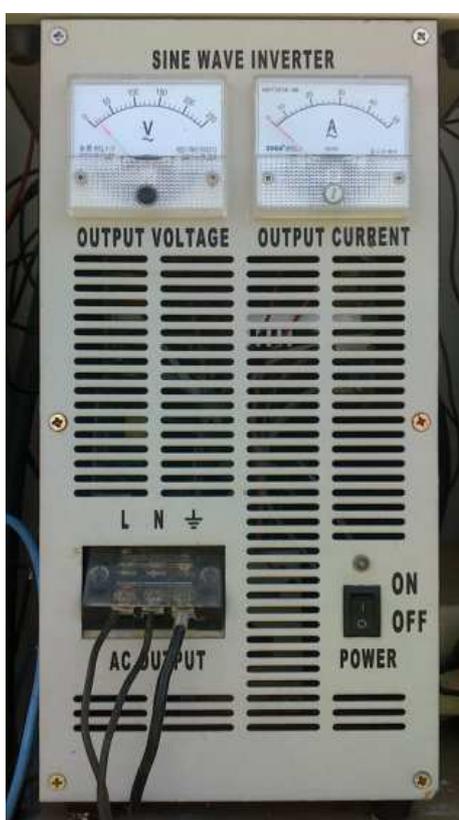


Figura 8 - Inversor de Frequência

### Controlador de Carga e Descarga

Este componente é de suma importância para o sistema, pois gerencia e controla o banco de baterias. O controlador permite carregar as baterias com a energia gerada pelo gerador eólico e o painel fotovoltaico. Ele tem o papel de não deixar que o banco de baterias seja descarregado, abaixo de um nível seguro, assim aumentando a vida útil das baterias.

Abaixo o controlador, figura 9:



**Figura 9 – Controlador de Carga**

Além de fazer o controle da carga e das baterias, o controlador tem outras funções indispensáveis, como proteções como corrente reversa, proteção de sobre corrente.

Outra função, às vezes passa em branco, é a função a ser tomada pelo controlador de carga quando as baterias estão carregadas. Alguns controladores simplesmente “abrem” o circuito, deixando os geradores a vazio, podendo elevar até 60% a tensão de saída, podendo danificar os circuitos de controle dos geradores. Então uma opção, que inclusive é a utilizada por este controlador em questão, é ao invés de abrir as saídas dos geradores, a geração é comutada para um consumidor auxiliar, que geralmente é uma resistência de aterramento regulável.

### **Banco de Bateria (Estacionárias e Seladas)**

As baterias são responsáveis de manter a alimentação para as cargas, mesmo sem geração de energia proveniente do painel fotovoltaico e do gerador eólico.

No sistema utilizam-se baterias estacionárias, cuja utilização é focada para um regime diferenciado em comparação com do regime de carga e descarga das baterias utilizadas em veículos em geral. Suas principais características e também diferenças entre as baterias tradicionais utilizadas em veículos, é que elas possuem uma maior capacidade de armazenamento de carga por longos períodos. São assim projetadas para usos intermitentes (recarga e descarga). Também são conhecidas como baterias de ciclo profundo, pois tem uma capacidade de manter uma corrente constante durante um longo período de tempo.

A característica das baterias seladas se faz necessário para que possibilite as baterias serem utilizadas juntamente a equipamentos eletrônicos, pois as baterias tradicionais exalam vapores que podem danificar os componentes eletrônicos, comprometendo o correto funcionamento dos equipamentos.

A seguir, na figura 10, mostra o banco de baterias utilizado no sistema:



**Figura 10 – Banco de Bateria**

### **Painel Fotovoltaico**

No experimento foi utilizado um painel solar de marca Kyocera, modelo Wp40. Na figura 11, o modelo utilizado.



**Figura 11 - Painel Solar Kyocera**

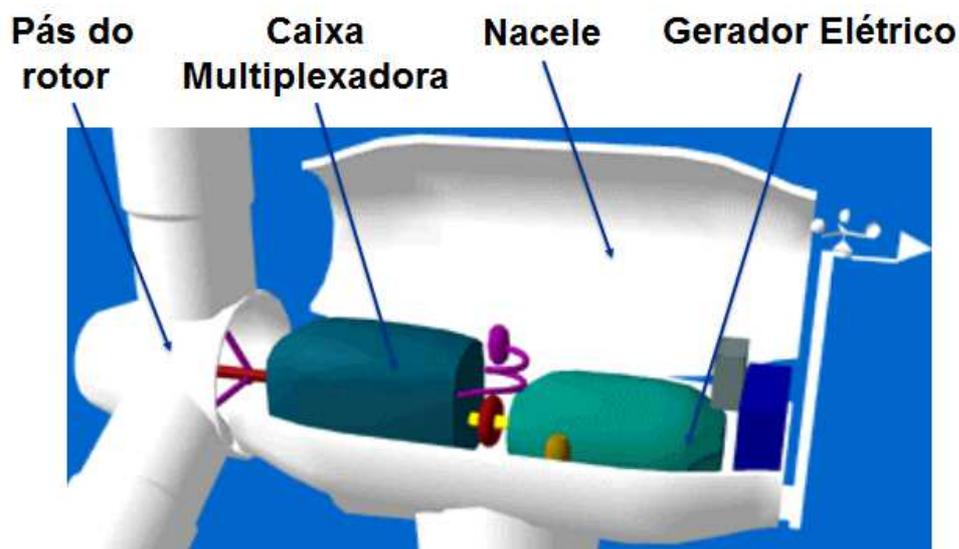
Abaixo, na tabela 1, explana os dados nominais da placa.

**Tabela 1 - Descrição Painel Fotovoltaico**

Potência nominal (Wp)	40W
Voltagem Nominal (Vmp)	17,2V
Corrente Nominal (Imp)	2,33A
Voltagem Circuito Aberto (Voc)	8V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	2,65A
Eficiência do Módulo	11,9%
Peso	4Kg
Dimensões	634 x 534 x 35mm

### Gerador Eólico

Na figura 12, pode-se ver um sistema semelhante utilizado nos experimentos.



**Figura 12 – Estrutura Gerador Eólico [4]**

#### Pás

O vento incide sobre as pás gerando uma força de sustentação, que irá mover o rotor.

#### Freio

O freio a disco pode ser mecânico, elétrico ou hidráulico, e é utilizado como um sistema auxiliar para parar a turbina em condições adversas de operação.

### **Controlador**

É utilizado para a partida e/ou desligamento da turbina, através do monitoramento de todas as partes da turbina.

### **Casa de máquinas**

Protege todos os componentes da turbina incluindo o conjugado de acionamento, o gerador, mancais e demais acoplamentos (dependem da configuração da turbina).

### **Passo**

Utilizado para limitar a potência de saída para valores do vento acima da velocidade nominal eólica.

### **Rotor**

O rotor é constituído pelas pás e pelo cubo do rotor.

### **Torre**

As torres podem ser feitas de aço tubular, de treliças ou de concreto.

Como a velocidade do vento aumenta com a altura, as torres são altas para capturar mais energias.

### **Estação Meteorológica WMR928NX**

Na figura 13, mostra os equipamentos responsáveis pela aquisição de dados a respeito das características climáticas.



**Figura 13 - Estação Meteorológica WMR928NX [6]**

É um equipamento autossuficiente, pois com exceção de sua base (elemento 7), que é responsável pela comunicação entre os demais módulos, os componentes são alimentados por pequenos painéis fotovoltaicos, que por sua vez alimenta um sistema responsável para emitir via wireless para a base, os valores adquiridos.

### **Anemômetro**

Elemento 1, é o que é responsável pela medição da velocidade do vento.

### **Higrômetro**

Elemento 2, é o que é responsável pela medição humidade do ar.

### **Pluviógrafo ou Pluviômetro**

Elemento 6, responsável pela medição quantidade de chuva, medida em milímetros.

### **Alimentação e Comunicação**

Elemento 3,4,5, responsável pela alimentação do sistema e pela comunicação via *wireless* com a base (elemento 7).

### **Base**

Elemento 7, é responsável pela captação de todos os valores medidos pelos demais componentes, por ele, via comunicação RS232<sup>1</sup>, é interligado a um computador, onde se pode descarregar os dados salvos, em planilhas ou até mesmo com auxílio de softwares como o *Cumulos*<sup>2</sup> ou da própria empresa *Oregon*, fornecedora dos equipamento, pode-se armazená-las diretamente em computadores.

RS232<sup>1</sup>: É um padrão para troca serial de dados binários entre um DTE (terminal de dados, de *Data Terminal Equipment*) e um DCE (comunicador de dados, de *Data Communication Equipment*). É comumente usado nas portas seriais dos PCs.

Cumulos<sup>2</sup>: Software paralelo e freeware, utilizado com a finalidade de extração dos dados adquiridos pela estação meteorológica Oregon WMR928NX.

## Software *Measure*

Este software auxilia na aquisição e análise de dados provenientes do sistema, ele é a base de operação dos equipamentos de medição *Cobra Wireless*. Abaixo na figura 14, mostra a interface, com um exemplo com todos os dados selecionados para aparecer na tela. Com este software é feita a análise diária, que consiste nos horários das 08h00min às 18h00min. Ao total foram feitas 10 medições, no período de setembro a outubro. Mais detalhes a respeito dos dias e características climáticas no item “Aplicação Prática”.

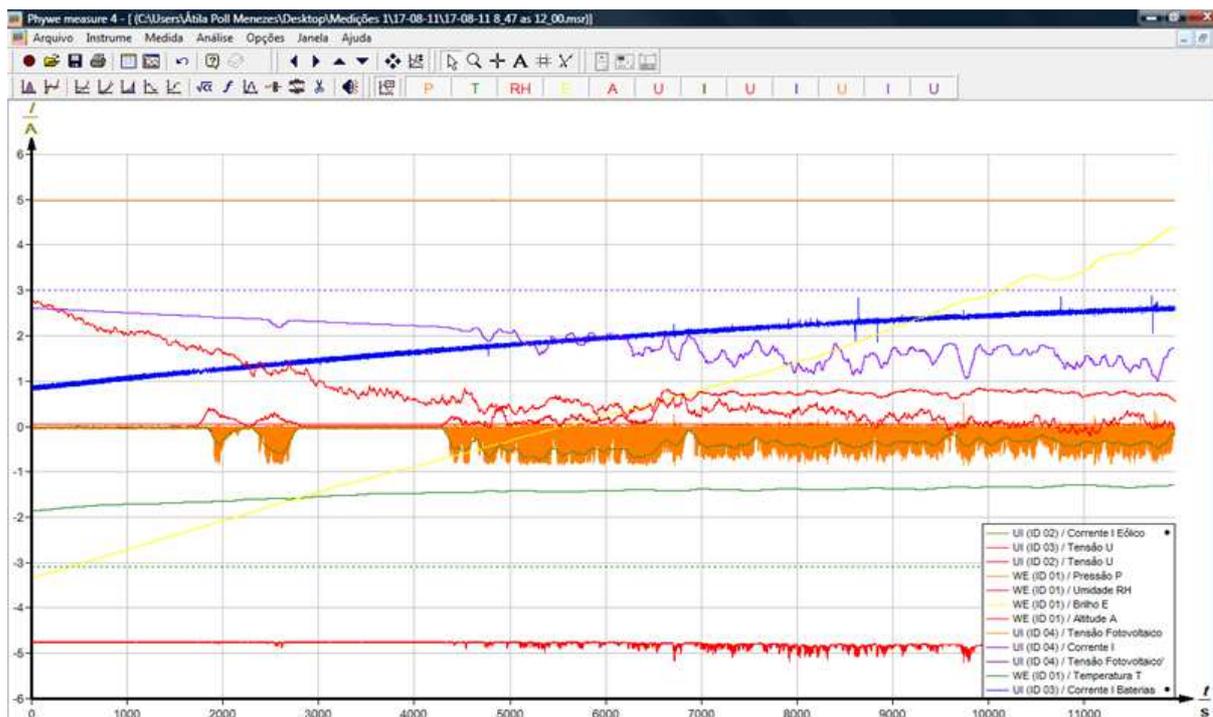
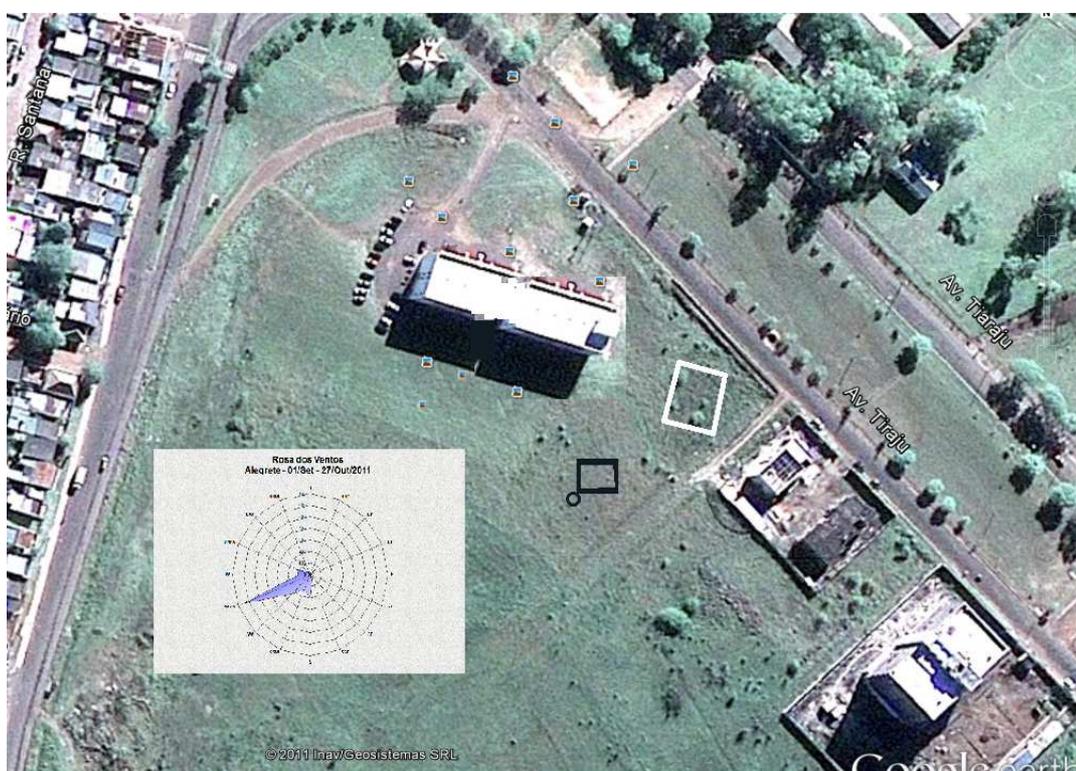


Figura 14 – Imagem Software *Measure*

## APLICAÇÃO PRÁTICA

Este capítulo abordará as experiências efetuadas e seus resultados. Abaixo, a figura 15, mostra a disposição do sistema integrado há Universidade, sendo que na foto, não consta os novos prédios ao redor do sistema, o que pode dificultar ainda mais a incidência de ventos.



**Figura 15 - Fonte: Base da Imagem do Google Earth com posicionamento do próprio autor das instalações e da Rosa dos Ventos de Alegrete na primavera.**

Para facilitar a compreensão, foi desenvolvido um método de análise simples e eficiente que consegue demonstrar com mais eficácia os valores adquiridos ao longo do dia, que se baseia no cálculo dos valores médios adquiridos ao longo de cada dia, sendo que todas as medições foram efetuadas em mesmos horários, para facilitar a análise. Os dias escolhidos foram com características climáticas variadas, para se conseguir uma resposta mais homogênea do sistema em relação às variações climáticas ao longo do ano.

Importante frisar que não foi possível monitorar o sistema 24 horas, em função do banco de bateria utilizado para os testes, estarem comprometidos, à noite elas perdiam sua alimentação principal, no caso o painel fotovoltaico, e em pouco tempo o sistema deixava de suprir tensão ao banco de baterias.

Como carga RLC foi utilizado um notebook e os sensores e dispositivos de aquisição de dados, os *Wireless Cobra 4*, que foram autoalimentados pelo sistema. Ao total este conjunto de equipamentos absorvem uma corrente de 3 ampères.

### **Tratamento submetido aos dados adquiridos**

Para facilitar as análises dos dados adquiridos ao decorrer dos dias, é feito a média dos valores diários. Em outras palavras o que nos gráficos trata-se como “medições”, de fato são medições diárias, que foram submetidas ao cálculo médio das mesmas. Um novo valor de medição era adquirido a cada 1 segundo, acarretando um grande número de dados para se tratar (relação completa dos dados adquiridos no Anexo C), a média geral diária foi à maneira encontrada para facilitar o tratamento e comparação entre elas.

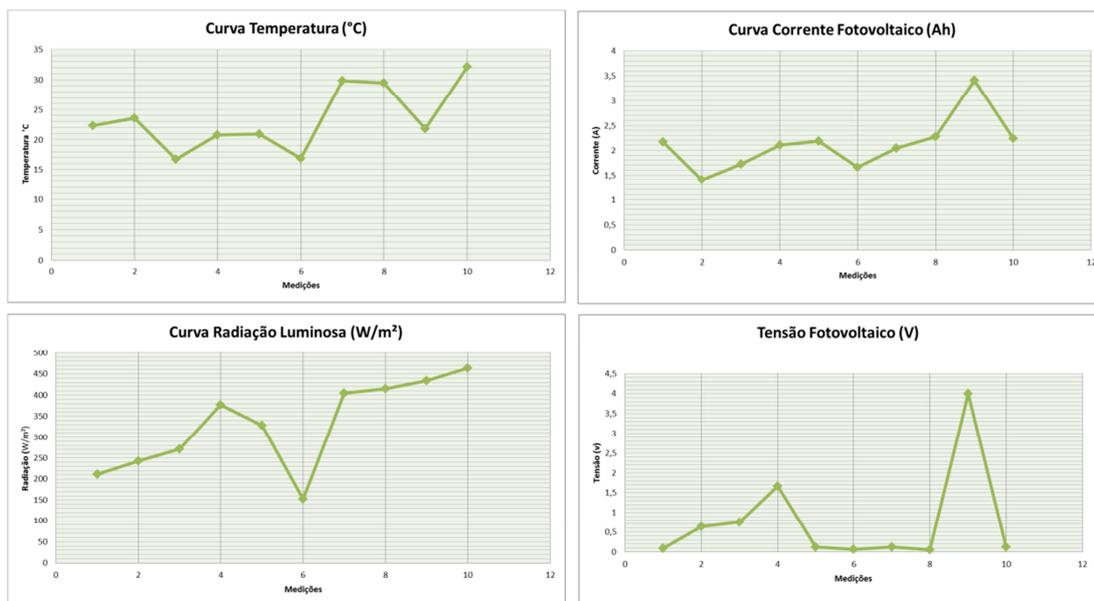
Obs.: Todas as medições foram feitas paralelamente, tanto para parte eólica quanto fotovoltaica.

### **Estudo Geração Fotovoltaica Isolada**

Neste item será feito a análise, da geração fotovoltaica isolada no sistema. Com intuito de verificar o percentual de energia gerada para alimentar o sistema.

No conjunto de gráficos 4, se tem as respectivas curvas do sistema fotovoltaico. A ideia principal é mostrar a variação de acordo as variações climáticas. Importante citar, que todas as medições foram feitas em paralelo, possibilitando à comparação.

Gráfico 4 – Curvas Paineis Fotovoltaicos



Obs.: No eixo da horizontal, com o nome “medições”, representa a sequência de dias observados. No eixo da vertical, representa a média referente a cada dia.

A tabela 2 referencia os respectivos dias de cada medição.

Tabela 2 – Referência às Datas

Medições	Datas
1	17/08/2011 (Manhã)
2	17/08/2011 (Tarde)
3	22/08/2011
4	30/08/2011
5	31/08/2011
6	01/09/2011
7	09/09/2011
8	10/09/2011
9	14/09/2011
10	22/09/2011

## Conclusão Geração Fotovoltaica Isolada

Sem muitas novidades nesta primeira fase a geração acompanhou a incidência de radiação luminosa nos painéis solares. Porém um caso interessante de ser citado foi um teste efetuado durante as primeiras 2 medições, efetuou-se a limpeza da placa solar, para analisar o ganho no rendimento, comparando os índices de geração antes e após a limpeza, o painel estava coberto de detritos e poeira, notou-se poucas ou nenhuma diferença na geração do painel.

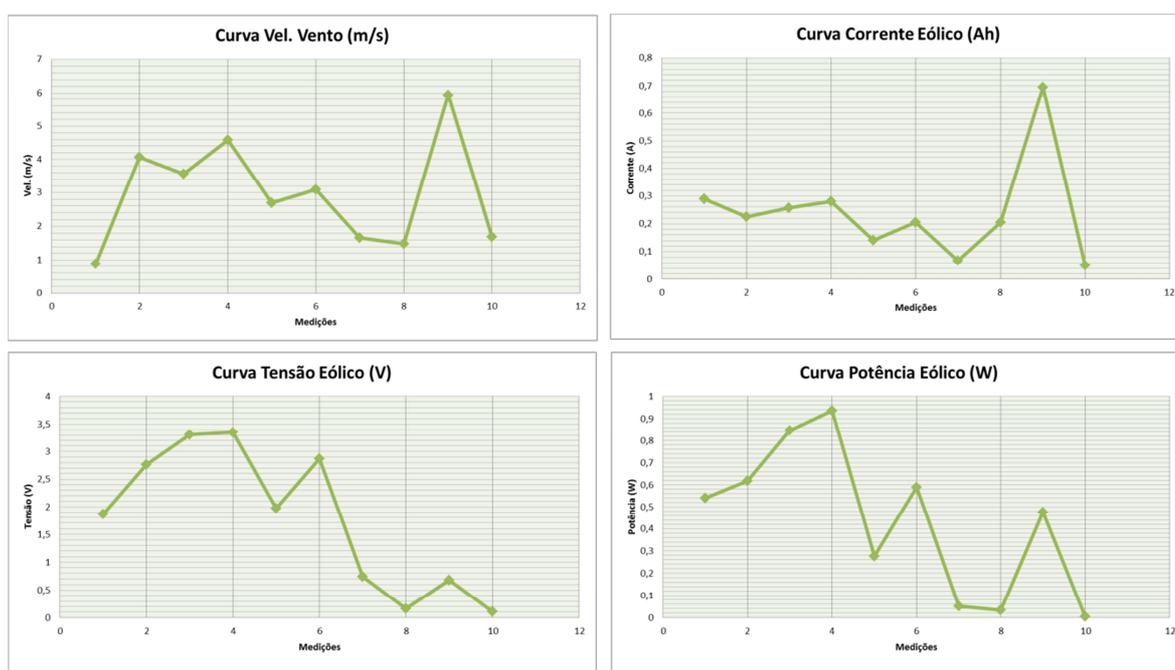
Outro ponto importante refere-se às medições 4,5 e 6 efetuadas em dias nublados e com uma temperatura um pouco inferior aos demais dias, a geração decaiu consideravelmente.

## Estudo Geração Eólica Isolada

Este item aborda os resultados obtidos focando apenas o gerador eólico, suas características e fatos ocorridos durante a captação dos dados.

Para facilitar a análise dos dados, será continuado o método de tratamento dos dados colhidos ao decorrer das medições, como já foi demonstrado no início deste capítulo. Será feita uma comparação entre os dados meteorológicos colhidos e os dados de medição concebidos ao decorrer das medições. A seguir, no gráfico 5, se têm as curvas da velocidade do vento, da corrente do gerador eólico e da tensão na saída do gerador eólico. As medições foram efetuadas no período de setembro a novembro.

Gráfico 5 - Curva Aero Gerador



Nota-se certa regularidade até as medições 6 e 7, no entanto a partir da medição 8, pode-se visualizar uma irregularidade na tensão do aero gerador, em comparação com a curva de

velocidade (gráfico 5) e a curva da corrente (gráfico 5). Seguindo o padrão, a tensão deveria ter crescido a corrente, porém, em função das baterias estarem 100% carregadas, ocorre um distúrbio nas cargas, fez com que o consumidor auxiliar (visto no item controlador de carga), entrou em operação, fazendo a tensão cair. Visto que as baterias estariam completamente carregadas, ficando somente o banco de bateria alimentando o sistema de cargas RLC.

### **Conclusão Geração Eólico em Isolada**

Pode-se notar regularidade, com aumento do vento tem-se o aumento da tensão e da corrente, com exceção do caso onde na medição 8, o sistema se encontra com as baterias completamente carregadas, então o controlador de cargas, ao invés de abrir os terminais do gerador eólico o que poderia acarretar uma ultrapassagem da tensão nominal do gerador podendo danificá-lo, ele conecta ao gerador o consumidor auxiliar.

Outra característica observada foi o baixo rendimento do aero gerador, que se da em função da localização física do aero gerador. No item, “Conclusão Geração Integrada” aborda mais profundamente os motivos do ocorrido e o item “Solução Cabível para o Sistema em Questão” aborda possíveis soluções para o problema apresentado.

## Estudo Geração com o Sistema Integrado

Na Figura 16, o esquemático 1 mostra basicamente a maneira como os componentes do sistema estão interligados. O funcionamento destes componentes foi visto no item desenvolvimento teórico. Todos são importantes para o bom funcionamento do sistema.

Basicamente a energia gerada, tanto da fonte eólica e da fotovoltaica é enviada para o controlador de carga, que por sua vez esta interligada ao banco de baterias e também ao conversor CC-CA e carga RLC. O controlador de carga é o responsável pelo controle da carga e descarga, mantendo a alimentação das cargas constante e mediando não deixar a carga das baterias chegarem a níveis críticos podendo danificá-las.

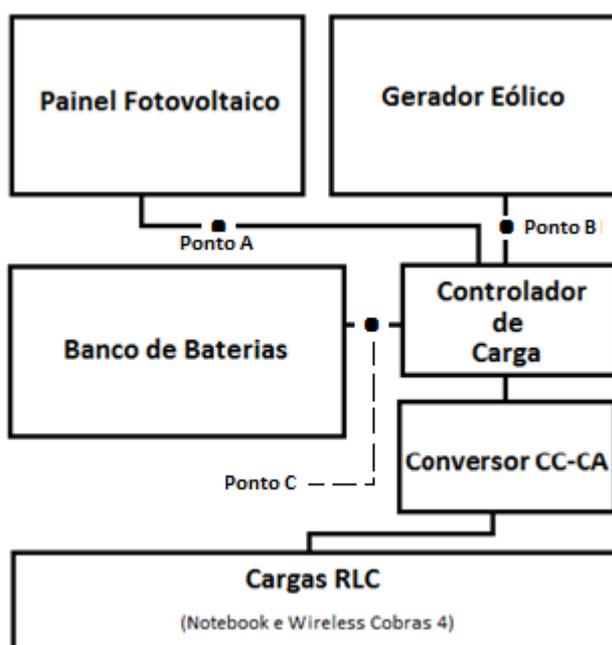


Figura 16: Esquemático 1

No Ponto A, B e C, estão instalados os medidores de tensão e de correntes do sistema, no Ponto A, representa a medição do sistema Fotovoltaico, Ponto B representa o gerador eólico e do Ponto C a medição da tensão e da corrente do banco de bateria.

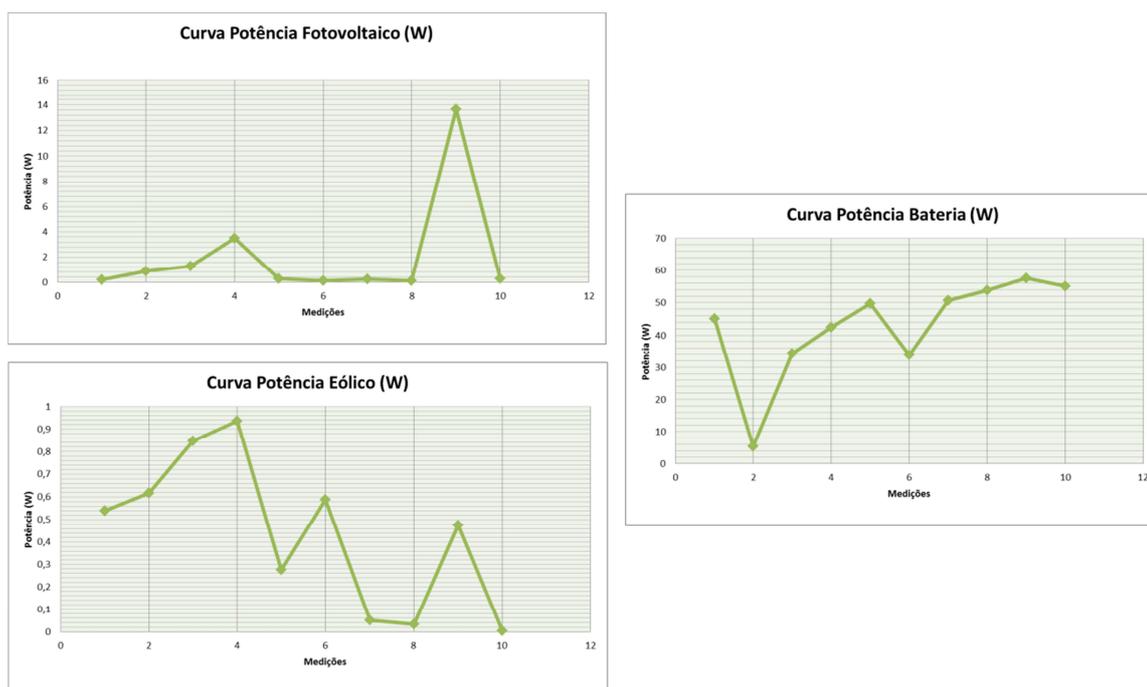
Para facilitar o discernimento, os valores adquiridos através das medições ao decorrer do experimento serão representados em porcentagem na geração total, ou seja, cada medição será feito uma análise geral da energia gerada, e paralelamente o quanto cada fonte teve de participação. Importante frisar que os valores utilizados para comparação, são médios dos valores adquiridos ao longo de cada medição (um dia inteiro de medições).

A análise do sistema integrado será feita nas medições realizadas nos bancos de baterias, pois ali seria a soma das duas gerações. Então primeiramente será feita uma análise de cada

geração, em função da potência de cada. Após esta primeira parte, analisaremos o comportamento da potência.

Todas as medições tanto com o sistema isolado ou integrado foram feitas paralelamente, a única diferença é os pontos de medição, sendo que para captar as medições do sistema integrado foram conectados os medidores Wireless Cobra, na saída das baterias, a onde se tem a integração propriamente dita. Relacionado a isso, as comparações serão feitas com as curvas de potência de cada fonte em função da curva de potência do banco de bateria (Figura 6).

**Gráfico 6 – Curva de Potências do Sistema Integrado**

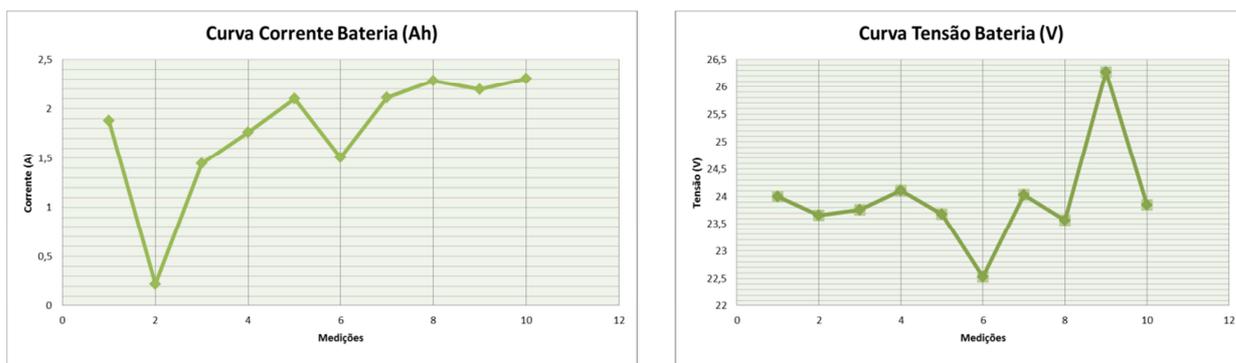


O que se pode notar é que a potência (gráfico 6) corresponde com as exigidas pela carga. Com exceção da medição número 2, claramente se vê um aumento progressivo na potência fornecida pelo banco de baterias, isso se dá em função da baixa capacidade de armazenamento das baterias, pois as mesmas quando foram iniciados os testes, estavam completamente sem carga, por estarem sem uso. Logo aos poucos foram estabilizando sua carga.

Em vista das duas fontes de geração de energia, pode-se fazer a análise, do resultado da integração. Primeiramente será feita análise na participação de cada uma perante o atendimento das cargas. A seguir será feita a análise das medições colhidas no banco de baterias. No gráfico 7, mostra-se a curva da corrente colhida no banco de baterias, onde já se pode dizer que se tem a integração das duas fontes. Pode-se notar uma corrente baixa na medição 2, isso se dá em função dos medidores Wireless Cobra 4, não estarem conectados ao sistema como carga RLC, somente o notebook.

Abaixo, Gráfico 7, se tem a tensão e corrente fornecida pelo banco de baterias, sendo que a tensão varia em torno de 24V.

**Gráfico 7 - Curva corrente e tensão banco de baterias**

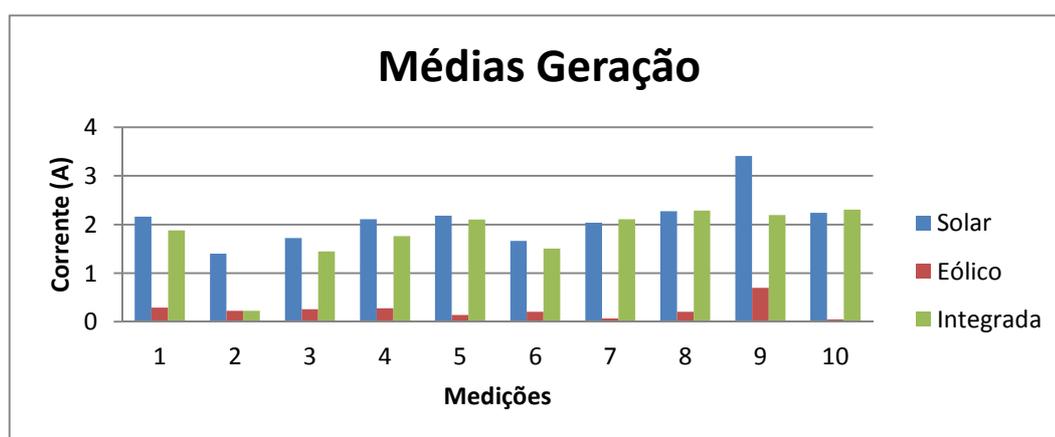


Analisando a integração podemos ver a regularidade que persiste no sistema, basicamente, o que ocorre é a soma das correntes. No item seguinte, será feita análise mais profunda, vendo qual o percentual de contribuição para alimentação da carga que cada fonte obteve.

### Participação Individual das Fontes Integradas

O gráfico 8, expõem a contribuição de cada fonte em relação ao atendimento da carga RLC. O que claramente pode-se notar é a baixa contribuição do aero gerador, lembrando que se utilizam médias para fazer esta análise, e em função do eólico gerar irregularmente dependendo das rajadas, sua média decai consideravelmente em comparação com a solar que se pode dizer que é de geração contínua.

**Gráfico 8 – Contribuição Individual das Gerações**



A tabela 3 mostra a porcentagem de contribuição de cada fonte em relação à carga RLC, e mais claramente pode-se ver a baixa contribuição da fonte eólica. Estas porcentagens representam a cada medição.

**Tabela 3 – Contribuição Individual das Fontes (%)**

Contribuições Painel Fotovoltaico	Contribuições Aerogerador
88%	12%
86%	14%
87%	13%
88%	12%
94%	6%
89%	11%
97%	3%
92%	8%

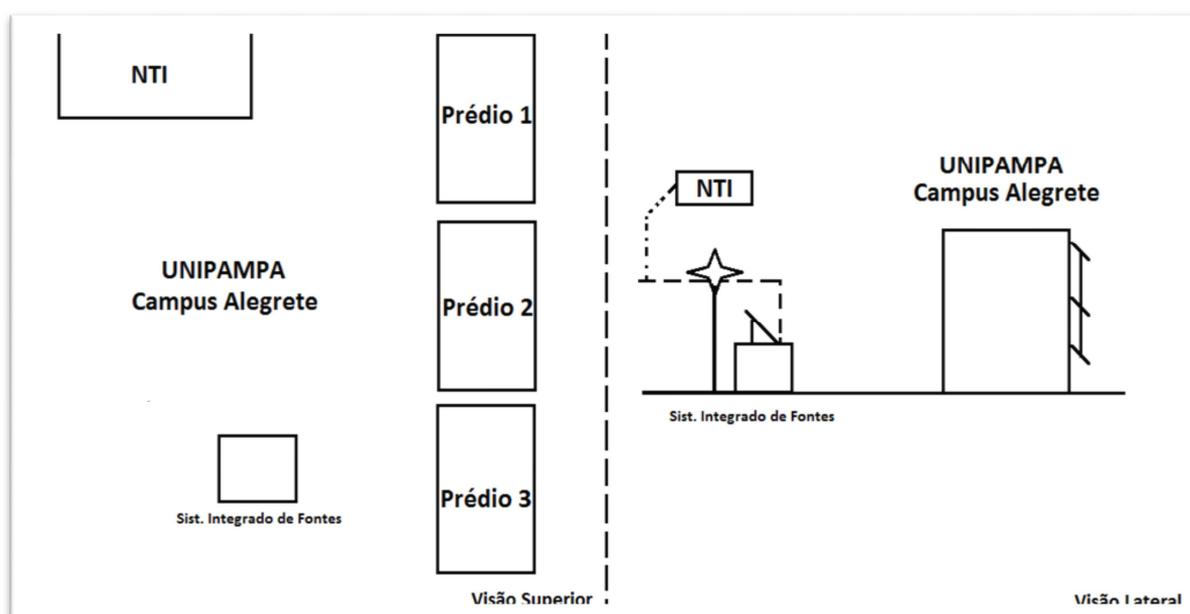
### **Conclusão Integração De Fontes**

O sistema integrado em questão, localizado no Campus Alegrete da Universidade Federal do Pampa, apresentou um baixo rendimento, em função da pequena parcela de contribuição do aero gerador. O problema ocorre devido à localização do gerador eólico onde ocorreram os testes, o rendimento do sistema integrado cai consideravelmente. Através de simulações, no software Homer (demonstrado a seguir, no item “Descrição do Sistema Utilizado”), com uma maior incidência de ventos, mesmo com a irregularidade de ventos constantes, típico da Região Sul, pode-se obter um acréscimo considerável no rendimento geral do sistema integrado.

Contudo, no local onde foram efetuados os testes, conclui-se em função do baixo rendimento do aero gerador, que se utilizássemos outros painéis solares somente para dar uma maior estabilidade ao sistema, seria possível atender as necessidades das cargas. Porém, se fosse possível realocar os equipamentos, em experimentos futuros, onde possibilitasse um aumento da incidência de ventos, em tese haveria um aumento considerável do rendimento do sistema integrado.

Sendo o valor médio da geração eólica no Brasil de R\$120,00 [8] e o custo médio do MW da geração fotovoltaica no Brasil entre R\$400,00 à R\$500 [9]. Levando em conta que o aero gerador contribui apenas 10% em relação à carga, neste caso o gerador eólico se torna inviável. Mesmo ele tendo uma potência nominal dez vezes maior do que a do painel fotovoltaico, e de seu custo relativamente mais baixo em relação ao fotovoltaico. Concluiu-se que para este caso isolado, onde foram realizados os testes, somente um aumento na potência disponível com painéis fotovoltaicos seria o suficiente.

A figura 17 mostra a localização do mesmo, tendo sido rodeado pelas expansões das edificações da Universidade. Isto acarretou a perda na potência oferecida pelo vento para geração eólica.



**Figura 16 – Disposição do aerogerador em relação à UNIPAMPA.**

A disposição dos prédios ao redor, do gerador eólico, faz com que diminua o fluxo de ventos no local, acarretando uma baixa geração. Este é um alerta que resulta do presente trabalho, onde a escolha do ponto de instalação deve ser prevista levando em consideração as construções e/ou plantações de porte que possam ocorrer no futuro e venham a degenerar as qualidades de vento então projetadas.

Obs.: Com as informações disponíveis do sistema, do experimento na prática o software Homer, aponta como a geração insuficiente para a carga, devido à baixa produção do gerador eólico. Como o gerador gera a 10% da sua capacidade nominal, ou seja, 50W. A potência disponível chega a 90W, o software Homer aponta como insuficiente para alimentar as cargas, descrevendo para um bom funcionamento do sistema, uma potência disponível de no mínimo 130W.

A tabela 4 mostra os valores estimados, do custo do sistema existente na Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete.

**Tabela 4 – Custos Sistema Integrado**

---

Investimento Inicial	\$ 4500,00
Custo de Operação	\$ 355,00 p/ ano
COE (\$/kWh)	\$ 11,982 kWh

---

## Análise do sistema Integrado com o Homer Software em Condições Ideais

Estas simulações foram efetuadas com valores médios mensais adquiridos nas bibliografias “Atlas Eólico Rio Grande do Sul” e “Atlas de Irradiação Brasil”. Que servem de informativo para tomadas de decisões na identificação de áreas adequadas para o aproveitamento energético. [4]

As simulações servirão modelo para comparar com os resultados obtidos nos experimentos práticos. Pois seus valores médio, utilizados na simulação são ideais da região da cidade de Alegrete - RS.

Abaixo no gráfico 9, representa a geração dos painéis solares utilizada nos testes. No gráfico 10, mostra a geração eólica com valores ideais da cidade de Alegrete.

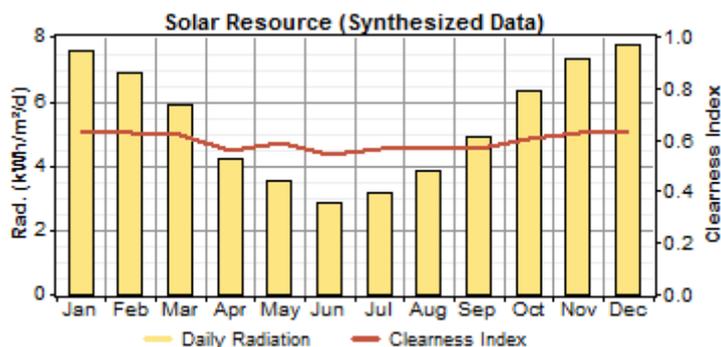


Gráfico 9 – Geração painel fotovoltaicas com Luminosidade Ideais cidade Alegrete (Fonte Atlas)

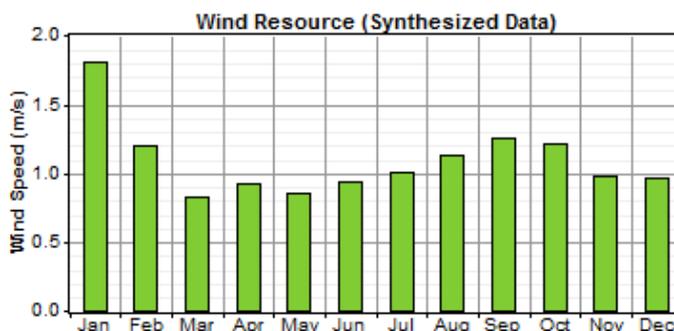


Gráfico 10 – Geração Eólica com velocidade ideal dos Ventos cidade Alegrete (Fonte Atlas)

Abaixo, o gráfico 11 mostra como seria a contribuição de cada fonte, em situações ideais. Todos os valores utilizados nas simulações são referentes da cidade de Alegrete – RS, e foi retirada da bibliografia Atlas. Interessante fazer a comparação entre o gráfico 24 com o gráfico 21, onde mostra a contribuição individual de cada fonte.

Pode-se observar a inversão das contribuições, com os valores e equipamentos ideais, é o painel fotovoltaico representa um pouco mais de 10% de contribuição à carga. Revertendo a situação ocorrida nos experimentos práticos.

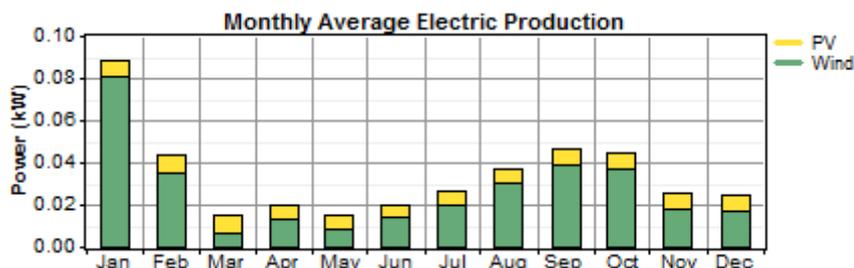


Gráfico 11 – Contribuição do Sistema em Regime Ideal

Abaixo no gráfico 12 (painel fotovoltaico) e 13 (gerador eólico), demonstra a densidade de geração de acordo com as horas do dia, ao decorrer dos meses do ano. (dados retirados Atlas – Radiação Solar RGS)

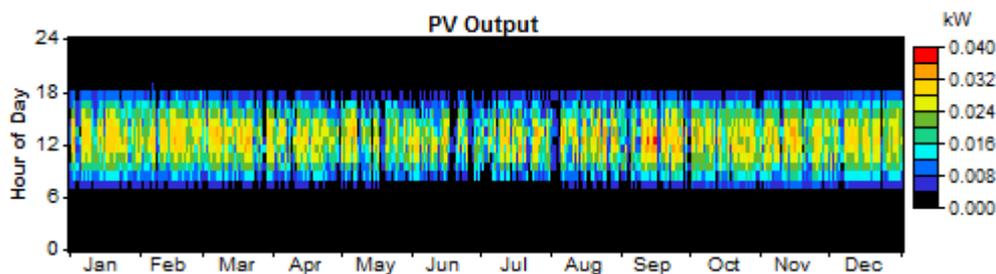


Gráfico 12 - (Gráfico gerado no Software Homer)

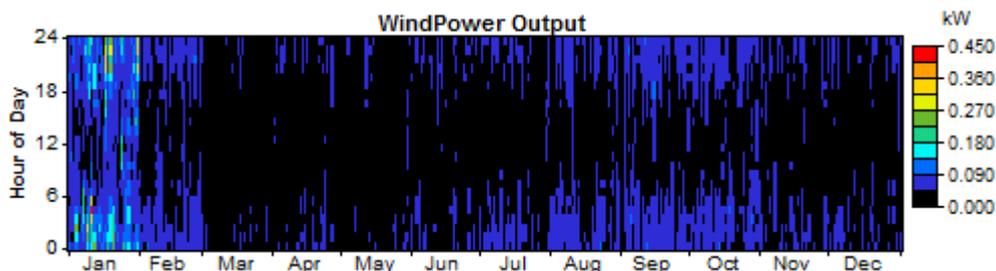


Gráfico 13 - (Gráfico gerado no Software Homer)

Mesmo com os valores ideais, pode-se notar a grande complementação da eólica com a fotovoltaica e vice-versa. Ou seja, em momentos de baixa geração a outra fonte supre.

Abaixo, tabela 5, mostra os custos gerais do sistema, onde aponta custos da manutenção, operação e preço do kW.

Obs.: Todas as simulações efetuadas com o software Homer, estão incluídas no Anexo E.

**Tabela 5 – Custos Sistema Integrado Idealmente**

Investimento Inicial	\$ 4500,00
Custo de Operação	\$ 355,00 p/ ano
COE (\$/kWh)	\$ 4,982 kWh

Obs.: Valores de simulação, adquiridos com o software Homer, em condições ideais. No caso os valores utilizados foram extraídos da literatura Atlas, onde constam informações específica sobre a região da cidade de alegrete. Logo, pode-se concluir que este seria o funcionamento do sistema sem o problema da localização que ocorre no desenvolvimento prático.

#### **Sistema Equivalente com Menor Custo – Possível Solução**

Esta comparação demonstra um arranjo simplificado e de menor custo que poderia substituir o sistema existe hoje, considerando a hipótese de impossibilidade de deslocamento das fontes a onde se encontram hoje. Esta simulação pode ser comparada com o sistema real, pois os dados de radiação luminosa (adquiridos no local do experimento) batem com os extraídos da literatura Atlas, houve discrepância apenas nos valores de velocidade média dos ventos, em função da medição ser próxima ao gerador e sofrer dos mesmos problemas do aero gerador, bloqueios ocasionados pelos os prédio a sua volta.

Tabela 6, contém os valores do sistema adaptado, a mudança consiste na troca do aero gerador de 500W, por outro painel de 90W, diminuindo consideravelmente o investimento inicial do projeto, (comparar com tabela 4).

**Tabela 6 – Custos Sistema Equivalente Simplificado**

Investimento Inicial	\$ 2150,00
Custo de Operação	\$ 100,00 p/ ano
COE (\$/kWh)	\$ 3,678kWh

Obs.: Todas as simulações efetuadas com o software Homer, estão incluídas no Anexo E.

## **APLICAÇÃO REAL DO SISTEMA**

Na Empresa CEEE-GT/Sistema Jacuí, foi posto em prática o sistema desenvolvido neste TCC para obtenção de parâmetros visando achar a melhor configuração do sistema a ser utilizado para rastreamento televisivo de segurança na UHE do Jacuí.

A ideia inicial era montar um sistema híbrido, com integração do sistema Eólico e Fotovoltaico, mas através de medições e simulações no software *Homer* e podemos concluir, com as informações adquiridas, que somente o sistema fotovoltaico era suficiente para o estável funcionamento do sistema em questão.

### **Projeto Sistema Autossuficiente Televisivo De Monitoramento**

Este projeto foi desenvolvido, pelo graduando em Engenharia Elétrica Átila Poll Menezes e teve como objetivo reduzir custos de implantação de um sistema televisivo, implantando na Chaminé de Equilíbrio, pertencente à Usina Hidroelétrica Leonel de Moura Brizola. Primeiramente os planos eram levar uma linha de distribuição ao local, somente para alimentar esta estação supervisória, então surgiu à ideia de se fazer o uso de energias renováveis. O que foi acatado pela Chefia do Sistema Jacuí. No Anexo B Podemos ver a descrição dos materiais utilizados.

## Funcionamento do projeto

Na Figura 10, o esquemático 2 mostra a estrutura do sistema, que por sua vez se conecta a rede interna da CEEE-GT. Lançando em momento real as imagens obtidas pela câmera. A câmera utilizada é uma modelo especial, com saída TCP/IP. Assim facilitando a comunicação via rede.

A carga ligada ao sistema tem como potência máxima 24 Wh, o sistema foi projetado para ficar ativo durante 48 horas sem incidência de luminosidade no painel.

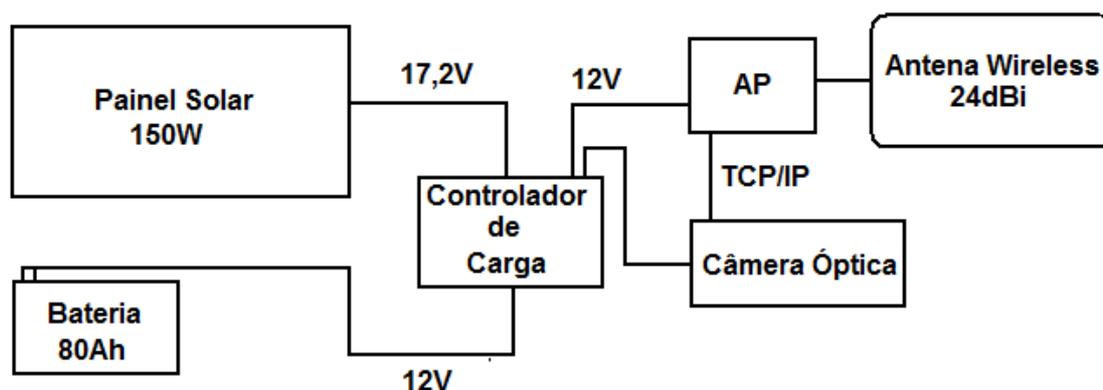


Figura 18: Esquemático 2

## Simulação do Sistema com Software Homer

Para analisar a funcionalidade do sistema, foi utilizado o software Homer, configurando-o com as características (Anexo E) do da região a onde seria implantado o projeto.

Abaixo, tabela 7, dispõe dos custos do sistema instalado na Chaminé de Equilíbrio da Usina Leonel Brizola.

Tabela 7 – Custo Projeto Câmera Autossuficiente

Investimento Inicial	\$ 1200,00
Custo de Operação	\$ 73,00 p/ ano
COE (\$/kWh)	\$ 2,150 kWh

O gráfico 14, expressa a geração dos painéis solares, no local instalado o sistema. Já o gráfico 15 expressa a densidade de geração de acordo com as horas do dia, ao decorrer dos meses do ano. (dados retirados Atlas – Radiação Solar RGS)

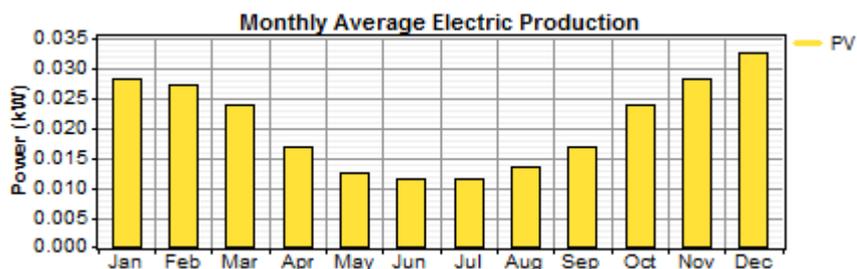


Gráfico 14 – Geração Solar – Sistema Autossuficiente

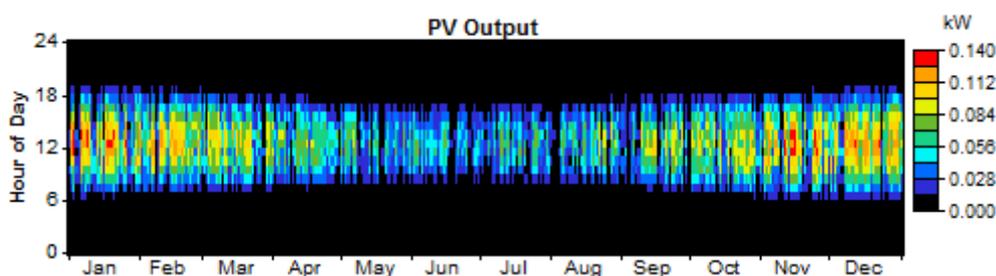


Gráfico 15 - Densidade Geração Anual - Sistema Autossuficiente

Abaixo, gráfico 16, mostra o estado da bateria durante o decorrer dos meses do ano, se pode observar, que entre o mês de junho e julho, o sistema fica com nível crítico de carga, mas o software Homer, não apontou o acarretamento de problemas em relação à carga.

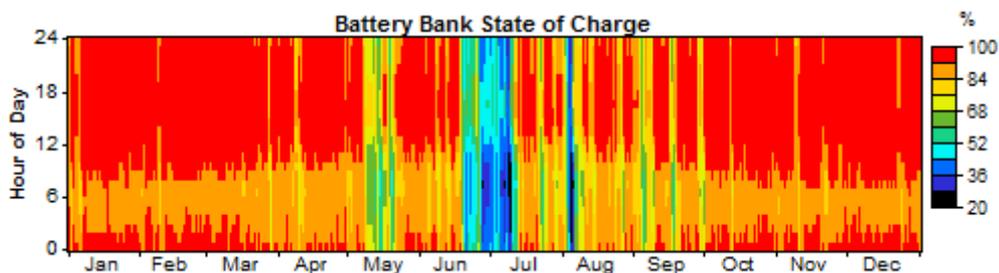


Gráfico 16 – Estado da carga da bateria – Sistema Autossuficiente

Obs.: Todas as simulações efetuadas com o software Homer, estão incluídas no Anexo E.

## RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo e elaboração de um sistema que eleve a eficiência dos meios de geração, em relação à geração fotovoltaica, como projeto futuro envolvendo a montagem de um sistema de alinhamento das placas em relação ao sol, conforme já demonstrado em outros estudos, podem oferecer um acréscimo de em média 21% no rendimento dos painéis fotovoltaico [10]. Isto é feito basicamente com o cálculo do melhor ângulo para obter o máximo aproveitamento da energia solar.

Em relação do gerador eólico, primeiramente tem que se estudar um local a onde possa se ter uma maior incidência de vento, e se possível analisar a utilização de canais de vento que aproveitariam melhor a potência das rajadas de ventos. Pois como foi visto ao decorrer desta pesquisa, o gerador eólico não está fornecendo nem 10% de sua capacidade nominal em função da sua localização.

Após estas duas etapas, integrar novamente as fontes para refazer a análise de dados após efetuar uma manutenção que repercuta na eficiência dos equipamentos. Tirar conclusões na mudança da contribuição de cada fonte após trabalhar com as eficiências dos processos de transformação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as pesquisas que almejam um maior rendimento nas áreas das energias renováveis, são de extrema importância, pois nos dias de hoje em todos países, tem-se uma verdadeira corrida tecnológica em busca de fontes de energias mais sustentáveis. O sistema adotado para a análise, existente na Universidade do Federal do Pampa, Campus Alegrete, pode ser utilizado em qualquer outro local, com o intuito de viabilizar a utilização de um sistema integrado ou optar por um sistema que usufrua apenas de uma das fontes seja eólica ou a fotovoltaica. Paralelamente com este espírito pesquisador tem-se o intuito de incentivar e mostrar que é realmente viável a utilização destes meios de geração de energia não somente em casos isolados, como foi explorado nesta pesquisa, mas também conectado a uma residência paralelamente a rede de distribuição, visando baixar custos e necessitar cada vez menos de outras fontes de energias que alimentam as redes de distribuição.

Com a análise no sistema em questão, pôde-se concluir que em função da localização do aro gerador, no qual se tem muitas perdas na incidência de ventos, decorrentes da localização dos prédios e aterros ao redor do mesmo, se fosse dobrada a potência disponível do painel solar, ou se fosse instalado outro painel de potência nominal igual a 90W, o sistema poderia ser mantido e teria um custo por kWh inferior ao do sistema existente hoje. Se fosse possível deslocar o sistema em questão, para uma posição mais favorável à incidência de vento, o aro gerador haveria uma porcentagem maior de colaboração no sistema integrado. À ampliação da potência dos painéis solares, com o consequente deslocamento do aro gerador para outro local com maior incidência de ventos, o sistema certamente passaria a contar com um aumento considerável do seu rendimento global.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JANNUZZI, Gilberto de Martino, “**Análise da Eficiência de um Sistema Eólico Isolado,**” **Tese Doutorado**, UFRJ, Abril 2007.
- [2] MARQUES DUTRA, Ricardo, “**Propostas de Política Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA**”, UNICAMP, Campinas – SP, 2002.
- [3] RODRIGUES DOS SANTOS, Rosana, “**Procedimentos para Eletrificação Rural Fotovoltaica Domiciliar no Brasil: Uma Contribuição a partir de Observação de Campo,**” USP, SP: Tese de Doutorado, 2002.
- [4] ANEEL, “**Atlas de Energia Elétrica do Brasil**”, 3ª edição, Brasília, 2008.
- www.electronica-pt.com/index.php/content/view/17/29/ dados retirados na data 8/05/2011. [5]
- [6] www.oregon.com dados retirados na data 10/05/2011
- [7] www.brassolar.com.br/painelsolar.htm dados retirados na data 8/05/2011.
- [8] ANEEL, “**Energia Eólica do Brasil**”, 3ª edição, Brasília, 2008. [9] [http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2011/Artigos%20de%20Periodicos/ruther\\_sol.pdf](http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2011/Artigos%20de%20Periodicos/ruther_sol.pdf) dados retirados na data 26/12/11.
- [10] Vieira de Oliveira, Arthur, “**Sistema Híbrido De Geração Fotovoltaica E Aquecimento De Água**”, UNICAMP, Campinas – SP, 2010.
- [11] PORTO, Laura “**Energias Renováveis**”, Ministério de Minas e Energia, São Paulo, 2007
- [12] www.homerenergy.com; dados retirados na data 31/10/2011.
- www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg\_automaticas, dados retirados na data 5/10/2011. [13]
- Skye Instruments Ltd, “**Light Measurement Guidance Notes**”, United Kingdom, 2011
- LOPEZ, Ricardo Aldabo, “**Energia Eólica**”, CEEE - GT, Editora Artliber, Brasil, 2009.
- Korgel, Brian A., “**Power Paint: Nanotech Solar Ink**”, Department of Chemical Engineering, Texas Materials Institute, The University of Texas at Austin, Dezembro 2010.

## **Anexos**

Anexo A – Tabela Excel intitulado “Coleta Geral de Dados”.

Anexo B – Arquivo PDF intitulado “Descrição técnica Equipamentos – CEEE-GT”.

Anexo C – Pasta de Tabelas Excel intitulada “Tabelas Valores Aquisição”.

Anexo D – Pasta de Arquivos formato *.msr* (*Software Measure*) intitulada “Grupo Medições”.

Anexo E – Pasta de Arquivos formato *.hmr* (*Software Homer*) intitulado “Simulações Software Homer”

Observação: Todos os arquivos se encontram no CD intitulado “Anexos”.