

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS SOLAR E EÓLICO NO
BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA USO NA
IRRIGAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cícero Urbanetto Nogueira

Santa Maria, RS, Brasil

2009

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS, SOLAR E EÓLICO, NO BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA USO NA IRRIGAÇÃO

por

Cícero Urbanetto Nogueira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Luis Felipe Dias Lopes

Santa Maria, RS, Brasil

2009

N778u

Nogueira, Cícero Urbanetto, 1960-

Utilização de sistemas solar e eólico no bombeamento de água para uso na irrigação / por Cícero Urbanetto Nogueira ; orientador Luis Felipe Dias Lopes. – Santa Maria, 2009.

100 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2009.

1. Engenharia de produção 2. Sistema de bombeamento 3. Energia solar 4. Energia eólica I. Lopes, Luis Felipe Dias, orient. II. Título

CDU: 621.548:551521.37

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS, SOLAR E EÓLICO, NO
BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA USO NA IRRIGAÇÃO**

elaborada por
Cícero Urbanetto Nogueira

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

Luis Felipe Dias Lopes, Dr.
(Presidente/Orientador)

Ivanor Müller, Dr. (UFSM)

Diniz Fronza, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 21 de agosto de 2009.

À minha esposa Helena e aos meus

filhos,

Thiciano e Tharsilo, por entenderem

os momentos em que me fiz ausente.

Agradecimentos

À Deus, que nos ilumina todo dia e nos dá esperança.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade do Mestrado.

Aos Colégios Politécnico e Industrial da UFSM, que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Luis Felipe Dias Lopes, pela orientação.

As equipes dos setores de fruticultura e mecanização do Colégio Politécnico.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo.

Muito Obrigado!

Às vezes, ser moderno é olhar para trás”

(Gilberto Gil)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS, SOLAR E EÓLICO, NO BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA USO NA IRRIGAÇÃO

AUTOR: CÍCERO URBANETTO NOGUEIRA

ORIENTADOR: Dr.LUIS FELIPE DIAS LOPES

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 21 de agosto de 2009.

No presente trabalho, foi realizado uma pesquisa aplicada em duas estações, a primeira localizada na localidade de Canabarro e a segunda no Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria na cidade de Santa Maria , RS, com equipamentos eólicos e fotovoltaicos para bombeamento de água . Esses foram utilizado para irrigação em frutíferas, em sistemas de irrigação localizada de baixa pressão. O trabalho de pesquisa realizou-se de setembro de 2007 a agosto de 2009, quando se chegou a resultados que demonstram a viabilidade de equipamentos eólicos e solares fotovoltaicos para utilização na irrigação complementar nas culturas de goiabeira, figueira e videira. No setor de fruticultura, estão instalados um cata-vento de múltiplas pás, um cata-vento Savonius com respectivas bombas e um conjunto de bomba e placa fotovoltaica para bombeamento de água. Com o sistema fotovoltaico, o volume bombeado foi de aproximadamente 5000 m³/ha e com o sistema eólico o volume bombeado foi de aproximadamente 6 m³/ha .Os conjuntos eólicos demonstraram baixa eficiência, se comparados com os sistemas fotovoltaicos, os quais se mostraram mais eficientes.

Palavras-chave: sistema de bombeamento; energia solar e eólica.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

SOLAR AND WIND SYSTEMS UTILIZATION IN WATER PUMPING FOR USE IN IRRIGATION

Author: Cicero Urbanetto Nogueiro

Advisor: Dr.Luis Felipe Dias Lopes

Date and Place of Defense: Santa Maria, August 21, 2009.

In this work, it was made an applied research in two stations, the first one located at Canabarro locality and the second one at Politécnico School at UFSM, in Santa Maria city, RS, with wind and photovoltaic equipments for pumping water. These ones are used for fruit trees irrigation in irrigation systems of low pressure. The research work was developed from September 2007 to August 2009, when the results showed the viability of wind and photovoltaic equipments for utilization in the complementary irrigation in fruit cultures such as guava, fig and grape trees. In the fruit culture sector, are installed: one multivane fans windindicator one savonius windindicator and respective pumps as well as pump set and a photovoltaic board. With the photovoltaic system, the pumped volume was about 5000 m³/ha and, with the wind system, the pumped volume was approximately 6m³/ha. The wind groups demonstrated low efficiency, if compared to photovoltaic systems, which showed more efficient.

Keywords: pumping system; solar and wind energy

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	30
Equação 2.....	31
Equação 3.....	52
Equação 4.....	53
Equação 5	53
Equação 6	53
Equação 7.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL- Agencia Nacional de Energia Elétrica

MME- Ministério de Minas e Energia

MCT- Ministério de Ciência e Tecnologia

IPCC- Painel Inter-Governamental para mudanças climáticas

GEE- Gases do efeito estufa

WHO- Organização Mundial da Saúde

Km/h- quilometro por hora

m/s- metro por segundo

CRESESB- Centro de Referência para energia Solar e Eólica Sérgio de salvo Brito

KW- quilowatt

KWh- quilowatt hora

l/dia- litros por dia

l/h- litro por hora

l/min- litro por minuto

l/s- litro por segundo

mm- milímetro

MW/h- mega watt por hora

MW- mega watt

W- watt

Wp- watt pico

MWp- mega watt pico

KWp- quilowatt pico

W/m²- watt por metro quadrado

m- metro

KWh/m²- quilowatt hora por metro quadrado

KWh/m².dia- - quilowatt hora por metro quadrado dia

US\$- dólar

t/ha- tonelada por hectare

ha – hectare

CC- corrente continua

CA- corrente alternada

FV- fotovoltaica

V- velocidade do vento

A – área de varredura das pás

ρ - densidade do ar

GTZ- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

MEDA- Programa de Bombeamento Fotovoltaico em países Mediterrâneos
Região Mediterrânea do Marrocos, Argélia e Tunísia

PRODEEM- Programa de Desenvolvimento energético de Estados e Municípios

PRS- Programa Regional Solar

CBEE- Centro Brasileiro de Energia Eólica

CBTTE- Centro Brasileiro de testes de Turbinas Eólicas

Ec- energia cinética

UPM- Universidade Politécnica de Madri

UFMS- Universidade Federal de Santa Maria

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Utilização da energia eólica. (Fonte: Krauter (UFRJ), 2005).....	31
TABELA 2 – Períodos críticos das culturas ao déficit hídrico. (Fonte: Fronza, 2008).....	48
TABELA 3 – Consumo de água para diferentes culturas durante o ciclo total de desenvolvimento. (Fonte: Fronza, 2008).....	49
TABELA 4 – Porosidade (Relação entre a área aberta e o total da área perpendicular à direção do fluxo de ar). (Fonte: Aproveitamento de Pequenas Fontes de energia Elétrica; Farret, 1999.).....	54
TABELA 5 – Tabela de valores de potência de acordo com o número de tonéis(conforme equações 1 e 2). (Fonte: Aproveitamento de Pequenas Fontes de energia Elétrica; Farret, 1999).....	55
TABELA 6 – Componentes do cata-vento do tipo Savonius e respectivos valores de custo (custo total e não por unidade).....	56
TABELA 7 – Componentes do cata-vento tipo múltiplas pás e respectivos valores de custo (custo total e não por unidade).....	58
TABELA 8 – Componentes das Bombas de Sucção e respectivos valores de custo. (custo total e não por unidade).....	60
TABELA 9 – Radiação solar média mensal para os 12 meses do ano em Santa Maria – RS.....	65
TABELA 10 – Horas de insolação e volume de água bombeado e número de placas fotovoltaicas necessárias para 1 hectare ¹	66
TABELA 11 – Capacidade de bombeamento de água média mensal fornecido pela placa fotovoltaica – Altura manométrica: 14 metros.....	67
TABELA 12 – Custo para o bombeamento anual de 5000 m ³ de água por 9 placas fotovoltaicas.....	70
TABELA 13 – Velocidade do vento a 10 metros de altura (durante o ano de 2007).....	71
TABELA 14 – Dados da velocidade e da intensidade do vento na Estação 1 – Canabarro.....	73

¹ As tabelas cujas fontes não estão especificadas na lista acima são de elaboração do próprio autor desta Dissertação.

TABELA 15 - Dados da velocidade e da intensidade do vento na Estação 2 – UFSM.....73

TABELA 16 - Velocidade do Vento X Santa Maria X Meses.....75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Correntes de ar próximas a Terra. (Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB, 2005)).....	24
FIGURA 2 – Os dez países líderes em instalação de energia eólica. (Fonte: Adaptado de BTM Consult, DK).....	27
FIGURA 3 – Disponibilidade da energia eólica no Sul do Brasil (Atlas Cresesb). (Fonte: Adaptado de WANEB, 2006).....	30
FIGURA 4 – Cata-vento Savonius. (Fonte: Página do NERG).....	32
FIGURA 5 – Torre de Madeira para Cata-vento (Fonte: Página do NERG).....	35
FIGURA 6 – Evolução do preço dos módulos no mercado internacional entre 1981 e 2000. (Fonte: PARENTE et al..2002).....	39
FIGURA 7 – Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água. (Fonte: Modificado de FRAINDENRAICH, 2002).....	40
FIGURA 8 – Configurações de sistemas de bombeamento fotovoltaico mais utilizadas. (Fonte: Modificado de KONER, 1991, apud MALBRANCHE et al., 1994).....	41
FIGURA 9 – Boca do poço de um sistema do Projeto Eldorado em Inajá, PE. (Foto: M.C. Fedrizzi, 1998).....	44
FIGURA 10 – Croqui da boca do poço do Projeto PRS. (Fonte: LORENZO & EGIDO, 1999).....	45
FIGURAS 11 e 12– Sistemas de bombeamento fotovoltaico utilizados para irrigação de oliveirais instalados nas proximidades de uma rede de transmissão de energia elétrica em Jaén, Espanha.....	46
FIGURA 13 – Mapa rodoviário (localização das estações). (Fonte: Mapa Potencial Eólico da Região Sul).....	50
FIGURA 14 – Localização das estações. (Fonte: Adaptado do Atlas eólico do Sul do Brasil - CRESEB).....	51
FIGURA 15 – Modelo de turbina do tipo Savonius.....	52
FIGURA 16 – Gráficos demonstrativos da forma típica de distribuição de ventos para uma dada localidade. (Fonte: FIDRIZZI, 2003).....	54
FIGURA 17 – Cata-vento Savonius (em funcionamento na estação 1 e na estação 2 nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria - RS.). (Fonte: Fotos do autor).....	56

FIGURA 18 – Cata-vento Múltiplas pás (em funcionamento na estação 1 e na estação 2 nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria - RS.). (Fonte: Fotos do autor).	57
FIGURAS 19 e 20 – Bombas em PVC (em funcionamento na estação 1 e na estação 2, nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria - RS.). (Fonte: Fotos do autor).....	59
FIGURA 21 – Barragem com enroscamento de pneus (em funcionamento na estação 1, na UFSM – Santa Maria - RS.). (Fonte: Fotos do autor).	60
FIGURA 22 – Reservatório aéreo para acumulação de água (em funcionamento na estação 1, na UFSM – Santa Maria - RS.). (Fonte: Fotos do autor).	62
FIGURAS 23 e 24 – Placas Fotovoltaicas (em funcionamento na estação 1, na UFSM – Santa Maria - RS.). (Fonte: Fotos do autor).....	63
FIGURA 25 – Bomba shurflo (em funcionamento na estação 1, na UFSM – Santa Maria - RS.). (Fonte: Fotos do autor).....	63
FIGURA 26 – Volume bombeado para irrigação complementar fornecido por 9 placas fotovoltaicas. (Fonte: Elaboração do autor).....	68
FIGURA 27 – Gráfico demonstrativo da necessidade de placas para o fornecimento da água suplementar utilizada na irrigação.....	69
FIGURA 28 – Estação de bombeamento 1 (distrito de Canabarro). (Fonte: Foto do autor).....	72
FIGURA 29 – Estação de bombeamento 2 (UFSM). (Fonte: foto do autor).....	73

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – Método caseiro para avaliar se o vento é favorável à instalação de aerogeradores.....	82
ANEXO 2 – Anemômetro e escala.....	83
ANEXO 3 – Velocidade do vento a 10 metros de altura.....	84
ANEXO 4 – Tabela- Custo de implantação de um Km de energia elétrica.....	89
ANEXO 5- Gráficos complementares ao estudo.....	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo geral	21
2.2 Objetivos específicos	21
3 JUSTIFICATIVA	22
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
4.1 A energia eólica	23
4.1.2 O vento	25
4.1.3 Os custos da energia eólica.....	25
4.1.4 Energia eólica no mundo	26
4.1.5 Energia eólica no Brasil.....	28
4.1.6 Disponibilidade da energia eólica	30
4.2 Tipos de rotores na geração de energia eólica	31
.....	
4.2.1 Pás ou aerofólios	33
4.2.2 As torres.....	34
4.3 As turbinas eólicas e o meio ambiente	36
4.4 Bombeamento fotovoltaico	37
4.4.1 O estado da arte do bombeamento fotovoltaico.....	37
4.4.2 Histórico do bombeamento fotovoltaico e principais projetos	42
4.4.3 Bombeamento fotovoltaico no Brasil.....	46
5 METODOLOGIA	50

5.1 Materiais utilizados.....	51
5.1.1 Aerogeradores tipo Savonius	51
5.1.2 Aerogeradores do tipo múltiplas pás.....	57
5.1.3 Bombas em PVC.....	58
5.1.4 Reservatórios para utilização de águas superficiais.....	60
5.1.5 Reservatório aéreo para acumulação de água com a finalidade de utilização na irrigação por gotejamento	61
5.2 Conjunto de bombeamento à energia solar (Fotovoltaico).....	62
5.3 Sistema Fotovoltaico (componentes e respectivos valores).....	63
5.4 Sistema Eólico	64
5.5 Metodologia utilizada no estudo de caso	64
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
6.1 Sistema Fotovoltaico	65
6.2 Necessidade de placas para atender a demanda das culturas	68
6.3 Custos <i>versus</i> benefícios.....	69
6.4 Energia eólica.....	70
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	82

1 INTRODUÇÃO

A questão energética é um dos tópicos de extrema importância na atualidade, pois a qualidade de vida de uma sociedade está intimamente ligada ao seu consumo de energia. O crescimento da demanda energética mundial, em razão da melhoria dos padrões de vida nos países em desenvolvimento, traz a preocupação com alguns aspectos essenciais para a política e planejamento energético de todas as economias emergentes, dentre eles, podemos citar a segurança no suprimento de energia necessária para o desenvolvimento social e econômico de um país e os custos ambientais para atender a esse aumento no consumo de energia.

Nas últimas décadas, a segurança no suprimento de energia está associada às perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo em décadas próximas e à elevação dos preços de mercado dos combustíveis fósseis, ocasionados pelos problemas políticos e sociais nas principais regiões produtoras. Além disso, fatores ambientais também podem reduzir a segurança energética como, por exemplo, a ocorrência de longos períodos de estiagem, que afetam a produtividade da biomassa e a geração hidroelétrica. Assim, a inserção de recursos complementares na matriz energética de um país, com a adoção de fontes renováveis, deve minimizar os impactos causados por crises internacionais, que afetam o mercado de combustíveis fósseis, ou a geração hidroelétrica em épocas de estiagem.

Em razão dos fatos expostos acima, a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico vêm recebendo grande incentivo em todo o mundo, principalmente após o último relatório do IPCC (Painel Inter-Governamental para mudanças climáticas) divulgado em fevereiro de 2007. Dentre as fontes energéticas “limpas” – fontes de energia que não acarretam a emissão de gases do efeito estufa (GEE) - a energia mecânica, fornecida pelo vento, e a solar fotovoltaica vêm-se destacando e demonstrando potencial para contribuir significativamente no atendimento dos requisitos necessários, quanto ao custo de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental.

Vale ressaltar que a Conferência do Milênio, promovida pelas Nações Unidas em 2000, determinou que fosse reduzido à metade o número de pessoas sem acesso à água potável, até o ano de 2015. Para viabilizar este acesso, é imprescindível “promover soluções energéticas que facilitem a difusão do acesso à água, pois grande parte da população com deficiência no abastecimento de água carece de energia para sua captação e transporte” (WHO, 2003).

Com isso, o meio rural empobrecido necessita, dentre outras coisas, de meios tecnológicos e energéticos para o seu desenvolvimento. Nesse âmbito, as tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis (eólica, fotovoltaica) têm alcançado bons níveis de maturidade e confiabilidade, o que as torna opções viáveis para a solução desse problema no meio rural.

Em suma, introduzir novas tecnologias para melhorar a qualidade de vida em zonas rurais é um exercício de inovação do entorno social, como tal, as variáveis do processo de transferência vão além da questão tecnológica, incluindo aspectos sociais, econômicos, políticos, institucionais e ambientais. Dessa forma, o número e a variedade de atores que participam de iniciativas de melhoria do meio rural se fazem cada vez maiores.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade econômica de sistemas geradores de energia eólica e solar fotovoltaica para irrigação em propriedades rurais, em substituição aos motores diesel e elétricos, a fim de se reduzir os custos e de se administrar projetos ambientalmente corretos.

2.2 Objetivos específicos

- Averiguar a possibilidade de produção de energias renováveis em propriedades rurais;
- Sistematizar estudos sobre a viabilidade de produção de energias renováveis em propriedades rurais;
- Instalar e utilizar sistemas geradores de energia eólica e solar fotovoltaica de baixo custo;
- Proporcionar uma redução nos custos da produção agrícola;
- Implantar projetos de energia eólica e solar fotovoltaica como uma nova opção de uso na irrigação para órgãos de pesquisa e como uma futura multiplicação pelo próprio município ou estado.

3 JUSTIFICATIVA

Organizações internacionais ligadas à produção e à distribuição de energia classificada como convencional prevêm que, antes de 2010, a energia eólica e fotovoltaica se tornem competitivas com as energias fósseis e nucleares sem que sejam necessários levar em conta os custos externos e sociais. Se considerarmos que as energias eólica e fotovoltaica possam ser estimadas como energias viáveis, então teremos baixíssimo impacto ambiental, além de ser amplamente renovável. Desta maneira, justifica-se esta pesquisa, visto que acreditamos que a sua produção não cause poluição ao meio ambiente. Talvez num futuro muito próximo, poderá vir a ser uma das mais atrativas fontes de energia com baixo gasto financeiro e almejando com isto, a atingir as propriedades rurais e as populações isoladas, possibilitando, por conseguinte, melhorias nas condições sócio-econômicas.

De acordo com estudos já realizados, o custo de aquisição, instalação e operação de um cata-vento típico e um sistema fotovoltaico, bem como sua manutenção, é revertido em menos de um ano após estes entrarem em funcionamento. Assim, este fato comprova sua atratividade em termos de produção e economia a nível mundial, principalmente no território nacional, por ter o país um grande potencial eólico e solar devido às suas dimensões e localização geográfica.

Baseado nisto, apresenta-se a seguinte hipótese:

A utilização de sistemas eólicos e solares em propriedades rurais poderá vir a diminuir os custos de irrigação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A energia eólica

Denomina-se energia eólica a energia que se obtêm do movimento das massas de ar, ela também é denominada energia cinética ou, simplesmente, energia do vento. Seu aproveitamento ocorre através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação de determinadas peças móveis, denominadas turbinas eólicas ou aerogeradores, para a geração de energia elétrica. Para a realização de tarefas mecânicas, como o bombeamento de água, utilizam-se dispositivos denominados cata-ventos e/ou moinhos.

4.1.2 O vento

Com base no que foi descrito anteriormente, o vento nada mais é do que uma determinada massa de ar em movimento. O ar, por ser uma mistura de gases, está sujeito a todas as características físicas destes fluidos. O ar quente se expande mais que o frio, torna-se, portanto, menos denso e tende a subir, sendo substituído por ar mais frio e mais denso.

Por outro lado, “a quantidade de energia que os raios solares transferem para a superfície da Terra é diretamente proporcional ao ângulo de ataque do raio, sendo o melhor aproveitamento proporcionado por ataque perpendicular” (HULSCHER; FRANKEL, 1994; ALDABÓ, 2002).

Quando se leva em conta que os raios solares incidem sobre a Terra a 90° no equador e que este ângulo diminui à medida que se caminha em direção aos pólos, fica claro por que a temperatura do equador é tão mais alta que a temperatura dos pólos. Um efeito direto deste fenômeno é o aquecimento do ar sobre o equador que sobe e se movimenta em direção aos pólos, que, por sua vez, sopram ar frio e baixo em direção às regiões situadas no equador.

Se a esses fatores fosse adicionado o movimento de rotação da Terra, que leva a superfície sobre o equador a desenvolver uma velocidade tangencial de cerca de 1600 km/h nos pólos, e as estações do ano provocadas pelo movimento de translação, que aquecem de maneira desigual os hemisférios norte e sul, então, explicar-se-iam as mutantes fontes de ventos.

De acordo com Hulscher e Frankel, 1994; Aldabó, 2002, p. 52

as brisas marinhas também são localmente formadas por diferenças de temperaturas, não mais decorrentes do ângulo de incidência dos raios solares, mas das diferentes capacidades de armazenamento de calor pela água e pelos corpos sólidos. A parcela continental da Terra é aquecida durante o dia e resfriada durante a noite de forma muito mais rápida que a parcela aquática. Por esta razão, o ar, que é aquecido pela terra durante o dia, sobe, sendo repostado por ar “frio” vindo do mar. Durante a noite, o processo se inverte. Os ventos de vales e montanhas também sofrem processo semelhante.

A Figura 1, apresentada a seguir, ilustra como se comportam as altas pressões nos pólos e subtropicais, as calmarias equatoriais terrestres e o movimento dos ventos nas proximidades da superfície da Terra.

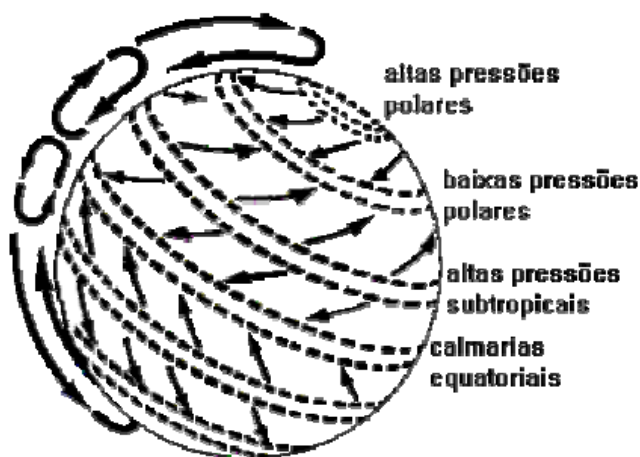


Figura 1 – Correntes de ar próximas a Terra.
(Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB, 2005)).

Resumindo, pode-se dizer que o vento é o resultado do desigual aquecimento superfície da Terra pelos raios do Sol e dos movimentos de rotação e translação que ela executa. Esta característica justifica a variedade dos ventos no local dependendo de sua latitude e altitude, de sua proximidade com o mar ou montanhas, da estação do ano, dentre outros fatores.

Normalmente, em razão da ação do Sol, os ventos são mais fortes durante o dia, quando justamente a demanda de energia é maior. Além disso, os ventos são mais fortes nas épocas de menor chuva, tornando-se, assim, um dos principais atrativos do uso de energia eólica, concorrente para a diversificação da matriz energética brasileira excessivamente dependente de geração hidráulica.

Segundo Aldabó (2002, p. 78),

quando se cogita na conversão de energia eólica, há que se levar em conta que nem todo local é apropriado, uma vez que, segundo os fabricantes de turbinas eólicas, para que o sistema seja economicamente viável, a velocidade média anual mínima deve ser de 5,5 a 7,0 m/s.

Assim, a obtenção de dados através de medições é, de modo geral, dispendiosa, pois dependem das velocidades e frequências dos ventos, os quais são partes obrigatórias a qualquer projeto de instalação de um sistema eólico de geração de energia elétrica.

Desse modo, esses dados locais permitem determinar a “curva de frequência de distribuição de velocidades dos ventos” para o local de estudo, onde mostra o número de horas, por um período de tempo (normalmente um ano ou 8.760 horas), em que o vento sopra a cada diferente velocidade.

4.1.3 Os custos da energia eólica

Assim como a energia hidráulica, a energia eólica é utilizada pelo homem há milhares de anos com as mesmas finalidades, a saber: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica.

Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo na década de 1970, é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e a aplicação de equipamentos em escala comercial (ALDABÓ, 2002, p. 93).

Com isso, a primeira turbina eólica comercial, ligada à rede elétrica pública, foi instalada em 1976, na Dinamarca. Hoje, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em funcionamento no mundo. Em 1991, a Associação Européia de Energia Eólica estabeleceu como metas a instalação de 4.000 MW de energia eólica na Europa, até o ano 2000 e 11.500 MW até o ano 2005. Ressalta-se que essas e outras metas foram cumpridas muito antes do esperado (4.000 MW em 1996, 11.500 MW em 2001). As metas atuais são de 40.000 MW na Europa, até 2010. “Nos Estados Unidos, o parque eólico existente é da ordem de 2.500 MW e estima-se uma instalação anual em torno de 1.500 MW para os próximos anos” (EC, 1999; WINDPOWER, 2000).

O custo dos equipamentos, que era a principal barreira quanto ao aproveitamento comercial da energia eólica, caiu muito entre os anos 1980 e 1990. Estimativas indicam que o custo de uma turbina eólica moderna está em torno de US\$ 1000,00 por kW instalado. Em contrapartida, “os custos de operação e manutenção variam de US\$ 0,006 a US\$ 0,01 por kWh de energia gerada e de US\$ 0,015 a US\$ 0,02 por kWh, após dez anos de operação” (BTM, 2000).

Os recentes desenvolvimentos tecnológicos (sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, etc.) têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. No que tange ao balanço energético, atualmente, “uma turbina de 600 kW converte, em 7 meses, toda a energia gasta na sua fabricação” (WOBBEN, 2005, p. 45)

No atual estado da arte das turbinas eólicas, encontram-se rotores com diâmetro de 61 a 90m, se comparados com os limites de 37 a 44m da década de 1990 e dos 600 kW da turbina mais vendida no mundo aos modelos de 4,5MW – Enercon E-112 – em montagem nas usinas off-shore (no mar) na Irlanda e na Dinamarca, e os projetos de turbinas gigantescas de 12MW (WOBBEN, 2005).

Espera-se, portanto, “que a energia eólica venha a ser muito mais economicamente competitiva nas próximas décadas com a redução dos custos do US\$/kW e com o incremento da eficiência dos geradores e conversores estáticos” (RENEWBLE ENERGY WORD, 2005).

4.1.4 Energia eólica no mundo

A Figura 2 mostra os principais países em capacidade instalada de produção de energia eólica (acima de 100MW), em valores atualizados. Nela, vê-se, por exemplo, que a Europa detém 73% do mercado de energia eólica e aguarda-se a entrada da China com investimentos da ordem de 40 bilhões de dólares.

Os dez países líderes em instalação de energia eólica

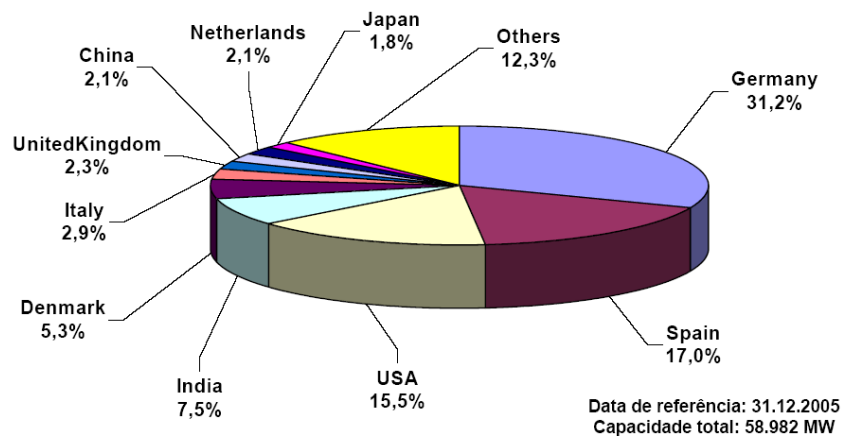


Figura 2 – Os dez países líderes em instalação de energia eólica

(Fonte: Adaptado de BTM Consult, DK).

Na Alemanha, país que lidera a produção de fonte de energia mundial, a prioridade energética envolve a utilização de fontes renováveis, com destaque para a eólica. Diante disso, a capacidade de geração eólica instalada é de 12 000 MW, em 2003.

A Espanha é o segundo país do mundo que mais utiliza energia elétrica eólica, atrás somente da Alemanha. As perspectivas governamentais apontam para que, em 2010, haja 8.000 MW em potência instalada em solo espanhol.

A Dinamarca, pioneira na utilização da energia elétrica eólica, já conta com cerca de 10% de sua matriz de geração elétrica baseada nessa forma de produção, devendo chegar à 50% até 2030, com pelo menos 4.000MW off shore. Hoje, portanto, a Dinamarca se constitui no principal exportador mundial de equipamentos e tecnologia em turbinas eólicas.

Por consequência da Dinamarca se constituir no principal exportador de energia eólica, as companhias de eletricidade são obrigadas pela legislação a conectar, na rede elétrica, qualquer aero - gerador, incluindo os custos da interconexão, a linha elétrica e a subestação, se for o caso. De forma semelhante, na Holanda, o governo tem um compromisso com as companhias de eletricidade de atingir, em 2010, 3,2% de produção de energia eólica em relação ao consumo total de eletricidade do país. Também é originário da Dinamarca o melhor site de informações da área de energia eólica que é o www.windpower.dk, o qual

inclui atividades acadêmicas para docentes e uma seção especial para crianças, sendo disponível ao público e gratuito.

De maneira semelhante, também o Japão tem como uma de suas prioridades energéticas o uso da energia eólica. Na região de Hokkaido e Tohoku, a potência instalada passou a 28MW para 140MW entre 1998 e 2000. Um comunicado emitido em 2002, pelo Ministério da Economia, Comércio e Indústria daquele país, divulgou a necessidade de incrementar a capacidade instalada em energia eólica para 3.000 MW até o ano de 2010.

Diante do exposto acima,

a evolução de mercado para os próximos anos mostra que países como Dinamarca, Holanda e Alemanha projetam suas futuras instalações eólicas no mar, devido à falta de espaço em terra. Como exemplo, a Dinamarca projetava instalar 40.500 MW de sistemas eólicos no mar até 2005, e a entrada da gigantesca Siemens, nessa área, promete novidades (RENEWBLE ENERGY WORD, 2005).

4.1.5 Energia eólica no Brasil

Em termos de planejamento, verifica-se que o Brasil viabiliza a construção de um parque com 160 turbinas eólicas, com capacidade média individual de 600 kW. Para geração de energia elétrica no Rio Grande do Sul, foi inaugurada, na cidade de Osório-RS, a primeira etapa de geração eólica. Medições realizadas indicam que, no nordeste brasileiro, os ventos têm velocidade média de 8 m/s, o que é considerado muito bom para geração eólica com investimentos maciços, principalmente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Maranhão. (Fonte: CBEE).

As pesquisas sobre o comportamento dos ventos e a adaptação das turbinas às condições do país estão sendo realizadas pelo Centro Brasileiro de Testes de Turbinas Eólicas, doravante CBTTE, ligado à Universidade Federal de Pernambuco. O CBTTE possui duas turbinas instaladas em Olinda-PE, com capacidade total de 580 MWh por ano.

Reconhecidamente, o Brasil possui um grande potencial eólico, confirmado pelas medições realizadas até o momento e é possível, pois, produzir eletricidade a custos competitivos quando comparados com os custos de produção das centrais termelétricas, nucleares e hidroelétricas. A capacidade de geração de energia elétrica (a partir da eólica), em território brasileiro, é estimada em 6.000MW, atingindo 10.000MW, segundo opiniões manifestadas em alguns artigos técnicos. As análises dos recursos eólicos, medidos em vários locais do país, mostram a possibilidade de geração elétrica com custos em torno de US\$ 0,70 por MWh (CBTTE, 2002).

Os órgãos responsáveis pela energia elétrica no país trabalhavam com a expectativa de uma produção por fontes alternativas de 5645 MW até o final de 2004. Como forma de

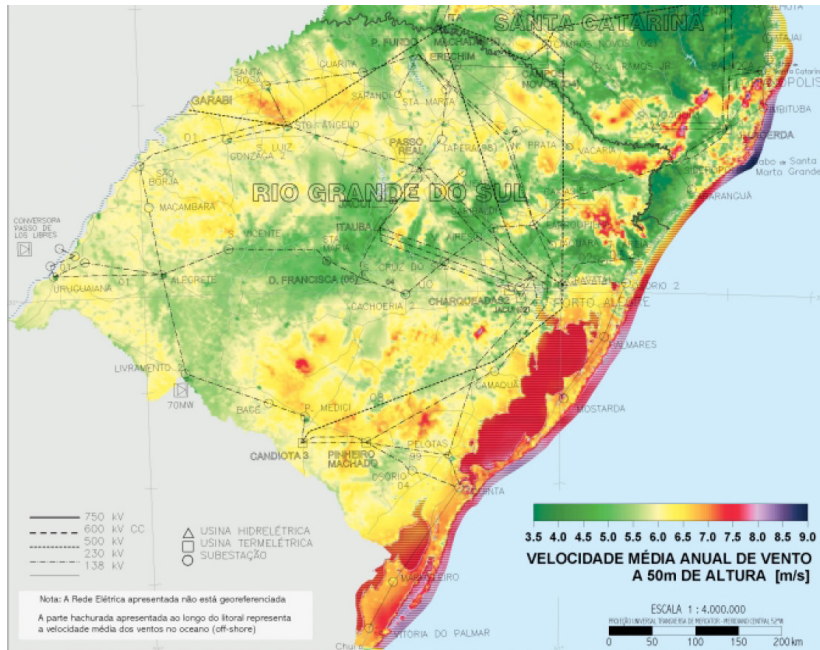
acelerar o aproveitamento dessas fontes, foi criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, a saber, Proinfa, entretanto defende-se que as políticas nacionais deveriam ser mais arrojadas e mais empreendedoras na busca de soluções alternativas, tornando as metas, de médio prazo, mais ambiciosas.

O Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), por exemplo, com o apoio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), lançou, em 1998, a primeira versão do Atlas Eólico do Nordeste do Brasil (WANEb – *Wind Atlas for the Northeast of Brazil*). Com isso, tinham o objetivo principal de desenvolver modelos atmosféricos, analisar dados de ventos e elaborar mapas eólicos confiáveis para a região.

Além disso, um mapa preliminar de ventos nas diferentes regiões do Brasil foi gerado a partir de simulações computacionais com modelos atmosféricos. Este mapa é mostrado na Figura 3, exemplificado abaixo.

Alguns pré-requisitos técnicos e econômicos devem ser observados para a implantação de parques eólicos da classe de MW no setor elétrico brasileiro. Entre eles, destacam-se:

- a) o interesse declarado pelas concessionárias de energia elétrica, motivada, principalmente, pela necessidade de expansão da geração de energia elétrica;
- b) a diversidade das características dos projetos quanto à localização, aos aspectos topográficos e às características da rede;
- c) a possibilidade de garantias de financiamento;
- d) o desenvolvimento da indústria nacional de sistemas eólicos;
- e) o estabelecimento de uma legislação favorável à disseminação da tecnologia eólica para geração de eletricidade em grande escala.



**Figura 3 – Disponibilidade da energia eólica no Sul do Brasil (Atlas Cresesb).
(Fonte: Adaptado de WANE, 2006).**

4.1.6 Disponibilidade da energia eólica

A disponibilidade de energia eólica está diretamente ligada a fatores físicos e geológicos. Como foi visto, a energia eólica se forma devido à diferença de aquecimento nas diferentes partes da superfície terrestre. Isso acontece por vários motivos, entre os quais se destaca a inclinação do eixo terrestre sob a incidência dos raios solares. Portanto, a disponibilidade de energia eólica depende da hora, do dia, da estação do ano e de outros aspectos climáticos.

As diferenças de aquecimento na superfície terrestre modificam a densidade do ar (relação entre a massa e o volume ocupado). O ar mais quente é menos denso e descreve um movimento ascendente na atmosfera. Por conseguinte, o vazio deixado pelo ar é ocupado por uma massa de ar mais frio, que possui maior densidade. Essa diferença proporciona, pois, um deslocamento de massas segundo o princípio das correntes de convecção. Assim, ao movimento das massas, está associada uma parcela de energia mecânica denominada de Energia Cinética (E_c), expressa pela equação:

$$E = 1/2 \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

Onde: m é a massa de ar que passa por uma área A , de varredura das pás em rotação e V é a velocidade do vento.

A massa pode ser obtida pela equação:

$$m = A \cdot \rho \cdot V \quad (2)$$

Onde: ρ é a densidade do ar,

V é a velocidade do vento e

A é a área de varredura das pás.

Esta equação da energia é obtida a partir das leis de Newton, estudadas na mecânica clássica. No entanto, como em qualquer processo de conversão de energia, a energia eólica não pode ser totalmente convertida em energia aproveitável. Consoante Betz (1919), “o percentual de 59,26% é o limite máximo para o aproveitamento dessa forma de energia”.

De acordo com isso, a Tabela 1 resume as possíveis aplicações da energia eólica de acordo com a sua magnitude, lembrando que os valores de velocidade são os valores de média anual e não fruto de simples medições.

Tabela 1 - Utilização da energia eólica.

VELOCIDADE MÉDIA ANUAL 10M ACIMA DO NÍVEL DO SOLO	POSSIBILIDADES DE USO PARA A ENERGIA EÓLICA
Abaixo de 3 m/s	Usualmente não viável, ao menos em ocasiões especiais
3-4 m/s	Pode ser uma opção para bombas eólicas, sendo improvável para geradores elétricos
4-5 m/s	Bombas eólicas podem ser competitivas com bombas a Diesel. Pode ser viável para geradores eólicos isolados
Mais que 5 m/s	Viável tanto para bombas eólicas quanto para geradores eólicos isolados
Mais que 7 m/s	Viável para bombas eólicas, geradores eólicos isolados ou conectados à rede

Fonte: (Krauter (UFRJ), 2005).

4.2 Tipos de rotores na geração de energia eólica

De uma maneira geral, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não precisarem de mecanismos de acompanhamento para variações de direção do vento. Isto reduz a complexidade do projeto, como também os esforços, devido às forças de “Coriolis”. Essas forças, assim denominadas numa referência ao engenheiro francês, seu descobridor, são

devidas à rotação terrestre e desempenham papel importante, uma vez que alteram as características do movimento do vento e das correntes marítimas, características essas que seriam muito diferentes, se a Terra estivesse em repouso. Os rotores de eixo vertical, por sua vez, também podem ser movidos por forças de arrasto ou por forças de sustentação. Os principais tipos de rotores de eixo vertical são:

- a) Savonius;
- b) Darrieus;
- c) Turbina com torre de vórtices.

Conforme Souza et al., 2004, p. 32

os rotores do tipo Savonius são movidos predominantemente por forças de arrasto embora desenvolvam alguma força de sustentação. Acrescenta-se que esses tipos de rotores têm torque de partida relativamente alto, ainda que em baixa velocidade. Assim, sua eficiência é baixa e o seu rendimento mecânico máximo pode atingir 31%. Consequentemente, os rotores Savonius são amplamente utilizados no bombeamento de água em instalações rurais de baixo custo.

Na Figura 4, a seguir ilustrada, vê-se um rotor desse tipo.



Figura 4 – Cata-vento Savonius.
Fonte: (Página do NERG).

Os rotores tipo Darrieus, desenvolvidos em 1927, pelo francês G.J. M Darrieus, são os mais fortes concorrentes dos cata-ventos convencionais de hélices, visto que são movidos por forças de sustentação lift e são constituídos de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico atadas pelas duas pontas ao eixo vertical. Em rotação, suas lâminas são

curvadas por forças centrífugas até um diâmetro aproximadamente igual à distância entre as pontas, assumindo, assim, a forma de uma catenária. Esses rotores podem atingir alta velocidade, mas o torque de partida é aproximadamente nulo.

Várias configurações podem ser concebidas, pois esses tipos de rotores podem ser combinados a outros rotores para aumentar o torque de partida. Sua eficiência, desse modo, é alta, quase comparável aos tipos convencionais de cata-ventos.

As turbinas com torre de vórtice são unidades mais compactas, para uma potência de saída, do que outros cata-ventos, pois se encontram ainda em estágio de desenvolvimento.

4.2.1 Pás ou aerofólios

Construtivamente, as pás ou aerofólios podem ter as mais variadas formas e empregar os mais variados materiais. Particularmente, as pás rígidas são feitas de madeira, alumínio, aço, fibra de vidro, fibra de carbono e/ou Kevlar. Estas últimas são as mais promissoras do ponto de vista tecnológico. A seguir, destacar-se-ão os variados tipos de materiais constituídos nas pás ou aerofólios:

a) fibras de vidro: são materiais reforçados com fibra de vidro e oferecem boa resistência específica. Além do mais, os custos competitivos para as pás são acessíveis, porque o material é utilizado em quase todas as pás dos aero geradores dos parques eólicos da Califórnia (EUA) e na Europa e também foi utilizado em rotores de até 112m de diâmetro. Com isso, as pás, em materiais compostos, possibilitam uma geometria aerodinâmica lisa, contínua e precisa e, as fibras são colocadas estruturalmente nas principais direções de propagação das tensões quando em operação;

b) aço: os aços estruturais são disponíveis à custo relativamente baixo no mercado interno de alguns países e há bastante experiência na sua utilização em estruturas aeronáuticas de todos os tamanhos. No entanto, uma desvantagem do aço é de que as pás, fabricadas com esse material, tendem a ser pesadas, o que acarreta no aumento de peso e no custo de toda a estrutura suporte, além de que elas necessitam de proteção contra a corrosão, segundo a qual existem diversas alternativas possíveis;

c) madeira: essa fibra natural, que também constitui um material composto, evoluiu ao longo de milhões de anos, a fim de suportar cargas de fadiga induzidas pelo vento, o qual tem muito em comum com aquelas cargas a que são submetidos os rotores de aero geradores. Nesse sentido, a madeira é amplamente utilizada no mundo para pás de rotores pequenos (até

10m de diâmetro), sendo que o baixo peso da madeira é uma vantagem, mas deve-se cuidar para evitar variações do teor de umidade interna, o que pode causar degradação das propriedades mecânicas e variações dimensionais, que enfraquecem a estrutura das pás e podem causar rompimento na estrutura;

d) alumínio: a maior parte dos aero geradores do tipo Darrieus usa pás feitas de ligas de alumínio, as quais são estudadas na forma de perfil aerodinâmico. Contudo, as ligas de alumínio não têm limite inferior de tensão de fadiga, pois os ciclos de carregamento são aumentados e este comportamento sempre tem levantado dúvidas quanto à possibilidade de se atingir a longa vida de 20 anos ou mais para um rotor de alumínio;

e) fibra de carbono e/ou Kevlar: são materiais compostos mais avançados, que podem ser utilizados em áreas críticas (longarina da pá ou vane, por exemplo), e que têm sido utilizados como forma experimental e servem para melhorar a rigidez da estrutura. No entanto, de acordo com Campos, 2001, p. 56

esses materiais têm preços altos demais para serem utilizados nos aerogeradores economicamente mais competitivos, cabendo o registro de que o conhecido aerogerador, AIR MARINE 403, utiliza esse tipo de material, outorgando-lhe um desempenho ímpar na sua faixa de potência.

A maioria dos rotores modernos tem duas ou três pás. Os projetistas americanos têm escolhido geralmente duas pás com base no argumento de que o custo de duas pás é menor que o de três. Outros, especialmente os dinamarqueses, argumentam que o custo extra da terceira pá é compensado pelo comportamento dinâmico mais suave do rotor de três pás, e que o custo total do aero gerador é virtualmente idêntico quer se usem duas ou três pás. Dessa forma, um rotor de três pás fornece oscilações menores de torque no eixo, o que simplifica a transmissão mecânica.

4.2.2 As torres

As torres são mecanismos que elevam os rotores à altura desejada e estão sujeitas a inúmeros esforços. Primeiramente, as forças horizontais devem-se levar em conta a resistência do rotor ao arrasto (drag) e a força do vento na própria torre. Em seguida, devem-se considerar também as forças tensionais, impostas pelo mecanismo de controle de rotação da gávea giratória – casa de máquinas ou “nacele” – e os esforços verticais (peso do próprio equipamento), os quais não devem ser desprezados.

Quanto ao material, as torres podem ser de aço (em treliças ou tubulares) ou tubulares, de concreto.

Para os aerogeradores menores, é possível a utilização somente de um poste de madeira, conforme a exemplificação a seguir:



Figura 5 – Torre de Madeira para Cata-vento
Fonte: (Página do NERG).

A torre suporta a massa da gávea giratória e das pás. As pás, por sua vez, excitam, em rotação, cargas cíclicas no conjunto, com a frequência da rotação e de suas múltiplas pás. Assim, uma questão fundamental deve ser privilegiada no tocante ao projeto da torre e a sua frequência natural, pois deve ser desacoplada das excitações, a fim de evitar o fenômeno de ressonância. Este fenômeno aumenta a amplitude das vibrações e tensões resultantes e, além disso, reduz a vida em fadiga dos componentes, entre outros efeitos, desagradáveis.

Logo após 1973, a primeira geração de aero geradores, ditos modernos, foi projetada com torres rígidas e com frequências naturais bem acima das forças de rotação do rotor. Entretanto, esse enfoque conduziu a torres desnecessariamente pesadas e caras (CAMPOS, 2001, p. 74).

Durante a última década, à medida que a compreensão dos problemas dinâmicos de aero geradores foi aumentando, tornou-se possível a construção de aero gerador mais leve,

consequentemente menos rígido, mas também significativamente mais barato do que os seus antecessores.

Desde que tenham as suas frequências naturais desacopladas das frequências de excitação do rotor, as torres podem ser esteadas ou não. De modo geral, as frequências naturais de uma torre esteadas podem ser mais bem reguladas, variando-se a tensão de estaiamento. Interessante notar que um estaiamento por barras de aço é preferível para uso de cabos, pois estes são mais elásticos e necessitam, pois, de pré-tensões muito maiores do que as que seriam necessárias em barras para atingir a mesma frequência natural, numa mesma configuração.

Um aerogerador moderno constitui uma estrutura esbelta, com a massa das pás em rotação sobre uma torre, excitando cargas cíclicas sobre todo o sistema. Um problema básico do projeto é determinar todos os modos e frequências naturais de vibração dos componentes, em especial, pás e torre, para evitar ressonância com as frequências de excitação do rotor em operação. A ressonância, conforme já foi descrito, causa aumento das amplitudes de carregamento cíclico no sistema, comprometendo a resistência à fadiga e reduzindo a vida útil prevista para o aerogerador, o qual é de aproximadamente 20 anos.

4.3 As turbinas eólicas e o meio ambiente

A geração eólica de energia é considerada “limpa” quando não emite gases ou qualquer outro tipo de poluente ao meio ambiente.

Entretanto, as grandes “fazendas eólicas”, como são chamadas as instalações que recebem vários geradores, um ao lado do outro, causam alguns tipos de impacto ambiental. Os principais são:

a) ruído: toda turbina eólica produz barulho, que provém tanto dos equipamentos elétricos e mecânicos (gerador, caixa de redução, etc.), quanto do silvo aerodinâmico, propriamente dito. O primeiro deles predomina em turbinas com pás de até 20m de comprimento. O ruído aerodinâmico depende também do tipo e do controle da turbina (horizontal ou vertical, controle por estol ou passo, controle de velocidade, conexão direta do gerador à rede), do tipo de material das pás, entre outros, sendo que esse ruído tende a ser mais evidente quando o vento é mais fraco, visto que o barulho natural de ventos fortes acaba mascarando o ruído produzido na turbina. Por outro lado, com ventos fracos, o ruído diminui muito quando se diminui a rotação da turbina, já que as turbinas mais modernas, com

sofisticados controles de velocidade e passo (“pitch”), conseguem reduzir significativamente o ruído, mas, mesmo assim, dependendo da quantidade de turbinas na fazenda eólica, o barulho produzido pode ser um problema.

Em vista disso, conforme acrescenta Campos, 2001, p. 54

os países que utilizam mais comumente a geração eólica já têm legislações que tratam do assunto, limitando o máximo ruído para as áreas residenciais próximas, sendo que, na Europa, a distância mínima, entre uma turbina eólica e uma área residencial, é de cerca de 200m.

b) poluição visual: grandes turbinas possuem hélices com dezenas de metros e podem ser vistas a dezenas de quilômetros de distância. Com isso, qualquer instalação de geração de energia (térmica, nuclear, hidrelétrica) precisa ser vista a quilômetros de distância, além do que, dependendo da região, a instalação de uma fazenda eólica pode ser indesejável;

c) reflexos: como as pás das turbinas normalmente são feitas de metal, a luz do Sol causa reflexos móveis, indesejados, aos olhos das populações, caso haja região habitada próxima da fazenda eólica e este problema é maior em locais de maiores latitude, onde o ângulo de incidência dos raios solares é menor;

d) morte de aves: Segundo destaca Campos, 2001, p. 82.

existem relatos de grande mortalidade de aves em Tarifa, próximo ao estreito de Gibraltar, na Espanha, quando ocorre o impacto delas, em rota migratória, com turbinas de uma fazenda eólica, sendo recomendável que se observe o cuidado de não se instalar fazendas eólicas em rotas migratórias de aves.

4.4 Bombeamento fotovoltaico

4.4.1 O estado da arte do bombeamento fotovoltaico

A seguir, apresentam-se o estado da arte da tecnologia de bombeamento fotovoltaico e algumas das experiências mais relevantes levadas a cabo nas duas décadas de sua expansão.

Lorenzo et al. 1994, diz que “apesar de o efeito fotovoltaico ter sido observado, pela primeira vez, pelo físico francês Edmund Becquerel, em 1839 , e de as primeiras aplicações datarem da década de 1950, o bombeamento fotovoltaico, por outro lado, somente se deu de forma comercial no final da década de 1970”. Assim, consoante Zaffaran e Lloyd, 1994, “até

1994, cerca de 24.000 sistemas haviam sido instalados em todo o mundo”. Na última década, no entanto,

o número desses sistemas aumentou sensivelmente e, apesar de não se ter contabilizado, o último estudo de previsão da expansão, realizado pela União Européia, mostra cifras da ordem de 150.000 sistemas de bombeamento fotovoltaico a serem instalados até o ano de 2010 (EPIA, 1996).

Assim, esse incremento, considerando-se uma potência média de 800 Wp por sistema, conduz cerca de 120 MWp de potência instalada.

Um dos fatores que contribuíram, pois, para a disseminação da opção de bombeamento fotovoltaico foi a redução dos preços de seus componentes. Em pesquisa de mercado, uma pesquisadora concluiu que a evolução do preço do módulo fotovoltaico, no mercado internacional, foi de US\$ 38,00/Wp², em 1978, para US\$ 3,50/Wp¹, em 2003.

Em vista disso, Derrick, 1993, afirma que “para o sistema de bombeamento fotovoltaico, como um todo (módulos, condicionamento de potência e conjunto moto bomba), passou de US\$ 50,00/Wp, em 1970, para menos de US\$ 9,00/Wp, atualmente”.

No Brasil, todavia, esses valores estão por volta de US\$ 6,00/Wp, para o módulo fotovoltaico, e de US\$ 18,00/Wp, para o sistema de bombeamento completo, pois estão computados os custos de transporte, seguro e imposto de importação.

De acordo com Barlow et al., 1991, “outro fator decisivo, para o crescimento da utilização dessa opção, foi a viabilização de projetos piloto implantados em condições reais de operação, proporcionando, dessa forma, o aprimoramento tecnológico necessário para sua expansão em larga escala”.

Para exemplificar, a Figura 6 mostra a evolução dos preços do Watt pico ao longo da produção acumulada.

² Dólar, valor de referência em 2/12/2002: US\$ 1,00 = R\$ 3,56 (esse valor desse ser tomado para todas as outras menções feitas ao dólar neste subcapítulo (4.4.1 O estado da arte do bombeamento fotovoltaico. A unidade “Wp” se refere à energia radiante do Sol transformada em potência hidráulica útil.

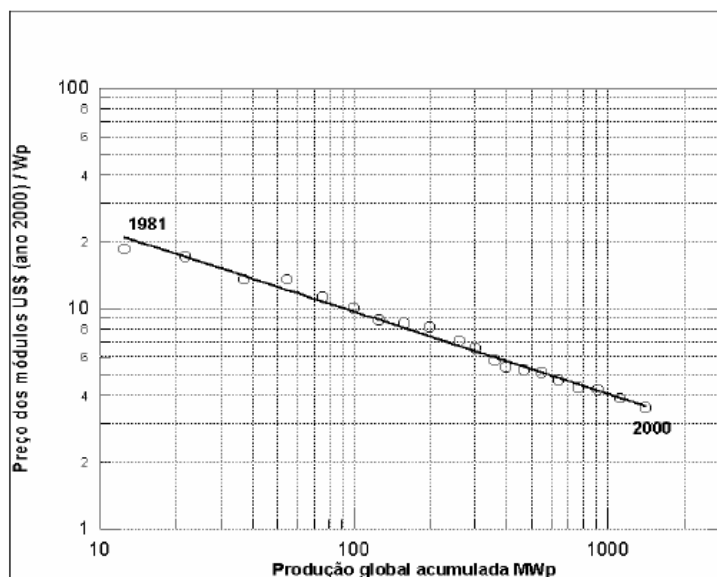


Figura 6 – Evolução dos preços dos módulos no mercado internacional entre 1981 e 2000.

(Fonte: Parente et al.,2002)

Somado ao avanço tecnológico, marcado pela priorização da confiabilidade técnica dos equipamentos, houve uma melhora significativa na eficiência dos elementos do sistema. No início da década de 1980, a eficiência média total de um sistema era de 2%; no entanto, graças ao aumento das eficiências individuais dos equipamentos, sistemas com eficiência média total acima de 5% já são uma realidade. Atualmente, “um bom sistema comercial conta com eficiência dos módulos fotovoltaicos entre 12% e 15%, e eficiência do restante do sistema entre 30% e 40%” (BARLOW et al., 1991; MAYER et al., 1995b; GTZ, 1996, apud DUZAT, 2000; PROTEGEROPOULOS e TSELIKIS, 1997).

Um sistema de bombeamento fotovoltaico padrão é constituído de gerador fotovoltaico (conjunto de módulos fotovoltaicos de um sistema conectados entre si), mecanismo de condicionamento de potência (inversor, controlador, seguidor do ponto de máxima potência), grupo moto bomba e reservatório de água, conforme ilustra a Figura 7. Diferentemente dos sistemas domiciliares de geração autônoma, não são utilizadas baterias eletrolíticas para o armazenamento de energia elétrica nos horários em que há maior insolação para sua posterior utilização, a exceção é feita, contudo, nos casos em que a bomba é uma carga maior do que um sistema fotovoltaico autônomo. Como regra geral, nos períodos de maior insolação, a água é bombeada e armazenada em reservatórios para sua posterior utilização, então esses reservatórios são dimensionados para prestar determinado serviço, em certo número de dias de autonomia.

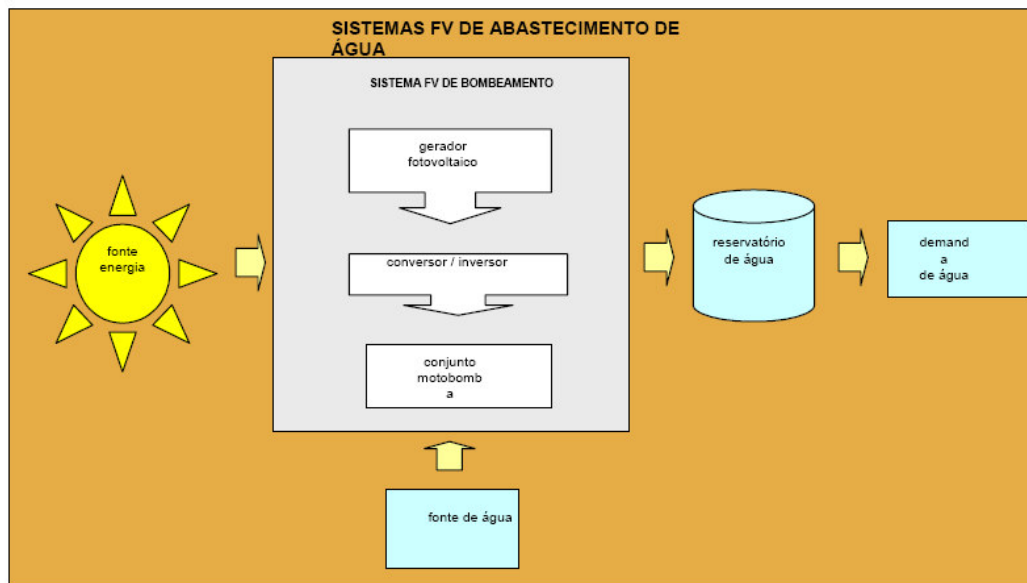


Figura 7 – Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de abastecimento de água.
(Fonte: Modificado de Fraindenraich, 2002).

Em utilizações comerciais, o gerador fotovoltaico costuma ser fixo, ainda que a utilização de rastreadores solares, os chamados *tracking systems*, aperfeiçoem a irradiação solar sobre a superfície do gerador, aumentando a energia útil, com o conseqüente incremento do volume bombeado. Conforme Vilela e Fraindenraich., 2001, “estudo comparativo de sistemas de bombeamento com e sem rastreador, sob determinadas condições de funcionamento, determinou que até 41% a mais de água é bombeada no primeiro caso”.

A idéia básica para a utilização de rastreadores reside na vantagem de requerer menor potência de gerador para a mesma quantidade de água bombeada, implicando menor investimento em módulos fotovoltaicos, assim como ocupação de menor superfície para sua instalação. Entretanto, a aquisição do mecanismo rastreador e a sua colocação em funcionamento, manutenção e reposição, ao longo da vida útil do projeto, pode não compensar economicamente, quando comparado com os gastos de um sistema fixo. Por esse motivo, a utilização de rastreador deve ser analisada em função das especificidades e dos objetivos de cada projeto.

A evolução dos equipamentos de bombeamento fotovoltaico passou de um sistema no qual a bomba se encontrava em localização submersa, o motor e os demais componentes de condicionamento de potência se encontravam em superfície, acoplados por um eixo, para um sistema compacto em que todo o mecanismo se encontra em localização submersa ou flutuante. Este novo mecanismo contém configurações mais utilizadas, as apresentadas na

Figura 8, sendo que as linhas em azul escuro são as de maior ocorrência e, em azul-claro, as de menor frequência.

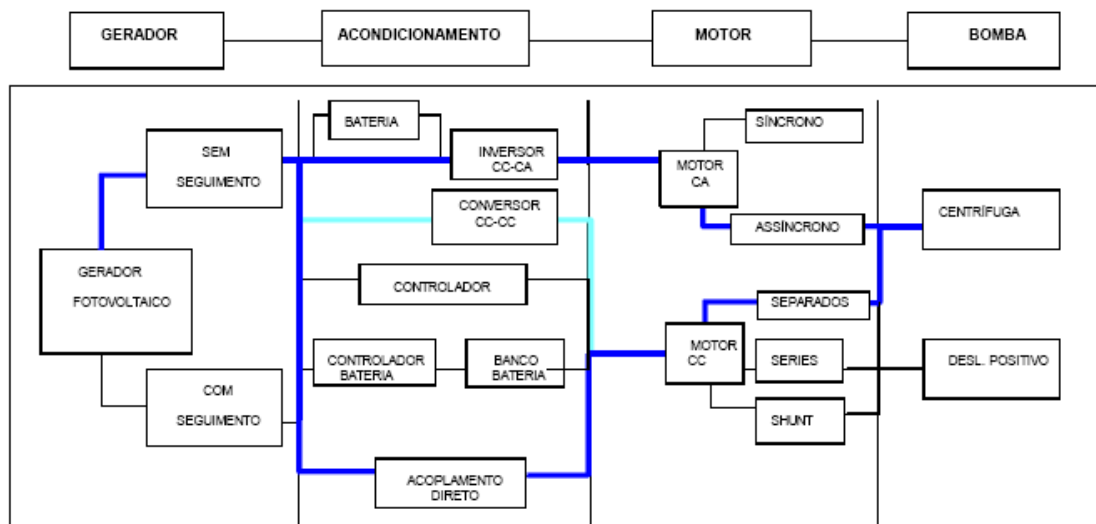


Figura 8 – Configurações de sistemas de bombeamento fotovoltaicos mais utilizados
(Fonte: Modificado de Koner, 1991. apud Malbranche et al., 1994).

Para sistemas em corrente contínua (CC), o condicionamento de potência pode ser feito tanto com a utilização de conversor (CC-CC), como mediante acoplamento direto gerador-moto bomba. Já para sistemas em corrente alternada (CA), são utilizados inversores trifásicos (CC-CA); e, ainda, com a finalidade de aperfeiçoar a variação das condições de irradiação, são utilizados seguidores do ponto de máxima potência.

Com relação às bombas para aplicações de pequena potência (até 400 Wp), as mais utilizadas são as de deslocamento positivo de diafragma ou, ainda, bombas centrífugas mono ou de poucos estágios. Para aplicações de grande potência, as bombas utilizadas são as centrífugas multi estágios e de deslocamento positivo helicoidais.

Dessa forma,

as bombas centrífugas são indicadas para grandes vazões e menores alturas manométricas, pois, para alturas manométricas elevadas, esse tipo de bomba apresenta redução na eficiência. Já para grandes alturas manométricas e menores vazões, as mais indicadas são as bombas de deslocamento positivo, principalmente do tipo helicoidal. Contudo, apesar de apresentarem maior eficiência, se comparadas com as bombas centrífugas, as helicoidais oferecem maior torque de arranque do motor, o que deve ser considerado no dimensionamento do gerador (MAYER et al., 1995a).

4.4.2 Histórico do bombeamento fotovoltaico e principais projetos

Conforme Fedrizzi (2003), apesar de o bombeamento fotovoltaico ser uma tecnologia recente, foi graças a grandes projetos, “na maioria das vezes implantados em zonas rurais de países em desenvolvimento, com o suporte dos países produtores dos equipamentos”, que foram conquistados ganhos tecnológicos, “em função da necessidade de adaptação às condições de campo”.

As primeiras aplicações comerciais do bombeamento fotovoltaico datam de 1978. Na ilha de Córsega, dando continuidade a sua tese de doutorado, a engenheira Dominique Campana desenvolveu e instalou o primeiro sistema de utilização a campo de que se tem registro. Com módulos da empresa Philips e bomba em corrente contínua desenvolvida em conjunto com engenheiros da empresa Guinard, o sistema abastecia uma fazenda de criação de ovelhas. Após essa primeira experiência, alguns outros sistemas foram instalados na Europa. No entanto, “o primeiro empreendimento em larga escala se deu no continente africano, mais especificamente em Mali” (BARLOW et al., 1991; MALBRANCH et al., 1994; PERLIN, 1999 apud FEDRIZZI, 2003).

Segundo Perlin, 1999, p. 65

Encabeçada pelo padre Bernard Vespieren, a entidade Mali Acqua Viva foi criada para aliviar os efeitos da seca que assolava vários países da África. Após inúmeras tentativas de abastecimento de água com sistemas de bombeamento a Diesel, manual, a pedal e até mesmo com um projeto piloto solar térmico, no final da década de 1970 a entidade conseguiu viabilizar a instalação das primeiras bombas fotovoltaicas no continente africano. Entre 1977 e 1990, mais de 200 sistemas foram instalados em Mali, alavancando inúmeros outros projetos em países vizinhos (PERLIN, 1999 apud FEDRIZZI, 2003).

Ainda de acordo Fedrizzi, por volta de 1979 e 1981,

o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, com o apoio do Banco Mundial e participação britânica por meio do Grupo de Desenvolvimento de Tecnologias Intermediárias, levou a cabo um projeto piloto que incluía teste e avaliação do funcionamento de sistemas de bombeamento fotovoltaico a campo. O principal objetivo foi a demonstração e avaliação do uso de pequenos sistemas de bombeamento fotovoltaico (de 100 a 300 Wp) para serem utilizados na irrigação de pequenas áreas em propriedades rurais de Mali, Filipinas e Sudão, tendo em vista o aprimoramento da tecnologia para seu uso a campo. As conclusões do trabalho apontaram um grande potencial de utilização dessa tecnologia no meio rural, ainda que nenhum dos produtos testados tenha sido aprovado para a sua imediata difusão em larga escala. As principais recomendações do estudo sugeriram a necessidade de melhora na confiabilidade daqueles equipamentos e de redução de preços, tendo sido a primeira deles amplamente atendida em empreendimentos futuros. (UNDP – Project-GLO/78/004, 1981; HALCROW et al., 1984 apud FEDRIZZI, 2003).

Conforme Anhalt e Hahn e Hänel, citados por Fedrizzi,

Com a finalidade de demonstrar os custos reais de implementação e a maturidade da tecnologia de bombeamento fotovoltaico, entre 1990 e 1994 a Agência de Cooperação Técnica Alemã (GTZ), no âmbito do Programa PVP (Programa de Bombeamento Fotovoltaico), e em cooperação com as autoridades responsáveis pelo abastecimento de água dos países receptores (Argentina, Brasil, Indonésia, Jordânia, Filipinas, Tunísia e Zimbábue), instalou 90 sistemas de bombeamento de grande porte, totalizando cerca de 180 kWp. (ANHALT, 1995; HAHN, 1995).

Com o intuito de aliviar os efeitos de décadas de seca na África saheliana, foi estruturado o Programa Regional Solar (PRS) para o abastecimento de água com energia solar fotovoltaica a populações rurais de oito países do Comitê Permanente Interestados dos Países em Luta Contra a Seca do Sahel (CILSS): Burkina Fasso, Cabo Verde, Gâmbia, Guiné-Bissau, Mauritânia, Nigéria, Senegal e Chade. Com 1.040 sistemas de bombeamento instalados, e perfazendo um total de 1,3 MWp, o projeto buscou melhorar o acesso à água em quantidade e qualidade para um grande contingente de pessoas, além de melhorar suas condições econômicas, propiciando-lhes recursos complementares por meio da irrigação de hortaliças e frutíferas. (RSP, 1996; HÄNEL et al., 1995).

Complementando,

O Programa Regional Solar (PRS) representou um marco no que se refere a projetos dessa natureza, tendo em vista que seus procedimentos de implantação alcançaram cotas de confiabilidade muito superiores às que caracterizavam o estado da arte anterior. O programa prestou especial atenção ao quesito qualidade, mediante procedimentos que incluíram definição de especificações técnicas, definição de testes, execução de testes de protótipos em laboratórios independentes e controle no recebimento dos equipamentos. Além da qualidade técnica, houve também uma preocupação com a estética (fiacão, cercado, etc.), o que afeta positivamente o grau de aceitação e de satisfação dos usuários e dos demais agentes envolvidos. (LORENZO e EGIDO, 1999 apud Fedrizzi, 2003).

O modelo PRS, de acordo com Fedrizzi, engloba equipamentos que torna viável a execução de testes de funcionamento a campo, bem como a determinação do volume bombeado por meio de hidrômetro de uso permanente, além de outros dispositivos, como receptor para manômetro e orifício na tampa do poço que possibilitava a inserção de sensor de nível utilizado para testes operacionais e de rendimento dos sistemas.

No entanto, a concepção e a implementação de um padrão de qualidade técnica do PRS limitaram-se somente até a entrada dos reservatórios de água, ficando a infra-estrutura restante sob responsabilidade de cada país receptor. A falta de desenvolvimento de um padrão de qualidade da infra-estrutura local resultou em inúmeros problemas, como na baixa qualidade de alguns elementos, produzindo avarias prematuras, e no subdimensionamento dos

sistemas de acumulação e distribuição de água, o que gerou impactos negativos na utilização e manutenção de alguns sistemas.

Os esforços empregados no PRS, no sentido de priorizar a qualidade dos elementos de um sistema de bombeamento fotovoltaico foram aproveitados em inúmeros outros projetos em vários países, inclusive no Brasil, mais especificamente no Projeto Eldorado, resultante dos mecanismos de cooperação entre Alemanha e Brasil, tendo sido implantado o padrão de qualidade PRS, proposto pela parte alemã, a qual havia participado daquele projeto na África.

Para ilustrar esse fato, na Figura 9 observa-se detalhe de um dos sistemas instalados em Pernambuco, onde se encontram elementos idealizados no PRS, tais como a boca do poço lacrada, manômetro, hidrômetro, válvula de retorno e tubulação externa de alumínio. Na Figura 10, por sua vez, observa-se um croqui da boca do poço, pertencente ao projeto PRS, mostrando a semelhança entre os dois projetos. (LORENZO e EGIDO, 1999 apud Fedrizzi, 2003).



Figura. 9 – Boca do poço de um sistema do Projeto Eldorado em Inajá, PE.
(Foto: Fedrizzi, 1998).

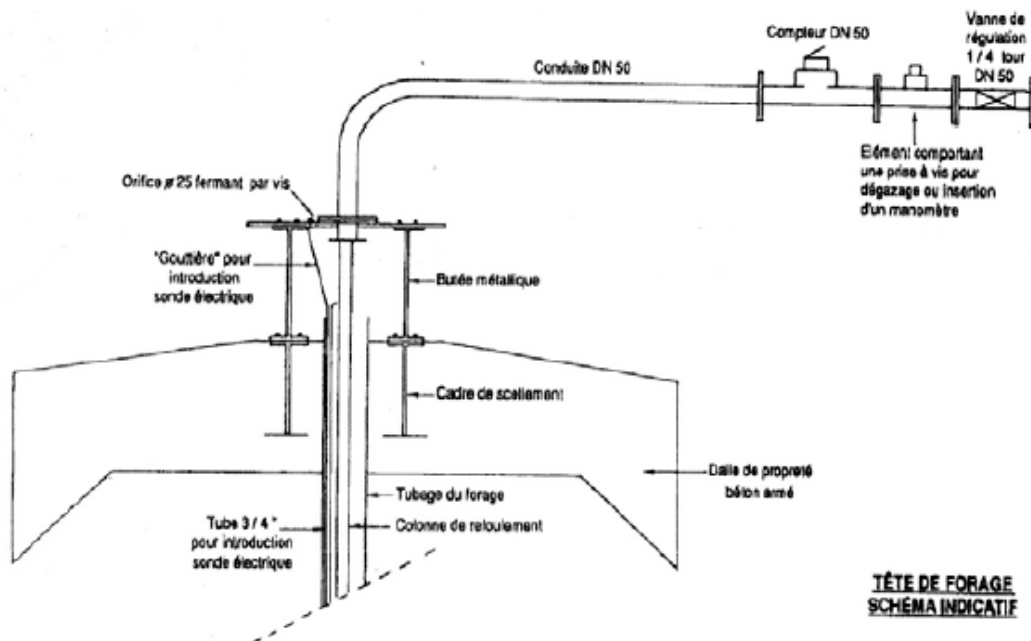


Figura 10 – Croqui da boca do poço do Projeto PRS.
(Fonte: Lorenzo e Egido, 1999).

Em 2001 foram realizados dois grandes projetos de bombeamento fotovoltaico, ambos contando com a participação espanhola. O primeiro deles, nas Filipinas, se encontra em implantação, sendo que em sua primeira fase serão instalados 122 sistemas em comunidades rurais do Programa de Reforma Agrária local (ERA SOLAR, 2001). O segundo – Projeto MEDA (Programa de Bombeamento Fotovoltaico em Países Mediterrâneos, Região Mediterrânea do Marrocos, Argélia e Tunísia (EUROPAID, 2002)), que beneficiará países norte-africanos como Marrocos, Argélia e Tunísia – encontra-se em fase de elaboração e negociação entre as partes e deverá contar com, pelo menos, 90 kWp de potência instalada em comunidades rurais de baixa renda (EUROPAID, 2002). Este projeto tem como embasamento técnico (e inspiração) experiências do Grupo de Sistemas do Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madri (UPM), o qual havia participado, dentre outros, de um projeto fotovoltaico de abastecimento de água a 22 comunidades rurais localizadas no vale do rio Drâa, sudeste do Marrocos (O projeto do vale do rio Drâa é resultado da cooperação espanhola, contando inicialmente com as ONGs espanholas CIPIE e Ingenieria sin Frontera e outra marroquina, a associação TICHKA, futuramente contando com a participação do Grupo de Sistemas do Instituto de Energia Solar da UPM).

Além dos inúmeros projetos implantados em países em desenvolvimento para abastecimento de comunidades rurais localizadas em zonas remotas, a Espanha se destaca

ainda pela utilização do bombeamento fotovoltaico em seu território, para uso em propriedades particulares. O governo de Andaluzia tem incentivado a aquisição dessa tecnologia para a irrigação de oliveirais, arcando com 40% do investimento a fundo perdido, sendo os 60% restantes pagos pelos proprietários em cinco anos. Com esse programa, está sendo incentivada não somente a produção de azeite de oliva, produto de grande consumo interno e de exportação (com um incremento de até 50% da produção), mas também sua indústria fotovoltaica, uma das mais expressivas no contexto mundial (Figuras 11 e 12).



Figuras 11 e 12 – Sistemas de bombeamento fotovoltaico utilizados para irrigação de oliveirais, instalados nas proximidades de uma rede de transmissão de energia elétrica em Jaén, Espanha.

No Brasil, mesmo que a tecnologia de bombeamento fotovoltaico não esteja amplamente difundida pela iniciativa privada, o País conta com uma expressiva quantidade de sistemas instalados por meio de programas institucionais, para o abastecimento de comunidades rurais localizadas em zonas remotas e de baixo poder aquisitivo.

4.4.3 Bombeamento fotovoltaico no Brasil

Dentre as inúmeras tecnologias de bombeamento de água existentes, a opção fotovoltaica se mostra uma das mais promissoras para o abastecimento de populações sem acesso à rede elétrica convencional e localizada em zonas remotas. A tecnologia fotovoltaica apresenta vantagens em vários aspectos, iniciando pelo fato de o recurso solar ocorrer, com mais ou menos abundância, em todo o globo terrestre, sendo sua utilização uma questão solucionável mediante dimensionamento. Outra importante vantagem é evitar permanentes gastos na aquisição e transporte de combustível, bem como a emissão de gases poluentes e de

ruído na geração. Além disso, conta positivamente tratar-se de uma tecnologia consolidada tecnicamente, de alta confiabilidade e com uma vida útil do gerador de mais de 25 anos. O custo de investimento inicial ainda é uma grande barreira a ser superada, em parte, por uma economia de escala, e em parte, por incentivos a sua produção e/ou aquisição.

Apesar de até pouco tempo não ter tido uma marcada importância na implantação de sistemas de bombeamento fotovoltaico, o Brasil começa a tomar uma posição expressiva no cenário mundial, graças aos projetos institucionais. Os primeiros sistemas instalados no País datam de 1981, e estima-se que até 1994 tenham sido instalados não mais do que 150 unidades (Estimativa baseada em informação de profissionais da área que trabalharam no referido período). Nos últimos nove anos, no entanto, o setor experimentou um considerável crescimento devido à atuação do Ministério de Minas e Energia (MME) com o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM). No âmbito desse programa foram adquiridos cerca de 2.500 sistemas, entre as fases I, II, III, emergencial e fase IV, representando uma potência aproximada de 1,2 MWp (BRASIL, 2001). As demais iniciativas totalizam 806 sistemas, com cerca de 361 kWp de potência instalada.

Apesar do visível crescimento do número de projetos de bombeamento fotovoltaico, a experiência no País vem mostrando que problemas ocorrem recorrentemente, podendo ser de caráter estrutural do próprio planejamento, das especificações técnicas dos equipamentos, das formas de introdução da tecnologia, da adaptação dos usuários à nova tecnologia, da estrutura de operação e manutenção, dentre outros.

Segundo trabalhos realizados por, Fronza et al. (2008), o uso da irrigação em figueira Roxo-de-Valinhos, obteve aumento de 11t de figos maduros quando se utilizou a irrigação. A produtividade passou de 21 t/ha para 32 t/ha, ou seja, houve um acréscimo de R\$ 22.000,00 por ha (sendo preço ao produtor de R\$ 2,00 por Kg). O sistema de irrigação utilizado no experimento tem um custo de R\$ 5.000,00 por ha, demonstrando a viabilidade do uso da irrigação desde que haja água e sistema de bombeamento para o uso da técnica.

Os mesmos autores estudando a viabilidade do uso da irrigação na goiabeira Paluma encontraram aumento de produtividade de 28 t/ha, passando de 35 t/ha para 63 t/ha, comparando ensaios sem irrigação e irrigados, respectivamente. Os autores citam ainda a importância do desenvolvimento de novas formas de bombeamento d'água para áreas rurais onde a disponibilidade de rede elétrica é menor e/ou distante, muitas vezes inviabilizando o uso da irrigação.

Na Tabela 2, são apresentados os períodos críticos das culturas ao déficit hídrico, ou seja, momentos em que a falta d'água causa grande perda na produtividade.

Tabela 2 - Períodos críticos das culturas ao déficit hídrico.

Cultura	Período crítico
Alface	Todo ciclo, principalmente na formação da cabeça.
Aveia	Diferenciação do primórdio floral ao enchimento de grãos.
Batata	Formação dos caules raízes e tubérculos.
Beterraba	3 a 4 semanas após a emergência.
Cebola	Transplante e crescimento dos bulbos.
Couve-flor	Do plantio à colheita.
Citros	Floração e formação dos frutos.
Ervilha	Da floração ao enchimento de grãos.
Feijão	Floração, emissão de vagens e início do desenvolvimento.
Melão e melancia	Floração à colheita.
Milho	Floração, início da granação, grão leitoso ao enchimento.
Morango	Desenvolvimento dos frutos até a maturação.
Soja	Floração, frutificação e crescimento vegetativo.
Tomate	Floração e desenvolvimento dos frutos.
Uva	Todo o período de produção.

Fonte: Fronza (2008).

Para o produtor é importante ter disponibilidade de água nos períodos críticos evitando assim perdas na produtividade e potencializando o rendimento das culturas.

Na tabela 3, são apresentados dados de consumo de água de algumas espécies vegetais durante todo ciclo.

Tabela 3 - Consumo de água para diferentes culturas durante o ciclo total de desenvolvimento.

CULTURAS	CONSUMO (mm)	MÉDIA (mm)	(m³/ha)
ABACATE	650-1.000	825	8.250
ALFAFA	600-1.500	1.050	10.500
ARROZ*	550-900	725	7.500
BANANA	700-1.700	1.200	12.000
BATATA	500-800	650	6.500
BETERRABA	1.000-1.500	1.250	12.500
CEBOLA	350-600	475	4.750
FEIJÃO	300-500	400	4.000
FUMO	300-500	400	4.000
GRÃOS	300-450	375	3.750
HORTALIÇAS	250-500	375	3.750
LARANJA	600-950	775	7.750
MILHO	400-700	550	5.500
SOJA	450-875	640	6.400
TOMATE	300-600	450	4.500
UVA	450-900	675	6.750

Fonte: Fronza (2008). *OBS: Para arroz irrigado o consumo médio é de 15.000 m³/ha.

5 METODOLOGIA

O trabalho de pesquisa foi realizado em duas estações localizadas no município de Santa Maria - RS. Na primeira estação, localizada na comunidade de Canabarro, também em Santa Maria, foi instalado somente o sistema eólico. Na segunda estação, implantada no Colégio Politécnico da UFSM, foi instalado o sistema de energia eólica e fotovoltaica (sistema híbrido). As Figuras 13 e 14 localizam as duas estações.



Figura 13 – Mapa rodoviário (localização das estações).
(Fonte: Mapa Potencial Eólico da Região Sul).

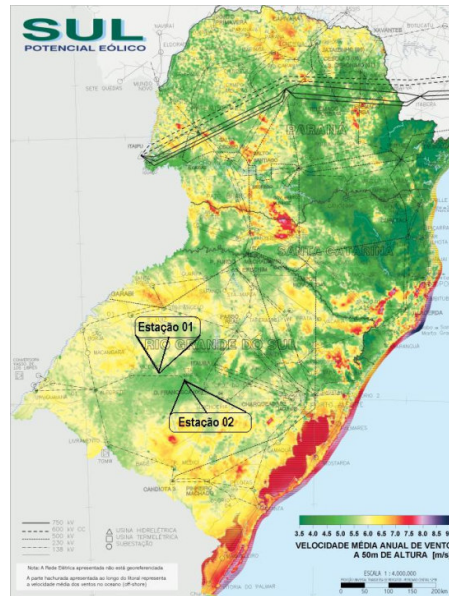


Figura 14 – Localização das estações.
(Fonte: Adaptado do Atlas eólico do Sul do Brasil - CRESEB).

O experimento foi instalado nos anos de 2007 a 2009. Foram realizados estudos sobre aplicação de cata-ventos e sistema fotovoltaico para irrigação.

Para aplicação de cata-ventos foram construídos e utilizados dois tipos de cata-ventos, e bombas em PVC.

5.1 Materiais utilizados

5.1.1 Aerogeradores tipo Savonius

As turbinas de eixo vertical, tipo arraste, operam pelo princípio do atrito causado pelo vento nas pás da turbina. Esse modelo de turbina é de simples construção, pois funcionam para qualquer direção do vento, podendo constituir-se de duas partes de um tonel cortado ao meio, uma parte fixada em oposição à outra, por uma de suas arestas longitudinais opostas, conforme sua concepção original pelo engenheiro J. Savonius. Veja na Figura 15 a seguir :

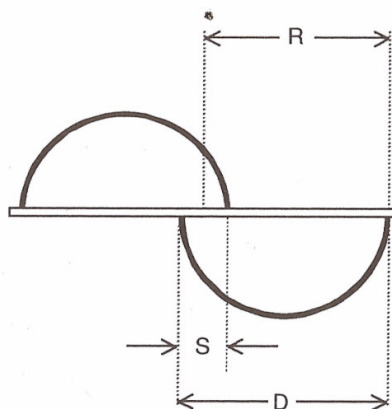


Figura 15 – Modelo de turbina do tipo Savonius.

Corte transversal de uma turbina Savonius.

A melhor configuração para os meios tonéis é dada pelas relações:

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \mathbf{D} - 0,5 \times \mathbf{S} \\ \mathbf{S} &= 0,1 \times \mathbf{D} \end{aligned} \quad (3)$$

O torque da turbina Savonius é produzido pela diferença de pressão entre as superfícies côncava e a convexa, e também pela circulação do ar que chega por trás da superfície convexa.

Sua eficiência chega a 31%, mas apresenta desvantagem em relação ao peso por unidade de potência, pois sua área de construção é totalmente ocupada por material.

Para uma instalação do tipo Savonius que utiliza tonéis metálicos de 200 litros, com uma estrutura de madeira tipo H, pode-se determinar a potência para as diversas velocidades do vento, pelas dimensões do tonel, a saber:

D = 0,60 m (diâmetro de cada meio tonel);

H = 0,85 m (altura do tonel);

R = 0,57 m (raio de exposição ao vento).

Calculando-se a área exposta ao vento, tem-se:

$$A = 2 \times R \times h \quad (4)$$

$$A = 21 \times 0,57 \times 0,85$$

$$A = 0,96 \text{ m}^2$$

De toda a potência do vento, apenas parte dela pode ser extraída para a geração de energia, e essa parte é quantificada pelo coeficiente de potência (**Cp**), isto é, a relação entre a potência possível de se extrair do vento e a quantidade total de potência nele contida.

Segundo Betz, 1919, o valor máximo de **Cp** é de $16/27 = 0,5926$. A potência da turbina, então, pode ser dada por:

$$P_t = (C_p \times \rho \times S \times V^3) / 2 \text{ (em Kgm/s)} \quad (5)$$

Onde:

ρ = a densidade específica do ar (1,2929 Kg / m³ a 0°C e ao nível do mar);

S = a superfície varrida pelas hélices ou pás (m²);

V = a velocidade do vento (m/s);

1 Kgm/s = 9,81 w

Se **S = 1 m²**, o potencial máximo de vento pode ser obtido a partir da equação 1 (sem levar em consideração as perdas aerodinâmicas no rotor, as variações de velocidade do vento nos vários pontos da área de captação, o tipo de rotor, entre outros).

$$P/A = 0,593 \times 0,6464 \times V^3 \quad (6)$$

$$P/A = 0,3831 \times V^3$$

Onde:

P/A = potência eólica (W/m²);

V = a velocidade do vento (m/s);

A potência eólica de um local é diretamente proporcional à distribuição de ocorrência das velocidades, de maneira que locais distintos, com a mesma velocidade média anual, podem apresentar valores de potencia de vento bem diferentes.

Os gráficos abaixo mostram a forma típica desta distribuição de ventos para uma dada localidade.

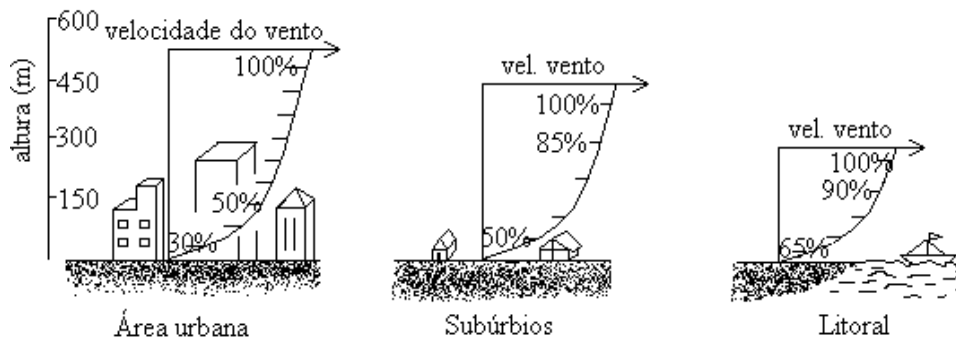


Figura 16 – Gráficos demonstrativos da forma típica de distribuição de ventos para uma dada localidade.

(Fonte: Krauter (UFRJ), 2005)

Um fator de perda de velocidade, e por consequência, de potência de vento, são as construções e as árvores no entorno. Árvores, barreiras de vento e florestas são obstáculos porosos em relação ao vento, ao contrário de montanhas e construção feitas pelo homem. (FARRET, 1999)

Define-se a porosidade como sendo a relação entre a área aberta e o total da área perpendicular à direção do fluxo de ar. Elas podem ser expressas como na Tabela 4.

Tabela 4 – Porosidade (Relação entre a área aberta e o total da área perpendicular à direção do fluxo de ar).

Porosidade (%)	Perdas de: (%)	Distâncias na direção contra o vento em larguras de árvores				
		5	10	15	20	30
20	Velocidade	16	7	4	3	2
	Potência	41	18	12	8	6
40	Velocidade	20	9	6	4	3
	Potência	49	25	17	13	9
Altura da região de fluxo turbulento (em alturas de árvores)		1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Largura da região de fluxo turbulento (em larguras de árvores)		1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

Fonte: Aproveitamento de pequenas fontes de energia Elétrica; Farret, 1999.

Considerando um coeficiente de potência $C_p=0,15$, a partir das equações 1 e 2, tem-se a potência para “n” tonéis, conforme tabela abaixo.

Tabela 5 – Tabela de valores de potência de acordo com o número de tonéis (conforme equações 1 e 2).

Número de tonéis	1	2	3	4
Alt. H (m)	0,85	1,70	2,55	3,40
V (m/s)				
2	0,70	1,40	2,10	2,80
4	5,52	11,04	16,56	22,08
6	18,66	37,32	55,98	74,64
8	44,24	88,48	132,72	176,96

Fonte: Aproveitamento de pequenas fontes de energia Elétrica; Farret, 1999.

A equação:

$$P = 0,6 \times A \times C_p \times V^3 \times n \quad (7)$$

$$P = 0,6 \times 0,96 \times 0,15 \times V^3 \times n$$

$$P = 0,0864 \times V^3 \times n$$

Onde:

P = potência (Watts)

A = área (m²)

C_p = Coeficiente de potência.

V = a velocidade do vento (m/s);

n = número de tonéis.



Figura 17 – Cata-vento Savonius (em funcionamento na estação 1 e na estação 2 nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria - RS.).
(Fonte: Foto do autor).

Tabela 6 - Componentes do cata-vento do tipo Savonius e respectivos valores de custo (custo total e não por unidade) .

Componentes	Quantidade	Valor
Tonéis	2	100,00
Cano	4m	58,00
Rolamentos	2	72,00
Cantoneiras	6m	14,90
Bomba	1	138,92
Postes	2	240,00
Cantoneira	6m	83,00
Mão de obra		250,00
Total		955,92

5.1.2 Aerogerador do tipo múltiplas pás

As turbinas de eixo horizontal operam pelo princípio do atrito causado pelo vento nas pás da turbina. Esse modelo de turbina foi construído com um aro raiado de 1 metro de diâmetro e 16 pás, com comprimento de 0,5 metro, passando o diâmetro do rotor a 2 metros. Um conjunto eixo e bielas que transforma o movimento horizontal do eixo em movimento vertical, onde uma vareta ligada a bomba de sucção faz o movimento de subida e descida do embolo da bomba. Essa turbina usa como torre um poste de 9 metros de altura do solo ao eixo da turbina.



Figura 18 - Cata-vento Múltiplas pás. Fonte: Foto do autor (em funcionamento na estação 1 e na estação 2 nas localidades de Canabarro e UFMS – Santa Maria - RS.).
(Fonte: Foto do autor).

Tabela 7 - Componentes do cata-vento tipo múltiplas pás e respectivos valores de custo (custo total e não por unidade).

Componentes	Quantidade	Valor
Bomba	1	138,92
Poste	1	120,00
Rolamentos	4	79,20
Parafusos	36	42,00
Ferro redondo $\frac{3}{4}$	3m	29,50
Ferro quadrado $\frac{3}{4}$	3m	42,00
Ferro redondo $\frac{3}{8}$	6m	13,40
Tubo red $1\frac{3}{4}$ 1,5mm	6m	47,70
Tubo red 2" 2mm	6m	68,40
Ferro Chato $2\frac{3}{16}$	6m	48,00
Cantoneira $\frac{5}{8}$	6m	14,90
Cantoneira $\frac{3}{4}$	12m	37,00
Chapa ff n° 20	2	168,00
Mão de obra		420,00
Total		1.268,92

5.1.3 Bombas em PVC

A bomba em PVC opera pelo princípio da bomba de sucção. Tendo como materiais de construção que constam nas Figuras 19 e 20 a seguir, além de embolo e uma vareta todos de ferro usinado, e vedantes de borracha ou couro.



Figura 19 – Bomba em PVC (em funcionamento na estação 1 e na estação 2, nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria - RS.).
(Fonte: Foto do autor).



Figura 20 - Bomba em PVC (em funcionamento na estação 1 e na estação 2, nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria - RS.).
(Fonte: Foto do autor).

Tabela 8 - Componentes das Bombas de Sucção e respectivos valores de custo (custo total e não por unidade).

Bomba de Sucção		
Adaptador curto 25 mm	2	0,78
Adaptador curto 32 mm	1	0,76
Bucha red longa 50x25	1	2,26
Bucha red longa 50x32	1	2,89
Curva sold 25 mm	1	1,37
Tee sold 50 mm	1	4,10
Tubo sold 25 mm	2m	3,30
Tubo sold 32 mm	3m	10,80
Tubo sold 50 mm	1m	5,90
Válvula de retenção $\frac{3}{4}$ 1	1	19,26
Válvula de sucção 1"	1	12,50
Embolo de metal	2	10,00
Vareta com rosca	1	15,00
Mão de obra		50,00
Total		138,92

5.1.4 Reservatórios para utilização de águas superficiais.

Nos reservatórios construídos, em forma de pequenas barragens com enrocamento de pneus, conforme Figura 21 a seguir, são armazenadas as águas da chuva e das vertentes, a fim de evitar a utilização das águas subterrâneas.



Figura 21: Barragem com enrocamento de pneus, em funcionamento na estação 1, na UFSM – Santa Maria - RS.).
(Fonte: Foto do autor).

5.1.5 Reservatório aéreo para acumulação de água com a finalidade de utilização na irrigação por gotejamento.

Este reservatório é construído a 9 metros de altura em relação ao solo, com postes e travessas de madeiras, que servirá para suporte de uma caixa de fibra de 7.000 litros, conforme ilustra Figura 22. Tem como finalidade armazenar água oriunda dos reservatórios superficiais, para irrigação por gotejamento.



Figura 22 –Reservatório aéreo para acumulação de água (em funcionamento na estação 1, na UFSM – Santa Maria – RS).
(Fonte: Foto do autor).

5.2 Conjunto de bombeamento à energia solar (Fotovoltaico)

Para utilizar o conjunto de bombeamento de sistema direto com energia solar fotovoltaico, foi utilizada uma placa fotovoltaica de 0,60 metros de largura por 1,10 metro de altura, com potência de 71 Watts, e uma bomba shurflo modelo 8.000 – 443 – 136, conforme Figuras 23, 24 e 25.



Figuras 23, 24 (Placas) e 25 (Bomba) - Em funcionamento na estação 1, na UFSM – Santa Maria - RS.
(Fonte: Fotos do autor).

5.3 Sistema Fotovoltaico (Componentes e respectivos valores)

Placa Fotovoltaica	1.200,00
Bomba de 12V	350,00
Total	1550,00

5.4 Sistema Eólico

Inicialmente, foram confeccionados 2 modelos de cata-vento um modelo Savonius de eixo vertical e outro múltiplas pás com respectivas bombas confeccionadas em PVC . Para a instalação dos mesmos foram realizados os testes conforme segue abaixo:

Equipamento caseiro. Anexo1

Anemômetro e escala. Anexo 2

Copo graduado e cronômetro.

5.5 Metodologia utilizada no estudo de caso

Caracterizando-se como uma pesquisa aplicada, este trabalho desenvolveu-se com os materiais, equipamentos e informações disponíveis, sendo que o escopo da análise desenvolvida foi realizado de acordo com as seguintes etapas:

- a) Coleta e análise de dados relativos à velocidade média dos ventos no local;
- b) Definição da necessidade da quantidade de água a ser utilizada dentro do projeto de irrigação;
- c) Descrição do sistema a ser utilizado nos sistemas de bombeamento;
- d) Obtenção e análise de resultados obtidos com as medições realizadas nas etapas acima descritas.

Com relação às etapas acima destacadas, os dados de velocidade do vento, em função da altura e de diferentes horários, foram coletados na estação meteorológica da UFSM. Os mesmos foram coletados com o apoio da equipe de irrigação do Colégio Politécnico, localizado na mesma instituição. O período de coleta foi iniciado de setembro de 2007 a setembro de 2008. Os dados de velocidade do vento foram coletados *in loco*, com o auxílio de um medidor anemômetro de bolso – marca ANEMO, conforme Anexo 2.

A coleta e a análise de dados, relativos à velocidade média dos ventos no local, foram efetuadas de acordo com as seguintes etapas:

- e) Definir a necessidade da quantidade de água a ser utilizada dentro do projeto de irrigação;
- f) Caracterizar o sistema a ser utilizado nos sistemas de bombeamento;
- g) Coletar e analisar os resultados obtidos com as medições realizadas nas etapas acima descritas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Sistema Fotovoltaico

A seguir, serão apresentados os resultados dos sistemas fotovoltaicos e eólicos e suas respectivas capacidades de bombeamento d'água e necessidades de sistemas para a irrigação.

Pela apresentação da Tabela 9, a seguir observada, podemos evidenciar que o mês de junho é o mês de menor incidência de radiação solar na cidade de Santa Maria, na qual a radiação solar média diária é de 2,5 kwh/m².dia. Pode-se observar também que o mês de dezembro é o de melhor disponibilidade de radiação solar média com 6,97 kwh/m², período em que corresponde maior transpiração pelas plantas e maior necessidade de irrigação.

Em suma, havendo maior radiação solar, maior será o bombeamento d'água.

Tabela 9 –Radiação solar média mensal para os 12 meses do ano em Santa Maria – RS.

Localidades próximas													
Latitude: 29,653889° Sul - Longitude: 54,023611° Oeste													
Município	UF	Latitude		Longitude		Distância (Km)							
Santa Maria	RS	29,684166 ⁰ S		53,806944 ⁰ O		21,2							
Radiação diária média (kwh/m ² .dia)													
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
5,97	5,61	4,86	4,03	3,14	2,50	2,81	3,44	4,19	5,67	6,61	6,97	4,65	4,47

Na Tabela 10, é apresentado o volume bombeado, em função da necessidade de irrigação complementar mensal para as culturas de figueira e goiabeira. O volume total de água a ser fornecido é de 5.000 m³ de água por hectare, o qual corresponde a 500 mm.

Desse modo, para o presente trabalho, foi considerada que a necessidade anual da goiabeira é de 750 mm (7.500 m³)/ha e da figueira 650 mm (6.500 m³)/ha. O maior consumo da goiabeira é explicada, uma vez que a mesma permanece 12 meses com folhas, dito de outro modo, sempre em transpiração e, a figueira, por sua vez, permanece somente 9 meses com área folhar (caducifólia) sendo mínima sua transpiração. Os meses de maior insolação, isto é, dezembro e janeiro, correspondem aos meses de maior consumo de água, onde são

fornecidos 76 mm e 75 mm para a cultura, correspondendo há aproximadamente 12 dias com fornecimento de 6 mm.

Tabela 10 – Horas de insolação e volume de água bombeado e o número de placas fotovoltaicas necessárias para 1 hectare.

Meses do ano	Horas de insolação (h)	Volume bombeado (m ³)	Número de placas fotovoltaicas
Janeiro	277	749,61	9
Fevereiro	217,9	589,67	9
Março	211	461,19	9
Abril	220,6	459,21	9
Maiο	156,7	293,58	9
Junho	122,6	153,12	9
Julho	132,5	165,49	9
Agosto	159,9	199,71	8
Setembro	184,2	364,27	9
Outubro	170,6	355,13	9
Novembro	267,6	584,91	8
Dezembro	281,3	761,25	9
Total	2.401,9	4.817,14	

Vale destacar que somente foram consideradas as horas de insolação com capacidade de bombeamento e as horas em que a radiação estivesse acima de 500 watts/h, radiação essa com capacidade de bombeamento. Foi considerado também a movimentação de 3 vezes ao dia das placas, pelo produtor. Para o cálculo da capacidade de bombeamento, foi verificado, *in loco*, o bombeamento, conforme apresentado na Tabela 11, localizada a seguir.

Tabela 11 - Capacidade de bombeamento de água média mensal fornecida pela placa fotovoltaica – Altura manométrica: 14 metros.

Meses	Bombeamento médio (l/min.placa)	Volume bombeado por placa (m ³)
Janeiro	5,0	83,10
Fevereiro	5,0	65,37
Março	4,0	63,39
Abril	3,5	66,18
Maiο	3,0	47,01
Junho	2,0	36,78
Julho	2,0	39,75
Agosto	2,5	47,97
Setembro	3,5	55,26
Outubro	4,0	51,18
Novembro	4,5	80,23
Dezembro	5,0	84,39
Total	44	720,61

Na Figura 26, é apresentada a correlação entre as horas de insolação e o volume bombeado. Pode-se observar que entre os meses de novembro a janeiro a radiação solar é de maior intensidade ocasionando maior vazão no sistema de bombeamento. Este período de maior bombeamento coincide com os períodos de maior necessidade de irrigação pelas plantas, o aumento de transpiração é complementado pelo aumento do bombeamento.

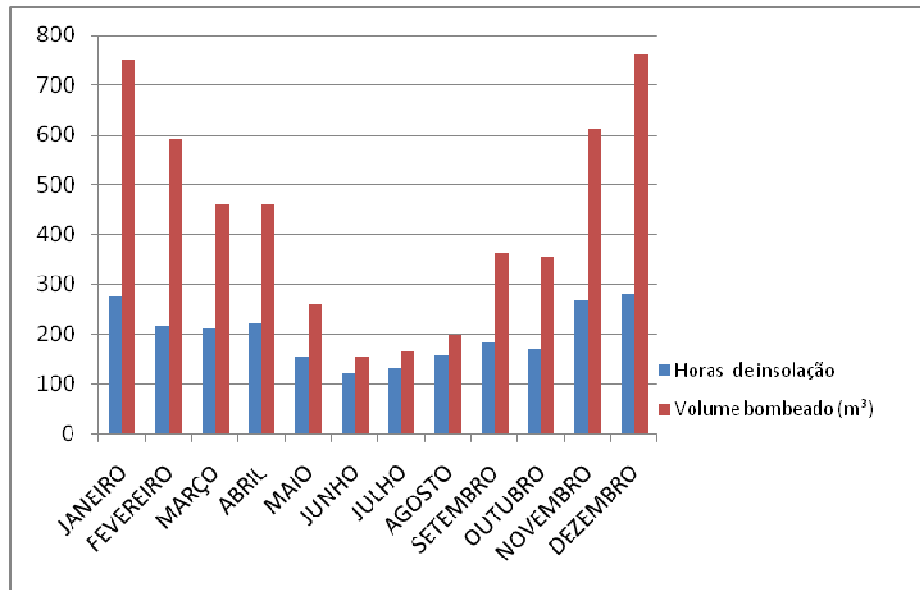


Figura 26 – Volume bombeado para irrigação complementar fornecido por 9 placas fotovoltaicas.
(Fonte: Elaboração do autor).

6.2 Necessidade de placas para atender a demanda das culturas

Na Figura 27, é ilustrada a necessidade de placas para o fornecimento da água suplementar utilizada na irrigação. O cálculo das placas foi realizado em função da exigência complementar de água das culturas; sendo para 1 ha e o bombeamento diferenciado ao longo dos meses, conforme apresentado na Tabela 10. O volume bombeado por hectare foi de aproximadamente $5.000\text{m}^3/\text{há}$, ou seja, 500 mm.

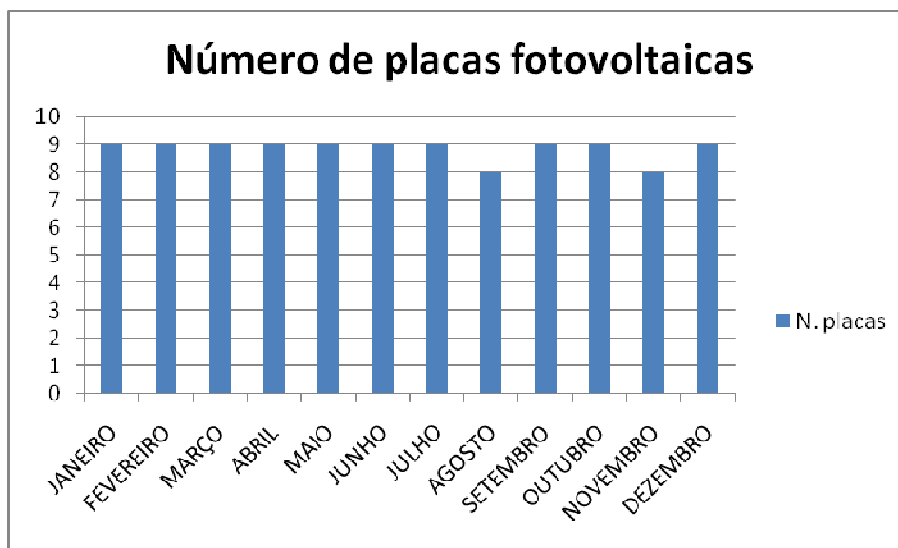


Figura 27 - Necessidade de placas fotovoltaicas para o fornecimento da água suplementar utilizada para irrigação.

6.3 Viabilidade do sistema

Conforme podemos observar pela Tabela 12, o custo de bombeamento e irrigação é de R\$2.380,00 por hectare/ano. Conforme Fronza et al. (2008) utilizando-se a irrigação na cultura da goiaba o incremento é de 30 t/ha, ou seja, com o preço ao produtor de R\$1,00/kg, teremos um incremento bruto de R\$ 30.000,00 e líquido de R\$27.620,00, o que corresponde a um aumento de aproximadamente 100% das receitas e, principalmente por garantir a safra reduzindo a dependência do clima. Um pomar sem irrigação produz 25 t/ha e com irrigação 55 t/ha. Os ganhos são maiores, pois teremos maior porcentagem de frutos com classe extra de melhor preço, geralmente preços 20% superiores. Para o caso da cultura da figueira o incremento com o uso da irrigação é de 11 t/ha, sendo o preço do produtor de R\$2,00/kg ampliamos a receita bruta em R\$22.000,00 e líquida em R\$19.620,00. Ambas as culturas apresentaram viabilidade para o uso da irrigação bem como para a tecnologia testada.

Tabela 12 – Custo para o bombeamento anual de 5000 m³ de água por 9 placas fotovoltaicas.

Descrição do item	Valor em R\$
Bombeamento (9 pl. x 0,27/m ³) p/ 10 anos	1.380,00
Irrigação (R\$5.000,00/ha: cx + sistema de irrigação.).Duração 5 anos	1.000,00
Total por há	2.380,00

6.4 Energia Eólica

A seguir, são apresentadas algumas avaliações e observações referentes à energia eólica. Os valores de velocidade do vento são dados em função de 3 leituras diárias, coletadas na estação agrometeorológica da UFSM (Tabela 13). Os meses posteriores estão no Anexo 3.

Tabela 13 – Velocidade do vento a 10 metros de altura (durante o ano de 2007).

Setembro 2007				Outubro 2007				Novembro 2007			
Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s	Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s	Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	1,3	2,6	2	1	6,1	3,3	1,3	1	2	2,6	0
2	1,6	3,6	3	2	3,3	6,1	0,3	2	0,8	3,3	0,5
3	2,5	1,3	1,6	3	1,3	2,8	1,6	3	1,6	2	0
4	2	4	1,5	4	3,3	2	2,5	4	1,6	3,3	0
5	1,3	3	2,3	5	2,5	4,1	3	5	1,6	2,3	0
6	0,8	3	1,3	6	1,6	0,8	0	6	0,5	1,6	0
7	1	0,7	0,8	7	1	3,3	2,3	7	1,6	3	1
8	0,8	1,6	0,8	8	2	4,6	3,6	8	1,3	4,6	1,3
9	4,1	1,6	0	9	1,6	4,1	1,6	9	5,3	3,6	3
10	2,8	3,6	1	10	2,1	0,8	1,6	10	2,1	2,8	0
11	4,6	4	0	11	3,3	3,3	1,6	11	2,8	3	0
12	1,6	1,6	0,8	12	1	1,6	2,8	12	1	2,3	0
13	2,6	1	1,8	13	2	4,6	1	13	2	3,8	1
14	1	2	2	14	3,1	4,6	4,1	14	0,3	2,6	3,3
15	2,1	1,5	0	15	2,6	1,6	1,6	15	1,8	3,3	0,3
16	1	3,5	4,8	16	2	2	0,8	16	2,3	5,3	2,3
17	4	4,3	3,3	17	0,5	3	0,5	17	1,6	2,8	1,6
18	2,5	6	3	18	1,6	3	0	18	2,6	1,6	0,8
19	2	2,5	0,5	19	3,1	1,6	1,6	19	1,3	0,8	0,8
20	2,1	2	0,8	20	1	0,8	0,5	20	1,5	2,6	Zero
21	1,6	2	1,6	21	0	1,6	0,8	21	2,3	3	2,1
22	1	1,3	2,5	22	1,3	3	1,6	22	2	3,3	3,3
23	1,3	2	0,8	23	2,1	3	1,6	23	3	1,6	2
24	3,1	3,5	0,7	24	3,3	2,8	2,1	24	4,1	1	1,3
25	2,1	3,3	0	25	3	2	0	25	2,5	3,3	1
26	3,3	1,3	0,3	26	2,3	2	0	26	1,6	2,1	0
27	1	2,6	1	27	0,3	1	0	27	1,3	3,3	0
28	0,8	2,5	0	28	1,6	3,3	3,3	28	2,6	3	1,5
29	2,6	3,3	3,3	29	0,8	2	2,5	29	3,5	2,6	1,6
30	2	3	3,6	30	2	1	0	30	3,5	3,5	1,3
				31	0,5	1,6	1,6				

Considerando as observações de velocidades do vento que indicam baixa velocidade ($< 3\text{m/s}$), mesmo assim deve ser levado em consideração que, nos projetos de irrigação, os custos de implantação de sistemas elétricos têm valor elevado se comparado aos sistemas solar e eólico.

Enquanto que, para implantar 1 Km de rede de energia elétrica (monofásica) o custo aproxima-se a R\$ 13.000,00, a placa fotovoltaica e a bomba têm custo aproximado de R\$ 1.500,00 (por conjunto); e o sistema eólico de fabricação caseira tem um custo aproximado de R\$ 1.300,00 (cata-vento mais bomba). Outro fator a ser considerado é o custo da energia elétrica, que está entre R\$0,15 e R\$0,25 (por watt) variação em função do desconto fornecido aos produtores rurais.

Os sistemas de bombeamento de água para irrigação, que se encontram em funcionamento na estação 1 (distrito de Canabarro) e estação 2 (UFSM), Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, são unidades que atendem a projetos de irrigação. Estes projetos de irrigação são atendidos por energia elétrica que tem o custo de instalação definido conforme tabela que consta no Anexo 4.

Os custos de construção e implantação dos sistemas eólicos, bem como os de sistemas fotovoltaicos, conforme foi evidenciado no texto, demonstram ser atrativos e compatíveis para pequenos projetos eólicos de irrigação, se comparado com os sistemas tradicionais elétricos, devido ao alto custo inicial destes últimos.

Com o objetivo de utilizar os sistemas de bombeamento, foram instalados dois sistemas chamados estação 1 e estação 2, conforme Figuras 28 e 29:



Figura 28 – Estação de bombeamento 1 (distrito de Canabarro).
(Fonte: Foto do autor).

A estação 1 encontra-se em local com poucas barreiras naturais, o que ocasiona melhor aproveitamento do vento, que atinge maior velocidade e melhor intensidade devido ao pouco atrito com os obstáculos.



Figura 29 - Estação de bombeamento 2 (UFSM).
(Fonte: Foto do autor).

Tabela 14 – Dados da velocidade e da intensidade do vento na Estação 1 – Canabarro.

Velocidade do vento (m/s)	Intensidade	Volume/tempo
2,86	3	1L/1 min
3,66	3	1L/40s
3,89	4	1L/20s

Tabela 15 – Dados da velocidade e da intensidade do vento na Estação 2 – UFSM.

Velocidade do vento (m/s)	Intensidade	Volume/tempo
2,86	2	1L/2 min 20s
3,66	2	1L/2 min 3s
3,89	3	1L/1 min 10s
4,66	3	1L/50s

Observa-se uma intensidade menor do vento na estação 2 devido a mesma estar num local onde os quatro quadrantes possuem “quebra ventos” de eucaliptos e pinos, afetando a intensidade do vento, conforme Figura 16, o aproveitamento do vento nestas áreas e de

aproximadamente 30%. Sendo que, na estação 01, o aproveitamento do vento é de aproximadamente 60%, pois o mesmo encontra-se em local sem barreiras naturais (FARRET, 1999). Outro fator a ser considerado é a potência dissipada (perdas por atrito), que é diferente entre cada equipamento devido aos aspectos construtivos.

Dentre as possibilidades de melhorar o desempenho do equipamento, está não só a de aumentar o número de pás, como também o comprimento das mesmas; outra possibilidade é levantar a altura da torre (cata-vento), pois assim aumentaria a velocidade e a intensidade do vento, como podemos observar o aumento da velocidade de 1,4 m/s a 2 metros de altura na data 02/06/09 para 2,5 m/s a 10 metros de altura no mesmo dia e mesmo horário. Na velocidade de 3,89 m/s e intensidade 3, o volume bombeado foi de 51,4 l/h na estação 02 – UFSM, enquanto que, na estação 01 – Canabarro, com a mesma velocidade e intensidade 4, o volume bombeado foi de 180 l/h, representando um acréscimo de 250% no volume bombeado, sendo 360% superior o bombeamento. Na velocidade de 2,86 m/s e intensidade 2, na estação 02 – UFSM, o volume bombeado é de 25,7 l/h, sendo que na estação 01 – Canabarro, com a mesma velocidade e intensidade 3, o volume bombeado foi de 60 l/h, ou seja, um acréscimo de 133%.

Para irrigação complementar de $5.000\text{m}^3/\text{ha}$ para o caso da estação 1, seriam necessários 40 cata-ventos com bombeamento de 600 l/dia (considerando dez horas diárias de vento e 200 dias de vento por ano). Para contornar este problema, poderiam ser utilizados cata-ventos com maiores pás ou com maior altura. O custo destes 40 cata-ventos seria de aproximadamente de R\$ 60.000,00, sendo que a vida útil deles é de dez anos e o custo de manutenção é de 10% e o custo anual seria de R\$ 1.200,00 (equipamento), mais R\$ 1200,00 de manutenção, somado aos R\$ 5.000,00 do sistema de irrigação e à caixa da água, tem-se um custo de R\$ 14.000,00/ha/ano, demonstrando ser viável tanto para o cultivo de figueira bem como goiabeira, citado por Fronza ,(2008). Para as condições de Santa Maria, estudos realizados no Colégio Politécnico da UFSM indicam que a irrigação, nas videiras utilizadas para mesa (Vênus e Niágaras), a produtividade aumenta em mais de 10 t/ha quando se faz o uso da irrigação sendo o preço mínimo de venda R\$ 2,00/ Kg correspondendo a R\$ 20.000,00/há.

Para a estação 2 (UFSM), seria necessário triplicar o número de 40 para 120 cata-ventos, com isto, deve-se fazer um estudo de viabilidade técnica e econômica considerando a produção em escala de cata-ventos e a frequência dos ventos com velocidade acima de 3m/s, considerada por Krauter. (2005) como viáveis para o bombeamento com sistemas eólicos.

Possivelmente, o bombeamento seria útil para uso em menores volumes, como exemplo, na produção animal e no uso urbano (lavagem de carros).

Possivelmente sistemas eólicos comerciais com mais de 30 anos de estudo e com diferentes aspectos construtivos haveria melhor eficiência.

Com observações realizadas com o cata-vento múltiplas pás modelo Kenya, localizado na Estação 2, verificou-se que com modelos industrializados a eficiência de bombeamento chegou aos valores de bombeamento: 0,5 l/s com velocidade de 2 m/s, 1 l/s com velocidade de 4m/s e 3 l/s com velocidade de 6 m/s.

Tabela 16 – Título: Velocidade do Vento ao longo de 12 Meses nas 2 Estações de Coleta de Dados

Meses	Dias com vento acima 3m/s	Bombeamento em 4 horas	
		Estação 1(l/mês)	Estação 2 (l/mês)
Setembro/07	20	4800	2056
Outubro/07	23	5520	2364,4
Novembro/07	27	6480	2775,6
Dezembro/07	25	6000	2570
Janeiro/08	22	5280	2261,6
Fevereiro/08	14	3360	1439,2
Março/08	22	5280	2261,6
Abril/08	11	2640	1130,8
Maio/08	17	4080	1747,6
Junho/08	12	2880	1233,6
Julho/08	15	3600	1542
Agosto/08	20	4800	2056

Como podemos observar, pela Tabela 16, o bombeamento nos meses de maior necessidade de irrigação (Dez—Mar) é de aproximadamente 750 m³/ha, ou seja, 75 mm complementares. Assim, o sistema fornece somente 6m³/mês indicando a necessidade de 120 cata-ventos na Estação 1 e 240 cata-ventos na Estação 2 para o bombeamento d'água de irrigação para o suprimento de 1 ha.

Como evidenciamos, no caso estudado com Energia Fotovoltaica, esta demonstra ser mais econômica, tendo um custo de R\$ 1.400,00 ha/ano para o bombeamento, enquanto que, quando utilizado o Sistema Eólico Múltiplas Pás Artesanal, este custo passou para R\$ 10.000,00 ha/ano.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, o sistema fotovoltaico mostrou-se ser mais eficiente do que os outros sistemas apresentados.

A turbina Savonius não foi considerada no presente estudo devido à baixa intensidade do vento, o que sugere um estudo mais aprofundado sobre este sistema de bombeamento, pois o mesmo é de baixo custo.

Constatamos, no caso estudado, que o bombeamento d'água para irrigação através do sistema eólico foi pouco eficaz.

Para o bom funcionamento do sistema eólico, é importante desenvolver maior estudo sobre os aspectos construtivos, bem como os de velocidade do vento *in loco*.

A implantação destes sistemas simplificados é acessível aos agricultores familiares, devido ao baixo custo inicial de instalação. Dessa forma, estamos levando a estes a possibilidade real de ganhos financeiros e agrícolas, bem como uma significativa melhoria ambiental e social.

Como o projeto tem um fundo ambiental e social, visualizam-se ganhos significativos com o aproveitamento e uso de águas hoje dispersas na natureza, ou seja, água das chuvas e superficiais, através da construção de reservatórios para situações críticas de estiagem, deixando para as gerações futuras um manancial subterrâneo para uso mais nobre.

Fazer estudos construtivos de cata-ventos, utilizando diferentes tipos e números de pás, diferentes alturas do cata-vento, avaliação do sistema mecânico x altura .

Construir mapas detalhados de velocidade de vento em diferentes locais (avaliação *in loco*).

Haver apoio governamental para pesquisas envolvendo energias eólica e solar em pequenos módulos, visando beneficiar o pequeno produtor rural.

Apoio para o uso em maior escala de energia fotovoltaica favorecendo a produção industrial em série reduzindo, assim, o custo de produção.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANHALT, J. **Introdução de sistemas de bombas fotovoltaicas:** relatório final sobre a realização de um projeto. Fortaleza: GTZ, 1995.

ALDABÓ, R. **Energia eólica.** São Paulo: Artliber, 2002.

BTM CONSULT APS. World Market Update 1999, March 2000.

BARLOW, M.; CLARKE, T. **O ouro azul.** São Paulo: Makron Books do Brasil, 2003.

BARLOW, R. ; McNELIS, B. ; DERRICK, A. Status and experience of solar PV pumping in developing countries. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 10., Lisboa. **Proceedings...** Lisboa, 1991.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios. **Documento básico.** Brasília: MME/PRODEEM, 1993.

CAMPOS, T. S , ATAHUI , S , R. **Desarrollo tecnológico de microgeneradores eólicos.**

DERRICK, A. **A market overview of PV.** Londres: James and James Science Publishers, 1993.

EPIA- **Photovoltaics in 2010 ; Commission of the European Communities – Directorate General for Energy; Summary Report; 1996.**

ERA SOLAR. **Energias renováveis, medioambiente, ahorro energético.** Madri: SAPT, 2001. (Publicaciones Técnicas).

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica,** Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999.

FEDRIZZI, M. C. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaico – dimensionamento simplificado e análise de competitividade para sistemas de pequeno porte.** 1997. 123 f Dissertação (Mestrado 1997) –Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F. **Energia solar:** Fundamentos e tecnologias de conversão heliotermoelétrica e fotovoltaica. Recife: Universitária, 1995.

FRONZA, D; SCHONS, R. **Fundamentos de Irrigação e Drenagem.** Santa Maria: Colégio Politécnico da UFSM, 2008. (Apostila didática)

FRONZA, D. et al. Efeito da Fertirrigação na goiabeira Paluma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais...** Vitória, 2008. 1 CD-ROM.

_____. Produção de Figo de Mesa Roxo de Valinhos sob Fertirrigação. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais...** Vitória, 2008. 1 CD-ROM.

HAHN, A. Technical maturity and reliability of photovoltaic pumping systems. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE. 13., 1995, Nice. **Proceedings...** Nice, 1995.

_____. Lessons learned from the international photovoltaic pumping program. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 15., 1998, Viena. **Proceedings...** Viena, 1998.

KONER, P. K. A review on the diversity of photovoltaic water pumping systems. **RERIC International Energy Journal**, v. 15, n. 2, p.18-19, Apr. 1993.

KRAUTER, S. **Usos da energia eólica**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

HULSCHER, W.; FRANKEL, P. **The power guide**. 2nd Ed, Amsterdã: University of Twente, 1994.

LORENZO, E.; EGIDO, M. A. **La tecnología europea de bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica frente al PRS-II**. Madrid: Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, (*Draft*), 1999.

MALBRANCH, P. et al. Recent developments in PV pumping applications and research in the European Community. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 12., 1994, Amsterdã. **Proceedings...** Amsterdã, 1994.

MAYER, O. ; ZÄNGERL, H. P. ; KLEMT, M. Start up of screw pumps by optimal inverter parameter setting. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 13., 1995, Nice. **Proceedings...** Nice, 1995.

MAYER, O., BAUMEISTER, T., FESTL, T. Design, simulation and diagnosis of photovoltaic pumping systems with DASTPVPS. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 13., 1995, Nice. **Proceedings...** Nice, 1995b.

PARENTE, V.; GOLDEMBERG, J.; ZILLES, R. Comments on experience curves for PV modules. **Progress in Photovoltaics**, v. 10, n. 8, p.571-574, 2002.

PERLIN, J. **From space to earth: the story of solar electricity**. Cidade: Hardcopy. 1999.

PROTEGEROULOPOLOS, C., TSELIKIS, N. Technical evaluation of low-cost, low-power photovoltaic water pumping system and comparison with a typical marketed PV pump. In: EUROPEAN SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY CONFERENCE, 14., 1997, Barcelona. **Proceedings...** Barcelona, 1997.

RSP – Regional Solar Programme. **Lessons and perspectives**. Bruxelas: European Commission (DG VII), Foundation Energies pour le Monde, 1996.

SOUZA, H. M. S. et al. **Sistemas híbridos**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2004.

UNDP. Project-GLO/78/004. **Small-scale solar-powered irrigation pumping systems: Phase-I Project Report**. Londres: Intermediate Technology Development Group, 1981.

VILELA, O. C. **Caracterização, simulação e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água.** 2001. 131f. Tese (Doutorado em 2001) –Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

WHO – **The World Health Organization. The right to water.** Geneva: World Health Organization, 2003. (Health and human rights publication series, 3.)

ZAFFARAN, M.; LLOYD, J. Solar energy: a strategy for rural health and development. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 12., 1994, Amsterdã. **Proceedings...** Amsterdã, 1994.

TEXTOS DE MEIO ELETRÔNICO:

EUROPAID/114523/D/S/Multi. In: Implementation of a PV water pumping program in Mediterranean countries Mediterranean region Morocco Algeria and Tunisia: annexe II. Disponível em <http://europa.eu.int/comm/europeaid/cgi/frame12.pl>. Acesso em: 20 de novembro de 2002.

GALLEGOS, E. In: Energia Eólica En La Argentina. Disponível em: <http://www.advance.com.ar/usuarios/formal17/present.htm>. Acesso em: 29/05/00.

INFORME CRESEB- Ano II n^o2 dezembro- 1996. 26/05/00. Disponível em: [http:// www. cepel.br/ ~ creseweb/ jornal/ jornal3.htm](http://www.cepel.br/~creseweb/jornal/jornal3.htm).

_____. Disponível em: [http:// www. cepel.br/ ~ creseweb/ jornal/ jornal3.htm](http://www.cepel.br/~creseweb/jornal/jornal3.htm)

_____. Ano III n^o1 dezembro- 1997. 26/05/00. Disponível em: [http:// www. cepel.br/ ~ creseweb/ jornal/ jornal4.htm](http://www.cepel.br/~creseweb/jornal/jornal4.htm).

MONTEIRO, C. In: Energia Eólica. Disponível em: [http:// marques. inescn. pt/ claudio/eolica.html](http://marques.inescn.pt/claudio/eolica.html). Acesso em: 30/05/00

PRODEEM. In: Energia para as Comunidades Isoladas. Disponível em: <http://www.cepel.br/~creseweb/publica/prodeem.htm>

SITES PESQUISADOS

<<http://www.copel.com/copel/port/negocios.gerenergiaeolica.html/>>.

<<http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm/>>.

<<http://www://dem.ufrn.br/>>.

<<http://www.inmet.gov.br/>>.

<<http://www.iuma.org.br/artigos/011.thml/>>.

<<http://www.seinfra.ce.gov.br/downloads.php/>>.

<<http://www.ufpa.br/gedae>>.

<<http://www.ufpe.br/naper>>.

<[http:// www.windpower.dk](http://www.windpower.dk)>.

ANEXOS

ANEXO 1 - Método caseiro para avaliar se o vento é favorável à instalação de aerogeradores.

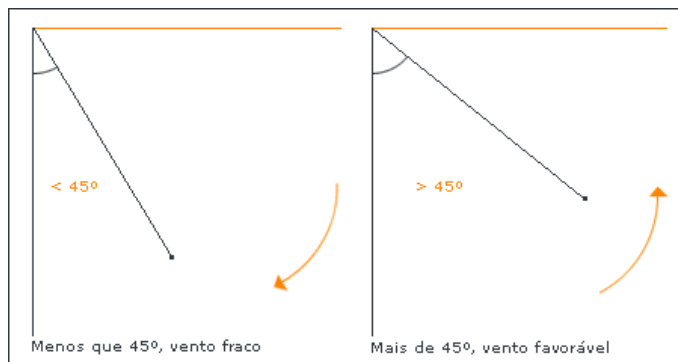
Material necessário:

- 1 haste leve (bambu) de 10 metros;
- 5 metros de fita K7;
- 1 Pedra pequena de aproximadamente (mais ou menos) 2 gramas

Instruções:

- Fixar uma extremidade da fita K7 na ponta do bambu;
- Na outra extremidade da fita K7 amarrar a pequena pedra;
- Erguer o bambu no local onde existe a possibilidade de instalação do aerogerador;
- Observar o formato que a fita fica em relação ao bambu e por quanto tempo e comparar com a tabela

Tabela:



Deixamos claro que esta tabela não dará uma **conclusão precisa**, pois uma avaliação profissional deve ser feita com **anemômetro** por pelo menos **1 ano**.

Vale salientar que o vento é muito **pontual**, e deve ser analisado "**in loco**", porém caso haja um aeroporto ou instituto de meteorologia, a velocidade média dos ventos pode ser conseguida e também considerada em nossa avaliação, caso não haja muita variação nas velocidades.

ANEXO 2 – Anemômetro e escala.



OPERAÇÃO

O Modelo Anemo é operado facilmente com uma só mão.

Quando segurado com o braço esticado na direção do fluxo do vento, as leituras são imediatamente mostradas por ponteiros vermelhos alinhados com quatro escalas de fácil leitura, indicando a velocidade e a força do vento.

A confiabilidade é assegurada pelo corpo do instrumento construído em termoplástico durável, projetado para uso sob quaisquer condições climáticas, e, devido ao projeto mecânico, que dispensa baterias, o Anemo também pode ser operado em áreas de baixo nível de risco, proporcionando muitos anos de medições livres de problemas de funcionamento.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Modelo:	ANEMO
Escalas de Velocidade do Vento:	0 a 120 km/h / 0 a 35 m/seg / 0 a 36 nós.
Escala de Força do Vento:	0 a 12 Beaufort
Classe de Exatidão:	± 3 km/h
Padrão:	ISO 9001
Dimensões:	205 mm de altura x 100 mm de raio
Peso:	325 g

DIRETRIZES DA FORÇA DO VENTO

<i>Fonte: Escala Beaufort</i>		
Força do vento	Até km/h aproximadamente	Descrição
0	2	Calma
1	6	Ar leve
2	11	Brisa leve
3	19	Brisa suave
4	25	Brisa moderada
5	35	Brisa fresca
6	45	Brisa forte
7	55	Rajada moderada
8	65	Rajada fresca
9	77	Rajada forte
10	90	Rajada plena
11	105	Tempestade
12	120	Furacão

ANEXO 03 - Velocidade do vento a 10 metros de altura.

Setembro de 2007

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	1,3	2,6	2
2	1,6	3,6	3
3	2,5	1,3	1,6
4	2	4	1,5
5	1,3	3	2,3
6	0,8	3	1,3
7	1	0,7	0,8
8	0,8	1,6	0,8
9	4,1	1,6	0
10	2,8	3,6	1
11	4,6	4	0
12	1,6	1,6	0,8
13	2,6	1	1,8
14	1	2	2
15	2,1	1,5	0
16	1	3,5	4,8
17	4	4,3	3,3
18	2,5	6	3
19	2	2,5	0,5
20	2,1	2	0,8
21	1,6	2	1,6
22	1	1,3	2,5
23	1,3	2	0,8
24	3,1	3,5	0,7
25	2,1	3,3	0
26	3,3	1,3	0,3
27	1	2,6	1
28	0,8	2,5	0
29	2,6	3,3	3,3
30	2	3	3,6

Outubro de 2007

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	6,1	3,3	1,3
2	3,3	6,1	0,3
3	1,3	2,8	1,6
4	3,3	2	2,5
5	2,5	4,1	3
6	1,6	0,8	0
7	1	3,3	2,3
8	2	4,6	3,6
9	1,6	4,1	1,6
10	2,1	0,8	1,6
11	3,3	3,3	1,6
12	1	1,6	2,8
13	2	4,6	1
14	3,1	4,6	4,1
15	2,6	1,6	1,6
16	2	2	0,8
17	0,5	3	0,5
18	1,6	3	0
19	3,1	1,6	1,6
20	1	0,8	0,5
21	0	1,6	0,8
22	1,3	3	1,6
23	2,1	3	1,6
24	3,3	2,8	2,1
25	3	2	0
26	2,3	2	0
27	0,3	1	0
28	1,6	3,3	3,3
29	0,8	2	2,5
30	2	1	0
31	0,5	1,6	1,6

Novembro de 2007

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	2	2,6	0
2	0,8	3,3	0,5
3	1,6	2	0
4	1,6	3,3	0
5	1,6	2,3	0
6	0,5	1,6	0
7	1,6	3	1
8	1,3	4,6	1,3
9	5,3	3,6	3
10	2,1	2,8	0
11	2,8	3	0
12	1	2,3	0
13	2	3,8	1
14	0,3	2,6	3,3
15	1,8	3,3	0,3
16	2,3	5,3	2,3
17	1,6	2,8	1,6
18	2,6	1,6	0,8
19	1,3	0,8	0,8
20	1,5	2,6	0
21	2,3	3	2,1
22	2	3,3	3,3
23	3	1,6	2
24	4,1	1	1,3
25	2,5	3,3	1
26	1,6	2,1	0
27	1,3	3,3	0
28	2,6	3	1,5
29	3,5	2,6	1,6
30	3,5	3,5	1,3

Dezembro de 2007

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	4,6	3,3	2,1
2	3	1	1,8
3	3	3	1,3
4	2,3	2	0
5	1,3	4,1	2,3
6	3,3	3,3	1,6
7	1	3,3	0
8	0	2	0
9	2,6	2,6	0,5
10	2	3,3	1
11	4,1	2,8	1,6
12	3	2	1
13	1,6	3	2
14	1,8	3	1
15	3	1,3	4,1
16	4,1	3,3	1,6
17	3,3	3,3	3,3
18	1,6	0,8	0
19	1	2,1	2,5
20	1	3,3	0,5
21	1,6	2,6	0,8
22	0,5	2,5	1,3
23	2	3,3	1
24	1,6	1,3	1
25	0,3	1,5	0
26	1	1	0
27	1,6	3,3	1
28	2,5	1,5	1,6
29	0	1	2,4
30	1,6	2	3,4
31	2,6	3,5	0

Janeiro de 2008

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	2,5	3	2,4
2	2,4	3,3	0
3	1,3	1,3	1,6
4	0,3	3,6	1,6
5	2	0,8	0
6	1,6	0,8	1,3
7	3	1,6	0
8	0,7	0	2
9	0,7	2	1
10	3,3	0,5	0,5
11	1	1,6	3,1
12	3,3	3,3	1,6
13	3,3	3,3	3,3
14	2,5	2,8	1,6
15	1,6	2	1,3
16	1,6	3,3	1,3
17	1,4	2,6	0,5
18	3,3	2	4,3
19	0,7	4,6	1,8
20	1,3	2	2
21	2,6	2	0,7
22	2,8	3,6	3,6
23	2,6	3,3	2,8
24	3,3	3,8	0
25	2,3	3,6	3,3
26	3,3	3,3	3
27	2,8	3,3	2,3
28	1,6	3	0
29	0	1,3	0,3
30	1,6	5	1,6
31	1	3,3	2,3

Fevereiro de 2008

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	1,6	2	1
2	1	3	0
3	0,3	3,3	2,6
4	0,3	1,6	0,5
5	0,3	1,6	1
6	1	3,3	1
7	2	2,3	0,3
8	2	1,6	1,3
9	0,3	0,5	1,3
10	1,3	2,5	1,6
11	2,5	2,5	0,5
12	1	2,1	1,3
13	0,8	2	0
14	1,3	2,1	0,7
15	2,5	1,6	1
16	1	2	1
17	0,3	3,3	1
18	1,6	3	1
19	2	5	2
20	2,5	1	0
21	1	2	0
22	0,3	1,8	0,8
23	2,8	3	2,5
24	2	2,5	1,6
25	2,5	2	2,5
26	3,3	3,3	1,3
27	2,1	1,3	0
28	1	2,1	2,1

Março de 2008

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	0	3,3	0
2	1	2,6	0
3	1,6	2	1,6
4	1,6	2,6	1,3
5	2	3	0
6	0	3	0,7
7	0	1	0
8	0,5	2,1	0
9	1,6	1,6	2,3
10	0	1,6	1
11	3	1,6	1,6
12	3,3	2,5	0
13	1,3	3,6	0,8
14	1,6	2,6	1
15	2,3	3	0
16	2	3,3	0,5
17	1,6	2,5	0,7
18	0,8	1,6	1,3
19	2	3	2
20	1,5	1	1,6
21	1,6	1,8	0
22	0,7	4,1	2,8
23	2,5	2,5	0,8
24	0,7	3	0,8
25	2,6	3,3	1,5
26	1,3	1,6	0,3
27	2,6	2,6	0,3
28	1,6	3,3	2,1
29	1,6	3	2,5
30	3	4,6	3
31	2,5	0,5	0

Abril de 2008

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	0,3	2,1	0
2	0,8	1,3	1
3	0,5	1	1,3
4	0	1,6	0
5	0,5	1,6	0,5
6	0,5	0,5	0
7	0	3,3	0
8	1,6	1,6	0
9	0,7	0,5	0
10	2,1	1,6	0
11	0	2,3	3
12	2	3,8	2
13	3,1	4,6	0
14	2,5	3	0,5
15	0,8	2	0
16	1,3	0,8	0
17	1,3	1	0
18	0,5	3	1,3
19	1,3	1,6	0,8
20	1,3	2,6	0,5
21	2,5	3,3	1,6
22	1,3	1,3	0
23	0	1,8	0
24	1	2	0
25	0	1,6	1,3
26	0,7	2,5	0,3
27	0,8	1,6	2
28	2,5	2,5	2,1
29	1,6	3	0,3
30	1,3	1,6	0

Maio de 2008

Dia	9 h m/s	15 h m/s	21 h m/s
1	1,8	2,1	0,7
2	2,5	5	0,5
3	4	5	1
4	0	1,3	0
5	1	2	0
6	0	1,6	0
7	0	1,3	0
8	0	2,5	1,3
9	1	2,3	0
10	1,5	3,1	0,8
11	2,6	3,3	1,8
12	1,6	2,1	1,5
13	0,8	2,1	0
14	0,5	2,5	0
15	0	1,3	0,7
16	0	2,5	0
17	1,3	1,6	0
18	0	1,3	1
19	0,5	4,3	0
20	2,6	4	0
21	6,6	3	2,8
22	4,1	1	0
23	3	5,3	0,5
24	2,5	3	1,6
25	1	1	0,5
26	0,8	2,8	1,6
27	1	2,6	1
28	1,6	2,3	0,3
29	0,5	1,6	1,3
30	0,8	1,6	0,7
31	0,7	1,6	0,7

Junho de 2008

Dia	9 h	15 h	21 h
	m/s	m/s	m/s
1	0,7	2,1	0
2	2,3	2	2
3	2,5	2,8	1
4	2,3	2,8	0
5	0	0,7	0
6	0	1	0,5
7	1,3	2	2
8	2	1,6	0
9	1,5	2	3
10	2,5	3	0
11	0	1,3	0
12	0	0,5	0,8
13	0,8	1	0
14	0,5	2,5	2,3
15	2,1	2,5	1,6
16	0	1,6	0
17	0	1,6	0,8
18	0	1,3	1,3
19	2,5	3,3	0,3
20	2,5	3,3	4,6
21	2,1	2	1,6
22	1	1,6	1,6
23	1,6	2,1	0
24	1,6	3,3	2
25	1,6	2,3	0
26	1,8	0,4	0,5
27	1,6	0,8	0,8
28	2,6	0,8	0
29	1,3	1,6	0
30	1	1	1

Julho de 2008

Dia	9 h	15 h	21 h
	m/s	m/s	m/s
1	1,6	2,6	0,5
2	1,6	2,1	2
3	1,3	1,6	1,6
4	1,3	2	1
5	2	1,6	1
6	0,8	3,3	0
7	1	1,3	1,3
8	0,8	1,3	0
9	1,6	3,3	1
10	0	1,8	0,8
11	0,7	3	0,3
12	3,6	4,6	0,5
13	4,5	3,3	0
14	0	1,3	0
15	1,3	3,3	0,5
16	3	4,1	0
17	1,6	5	0,7
18	0	2	1,3
19	1,6	3,6	4,3
20	3	2,6	2,6
21	2,5	3	3
22	2,5	3,3	1,6
23	0	0,8	1,5
24	1	1,6	0,7
25	0	1	0
26	1,6	3,3	1,3
27	1,6	0,3	0
28	1	1,3	3
29	3,6	3,6	4,8
30	1,6	1,6	0
31	1	1,6	0

Agosto de 2008

Dia	9 h	15 h	21 h
	m/s	m/s	m/s
1	1	2,5	2
2	1,6	2	0
3	2	0,8	0
4	0	2,3	0,5
5	1,6	2,6	0
6	2	2,1	1
7	0	3	1,6
8	0,5	3,3	1,6
9	2	3	1,3
10	1,3	1	0
11	4,5	2,6	3,3
12	0	0	1,6
13	1,6	2,5	1,3
14	2,3	2,5	1,6
15	2,1	2,1	0
16	2	3,3	5
17	1	2	0,5
18	2,5	1,6	2,6
19	3	3	2,6
20	0,5	0,3	0
21	1	2,8	1,6
22	1,6	3	0
23	2,6	5	3,3
24	1,8	0,8	0
25	0	1	0
26	1,5	3,1	1
27	1,6	2,6	3,3
28	2,6	2,6	3,3
29	2	2,5	0,5
30	0	1,6	0
31	3	3	1,3

Setembro de 2008

Dia	9 h	15 h	21 h
	m\s	m\s	m\s
1	3	2	1,5
2	5,3	6,6	5,8
3	1,6	3	4,6
4	3,5	2,6	2,8
5	5	3,3	3,3
6	1,6	3	3,6
7	1,6	0,3	0
8	0,3	3,3	1,6
9	3	2	0,8
10	0	0,8	0,8
11	1,6	1,6	1
12	1,6	3,1	0
13	0,5	2,5	0
14	0,8	2,3	0
15	1,6	1,6	0
16	2	3,6	1,6
17	3	3,8	1,6
18	2,3	3	3,1
19	2	3,3	0,5
20	1	0,5	0
21	2,6	2,6	1
22	3	2	2,6
23	2,1	3,1	3,3
24	2,6	3	2
25	1,8	3,3	1,3
26	1,6	3	1
27	3	3	3,3
28	3	3,3	2,1
29	0,5	1,5	2,3
30	1,3	0,5	0

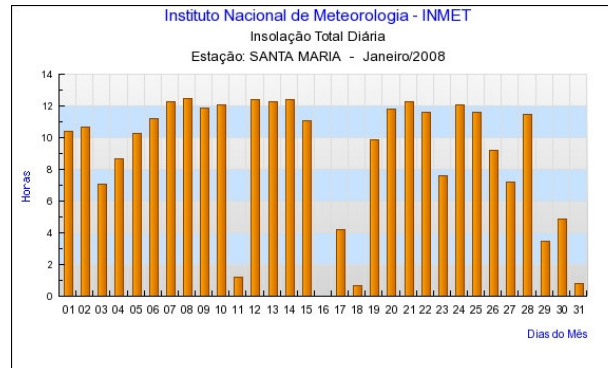
ANEXO 4 –Tabela - Custo de implantação de um Km de energia elétrica.

PREVISÃO DE CUSTOS CONSTRUÇÃO DE REDE ELÉTRICA MONOFÁSICA CLASSE 15 KV - 1000 M					
ÍTEM	DESCRIÇÃO	QUANT.	UNID.	VAL. UNIT.	VAL. UNIT.
1	ARRUELA QUADRADA FURO 18mm	21	PÇ	R\$ 4,50	R\$ 94,50
2	PINO DE TOPO	14	PÇ	R\$ 10,00	R\$ 140,00
3	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA M 16 X 350mm	10	PÇ	R\$ 8,00	R\$ 80,00
4	ISOLADOR PILAR 15 KV	10	PÇ	R\$ 55,00	R\$ 550,00
5	POSTE DE MADEIRA 11 M	6	PÇ	R\$ 260,00	R\$ 1.560,00
6	POSTE DE MADEIRA 12 M	4	PÇ	R\$ 290,00	R\$ 1.160,00
7	GANCHO OLHAL	6	PÇ	R\$ 3,20	R\$ 19,20
8	MANILHA-SAPATILHA	6	PÇ	R\$ 4,60	R\$ 27,60
9	OLHAL PARA PARAFUSO	6	PÇ	R\$ 4,30	R\$ 25,80
10	ALÇA PRÉ-FORMADA PARA CABOS CA 4AWG	4	PÇ	R\$ 12,00	R\$ 48,00
11	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA M 16 X 250mm	5	PÇ	R\$ 6,50	R\$ 32,50
12	ISOLADOR POLIMÉRICO ANCORAGEM 15kV	6	PÇ	R\$ 49,00	R\$ 294,00
13	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 10 KVA	1	PÇ	R\$ 2.180,00	R\$ 2.180,00
14	PARA-RAIOS 15 KV/10KAA POLIMÉRICO	1	PÇ	R\$ 298,00	R\$ 298,00
15	CHAVE FUZÍVEL LOAD BUSTER BASE "C" 15KV	1	PÇ	R\$ 85,00	R\$ 85,00
16	SUPORTE T	1	PÇ	R\$ 32,00	R\$ 32,00
17	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA M 16 X 450mm	2	PÇ	R\$ 16,00	R\$ 32,00
18	GRAMPO DE LINHA VIVA	1	PÇ	R\$ 23,00	R\$ 23,00
19	CABO COBRE 1x35mm ² BWF 70°C 0,6/1kV	2	M	R\$ 18,00	R\$ 36,00
20	HASTE ATERRAM CIRCULAR COMPR 2400mm	6	PÇ	R\$ 15,00	R\$ 90,00
21	FIO COBRE NÚ 6AWG TEMP MEIO-DURA	4	KG	R\$ 26,00	R\$ 104,00
22	CONECTOR ATERR. P/HASTE COBREADA DN 13mm	8	PÇ	R\$ 12,00	R\$ 96,00
23	CALHA DE MADEIRA PARA ATERRAMENTO	2	PÇ	R\$ 15,00	R\$ 30,00
24	PREGO	0,2	KG	R\$ 8,00	R\$ 1,60
25	GRAMPO DE CERCA	0,1	KG	R\$ 8,00	R\$ 0,80
26	ARRUELA QUADRADA DE 50 MM	12	PÇ	R\$ 4,00	R\$ 48,00
27	SAPATILHA	4	PÇ	R\$ 5,00	R\$ 20,00
28	CORDOALHA DE AÇO 9,53 MM	40	M	R\$ 3,00	R\$ 120,00
29	HASTE ANCORA OLHAL M16 X 1800 MM	4	PÇ	R\$ 17,00	R\$ 68,00
30	PARAFUSO CABEÇA QUADRADA M 16 X 125mm	4	PÇ	R\$ 9,00	R\$ 36,00
31	ALÇA PRE FORMADA PARA ESTAI	12	PÇ	R\$ 7,50	R\$ 90,00
32	FIXADOR PRÉ FORMADO PARA ESTAI	4	PÇ	R\$ 5,00	R\$ 20,00

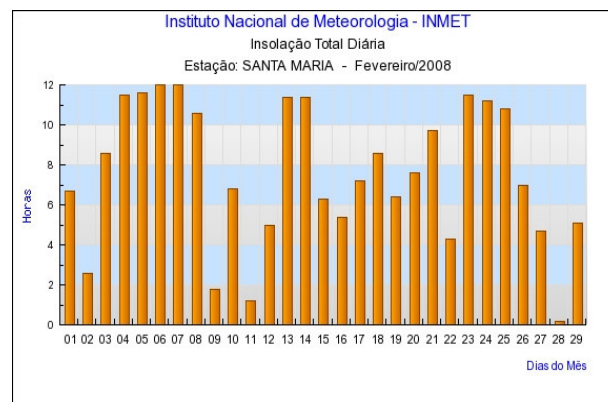
PREVISÃO DE CUSTOS CONSTRUÇÃO DE REDE ELÉTRICA MONOFÁSICA CLASSE 15 KV - 1000 M					
33	TORA MADEIRA 1000mm	4	PÇ	R\$ 18,00	R\$ 72,00
34	ISOLADOR TIPO CASTANHA	4	PÇ	R\$ 6,00	R\$ 24,00
35	CABO CA 4 AWG	85,4	KG	R\$ 13,00	R\$ 1.110,20
VALOR TOTAL DO MATERIAL					R\$ 8.648,20
VALOR MÃO DE OBRA					R\$ 4.324,10
VALOR TOTAL					R\$ 12.972,30

ANEXO 5- Gráficos complementares ao estudo

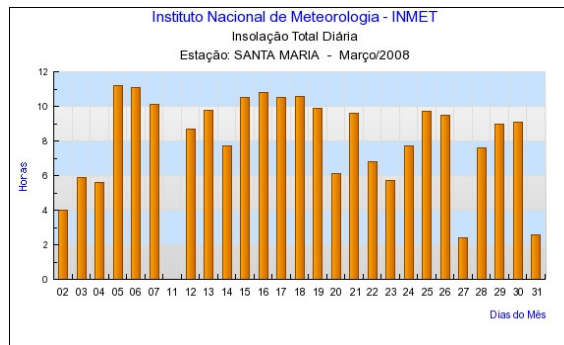
Insolação Total Diária em Janeiro de 2008.



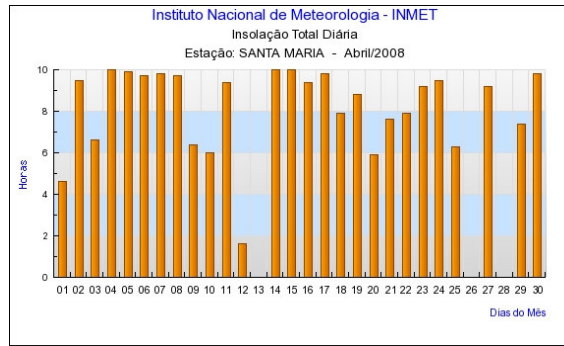
Insolação Total Diária em Fevereiro de 2008.



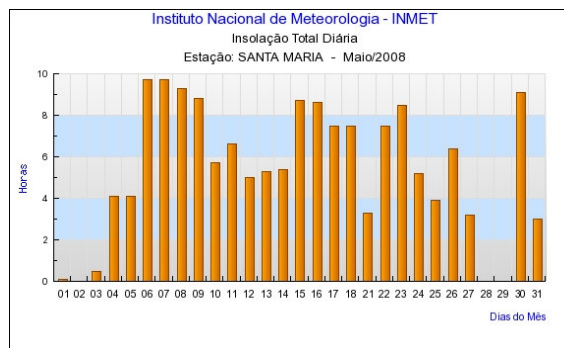
Insolação Total Diária em Março de 2008



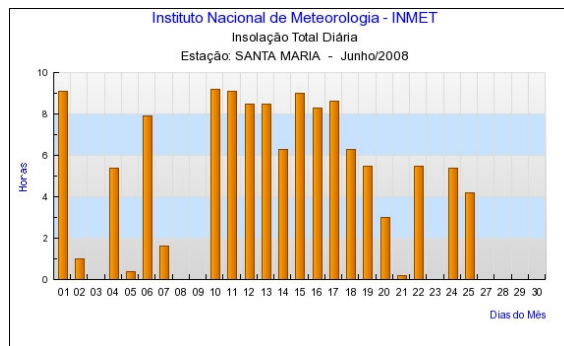
Insoiação Total Diária em Abril de 2008



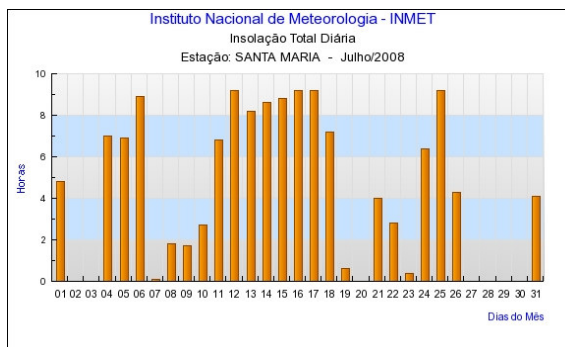
Insoiação Total Diária em Maio de 2008



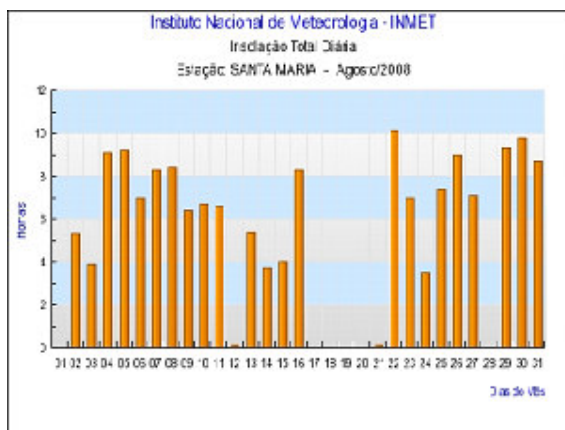
Insoiação Total Diária em Junho de 2008



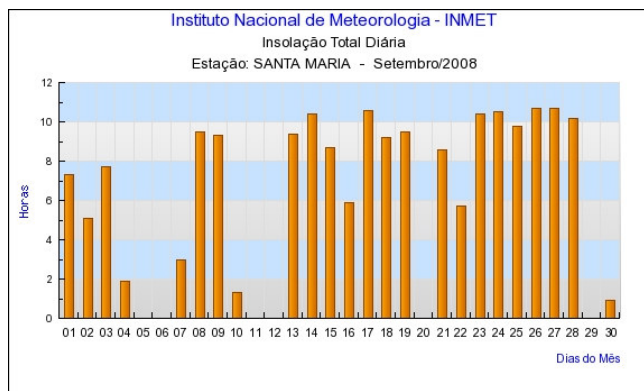
Insoiação Total Diária em Julho de 2008



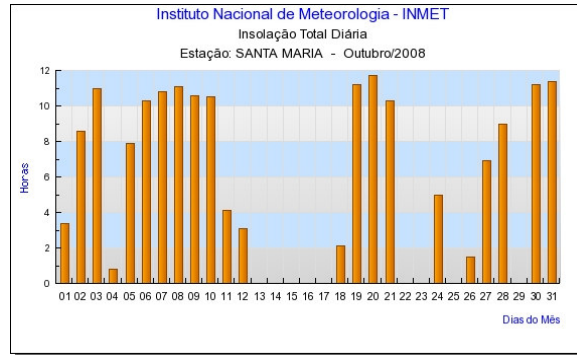
Insoiação Total Diária em Agosto de 2008



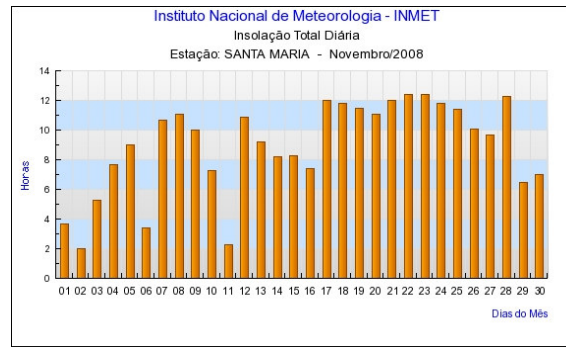
Insoiação Total Diária em Setembro de 2008



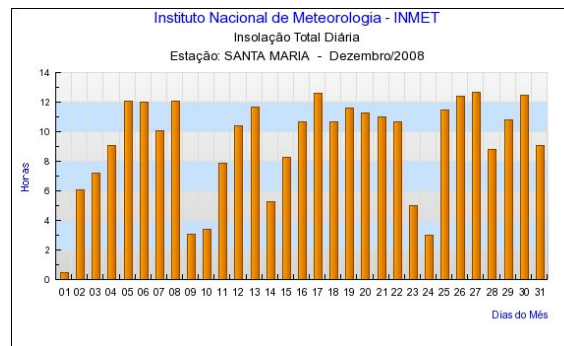
Insoleção Total Diária em Outubro de 2008



Insoleção Total Diária em Novembro de 2008



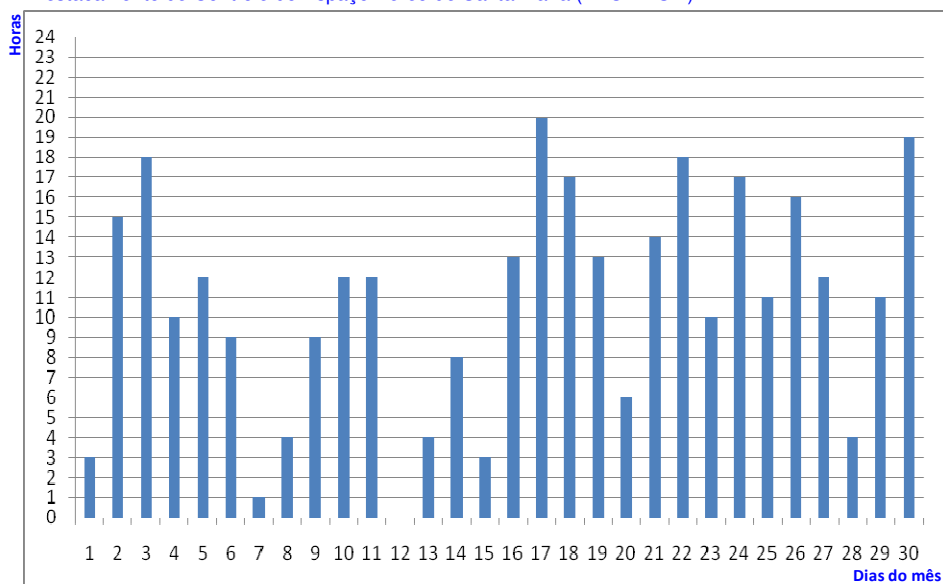
Insoleção Total Diária em Dezembro de 2008



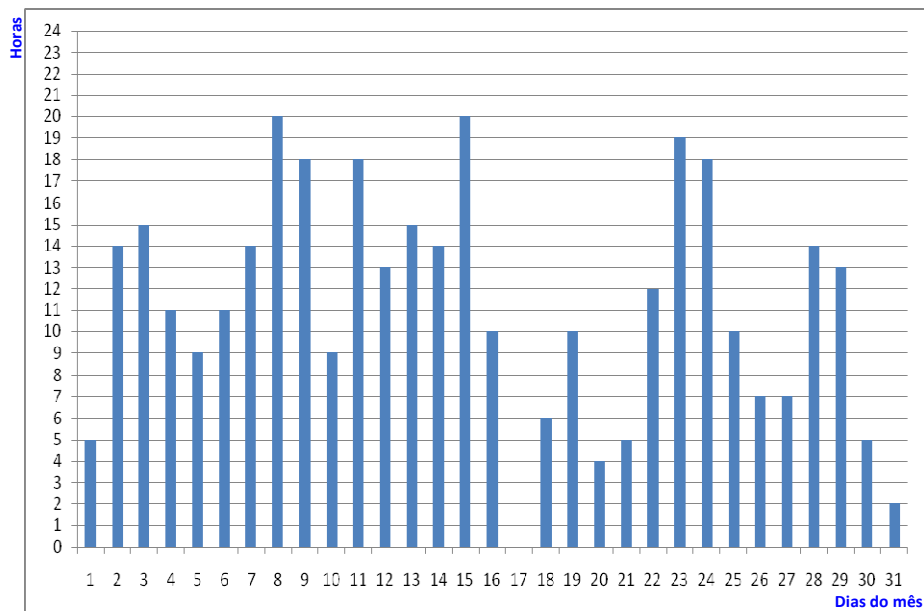
Gráficos (Estação Meteorológica de Santa Maria (EMS – SM). Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Santa Maria (DTCEA-SM). Foram consideradas as observações acima de 6 nós (3,1 m/s). A relação representada no gráfico é horas por dia do mês. Foram analisadas as observações no período de setembro de 2007 a agosto de 2008.

SETEMBRO DE 2007

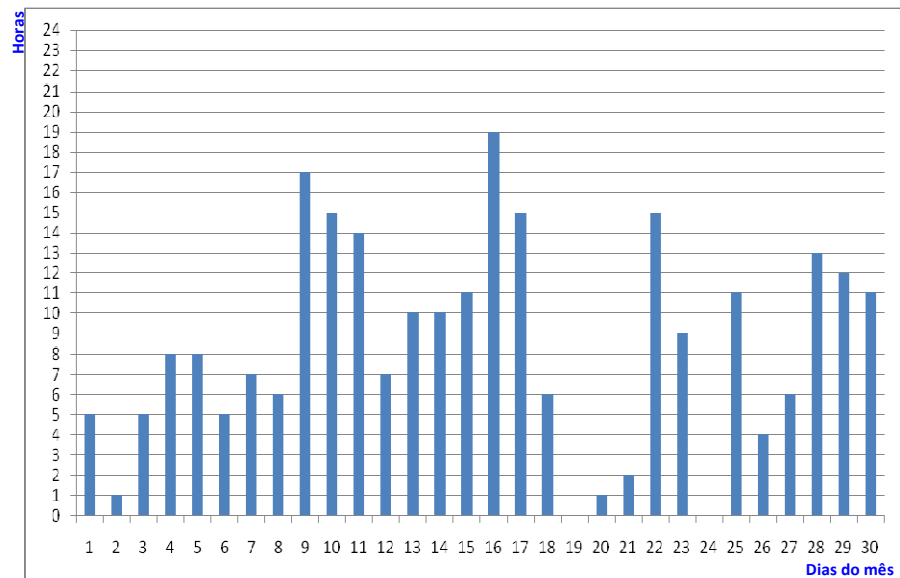
Estação Meteorológica de Santa Maria (EMS – SM).
Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Santa Maria (DTCEA-SM)



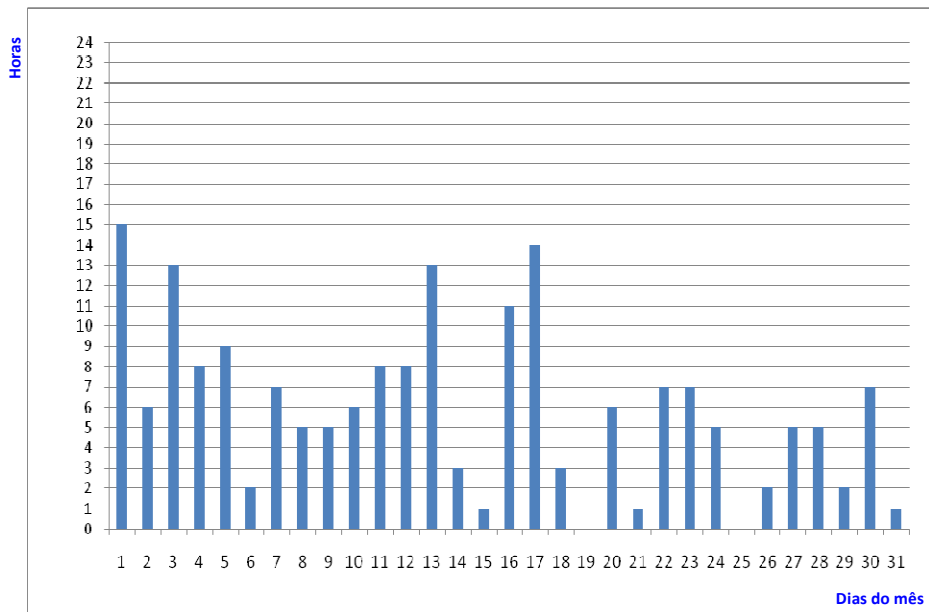
OUTUBRO DE 2007



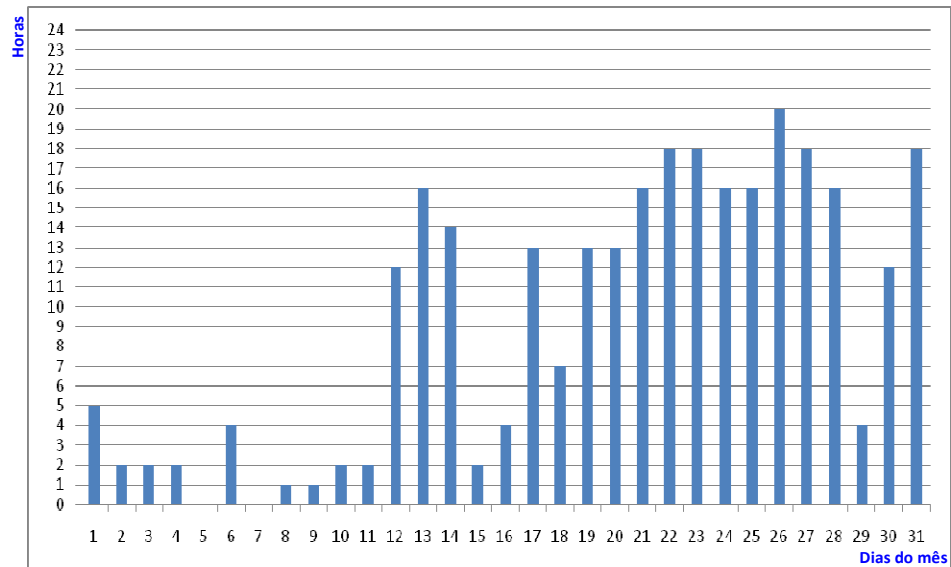
NOVEMBRO DE 2007



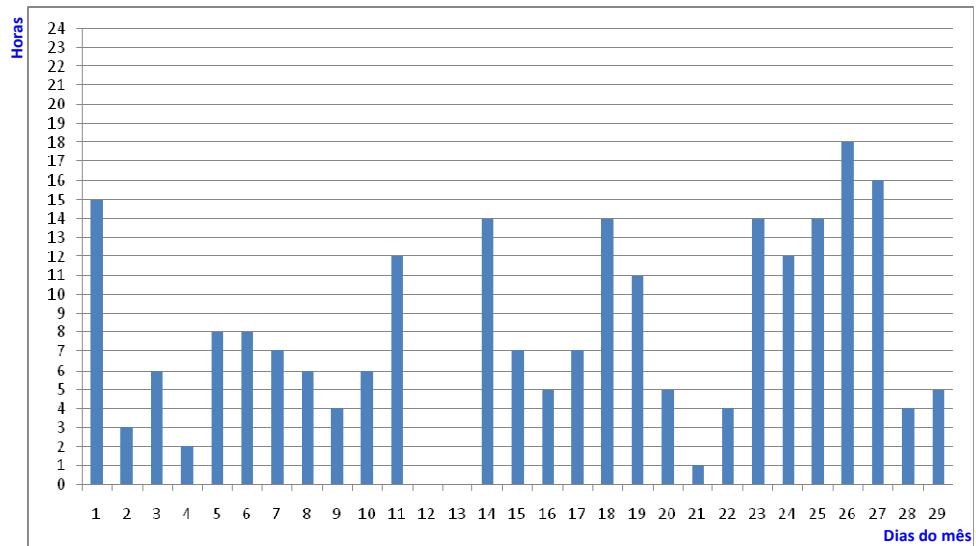
DEZEMBRO DE 2007



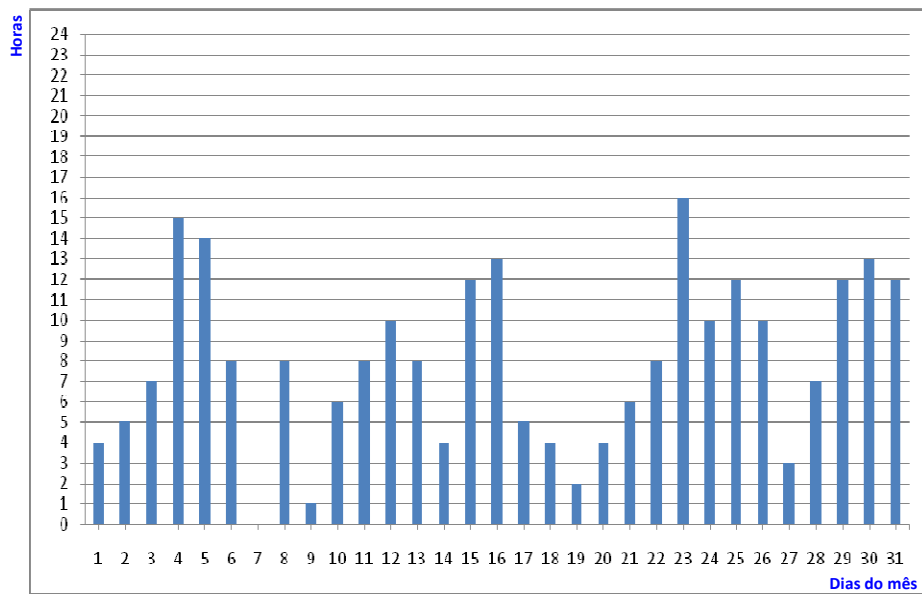
JANEIRO DE 2008



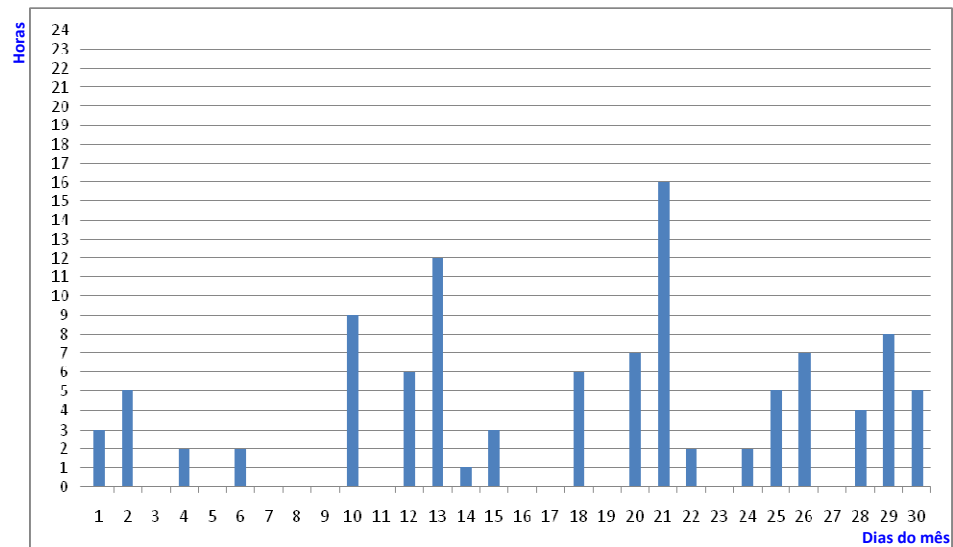
FEVEREIRO DE 2008



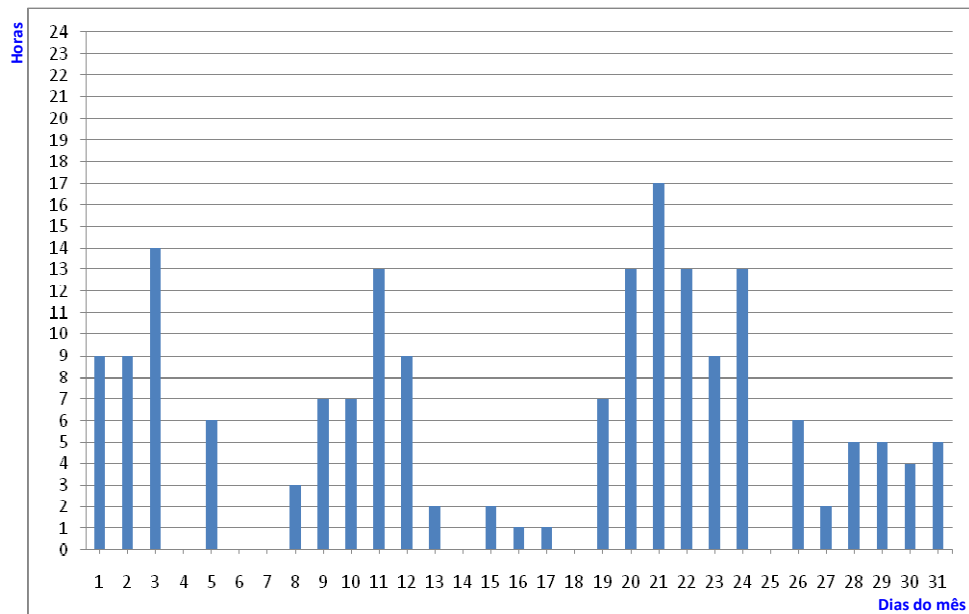
MARÇO DE 2008



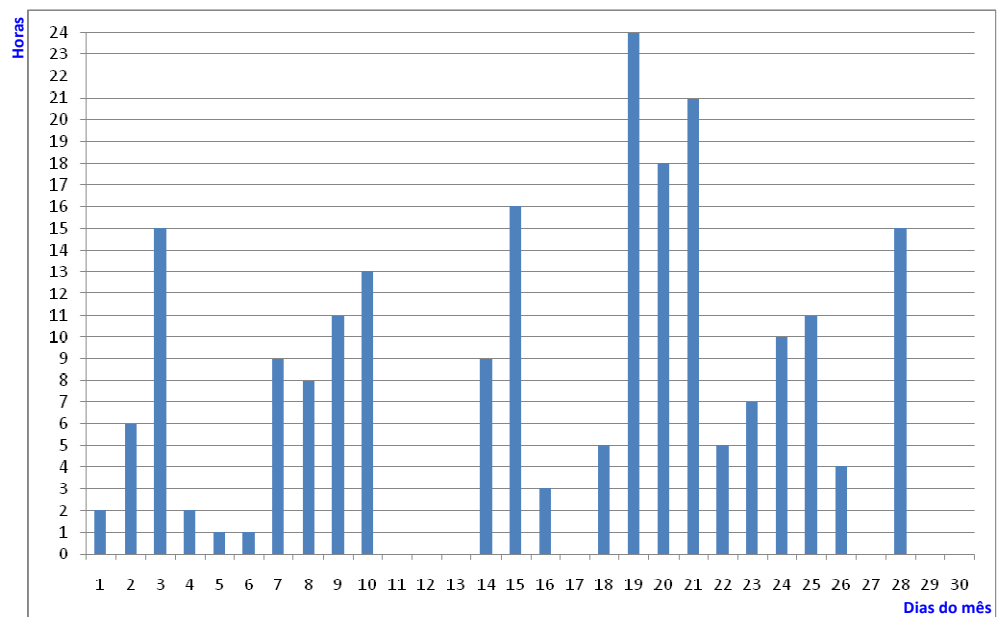
ABRIL DE 2008



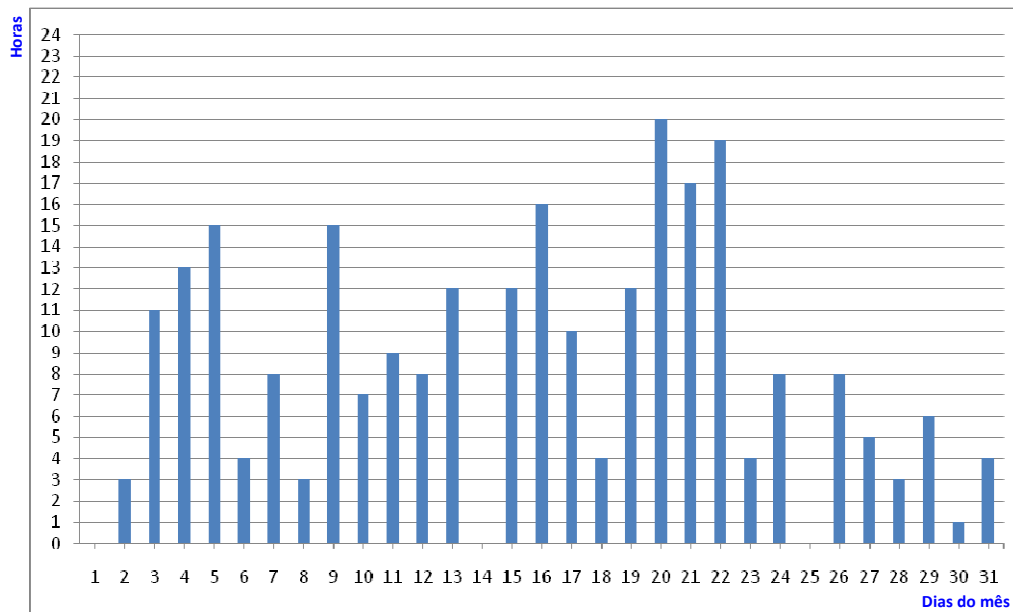
MAIO DE 2008



JUNHO DE 2008



JULHO DE 2008



AGOSTO DE 2008

