

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

*Cícero Nogueira<sup>1</sup>*  
*Helena Maria Nogueira<sup>2</sup>*  
*Fabiane Tubino Garcia<sup>3</sup>*  
*Luis Felipe Lopes<sup>4</sup>*

**Resumo:** O objetivo desse estudo foi verificar a viabilidade econômica de sistemas geradores de energia eólica e solar fotovoltaica no bombeamento de água para irrigação em frutíferas nas propriedades rurais. Para isso, realizou-se uma pesquisa aplicada em duas estações no município de Santa Maria, RS, sendo a primeira localizada na comunidade de Canabarro e a segunda no Colégio Politécnico da UFSM. Os dados foram coletados no período de setembro de 2007 a setembro de 2008. Os resultados demonstraram a viabilidade de equipamentos eólicos e solares fotovoltaicos para utilização na irrigação complementar para as culturas de goiabeira, figueira e videira. Com o sistema fotovoltaico, o volume bombeado foi de aproximadamente 5000 m<sup>3</sup>/ha e com o sistema eólico o volume bombeado foi de 6 m<sup>3</sup>/ha. Os conjuntos eólicos demonstraram baixa eficiência, se comparados com os sistemas fotovoltaicos, os quais se mostraram mais eficientes.

**Palavras-chave:** Sistema de bombeamento de água; Energia Solar; Energia Eólica.

**Abstract:** The objective of this study was to verify the economic viability of generating systems of wind energy and solar photovoltaic in the water pumping for irrigation in fruit trees in the country properties. To do so, there is an applied research at two stations in Santa Maria, the first being located in the community of Canabarro and the second in Polytechnic College of the UFSM. The data were collected in the period of September of 2007 and September of 2008. The results demonstrated the viability to the wind equipment and solar photovoltaic for use in the complementary irrigation for crops of guava, fig and vine. With the photovoltaic system, the pumped volume was of approximately 5000 m<sup>3</sup> / h with wind system and the pumped volume was 6 m<sup>3</sup>/ha. The wind sets showed low efficiency when compared to the photovoltaic systems, which are more efficient

**Keywords:** Pumping Water System, Solar Energy, Wind Energy

1 Colégio Politécnico – UFSM. Av. Roraima, 1000. Cidade Universitária. Camobi. Santa Maria, RS. CEP: 97105-900.

2 Colégio Politécnico – UFSM. Av. Roraima, 1000. Cidade Universitária. Camobi. Santa Maria, RS. CEP: 97105-900.

3 Universidade Federal do Pampa. Rua Barão do Triunfo, 1048. Centro. Santana do Livramento, RS. CEP: 97573-590.

4 Universidade Federal de Santa Maria. Rua Floriano Peixoto, 1750. Centro. Santa Maria, RS. CEP : 97015-372.

## 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 consumo de energia (Martins et al., 2008).

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 os quais estão à segurança no suprimento de energia necessária para o desenvolvimento econômico e social de um país e os custos ambientais para atender a esse aumento no consumo de energia (Goldemberg e Villanueva, 2003).

Nas últimas décadas, a segurança no suprimento de energia está associada às perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo e à elevação dos preços de mercado dos combustíveis fósseis, ocasionados pelos problemas políticos e sociais nas principais regiões produtoras (Geller, 2003). 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 (Amarante et al, 2001; Filgueiras e Silva, 2003).

Dado o exposto, a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico vêm recebendo grande incentivo em todo o mundo, principalmente após o último relatório do Painel Inter-Governamental para Mudanças Climáticas (IPCC) 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 (Global Wind Energy Council, 2006).

Organizações internacionais ligadas à produção e à distribuição de energia classificada como convencional prevêem que a energia eólica e fotovoltaica se tornarão competitivas com as energias fósseis e nucleares sem que sejam necessários levar em conta os custos externos e sociais. Se for con-

siderado que a energia eólica e fotovoltaica possa ser viável, então haverá baixíssimo impacto ambiental, além de ser amplamente renovável. Num futuro muito próximo, essas fontes de energia serão mais atrativas e com baixo custo financeiro podendo atender as propriedades rurais e as populações isoladas, possibilitando, por conseguinte, melhorias nas suas condições sócio-econômicas (Global Wind Energy Council, 2006).

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 recuperado em menos de um ano após seu funcionamento. Esse fato comprova sua atratividade em termos de produção e economia em âmbito mundial, principalmente no território brasileiro por ter o país um grande potencial eólico e solar devido a suas dimensões e localização geográfica (Companhia Energética de Minas Gerais, 2007).

Vale ressaltar que a Conferência do Milênio, promovida pelas Nações Unidas em 2000, determinou que fosse reduzido à metade, até o ano de 2015, o número de pessoas sem acesso à água potável. Para viabilizar esse 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” (The World Health Organization, 2003).

O meio rural empobrecido necessita, dentre outras coisas, de meios tecnológicos e energéticos para o seu desenvolvimento. E, nesse âmbito, as tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis (eólica, fotovoltaica) têm alcançado bons níveis de maturidade e confiabilidade, tornando-se opções viáveis para a solução desse problema (Fedrizzi, 2003).

Portanto, introduzir novas tecnologias para melhorar a qualidade de vida em zonas rurais é um exercício de inovação do entorno social, e, 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.

Assim, o objetivo desse estudo foi verificar a viabilidade econômica de sistemas geradores de energia eólica e solar fotovoltaica para atender à demanda de energia elétrica do setor de irrigação em propriedades rurais, em substituição ao motor diesel e elétrico.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Denomina-se energia eólica, cinética ou, simplesmente energia do vento, a energia que se obtém do movimento das massas de ar. Seu aproveitamento ocorre através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação de determinadas peças móveis, denominadas turbinas eólicas ou aero geradores, 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 (Bruni e Souza, 2007).

O vento nada mais é do que uma determinada massa de ar em movimento na horizontal. O ar, por ser uma mistura de gases, está sujeito a todas as características físicas destes fluidos. O ar ao aquecer se expande e torna-se, portanto, menos denso e tende a subir, sendo substituído por ar mais frio e mais denso (Bruni e Souza, 2007).

Por outro lado, a quantidade de energia que os raios solares transferem para a superfície da Terra é diretamente proporcional ao ângulo zenital sendo o melhor aproveitamento proporcionado por uma incidência perpendicular à superfície coletora (Hulcher e Frankel, 1994; Aldabó, 2002).

Quando se leva em conta que os raios solares incidem sobre a Terra a 90° no Equador (nos equinócios ao meio dia solar) e que esse 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, de onde sopra ar frio e baixo em direção às regiões situadas no Equador (Bruni e Souza, 2007).

Ainda segundo Bruni e Souza (2007), se a esses fatores for 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, 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.

Resumindo, pode-se dizer que o vento é o resultado do desigual aquecimento da superfície da Terra pelos raios solares e de seus movimentos de rotação e translação. Essa 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 (Bruni e Souza, 2007).

Por outro lado, a disponibilidade de energia eólica está diretamente ligada a fatores físicos e geológicos. Como 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 em relação ao plano da eclíptica (plano que contém o movimento de translação da Terra). Portanto, a disponibilidade de energia eólica depende da hora e do dia do ano, dentre outros aspectos climáticos (Bruni e Souza, 2007).

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), 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.

A obtenção de dados das velocidades e frequências dos ventos é dispendiosa, mas são informações obrigatórias a qualquer projeto de instalação de um sistema eólico de geração de energia elétrica (Bruni e Souza, 2007).

As observações que nos dão os dados locais permitem determinar a “curva de frequência de distribuição de velocidades dos ventos” para o local de estudo, onde podemos ter informações do número de horas, por um período de tempo (normalmente um ano ou 8.760 horas), em que o vento sopra (Bruni e Souza, 2007).

Como a energia hidráulica, também a energia eólica é utilizada pelo homem há milhares de anos com as mesmas finalidades: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica (Aldabó, 2002).

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 (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).

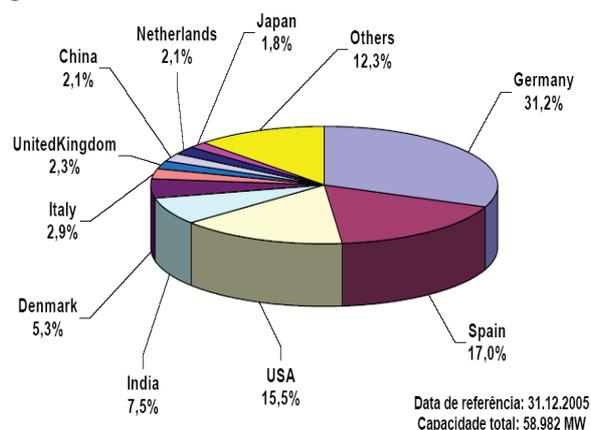
Os recentes desenvolvimentos tecnológicos (sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, etc.) têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. No que tange ao balanço energético, atualmente, “uma turbina de 600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

Segundo a Renewable Energy Word (2005) espera-se, “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”.

A Figura 1 mostra os principais países em capacidade instalada de produção de energia eólica (acima de 100MW), em valores atualizados. Observa-se, por exemplo, que a Europa detém 73% do mercado de energia eólica.

É esperado que a China invista cerca de 40 bilhões de dólares.

**Figura 1** – Os dez países líderes em instalação de energia eólica.



**Fonte:** Adaptado de BTM Consult (2000).

Na Alemanha com capacidade de geração eólica instalada de 12 000 MW já em 2003, a prioridade

energética envolve a utilização de fontes renováveis, com destaque para a eólica (BTM Consult, 2000).

A Espanha é o segundo país do mundo que mais utiliza energia elétrica eólica, atrás somente da Alemanha (BTM Consult, 2000).

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 a 50% até 2030, com pelo menos 4.000 MW *off shore*. Hoje, portanto, a Dinamarca se constitui no principal exportador mundial de equipamentos e tecnologia em turbinas eólicas (BTM Consult, 2000).

De forma semelhante, na Holanda, o governo tem um compromisso com as companhias de eletricidade de atingir 3,2% de produção de energia eólica em relação ao consumo total de eletricidade do país (Renewble Energy Word, 2008).

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 2011 (Renewble Energy Word, 2008).

No Brasil, 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 (Centro Brasileiro de Testes de Turbinas Eólicas, 2008).

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, era 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 (Centro Brasileiro de Testes de Turbinas Eólicas, 2008).

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, o 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 (Bruni e Souza, 2007).

Com relação à tecnologia de bombeamento fotovoltaico, Lorenzo et al. (1999), 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 MW de potência instalada.

Um dos fatores que contribuíram para a disseminação da opção de bombeamento fotovoltaico foi a redução dos preços de seus componentes. Em uma pesquisa de mercado, concluiu-se que a evolução do preço do módulo fotovoltaico, no mercado internacional, foi de US\$ 38,00/Wp<sup>i</sup>, em 1978, para US\$ 3,50/Wp<sup>i</sup>, em 2003 (Fedrizzi, 2003).

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”.

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 desenvol-

vimento com o suporte dos países produtores dos equipamentos”, que foram conquistados ganhos tecnológicos, “em função da necessidade de adaptação às condições de campo”.

A Espanha, além dos inúmeros projetos implantados para abastecimento de comunidades rurais localizadas em zonas remotas, destaca-se 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 oliveiras, 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.

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 (Fedrizzi, 2003).

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, 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 (Meléndez, 2009).

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. Nos últimos 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).

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 (Fedrizzi, 2003).

Em trabalhos realizados por Fronza e Schons (2008), destaca-se a importância do desenvolvimento de novas formas de bombeamento de água em áreas rurais onde a disponibilidade de rede elétrica é menor, muitas vezes inviabilizando o uso da irrigação. Para o produtor é importante ter disponibilidade de água nos períodos críticos evitando assim perdas na produtividade e potencializando o rendimento das culturas.

### 3. METODOLOGIA

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

Os experimentos foram instalados no ano de 2007 e foram realizados estudos sobre a aplicação de cata-ventos e sistemas fotovoltaicos para irrigação em propriedades rurais no setor de fruticultura (goiabeira, figueira e videira).

Foram construídos e utilizados dois tipos de cata-ventos um tipo Savonius e outro múltiplas pás, com respectivas torres e bombas em PVC.

Foram utilizados nos aerogeradores do tipo Savonius, as turbinas de eixo vertical, tipo arraste que 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 (Figura 2).

**Figura 2** – Cata-vento Savonius em funcionamento na Estação 1 e na Estação 2 nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria.



**Fonte:** Foto do autor

As bombas em PVC operaram pelo princípio da bomba de sucção, tendo como materiais de construção além do embolo e uma vareta, todos de ferro usinado, e vedantes de borracha ou couro (Figura 3).

**Figura 3** - Bomba em PVC em funcionamento na Estação 1 e Estação 2, nas localidades de Canabarro e UFSM – Santa Maria.



**Fonte:** Foto do autor

No aerogerador do tipo múltiplas pás as turbinas de eixo horizontal operaram pelo princípio do atrito causado pelo vento nas pás da turbina. Esse modelo foi construído com um aro raiado de 1 metro de diâmetro e 16 pás, com comprimento de 0,5 metros, 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 à bomba de sucção faz o movimento de subida e descida do êmbolo da bomba. Essa turbina usa como torre um poste de 9 metros de altura do solo ao eixo da turbina (Figura 4).

**Figura 4** - Cata-vento Múltiplas pás em funcionamento na Estação 1 e na Estação 2 nas localidades de Canabarro e UFSM - Santa Maria.



**Fonte:** Foto do autor

Para utilizar o conjunto de bombeamento de sistema direto com energia solar fotovoltaica, foi utilizada uma placa fotovoltaica com potência de 71 watts e uma bomba surflo modelo 8000 (Figura 5).

**Figura 5** - Placa e Bomba em funcionamento na estação 2, UFSM – Santa Maria.



**Fonte:** Foto do autor

O reservatório para utilização de águas superficiais foi construído em forma de pequenas barragens com enrocamento de pneus, e foram armazenadas as águas da chuva e das vertentes, a fim de evitar a utilização de águas subterrâneas. Já, o reservatório aéreo para acumulação de água oriunda dos reservatórios superficiais para utilização na irrigação por gotejamento foi construído a 9 metros de altura em relação ao solo, com postes e travessas de madeiras, que serviu para suporte de uma caixa de fibra de 7.000 litros.

O desenvolvimento do trabalho seguiu as seguintes etapas: coleta e análise de dados relativos à velocidade média dos ventos no local; definição da

necessidade da quantidade de água a ser utilizada dentro do projeto de irrigação; descrição do sistema a ser utilizado no bombeamento; e por fim, análise de resultados obtidos com as medições realizadas.

Os dados de velocidade do vento, em função da altura e de diferentes horários, foram coletados na estação meteorológica da UFSM, com o apoio da equipe de irrigação do Colégio Politécnico, localizado na mesma instituição. Estes dados foram coletados *in loco*, com o auxílio de um medidor anemômetro de bolso – marca ANEMO.

A coleta e a análise de dados, relativo à velocidade média dos ventos no local, foram efetuadas de acordo com as seguintes etapas: definição da necessidade da quantidade de água a ser utilizada dentro do projeto de irrigação; caracterização do sistema a ser utilizado no bombeamento e, por último, coleta e análise dos resultados obtidos com as medições realizadas.

O período de coleta e análise dos dados foi de setembro de 2007 a setembro de 2008.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

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

### 4.1. Sistema Fotovoltaico

Na Tabela 1 pode-se observar que o mês de junho representou 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/m<sup>2</sup>. Pode-se observar também que o mês de dezembro foi o de melhor disponibilidade de radiação solar média com 6,97 kwh/m<sup>2</sup>, período em que ocorre a maior transpiração pelas plantas e maior necessidade de irrigação.

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

**Tabela 1** – Radiação solar média mensal no Município de Santa Maria, RS.

RADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA (KWH/M2. DIA).	
Jan	5,97
Fev	5,61
Mar	4,86
Abr	4,03
Mai	3,14
Jun	2,50
Jul	2,81
Ago	3,44

Set	4,19
Out	5,67
Nov	6,61
Dez	6,97
Média	4,65
Delta	4,47

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 2 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 foi de 5.000 m<sup>3</sup> de água por hectare, o qual corresponde a 500 mm.

**Tabela 1** – Radiação solar média mensal no Município de Santa Maria, RS.

MÊS	HORAS DE INSOLAÇÃO (H)	VOLUME BOMBEADO (M <sup>3</sup> )	Nº DE PLACAS FOTOVOLTAICAS
Jan	277	749,61	9
Fev	217,9	589,67	9
Mar	211	461,19	9
Abr	220,6	459,21	9
Mai	156,7	293,58	9
Jun	122,6	153,12	9
Jul	132,5	165,49	9
Ago	159,9	199,71	8
Set	184,2	364,27	9
Out	170,6	355,13	9
Nov	267,6	584,91	8
Dez	281,3	761,25	9
Total	2.401,9	4.817,14	

Fonte: Elaboração própria

Desse modo, para o presente trabalho, foi considerada que a necessidade anual da goiabeira é de 750 mm (7.500 m<sup>3</sup>/ha) e da figueira 650 mm (6.500 m<sup>3</sup>/ha). O maior consumo da goiabeira é explicado, 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 (caducifolia) sendo mínima sua transpiração. Os meses de maior insolação, isto é, dezembro e janeiro, correspondem aos 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.

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 considerada 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 3.

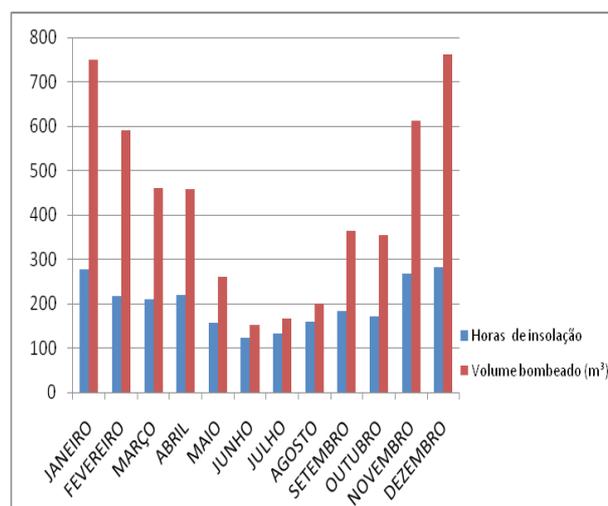
**Tabela 3** - Capacidade de bombeamento de água média mensal fornecida pela placa fotovoltaica – Altura manométrica: 14 metros.

MESES	BOMBEAMENTO MÉDIO (L/ MIN.PLACA)	VOLUME BOMBEADO POR PLACA (M <sup>3</sup> )
Janeiro	5,0	83,10
Fevereiro	5,0	65,37
Março	4,0	63,39
Abril	3,5	66,18
Mai	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

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 5 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 possui 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.

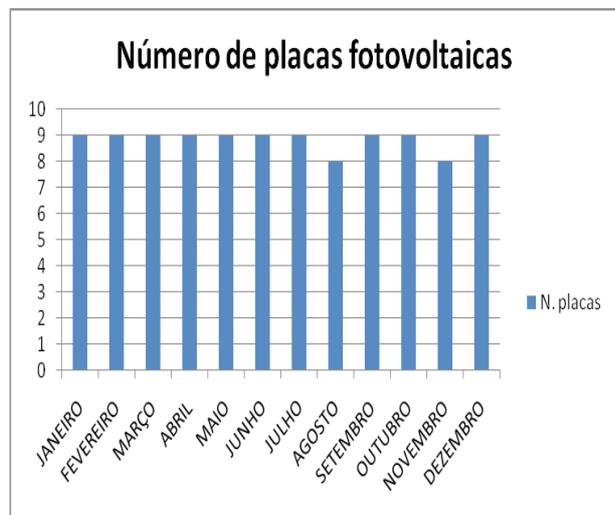
**Figura 5** – Volume bombeado para irrigação complementar fornecido por 9 placas fotovoltaicas.



Na Figura 6 é ilustrada a necessidade de placas para o fornecimento de água suplementar utilizada na irrigação. O cálculo das placas foi realizado em função da exigência complementar de água das culturas, sendo para 01 (um) hectare, e o bombeamento

mento diferenciado ao longo dos meses, conforme apresentado na Tabela 1. O volume bombeado por hectare foi de aproximadamente 5.000m<sup>3</sup>/ha, ou seja, 500 mm.

**Figura 6** - Necessidade de placas fotovoltaicas para o fornecimento de água suplementar utilizada para irrigação.



Verifica-se na Tabela 4, que 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 se obterá 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 terá uma 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 amplia-se 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.

Verifica-se na Tabela 4, que 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 se obterá 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 terá uma 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 amplia-se 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 4** – Custo para o bombeamento anual de 5000 m<sup>3</sup> de água por 9 placas fotovoltaicas.

DESCRIÇÃO DO ITEM	VALOR EM (R\$)
Bombeamento (9 pl. x 0,27/m <sup>3</sup> ) p/ 10 anos	1.380,00
Irrigação (R\$5.000,00/ha: cx + sistema de irrigação). Duração 5 anos	1.000,00
<b>TOTAL POR HA</b>	<b>2.380,00</b>

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.2. Sistema Eólico

A seguir são apresentadas algumas observações referentes à energia eólica. Os valores de velocidade do vento, obtidos de 03 (três) leituras diárias, coletadas na estação agrometeorológica da UFSM (Tabela 5).

**Tabela 5** - Velocidade do vento a 10 metros de altura durante os meses de setembro a novembro de 2007.

SETEMBRO 2007			
DIA	9 H MS	15 H MS	21 H MS
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 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 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	Zero
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

Fonte: Estação Agrometeorológica da UFSM

Considerando as observações de velocidades do vento que indicam baixa velocidade (< 3m/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 é de aproximadamente 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 esta que é em função do desconto fornecido aos produtores rurais.

Os sistemas de bombeamento de água para irrigação, em funcionamento na Estação 1 (Canabarro) e Estação 2 (UFSM) são unidades que atendem a projetos de irrigação por energia elétrica.

Os custos de construção e implantação dos sistemas eólicos, bem como os de sistemas fotovoltaicos demonstram ser atrativos e compatíveis para pequenos projetos eólicos de irrigação, se comparados com os sistemas tradicionais elétricos, devido ao alto custo inicial destes últimos.

Na Estação 1 (Tabela 6) 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.

**Tabela 6** – 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

Fonte: Elaboração Própria

Pode-se observar na Tabela 7 uma intensidade menor do vento na Estação 2 devido a sua localização, onde os quatro quadrantes possuem “quebra ventos” de eucaliptos e pinos, afetando a intensidade do vento. Com isso o aproveitamento do vento nesta área é de aproximadamente 30%.

**Tabela 7** – 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

**Fonte:** Elaboração Própria

Dentre as possibilidades de melhorar o desempenho do equipamento, está a de aumentar o número de pás, como também o comprimento das mesmas; outra opção é levantar a altura da torre (cata-vento), pois assim aumentaria a velocidade e a intensidade do vento, conforme observado no aumento da velocidade de 1,4 m/s a 2 metros de altura na data 02/6/09 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 2, enquanto que, na Estação 1, com a mesma velocidade e intensidade 4, o volume bombeado foi de 180 l/h, representando um acréscimo de 250%. Na velocidade de 2,86 m/s e intensidade 2, na Estação 2, o volume bombeado é de 25,7 l/h, sendo que na Estação 1, 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 5.000m<sup>3</sup>/ha (500 mm) 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 esse problema, poderiam ser utilizados cata-ventos com maiores pás ou com maior altura. O custo destes 40 cata-ventos seria de aproximadamente R\$ 60.000,00, sendo que sua vida útil é de dez anos, o custo de

manutenção é de 10% e o custo anual seria de R\$ 1.200,00 (equipamento), mais R\$ 1.200,00 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 como para o cultivo da goiabeira, citado por Fronza et al. (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 aumentou em mais de 10 t/ha quando se fez o uso da irrigação sendo o preço mínimo de venda R\$ 2,00/ kg correspondendo a R\$ 20.000,00/ha (Fronza et al., 2008).

Para a Estação 2 seria necessário triplicar o número de 40 para 120 cata-ventos, com isso, 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. Provavelmente, 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: 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.

Verifica-se, na Tabela 8, que o bombeamento nos meses de maior necessidade de irrigação (Dez-Mar) foi de aproximadamente 750 m<sup>3</sup>/ha, ou seja, 75 mm complementares. Assim, o sistema forneceu somente 6m<sup>3</sup>/mês indicando a necessidade de 120 cata-ventos na Estação 1 e 240 cata-ventos na Estação 2 para o bombeamento de água de irrigação para o suprimento de 1 ha.

**Tabela 8** – Velocidade do vento ao longo de 12 meses nas 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
Maió/08	17	4080	1747,6
Junho/08	12	2880	1233,6
Julho/08	15	3600	1542
Agosto/08	20	4800	2056

**Fonte:** Elaboração Própria

Evidenciou-se, pelo caso estudado com energia fotovoltaica que esta demonstrou 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.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, verificou-se que o sistema fotovoltaico foi mais eficiente do que o sistema eólico no bombeamento de água para a irrigação em propriedades rurais.

A implantação destes sistemas simplificados é acessível aos agricultores familiares, devido ao baixo custo inicial de instalação. Dessa forma, leva-se a esses a possibilidade real de ganhos financeiros e agrícolas, assim como uma significativa melhoria ambiental e social. É importante 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, para que se possa deixar às gerações futuras um manancial subterrâneo para uso mais nobre.

Salienta-se que a turbina Savonius não foi considerada devido à baixa intensidade do vento, o que sugere um estudo mais aprofundado sobre este sistema de bombeamento.

Destaca-se que para o bom funcionamento do sistema eólico é importante realizar estudos sobre os aspectos construtivos de cata-ventos, no que diz respeito à utilização de diferentes tipos e números de pás, alturas distintas e uma avaliação do sistema mecânico/altura. Também, recomenda-se a construção de mapas detalhados de velocidade de vento em diferentes locais (avaliação *in loco*).

Cabe ressaltar que o apoio governamental para pesquisas envolvendo energia eólica e solar em pequenos módulos é essencial para beneficiar o pequeno produtor rural.

O apoio para o uso em maior escala de energia fotovoltaica favorecerá a produção industrial em série reduzindo, assim, o custo de produção.

#### REFERÊNCIAS

- Aldabó, R. **Energia Eólica**. São Paulo: Editora Artliber Ltda Brasil, 2002.
- Amarante do, O.; Schultz, D.; Bittencourt, R.; Rocha, N. **Deutsches Windenergie-Institut Magazin** 19, 79, 2001.
- Barlow, R.; McNelis, B.; Derrick, A. **Status and experience of solar PV pumping in developing countries**. In: 10<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. Lisboa, Portugal, 1991.
- Bruni, C.; Souza, L. Otimização de sistemas de bombeamento com energia eólica – sistema de bombeamento de São Gabriel/BA. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
- BTM Consult. **World Market Update 1999**, March 2000.
- Centro Brasileiro de Testes de Turbinas Eólicas – CBTTE, 2002. Disponível em: <http://www.ufpe.br/naper>. Acesso em: 8 mar. 2008.
- Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, 2007. **Alternativas Energéticas**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/Inovacao/AlternativasEnergeticas>. Acesso em: 8 mar. 2008.

- EPIA. **Photovoltaics in 2010**. In: Commission of the European Communities – Directorate General for Energy, Summary Report, 1996.
- 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. **Dissertação (Mestrado)** – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 1997.
- Fedrizzi, M. C. Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. **Tese (Doutorado)** – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2003.
- Filgueiras, A.; Silva, T. Renew. **Sustain. Energ.** Rev. 7, 439, 2003.
- Fronza, D; Schons, R. **Fundamentos de Irrigação e Drenagem**. Santa Maria: Apostila Didática. Colégio Politécnico da UFSM, 2008.
- Fronza, D.; Schons, R.; Carlesso, R.; Brackman, A.; Poerske, P. **Efeito da Fertirrigação na goiabeira Paluma**. IN: Congresso Nacional de Fruticultura, 2008.
- Fronza, D.; Schons, R.; Carlesso, R.; Brackman, A.; Poerske, P. **Produção de Figo de Mesa Roxo de Valinhos sob Fertirrigação**. IN: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2008.
- Geller, H. **Revolução Energética: Políticas para um Futuro Sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003.
- Goldemberg, J.; Villanueva L. D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 2003.
- Global Wind Energy Council. Global Wind Energy Outlook, 2006. Disponível em <http://www.gwec.net/index.php?id=65> . Acesso em 8 mar. 2008.
- Hulscher, W.; Frankel, P. **The power guide**. University of Twente, 2ª ed.,1994.
- Krauter, S. **Usos da energia eólica**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- Lorenzo, E.; Egido, M. A. **La tecnología europea de bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica frente al PRS-II**. Madri: Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, (*Draft*), 1999.
- Martins, F. R.; Guarnieri, R. A.; Pereira, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 30, nº1, São Paulo, 2008.
- Meléndez, T. A. F. Avaliação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2009.
- Renewable Energy World, 2005. Disponível em: <http://www.renewableenergyworld.com>. Acesso em: 20 abr. 2008.
- The World Health Organization - WHO. **The right to water**. Geneva: World Health Organization. Health and human rights publication series – 3, 2003.
- Windpower, 2000. Disponível em: <http://www.windpower.dk>. Acesso em: 20 abr. 2008.
- Wobben, 2005. Disponível em: <http://www.wobben.com.br/empresa1.htm>. Acesso em 15 mai. 2008.
- Zaffaran, M.; Lloyd, J. **Solar energy: a strategy for rural health and development**. In: 12<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdã, Holanda, 1994.