

Uma Análise do Panorama das Regiões Missões e Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul sob o Prisma da Energia Eólica e Solar Fotovoltaica como Fontes Alternativas de Energia

*An Analysis of the Panorama of Missions and Northwestern Regions of State Under RS Prisma Energy Wind and Solar Photovoltaic as Alternative Energy Sources*

*Un Análisis del Panorama de las Misiones y Regiones Noroeste de Estado en RS Prisma Energía Eólica y Solar Fotovoltaica como Fuente de Energia Alternativa*

José Carlos do Nascimento Dutra\*, Vilmar Antônio Boff\*\*,  
João Serafim Tusi da Silveira\*\*\* e Lucas Veiga Ávila\*\*\*\*

---

RESUMO

*Este artigo tem o objetivo de analisar a energia eólica e solar fotovoltaica como alternativas de diversificação energética para as pequenas propriedades rurais das Regiões Missões e Noroeste do Rio Grande do Sul. O estudo, coordenado pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), integrante da Rede Estadual de Extensão Tecnológica do SIBRATEC - Sistema Brasileiro de Tecnologia, busca contribuir com o programa no desenvolvimento da referida temática. Para isso, procurou-se obter conhecimentos sobre as formas de utilização de energias alternativas e sua aplicabilidade nas regiões pesquisadas, a partir do mapeamento espacial, do diagnóstico inicial dos potenciais eólicos e solares. Como resultado, verificou-se que nas regiões investigadas existe potencial para a geração de energia através de geradores*

---

\* Mestre em Desenvolvimento pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil. Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Santiago, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: dutra\_eng@hotmail.com

\*\* Doutor em Desenvolvimento Regional pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. Graduado em Ciências Contábeis pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: vboff@santoangelo.uri.br

\*\*\* Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: joaotusi@hotmail.com

\*\*\*\* Mestrando no Programa de Pós-graduação em Administração (PPGA) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. Graduação em Administração pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Santiago, Rio Grande do Sul, Brasil. Bolsista Proadm - Projeto MEES. E-mail: adm-lucasveiga@gmail.com

Artigo recebido em janeiro/2013 e aceito para publicação em abril/2013.

eólicos e painéis fotovoltaicos, inclusive com a possibilidade de se valer da complementariedade entre os dois sistemas, em períodos do ano favoráveis a um e desfavoráveis a outro sistema, e vice-versa.

*Palavras-chave:* Energia Eólica. Energia Solar Fotovoltaica. Potenciais de Geração. Regiões Missões e Noroeste/RS, Brasil.

#### ABSTRACT

*The aim of this article is to analyze wind and solar photovoltaic power as alternatives for energy diversification in small farms in the north-western and missions regions of the state of Rio Grande do Sul, Brazil, and consequently contribute to the development of this topic. This study was coordinated by the State University of Rio Grande do Sul - UERGS, a member of the State Technological Extension Network of the SIBRATEC - Brazilian Technology System. Knowledge on the ways in which alternative energies can be employed and their applicability in the study region was obtained by means of space mapping and initial diagnosis of wind and solar potential in these regions. Results showed that the study area has significant potential for power generation from the use of wind turbines and photovoltaic panels, and the capacity to exploit complementarity between both systems during periods that are favorable and unfavorable to each system.*

*Keywords:* Wind Power. Solar Photovoltaic Power. Generation Potential. Missions and Northwest Regions/RS, Brazil.

#### RESUMEN

*Este artículo tiene como objetivo analizar la energía eólica y la energía solar fotovoltaica y la diversificación energética alternativa para las pequeñas explotaciones y las misiones de las regiones del noroeste de Rio Grande do Sul. El estudio coordinado por la Universidad del Estado de Rio Grande do Sul - UERGS, miembro de la Red Estatal SIBRATEC Extensión Tecnológica - sistema Brasileño de Tecnología, tiene como objetivo contribuir con el programa, el desarrollo de ese tema. Para ello, hemos tratado de adquirir conocimientos sobre formas de utilizar energías alternativas y su aplicabilidad en las regiones encuestadas, desde el mapeo espacial, el diagnóstico inicial del potencial eólico y solar y la profundización de estas formas independientes de generación de energía y la minimización su impacto ambiental. Como resultado se encontró que las áreas investigadas existe potencial para la generación de energía a través de generadores de viento y paneles fotovoltaicos, incluyendo la capacidad de tomar ventaja de la complementariedad entre los dos sistemas, en los períodos del año a un favorable y desfavorable a otro sistema y viceversa.*

*Palabras clave:* Energía Eólica. Energía Solar Fotovoltaica. Generación Potencial. Misiones y las regiones del Noroeste / RS, Brasil.

## INTRODUÇÃO

As tecnologias de exploração de energias renováveis são reconhecidas cada vez mais como alternativas para o desenvolvimento rural sustentável. Estas tecnologias suscitam um interesse cada vez maior, não só devido às vantagens ecológicas e sociais que oferecem, mas também pelas possibilidades de maior rentabilidade e independência energética aos produtores rurais.

Nos últimos anos, o preço do petróleo atingiu níveis recordes, ocasionando grandes efeitos em cadeia na economia global e no preço dos alimentos. Fertilizantes e pesticidas são produzidos com óleo, e as operações de exploração, como a preparação da terra e da colheita, dependem dele. Com isso, a alta do petróleo aumentou consideravelmente os custos de produção de alimentos nos países industrializados.

Para os agricultores com pequena escala de produção, o aumento dos custos dos insumos derivados do petróleo, utilizados na agricultura, colocou-os sob pressão crescente. A maioria dos esforços dos pequenos agricultores para aumentar a produção depende do uso de insumos químicos ou do investimento em tecnologias, como a irrigação. A disponibilidade de energia é um fator chave para os agricultores que desejam expandir suas atividades agrícolas ou agregar valor às suas colheitas, via processamento de seus produtos. Consequentemente, em suas agendas caberia a propensão de avaliar a adoção de sistemas de produção não dependentes de combustíveis fósseis, mas de fontes renováveis.

A utilização de energias renováveis em sistemas agrícolas proporciona vários benefícios, como a diminuição do custo de produção, o melhor aproveitamento dos recursos da propriedade e, principalmente, a preservação ambiental e a produção de alimentos de forma sustentável.

As energias renováveis geram quilovates para bombeamento de água para irrigação, abastecimento de bebedouros, iluminação de instalações agrícolas e operações de processamento de alimentos para uso doméstico etc. Utilizando a energia solar, a energia eólica e outras formas renováveis, consegue-se explorar com maior rentabilidade os recursos da propriedade rural, sem qualquer dano ao meio ambiente.

O emprego de energias renováveis para fins agrícolas ainda é raro no Brasil, embora os preços do petróleo e da energia elétrica convencional sejam relativamente altos. Porém, prevê-se que a busca por emancipação energética, via utilização de fontes renováveis, atraia decisivamente os agricultores. Além dos benefícios já mencionados, eles acresceriam mais uma fonte de renda oriunda da comercialização dos quilovates excedentes.

Nesse contexto, o presente estudo vai ao encontro de uma das redes temáticas previstas no programa SIBRATEC - Sistema Brasileiro de Tecnologia, da Energia Solar Fotovoltaica e também do aproveitamento da energia cinética dos ventos como pequenas fontes alternativas de energia elétrica. Seu foco central é o desenvolvimento científico-tecnológico de inovações, visando à otimização de produtos e sobretudo processos que solucionem gargalos tecnológicos existentes, para um melhor

aproveitamento dos recursos energéticos de pequenas e abundantes fontes alternativas renováveis, com o mínimo impacto ambiental.

Suas ações inserem-se nas atividades da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS) em parceria com o SIBRATEC/RS, o qual congrega um bom número de instituições especializadas na extensão tecnológica. Essas entidades, além da UERGS, no estado, são: Instituto Euvaldo Lodi (IEL); Secretaria da Ciência, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico (SCT); Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC); Instituto de Tecnologia do Couro, Calçados e Artefatos (IBTEC); Centro de Educação Tecnológica (CEFET/Pelotas); Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC/RS); Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS); Secretaria do Desenvolvimento e dos Assuntos Internacionais (SEDAI/RS); Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE/RS). Está vinculado, também, ao grupo de pesquisa Estudos Setoriais em Administração, Desenvolvimento e Integração Regional (ESADIR), da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus de Santo Ângelo, Rio Grande do Sul.

O estudo tem como objetivo principal analisar a energia eólica e solar fotovoltaica como alternativa de diversificação energética para pequenas propriedades rurais das Regiões Missões e Noroeste do Rio Grande do Sul. Seu escopo inclui o diagnóstico inicial sobre o potencial regional de geração de energia solar e eólica, na perspectiva de habilitação para estudos mais aprofundados e precisos, qualificadores para implantação dos sistemas.

Nessas condições, os resultados obtidos configuram os esforços dos pesquisadores para se familiarizarem com a temática e fornecer importantes subsídios para estudos específicos de sistemas isolados de produção de energia, tais como o estabelecimento de parâmetros confiáveis, por intermédio da similaridade com estudos já realizados e validados. A Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ) e a UERGS vêm realizando estudos sobre alocação de torres anemométricas, porém em âmbito local. A pesquisa aqui relatada abrange a análise em diferentes regiões e um aporte global.

## 1 ASPECTOS CONCEITUAIS

Ao longo de sua história, o homem fez uso de diferentes fontes de energia, começando com a energia mecânica, resultante do trabalho de animais domesticados. Depois de alguns milênios, a energia hidráulica dos rios e a eólica passaram a ser utilizadas. Mas somente há três séculos, com o vertiginoso processo de industrialização e a necessidade de fontes com maior densidade energética, o homem passou a utilizar o carvão mineral. Isso significou o fim da era da energia renovável e o início daquela referente à energia não renovável, chamada de era dos “combustíveis fósseis” (SILVA *et al.*, 2003).

Desde então, a utilização de fontes não renováveis para geração de energia vem predominando e provocando preocupantes impactos ambientais, cujas manifestações vêm sendo comprovadas pelos cientistas e sentidas pelas populações mundiais.

A geração de energia parecia apenas um problema a mais para a humanidade há alguns anos, porém com a produção de “bens” com mais consumidores de energia o problema tomou proporções dramáticas, acelerando a destruição do ambiente de uma forma invisível, inegável e generalizada, mesmo para os poucos observadores do dia a dia (FARRET, 2010, p.11).

A degradação socioambiental provocada pela utilização indiscriminada de combustíveis não renováveis na “produção de riquezas” é evidente, provocando mudanças climáticas que afetam negativamente, de diversas formas, as condições de vida no planeta, causando sérios desequilíbrios no ecossistema. Não há mais como negar, não ver ou deixar para os outros resolverem tamanha ameaça ao planeta (FARRET, 2010).

É de extrema importância a questão energética, no que diz respeito à qualidade de vida da sociedade. O desenvolvimento de um estado ou país está diretamente relacionado com o aumento do consumo de energia, pois quando se produz mais se utiliza mais energia, e quando se verifica elevação nos padrões de vida ocorre também elevação no consumo.

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 esse aumento no consumo (NOGUEIRA, 2009, p.19).

Com o aumento da demanda e a dependência por combustíveis fósseis, como os derivados do petróleo, surge o interesse por soluções sustentáveis de geração de energia, originárias de fontes limpas e renováveis (SACHS, 2005).

Em decorrência da expansão do desenvolvimento, cresce o consumo de bens, serviços e principalmente de alimentos de origem agrícola e animal, cada vez mais demandantes de tecnologias direcionadas ao aproveitamento dos recursos naturais de forma sustentável.

A atividade econômica, o meio ambiente e o bem-estar da sociedade formam o tripé básico no qual se apoia a ideia de desenvolvimento sustentável. Por seu turno, o desenvolvimento rural está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e seus efeitos diretos e indiretos sobre a renda dos agricultores (BREITENBACH; BARÉA, 2006).

O desenvolvimento, não raro, é erroneamente confundido com crescimento econômico, o qual desconsidera o equilíbrio ambiental necessário à sustentabilidade, pois o meio ambiente e conseqüentemente o bem-estar social são invariavelmente desconsiderados, redundando na produção a qualquer custo, ou seja, ao custo da degradação socioambiental.

os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa, e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É preciso mudar

esses padrões estimulando as energias renováveis, e, nesse sentido, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p.1).

O Brasil é conhecido internacionalmente por seu grande potencial hidrelétrico, mas outras formas de energia, como a solar e a eólica, também se apresentam como viáveis e podem ser usadas como fontes alternativas. “O Brasil possui uma forte base hidráulica em sua matriz energética, contudo o estímulo a outras fontes ‘modernas’ de energias renováveis é ainda bastante incipiente, comparado à média mundial” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p.8).

Todavia, existem alternativas independentes que permitem a geração de energias limpas, com mínimo impacto ambiental, de forma isolada. Mesmo que seu custo inicial seja considerado elevado, suas possibilidades e perspectivas são deveras promissoras, em médio e longo prazos.

De acordo com Nogueira (2009), os custos de aquisição, instalação e operação de um cata-vento típico e de um sistema fotovoltaico, bem como sua manutenção, são ressarcidos em menos de um ano, a contar da entrada em funcionamento. Isso evidencia uma grande atratividade, sobretudo no território nacional, devido ao significativo potencial eólico e solar do País, em função de sua dimensão e localização geográfica.

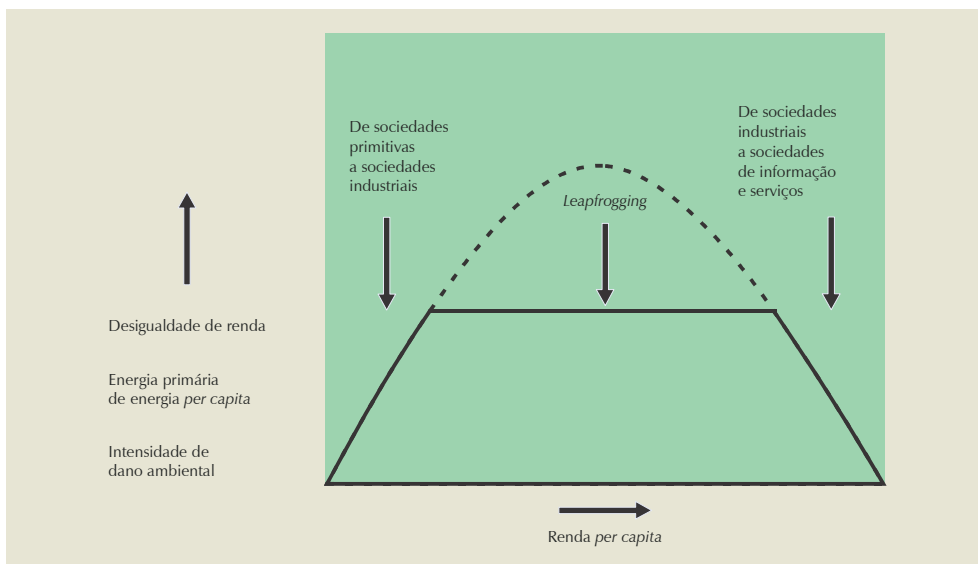
Conforme Dutra (2001, p.124),

o Brasil apresenta importantes características naturais que justificam novos projetos nessa área, sendo uma excelente oportunidade de se pensar em fontes ecologicamente corretas com baixos impactos ambientais no contexto da geração e distribuição de energia no Brasil. Cada vez mais, profissionais, estudantes e pesquisadores de diversas entidades como universidades, centros de pesquisa, empresas de consultoria, empresas do setor elétrico, entre outros, têm se preocupado com o futuro da energia eólica no Brasil. O estudo do desempenho de projetos pilotos já instalados no Brasil tem mostrado resultados satisfatórios, fortalecendo novos estudos e pesquisas em energia eólica em diversas regiões do país.

No Brasil, o consumo de energia *per capita* ainda é pequeno. Por isso, as medidas de eficiência energética não têm tanto impacto como na Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). No entanto, nada impede que o uso de tecnologias modernas e eficientes seja introduzido no processo de desenvolvimento. “Esse é o chamado efeito *leapfrogging* (figura 1), que se contrapõe ao argumento de que, para haver desenvolvimento, é preciso que ocorram impactos ambientais.” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p.16).

O desenvolvimento de países hoje considerados potências econômicas foi baseado no aproveitamento de recursos naturais disponíveis, sem preocupação com a sustentabilidade e a degradação ambiental decorrente. O resultado disso foi o elevadíssimo custo da prosperidade econômica, imposto a toda a humanidade, direta ou indiretamente.

FIGURA 1 - A CURVA DE KUZNETS PARA OS IMPACTOS AMBIENTAIS E ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO



FONTE: Goldemberg e Lucon (2007, p.18)

É possível haver desenvolvimento de forma sustentável, sem a diminuição do consumo de energia, a partir do melhor aproveitamento das energias renováveis disponíveis, como a solar e a eólica. “A eficiência energética é, sem dúvida, a maneira mais efetiva de ao mesmo tempo reduzir os custos e os impactos ambientais locais e globais.” (GOLDEMBERG; LUCON, 2007, p.18).

Sobre a geração de empregos, apesar de não ser a fonte energética que mais gera empregos, o desenvolvimento de indústrias locais para o fornecimento de turbinas eólicas e de painéis fotovoltaicos pode ser realizado a partir da adoção de políticas de longo prazo (DUTRA, 2007).

O Brasil é privilegiado no seu potencial energético solar, o qual gira em torno de 2.500 MW. Isto é cinco vezes maior do que o dos Estados Unidos e substancialmente maior do que o dos países do primeiro mundo, configurando amplas possibilidades de aproveitamento da energia solar (FARRET, 2010). Dentre as fontes de energias renováveis, a energia solar destaca-se pelas seguintes características: é autônoma, não polui o meio ambiente, é uma fonte inesgotável, renovável e oferece grande confiabilidade.

Para o aproveitamento da energia solar precisa-se conhecer a radiação e a insolação locais, nos horários em que ocorrem. A radiação é medida por meio de pirômetros que registram a energia e a incidência sobre o hemisfério celeste. Já, a insolação é mensurada por meio de heliógrafos, que determinam a duração da radiação direta em períodos considerados benéficos (CRUZ, 2009).



## 2 METODOLOGIA

Este estudo fundamenta-se em diferentes fontes bibliográficas, principalmente em: dados disponibilizados pelas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas em municípios das regiões abrangidas pela pesquisa; contatos e entrevistas com pesquisadores de universidades, como a PUC/RS e a UFSM, sobre contribuições de interesse, contidas nas pesquisas concluídas e nas pesquisas em andamento; e fóruns e exposições, como o ERACS - Energias Renováveis e Alternativas no Cone Sul, especialmente na busca de informações técnicas sobre os potenciais no que diz respeito à utilização de energia eólica e solar.

O trabalho foi desenvolvido em três fases. Na primeira, realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre projetos similares e documentos disponibilizados no Atlas Solares e Eólicos. A segunda fase foi executada junto às bases de dados dos programas de pós-graduação, incluindo dissertações e teses, especialmente para confirmar a exatidão das reais incidências e seus pontos fortes nas regiões pesquisadas. Já, na fase derradeira, obteve-se, junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), um conjunto de dados sobre as medições atmosféricas nas estações de interesse, nos últimos quatro anos. Com estes dados efetuou-se a interpretação individual local, bem como a análise integrada entre as estações, conseguindo-se uma boa visualização do potencial regional, a qual constitui o foco da pesquisa.

Os parâmetros produzidos em todo este processo de investigação foram suficientes para suportar os requerimentos da pesquisa, em se tratando de sistemas isolados e de pequeno porte. No caso de grandes parques solares e principalmente eólicos, a avaliação do potencial para a viabilidade de implantação deve fundamentar-se em dados registrados por torres anemométricas durante um período mínimo de dois anos, pois existe significativa variação no potencial, dependendo de fenômenos climáticos transitórios e da localização das torres.

## 3 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS DADOS E PARÂMETROS LEVANTADOS

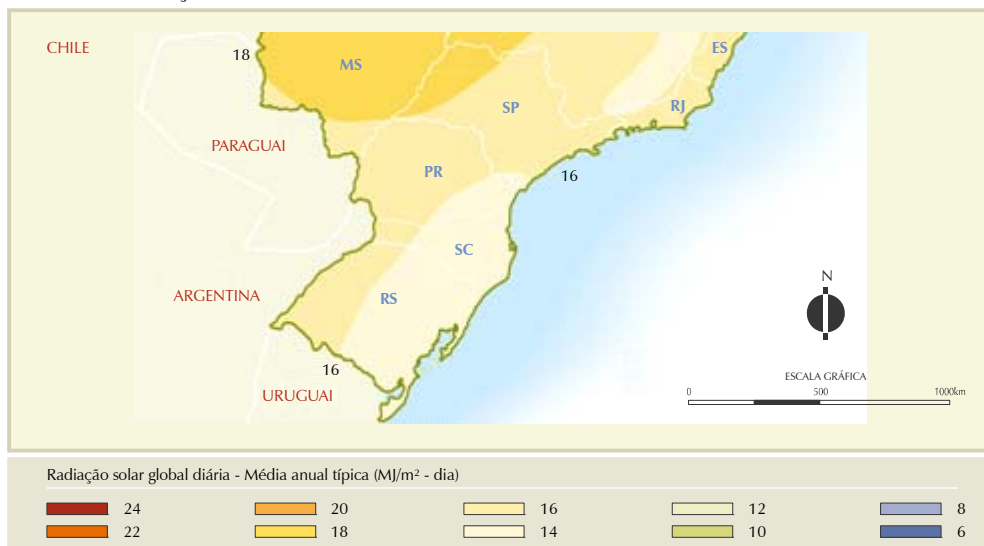
No que concerne à radiação solar, as regiões Missões e Noroeste do Rio Grande do Sul registram apontamentos globais diários (média anual), que variam entre 14 e 16 MJ/m<sup>2</sup>. dia, conforme a localização geográfica, além das condições climáticas e atmosféricas (figura 2).

Para a base de dados de radiação solar no Rio Grande do Sul (figura 3), Pianezzola (2006) realizou uma análise da irradiação solar utilizando o chamado *modelo isotrópico*, no qual considerou a inclinação do módulo fotovoltaico de 45° (CRUZ, 2009).

Pela análise da figura 3 obtém-se uma melhor visualização da radiação solar, especificando com maior exatidão a real irradiação que incide sobre o estado, mas que, de uma forma geral, não demonstra grande variação quando comparada com a do Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, 2000).

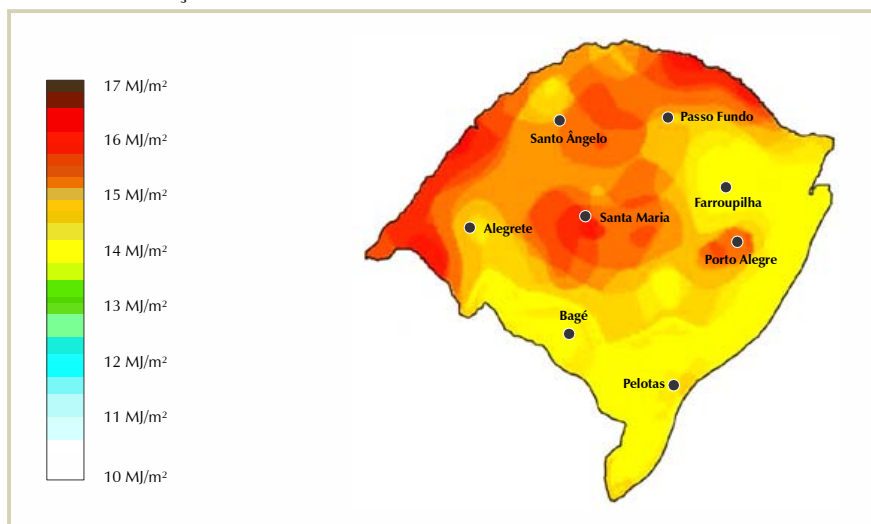


FIGURA 2 - RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA - MÉDIA ANUAL TÍPICA



FONTE: Adaptado do ATLAS Solarimétrico do Brasil (2000)

FIGURA 3 - RADIAÇÃO SOLAR INCLINADA A 45° ANUAL



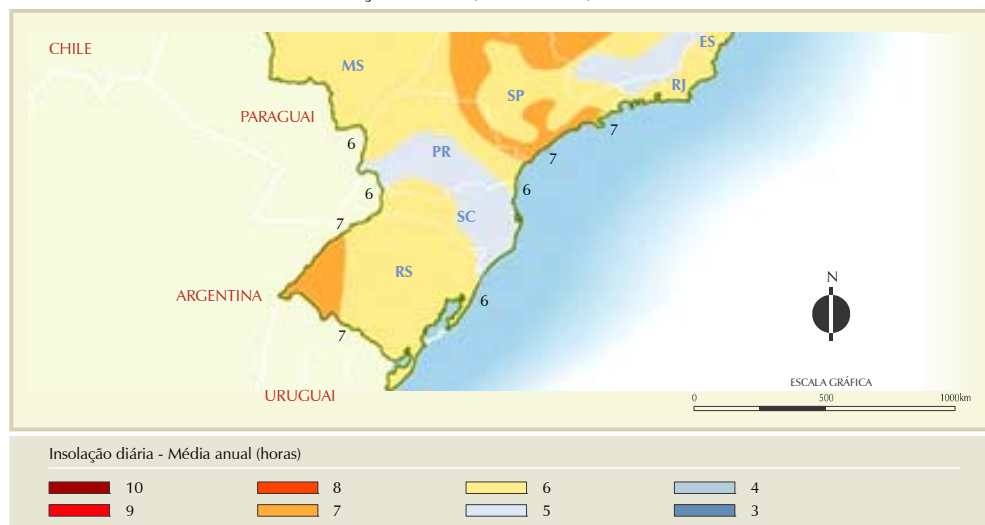
FONTE: Pianezzola (2006, p.59)

Para a obtenção de dados sobre a insolação, foram utilizadas, além do Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, 2000), outras bibliografias, como os dados do INMET (2011). Observa-se, na figura 4, que praticamente todo o estado, inclusive a região foco da pesquisa, possui uma radiação diária entre 6 e 7 horas.

Em complementação, lançou-se mão, junto ao Instituto Nacional de Meteorologia, de dados diários e médios mensais de quatro anos anteriores (2007-2010 até julho de 2011). Estes dados compreendem horas diárias de insolação total, oriundas

de estações meteorológicas de duas cidades localizadas nas regiões foco do estudo: a cidade de Cruz Alta - RS, localizada a uma altitude de 472,50 m, com latitude de 28° 38' 00" S e longitude de 53°36'00" W, e a de São Luiz Gonzaga-RS, localizada a uma altitude de 245,11 m, com latitude de 28° 24' 00" S e longitude de 55°01'00" W.

FIGURA 4 - MÉDIA ANUAL DE INSOLAÇÃO DIÁRIA, EM HORAS, NO BRASIL



FONTE: Adaptado do ATLAS Solarimétrico do Brasil (2000)

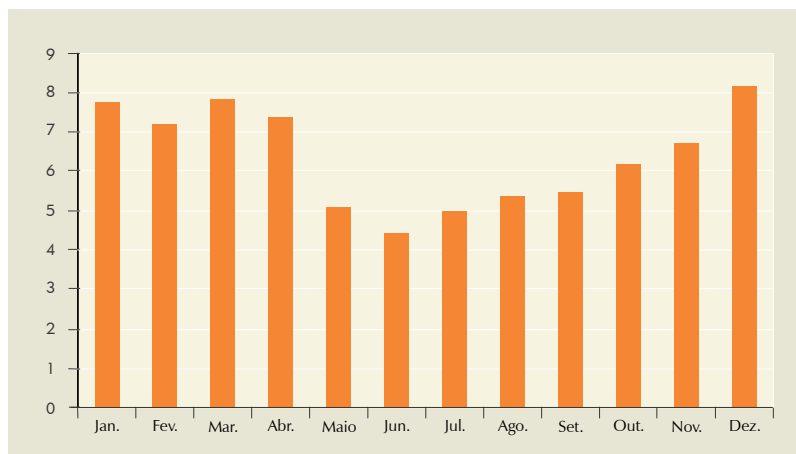
Na elaboração do gráfico 1, numa perspectiva da insolação média mensal da região nos últimos quatro anos, empregou-se a média simples da insolação (média mensal de jun. 2007-jun. 2011). Com isso, estimou-se uma insolação mais precisa que a de apenas em um ano, a qual estaria sujeita a maior imprecisão devido a fatores climáticos variáveis. Observa-se, no gráfico, uma baixa variação entre as estações instaladas nos diferentes municípios. Dadas as proporções consideradas no estudo, somaram-se as médias finais mensais das estações e considerou-se a média das mesmas.

O gráfico evidencia uma insolação mínima no mês de junho de 4,4125 horas diárias e uma máxima no mês de dezembro de 8,15 horas diárias, com uma média anual de insolação diária de 6,3958 horas. Estes dados corroboram os dados apresentados na figura 4.

As horas de insolação anual média de 2007 a 2010, considerando as duas estações meteorológicas, totalizam 2.348,038 horas “de sol”, durante os doze meses do ano.

Para transformar energia solar em energia elétrica utilizam-se sistemas fotovoltaicos, cujas placas foram importadas por muitos anos, pois no Brasil ainda não existia a produção para comercialização de células FV nacionais. No entanto, a PUC/RS já desenvolveu as primeiras placas FV com tecnologia nacional e algumas empresas começaram a produzi-las nos últimos anos.

GRÁFICO 1 - MÉDIA MENSAL DA INSOLAÇÃO DIÁRIA EM HORAS, NOS MUNICÍPIOS DE CRUZ ALTA E SÃO LUIZ GONZAGA - RIO GRANDE DO SUL



FONTE: Adaptado de INMET (2011)

Pode-se classificar os Sistemas Fotovoltaicos (FV) em três categorias principais: isolados, híbridos e conectados à rede. Os sistemas isolados puros são formados por gerador FV, controlador de carga, baterias e inversor.

Os sistemas FV conectados à rede são formados basicamente por gerador FV e inversor. Não existe um elemento de armazenamento de energia, pois a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador (RUTHER; URBANETZ JUNIOR; SANTOS, 2008).

Conforme Cruz (2009), o módulo fotovoltaico é a unidade básica do sistema, composto por células fotovoltaicas conectadas em série ou em paralelo. A face do módulo é coberta por um material transparente, podendo ser de vidro temperado, plástico ou resina de silicone. Os lados restantes são cobertos com materiais planos que oferecem proteção para os módulos. Por fim, é instalada uma estrutura metálica, normalmente composta por alumínio anodizado.

O sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica é também composto por controlador de carga, baterias (quando isoladas e não interligadas com a rede), onde se armazena a energia produzida, inversor de corrente, que transforma a corrente contínua de 12; 24, ou 48V produzida pelos painéis FV, em corrente alternada de até 230V.

A eletricidade gerada pela luz solar causa baixo impacto ambiental, o qual se restringe à matéria-prima necessária para a construção dos painéis fotovoltaicos.

Os impactos ambientais mais importantes causados pela geração de energia elétrica, a partir da energia solar, ocorrem nas fases de produção, construção e desmantelamento dos sistemas. Na construção de células fotovoltaicas utilizam-se diversos materiais perigosos para o ambiente e a saúde, sendo consumida uma quantidade apreciável de energia, a qual está ligada à emissão de poluentes atmosféricos, nomeadamente de gases de estufa. Alguns tipos de células (por exemplo, CdTe e CIS) utilizam matérias-primas raras, o que, em caso de fabricação em grande escala,

pode contribuir para a depleção de recursos naturais. São ainda produzidos resíduos sólidos, alguns dos quais perigosos, requerendo manuseamento e deposição controlados (FULGÊNCIO, 2010).

É importante que se conheçam também os impactos ambientais que podem ser causados com a produção em massa dessas tecnologias, pois, mesmo que mínimos, eles existem e devem ser considerados. Evidentemente que quando se trata de sistemas isolados de pequeno porte, e como complemento energético para pequenas propriedades rurais, os impactos são praticamente nulos, mas não devem ser ignorados na elaboração dos projetos.

A magnitude dos impactos socioambientais associados à implementação deste tipo de sistema depende de fatores como a sua dimensão, eficiência e natureza da área de implantação. Um dos principais impactos da instalação de grandes parques fotovoltaicos resulta da ocupação do solo, das alterações causadas aos ecossistemas presentes e à paisagem em termos visuais. Os sistemas de pequena dimensão, sobretudo quando instalados em telhados ou fachadas, têm impactos visuais reduzidos (FULGÊNCIO, 2010).

Outra importante fonte de energia elétrica de baixo impacto ambiental é a energia eólica, que, do mesmo modo que a energia solar FV, possui um custo inicial de implantação considerado elevado do ponto de vista econômico, mas impreterivelmente um custo ambiental quase inexistente, se comparado a outras formas de geração de energia convencional.

Denomina-se energia eólica a energia que é obtida do movimento das massas de ar, sendo também denominada energia cinética ou energia do vento. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação, em energia cinética de rotação de determinadas peças móveis, denominadas turbinas eólicas ou aerogeradores (NOGUEIRA, 2009). O desenvolvimento da energia eólica no Brasil tem sido vertiginoso, em particular nos Estados do Rio Grande do Sul e do Ceará, respectivamente os maiores produtores do País (FARRET, 2010).

Mas este quadro está em constante mudança, segundo o diretor do Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia do Rio Grande do Norte, Jean Paul Prates, em entrevista para o *Diário de Natal*, Rio Grande do Norte, o estado líder na produção de energia eólica, em 12 de julho de 2011: “O Ceará está em segundo lugar. Passamos o Ceará no ano passado e hoje o Rio Grande do Norte é o maior polo de energia eólica do País. Isso é uma realidade”, declarou (SINDICATO PATRONAL DE LAJES, 2011).

Segundo Farret (2010), as turbinas eólicas são máquinas que extraem energia dos ventos, transformando a energia cinética em energia mecânica, a qual pode ser usada diretamente como tal ou transformada em energia elétrica, tanto para uso imediato como para armazenamento. Para ser transformada em energia elétrica, precisa-se, além das turbinas, de equipamentos adicionais, como: sistema de alinhamento, torre de sustentação, sistema de controle de tensão e frequência, transformadores, rede elétrica de distribuição, sistema de proteção contra anomalias de funcionamento (sobrecarga, sobretensão etc.).

Existem vários tipos de rotores na geração de energia eólica, podendo ser classificados em rotores de eixo vertical e de eixo horizontal. Segundo Nogueira (2009), os rotores de eixos verticais têm a vantagem de não precisarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento.

A energia eólica tem se desenvolvido acima das expectativas no Brasil e, embora gradualmente e muito aquém de outros países como os Estados Unidos e a Alemanha, já é reconhecida pelos brasileiros como uma fonte potencial importante e segura para a produção energética.

O vento é um recurso natural e abundante no Estado do Rio Grande do Sul. O potencial de geração poderá ser aproveitado gradualmente, nos limites técnicos de inserção da capacidade eólica no sistema elétrico regional, alavancando o crescimento econômico e a autossustentabilidade energética do estado. Os ventos sobre o Estado do Rio Grande do Sul são suficientes para ajudar a suprir a demanda energética para o bem-estar e o desenvolvimento econômico de muitas gerações (AMARANTE; SILVA, 2002).

Conhecer a intensidade do vento é de extrema importância quando se pretende instalar turbinas eólicas, porque ela é variável de acordo com diversos fatores, tais como região e topografia, sendo que as regiões costeiras, serras e descampados são locais preferenciais para a geração de energia eólica.

A variação do vento tem relação direta com a variação do clima da região. No Rio Grande do Sul, o verão caracteriza-se por estação de pouco vento e o inverno como estação de ocorrência de ventos mais fortes. Períodos em que a velocidade do vento atinge valores inferiores a 3 m/s denominam-se “períodos de calmaria”, e as potências tornam-se muito baixas para extração de energia (FARRET, 2010).

É de extrema importância que antes da implantação de sistemas eólicos de geração de energia seja feito um estudo sobre a velocidade do vento no local, considerando as suas variações anuais, que dependem de fatores físicos, geológicos e aspectos climáticos.

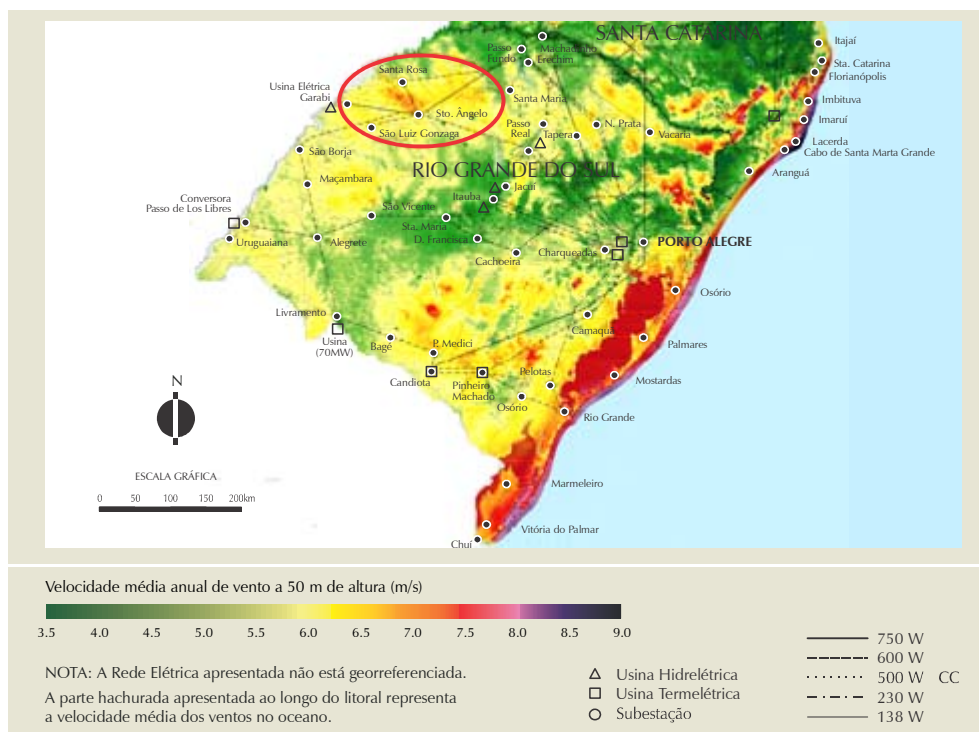
Conforme Dutra (2009), a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias. Os procedimentos para avaliar o local no qual se deseja instalar aerogeradores devem levar em conta todos os parâmetros regionais que influenciam nas condições do vento. Entre os principais fatores de influência no regime dos ventos, destacam-se: a variação da velocidade com a altura; a rugosidade do terreno, caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções; a presença de obstáculos nas redondezas; e o relevo, que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

As informações necessárias para o levantamento das condições regionais podem ser obtidas a partir de mapas topográficos, de uma visita ao local de interesse para avaliar, modelar a rugosidade e os obstáculos. O uso de imagens aéreas e dados de satélite também contribui para uma análise mais adequada (DUTRA, 2009).

Na figura 5, apresenta-se um mapa preliminar de ventos no País, gerado a partir de simulações computacionais com modelos atmosféricos. Essas simulações são

apresentadas em mapas temáticos, que representam os regimes médios de vento e fluxos de potência eólica na altura de 50 m, na resolução horizontal de 1 km x 1 km, para todo o País (AMARANTE, 2001).

FIGURA 5 - VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DO VENTO A 50 M DE ALTURA NO RIO GRANDE DO SUL



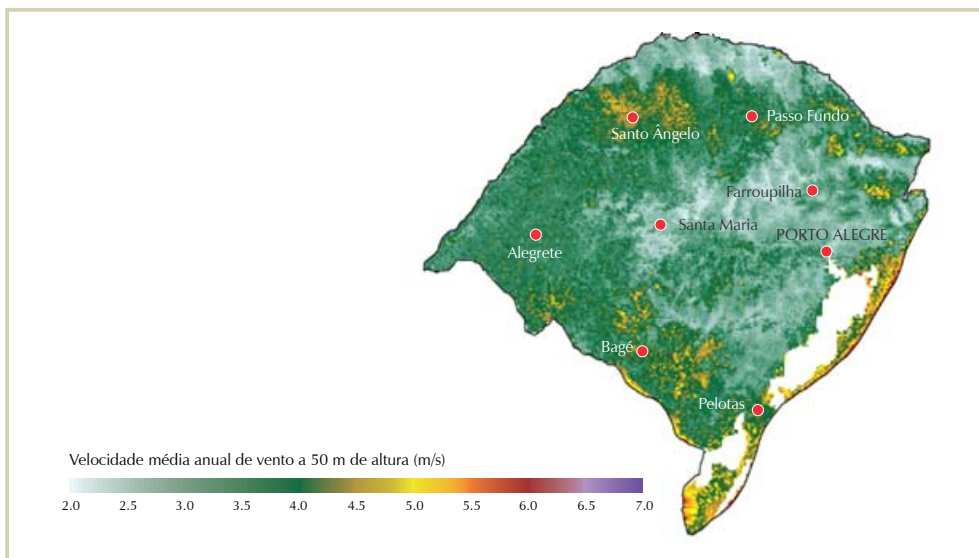
FONTE: Adaptado de CRESEB (2001)

Observa-se, na figura 5, que outras regiões além das costeiras possuem potencial para produção de energia eólica, destacando-se também as regiões Missões e Noroeste. O diagnóstico da Secretaria de Energia, Minas e Comunicações (SEMC) e do atlas eólico do Rio Grande do Sul (PIANEZZOLA, 2006) destaca a região do planalto das Missões “com ventos médios anuais próximos de 7 m/s nas maiores elevações, indicando como cidades potenciais centros de consumo as de Ijuí, Santo Ângelo, Santa Rosa e Palmeiras das Missões”.

A velocidade de 7 m/s refere-se à altura de 50 m, sendo que a velocidade média anual do vento no estado é menor, quando ajustada para 10 m de altura. Em grandes fazendas eólicas as turbinas podem chegar a mais de 100 m de altura, mas quando em sistemas isolados, mais simples e de menor custo, elas geralmente são de alturas inferiores. Igualmente, apresenta-se o potencial eólico “corrigido” para 10 m de altura.

Na figura 6, percebe-se a ocorrência de uma diminuição da intensidade do vento em alturas inferiores, mas ainda pode-se observar que as regiões das Missões e Noroeste possuem potencial eólico em locais específicos.

FIGURA 6 - VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DO VENTO A 10 M DE ALTURA NO RIO GRANDE DO SUL



FONTE: Pianezzola (2006, p.64)

A figura demonstra a velocidade do vento a 10 m de altura estimada a partir dos valores da velocidade a 50 m, obtida do mapa anual das quatro estações do ano e da rugosidade proveniente do atlas eólico do Rio Grande do Sul (PIANEZZOLA, 2006).

Esta abordagem tem maior representatividade quando o objetivo é a implementação de sistemas eólicos isolados de pequeno porte, ou seja, empreendidos por produtores rurais caracterizados como da agricultura familiar. De outro lado, para obter-se informações prévias para a implantação de grandes parques eólicos é preciso considerar alturas elevadas de 100 m ou mais.

Identifica-se, na figura 6, que nas regiões estudadas e, principalmente, nas Missões, existem pontos satisfatórios em que a velocidade do vento ultrapassa 5 m/s, mas ainda assim o potencial eólico a 10 m diminui consideravelmente, em relação ao identificado a 50 m no atlas eólico.

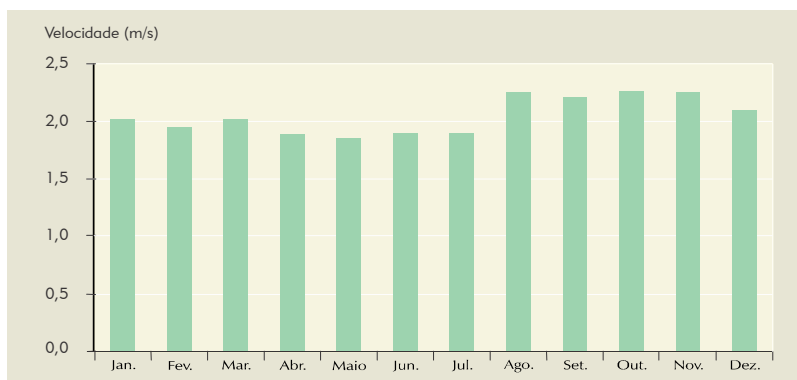
Deve-se considerar também que os levantamentos eólicos a partir de mensurações baseadas em medidas a 10 metros de altura, que é o padrão de estações meteorológicas (por exemplo, INMET), podem dissimular o potencial devido à influência da rugosidade da superfície e de obstáculos próximos aos pontos de medição. Portanto, esses levantamentos não são necessariamente representativos das áreas geográficas, para fins de instalação de equipamentos de conversão de energia (MARQUES *et al.*, 2010).

As estações meteorológicas do INMET de Cruz Alta e São Luiz Gonzaga possuem uma distância em linha reta de aproximadamente 141 km, mas já apresentam variações significativas nas respectivas médias mensais simples das velocidades do vento, considerando o período de 2007 a 2010.



As velocidades médias do vento em Cruz Alta (gráfico 2) variam entre a mínima de 1,85 m/s, no mês de maio, e a máxima de 2,25 m/s, nos meses de outubro e novembro, demonstrando um baixo potencial, sobretudo nos meses de abril, maio, junho e julho. Embora a velocidade indicada para produção de energia eólica se inicie em 3 m/s, há que se admitir que a altura e a localização das estações influenciam sobremaneira. Por isso, consideram-se estes dados como preliminares, destacando a necessidade de avaliações mais específicas para cada localidade.

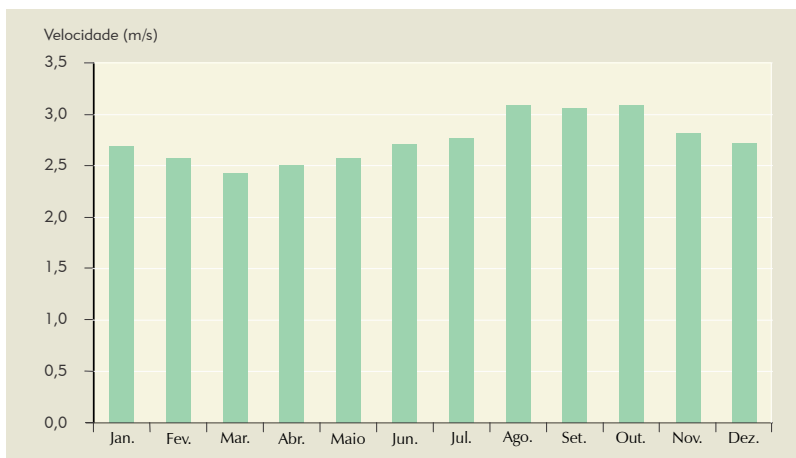
GRÁFICO 2 - VELOCIDADES MÉDIAS MENSAIS DO VENTO EM CRUZ ALTA - RIO GRANDE DO SUL



FONTE: Adaptado de INMET (2011)

Já, a estação localizada em São Luiz Gonzaga (gráfico 3) apresenta um potencial eólico mais elevado que a de Cruz Alta, registrando uma velocidade mínima mais elevada do que a máxima desta última estação, o que representa uma diferença importante na geração de energia eólica.

GRÁFICO 3 - VELOCIDADES MÉDIAS MENSAIS DO VENTO EM SÃO LUIZ GONZAGA - RIO GRANDE DO SUL



FONTE: Adaptado de INMET (2011)

As velocidades médias do vento em São Luiz Gonzaga variam entre a mínima de 2,425 m/s, no mês de março, e a máxima de 3,075 m/s, nos meses de agosto e outubro, sendo os meses de março, abril e maio os menos favoráveis. Essas velocidades são bastante animadoras, sobretudo porque as cidades da região apontadas como potenciais no diagnóstico da Secretaria de Energia, Minas e Comunicações (SEMC), no atlas eólico do Rio Grande do Sul, são Ijuí, Santo Ângelo, Santa Rosa e Palmeira das Missões.

Nas figuras 5 e 6, respectivamente, verifica-se o potencial eólico nas regiões focos do estudo no Atlas (50 m) e no trabalho de Pianezzola (10 m), com evidência da existência de áreas potenciais, porém fragmentadas dentro das regiões, o que justifica estudos mais detalhados através de torres anemométricas. Mas, já é possível constatar a existência de locais propícios à utilização de geradores eólicos para geração de energia elétrica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo apresentou-se e avaliou-se o primeiro conjunto de dados e informações sistematizadas sobre o potencial eólico e solar das regiões Missões e Noroeste do Rio Grande do Sul, de conformidade com os trabalhos propostos no projeto SIBRATEC/UERGS, que visam ao desenvolvimento e aplicação de processos tecnológicos promotores de melhorias no aproveitamento e diversificação energética associada à preservação ambiental.

Os resultados obtidos não são definitivos, porém deveras animadores. Verifica-se que há nas áreas pesquisadas no Atlas Eólico (a 50 m) e no trabalho de Pianezzola (2006), a 10 m, evidências da existência de áreas com potenciais eólicos aproveitáveis, porém fragmentadas dentro das regiões, o que justificaria estudos futuros mais detalhados através de torres anemométricas. Mas, já é possível constatar a existência de locais propícios à utilização de geradores eólicos para geração de energia elétrica.

Esses sistemas podem ser utilizados para irrigação ou outras atividades que necessitem do bombeamento de água. A geração de energia pode ser por meio de painéis fotovoltaicos, por turbinas eólicas ou sistemas híbridos, que consistem na utilização das duas tecnologias associadas, o que permite maior segurança no caso de falta de uma das fontes. No caso da utilização para irrigação e outras atividades que sofrem com as estiagens, a energia solar fotovoltaica é preferível, pois os períodos em que comumente as culturas agrícolas são acometidas pela falta de precipitações coincidem com aqueles de maior insolação e intensidade solar.

A potencialidade eólica começa sua ascensão no início do inverno, meados de junho, mantendo-se até o final da primavera, quando começa o decesso, sendo que neste mesmo período as horas de sol diárias são reduzidas em relação aos outros períodos do ano, o que leva a considerar a hipótese da complementariedade dos dois sistemas para atividades e locais específicos.

Por fim, espera-se que a presente pesquisa tenha contribuído, também, para resgatar a caracterização do potencial eólico e solar das regiões Missões e Noroeste do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

- AMARANTE, O. A. C. do et al. **Atlas Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro&cid=1>>. Acesso em: dez. 2011.
- AMARANTE, O. A. C do; SILVA, F. J. L. da. **Atlas Eólico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMC, 2002. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=28&cod\\_conteudo=7130](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=28&cod_conteudo=7130)>. Acesso em: abr. 2011.
- BREITENBACH, R.; BARÉA, N. M. M. S. **Apreciação de um projeto de desenvolvimento rural sob a ótica da sustentabilidade**. 2006. Disponível em: <[http://www.unifae.br/publicacoes/pdf/IIseminario/pdf\\_praticas/praticas\\_22.pdf](http://www.unifae.br/publicacoes/pdf/IIseminario/pdf_praticas/praticas_22.pdf)>. Acesso em: abr. 2011.
- CRUZ, G. F. H. **Estudo da utilização da energia solar no Rio Grande do Sul**. 2009. 105f. Projeto de Diplomação. (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/24307>>. Acesso em: abr. 2011.
- DUTRA, R. M. (Org.). **Energia Eólica - princípios e tecnologias**. Rio de Janeiro: CRESEB. 2009.
- DUTRA, R. M. **Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do PROINFA**. 2007. 415f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/tese/200704\\_dutra\\_r\\_m\\_dr.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/tese/200704_dutra_r_m_dr.pdf)>. Acesso em: abr. 2011.
- DUTRA, R. M. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 2001. 322f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2.ed. Santa Maria: UFSM, 2010.
- FULGÊNCIO, C. **Energia solar fotovoltaica naturlink ligação à natureza**. 2010. Disponível em: <<http://naturlink.sapo.pt/NaturezaeAmbiente/Energia/content/Energia-Solar-Fotovoltaica?bl=1&viewall=true>>. Acesso em: abr. 2011.
- GOLDEMBERG, J. ; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo: USP, v.21, n.59, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf>>. Acesso em: abr. 2011.
- INMET. **Relatório dos dados diários por ano**. [Mensagem de trabalho]. Mensagem recebida em 2011 por e-mail.
- MARQUES, V. S. et al. **Determinação de potencial eólico no Estado do Rio de Janeiro**. Disponível em: <[http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/386\\_95574.pdf](http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/386_95574.pdf)>. Acesso em: jul. 2010.

NOGUEIRA, C. U. **Utilização de sistemas solar e eólico no bombeamento de água para uso na irrigação**. 2009. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

PIANEZZOLA, G. **Mapas de complementaridade dos potenciais solar e eólico no Estado do Rio Grande do Sul**. 2006. 96f. (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RUTHER, R.; URBANETZ JUNIOR, J.; SANTOS, I. P. Energia solar fotovoltaica como fonte complementar de energia elétrica para residências na busca da sustentabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2008. Disponível em: <[http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/santos\\_urbanetz.pdf](http://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2008/ENTAC/santos_urbanetz.pdf)>. Acesso em: abr. 2011.

SACHS, I. Da civilização do petróleo a uma nova civilização verde. **Estudos Avançados**, São Paulo: USP, v.19, n.55, set./dez. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340142005000300014](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142005000300014)>. Acesso em: nov. 2008.

SILVA, E. P. *et al.* Recursos energéticos, meio ambientes e desenvolvimento. **Revista Multiciência**, Campinas: UNICAMP, nov. 2003. Disponível em: <<http://www.multiciencia.unicamp.br/art04.htm>>. Acesso em: abr. 2011.

SINDICATO PATRONAL DE LAJES. **Ventos que movem o RN**. Lajes, RN: SPL, 2011. Disponível em: <<http://sindrurallajes.blogspot.com.br/2011/07/ventos-que-movem-o-rn.html>>. Acesso em: jul. 2011.

SUL potencial eólico. In: AMARANTE, A. O. C. *et al.* **Atlas Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/mapas\\_3e.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/mapas_3e.pdf)>. Acesso em: jul. 2011.

TIBA, C. (Coord.) **Atlas solarimétrico do Brasil**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf)>. Acesso em: jul. 2011.

