

## Projeto Conceitual e Análise de Viabilidade Econômica de Unidade de Geração de Energia Elétrica Eólica na Lagoa dos Patos – RS

Ernesto Augusto Garbe [1]

Renato de Mello [2]

Ivan Tomaselli [3]

### Resumo

Este trabalho apresenta os resultados de análise da viabilidade econômica da implantação de um projeto de geração de energia elétrica eólica na Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul. Os indicadores econômicos obtidos foram: TIR (taxa interna de retorno), - 22%; PAYBACK (tempo necessário para pagamento do investimento) - 5 anos; IBC (Índice Benefício/Custo) - 1,65; VPL (Valor Presente Líquido) R\$ 45MI com base a TMA (Taxa de Mínima Atratividade) de 15%. Tal iniciativa permitirá flexibilizar a matriz energética e colaborar para auto-suficiência do Estado, bem como servir como contribuição para outras empresas que desejem instalar unidades similares no Brasil.

**Palavras-Chave:** Energia Eólica; Viabilidade Econômica; Sustentabilidade Energética.

### Abstract

This study evaluates the operational and economic feasibility of a wind power plant at the Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul. The economic indicators found were: IRR-22%; PAYBACK- 5 years; IBC-1,65; NPV- R\$ 45MI based on a discount rate of 15%. This initiative will not only help to diversify the energy matrix but will also help to develop a self-reliant energy generation facility and facilitate investments of other companies in similar units in Brazil.

**Key-words:** Wind Energy; Economic Feasibility; Energy Sustainability.

### 1- Introdução

O objeto deste estudo é a análise de viabilidade econômica de uma unidade de geração de energia elétrica a partir de energia provinda do vento. O estudo de viabilidade econômica é essencial para minimizar o risco de qualquer tipo de investimento, sobretudo quando se trata de investimentos de alto valor.

Foi escolhido como local para o projeto a Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul. Este local apresenta condições eólicas favoráveis. Seguindo a metodologia proposta, encontraram-se resultados positivos com relação à implantação de uma unidade de geração de energia elétrica a partir da energia eólica. Denominou-se esta unidade de geração de: "PARQUE EÓLICO LAGOA DOS PATOS".

A geração eólico-elétrica expandiu-se no mundo de forma acelerada ao longo da última década, atingindo a escala de gigawatts. Um dos fatores que limitam investimentos em empreendimentos eólicos no Brasil tem sido a falta de dados consistentes e confiáveis sobre a viabilidade técnica e econômica de cada projeto. Parte importante dos registros anemométricos disponíveis é mascarada por ruídos de influências aerodinâmicas de obstáculos, rugosidade e relevo. A disponibilidade de dados representativos é fundamental no caso brasileiro, que ainda não explorou esse recurso abundante e renovável de forma expressiva.

A complementaridade geográfica entre os potenciais eólico e hidráulico no Brasil de modo geral indica que as melhores áreas para aproveitamento eólico situam-se nas bordas do sistema de distribuição elétrico, distantes da geração hidrelétrica. Nessa situação, a inserção de energia eólica no sistema elétrico melhora seu desempenho, diminuindo linhas de transmissão e possibilitando um sistema melhor distribuído.

Este estudo foi realizado para investimentos na faixa de R\$200 milhões, considerado valor alto e que requer estudos de viabilidade econômica detalhados, embasados em informações precisas, com detalhes dos investimentos iniciais, mercados, processos de fabricação, local de implantação, formas e fontes de financiamentos, custos de produção, mão de obra, manutenção e tributação. Estes aspectos foram analisados no presente trabalho.

### 2- Fundamentos Teóricos

Para Gonçalves (2007), o Brasil possui uma expressiva participação de fontes renováveis na sua matriz energética, graças, predominantemente, às grandes hidrelétricas. O uso de fontes alternativas de energia, como por exemplo, da energia eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e biomassa é pequeno, apesar do grande potencial existente.

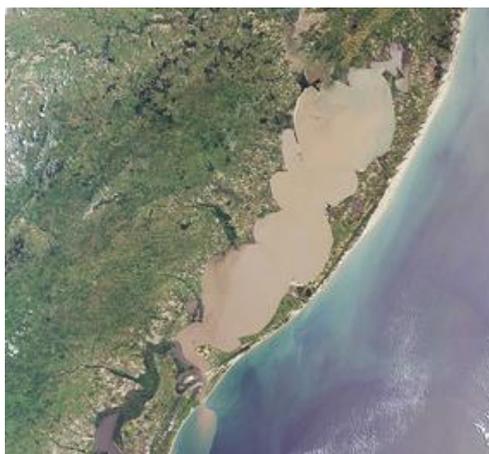
Um marco importante para o setor elétrico brasileiro veio em 2002, com a aprovação da lei 10.438, revisada pela lei 10.762 em 2003, que criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA (PROINFA, 2004), estabelecendo a obrigação das concessionárias de energia elétrica de participarem da universalização do acesso a esse programa. O PROINFA tem por objetivo aumentar a participação das energias alternativas no sistema interligado e diversificar a matriz energética brasileira. A compra dessa energia deverá ser feita por intermédio de licitação pública e os contratos de fornecimento assinados com a ELETROBRAS por 20 anos. Além disso, existe financiamento de até 70% do valor do investimento, com recursos disponibilizados pelo BNDES (GONÇALVES, 2007).

Para Gonçalves (2007), um forte crescimento na geração de energia eólica tem ocorrido, e vários países optaram por investir nessa fonte de energia, sendo que sua utilização foi a que mais cresceu nos últimos anos. Na Europa, por exemplo, a introdução da energia eólica não ocorreu apenas por questões relacionadas a exigências de licenciamento ambiental para novos projetos de usinas, mas, principalmente, por possibilitar, na busca de meios de geração de energia elétrica de forma limpa e auto-sustentável, e o cumprimento das recomendações preconizadas pelo Protocolo de Kyoto. Assim, nos países da Comunidade Européia há um crescente investimento na geração elétrica por aerogeradores. A área requerida para implementação de uma unidade de geração de energia eólica e o baixo custo por MW em relação a outras novas usinas renováveis, como biomassa e solar, faz deste tipo de projeto um negócio altamente atraente.

Segundo Gonçalves (2007), levando-se em conta a taxa mínima de atratividade de 16,75%, representada pela taxa SELIC naquele ano, conclui-se não ser recomendável investir neste projeto 100% do capital próprio, tendo em vista que a TIR obtida é inferior à taxa mínima de atratividade, e como resultado o VPL encontrado apresenta valor negativo. Na viabilização do projeto, recomenda-se que a alavancagem de recursos por intermédio de financiamento via BNDES, que aquele estudo determinou uma TIR de 23,71% e VPL positivo, ao considerar-se 70% de recursos financiados.

### **2.1. Local Geográfico do Estudo e Características**

Sendo a maior laguna do Brasil e a segunda maior da América Latina, a Lagoa dos Patos situa-se no Estado do Rio Grande do Sul. Com seus 265 quilômetros de comprimento e superfície de 10.144 km<sup>2</sup>, estende-se paralelamente ao Oceano Atlântico e é o alvo deste estudo (Figura 1).



Fonte: Google Earth (2010)

**Figura: 1** - Fotografia Aérea da Lagoa dos Patos – Rio Grande Do Sul

Ressalta-se que em 80% da área da Lagoa dos Patos as profundidades são inferiores a dois metros (FETTER FILHO, 1999). Sendo utilizada para navegação, irrigação, turismo, lazer e outras atividades, a conexão com o mar e sua grande dimensão faz da Lagoa dos Patos um recurso hídrico considerável. Por ser um local plano, as características para a propagação do vento são favoráveis, o que contribui para viabilização de investimentos eólicos neste local.

### **2.2. Relevância, Rugosidade e Fator de Forma**

A Planície Costeira teve sua formação do período Quaternário da era Cenozóica, a mais recente da formação da terra. Corresponde a uma faixa arenosa de 622 km, com grande ocorrência de

lagoas, entre as quais se destacam a Lagoa dos Patos e a lagoa Mirim. O processo de formação desta região tem caráter evolutivo, estando em constante mutação, como decorrência da sedimentação marinha e flúviolacustre (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2006).

Segundo a Figura 2, identifica-se que as altitudes do relevo não ultrapassam os 100 metros, o que facilita a ocorrência de ventos com escoamento laminar. Visto que a superfície da água da Lagoa dos Patos não possui ondulações, podemos desconsiderar a influência negativa que a rugosidade do terreno ofereceria para este caso.

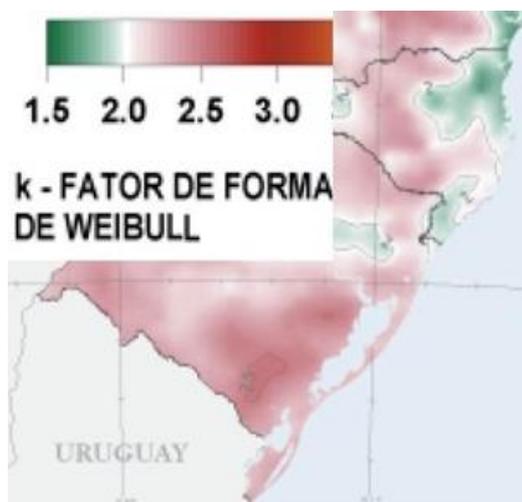


Fonte: Atlas Eólico (2001)

**Figura 2** – Mapa do Relevo Rio Grandense

O “k” é o fator de forma de Weibull, sendo que valores maiores de “k” indicam maior constância dos ventos, com menor ocorrência de valores extremos. Valores de “k” anuais variam tipicamente entre 2 e 3. Excepcionalmente, durante alguns meses do ano em regiões de ventos alísios, como no Nordeste brasileiro, o fator de forma pode atingir valores mensais superiores a seis sendo que existem registros até de  $k = 10,78$  (AMARANTE, 2001).

Segundo AMARANTE, 2001, o valor do fator de forma de Weibull regional próximo da Lagoa dos Patos, fica entre 2 e 2,5 (Figura 3).



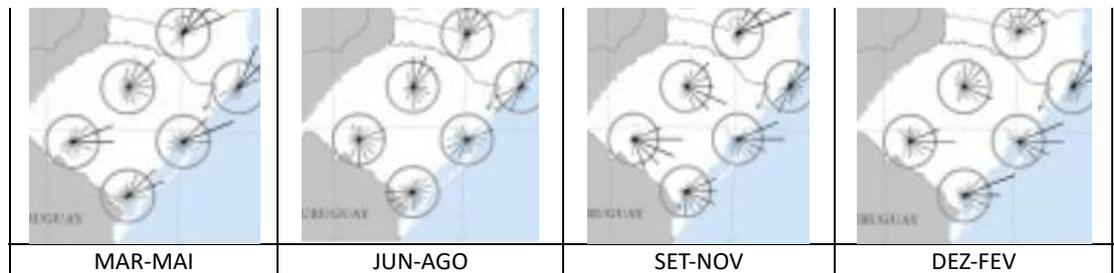
Fonte: Atlas Eólico (2001)

**Figura 3** – Mapeamento do Fator “k” do Rio Grande do Sul

### 2.3. Direção do Vento

A Figura 4 demonstra que a direção predominante dos ventos é nordeste nos meses de setembro a maio. Entre junho e agosto não há uma direção predominante perfeitamente visível (AMARANTE, 2001).

--	--	--	--



Fonte: Atlas Eólico (2001)

Figura 4 – Direção do Vento Sazonalmente Distribuída

Em termos de média anual percebe-se que a direção predominante do vento segue o regime nordeste apresentado na Figura 5.



Fonte: Atlas Eólico (2001)

Figura 5 – Média Anual da Direção do Vento no Rio Grande do Sul

#### 2.4. Princípios, Tecnologia e Potencial Regional

Parte da energia cinética do vento que passa através da área varrida pelo rotor é captada por uma turbina eólica e transformada em energia elétrica. A potência elétrica é função do cubo da velocidade de vento "v" (Figura 6).

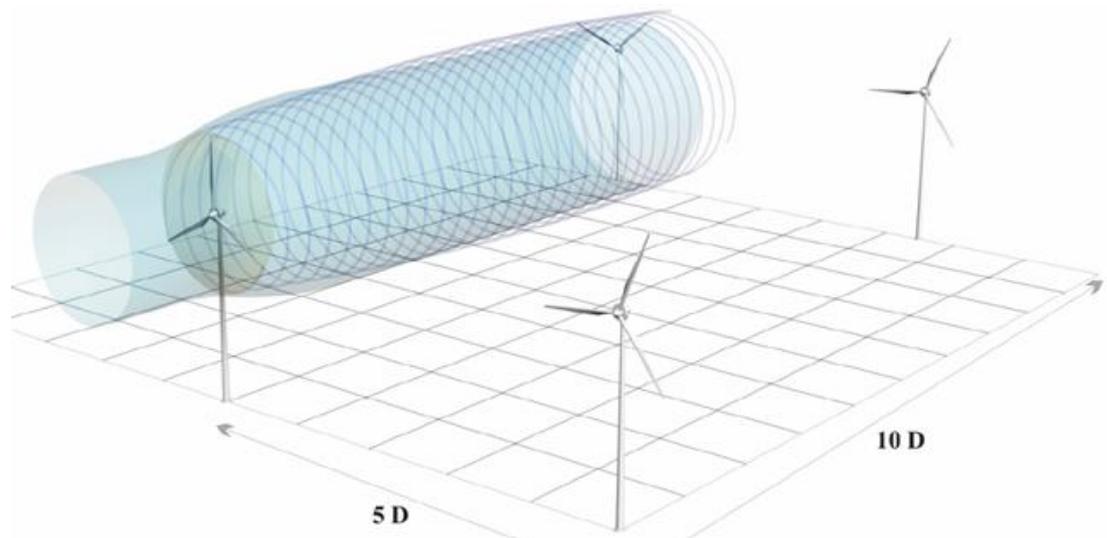
$$P(\text{Watts}) = \frac{1}{2} \rho A_r v^3 C_p \eta$$

Figura 6 – Fórmula para Cálculo da Potência

Onde: "ρ" é densidade do ar em kg/m<sup>3</sup>; "A<sub>r</sub>" é calculado por π.D<sup>2</sup>/4, em que D é o diâmetro do rotor; "C<sub>p</sub>" é o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor; e "η" é a eficiência do conjunto gerador/transmissão.

Para Amarante (2001), a absorção de energia cinética reduz a velocidade do vento a jusante do disco do rotor gradualmente e essa velocidade recupera-se ao misturar-se com as massas de ar predominantes do escoamento livre. Das forças de sustentação aerodinâmica nas pás do rotor resulta uma esteira helicoidal de vórtices, a qual também gradualmente dissipa-se. Após alguma distância a jusante da turbina, o escoamento praticamente recupera as condições de velocidade originais e turbinas adicionais podem ser instaladas, minimizando as perdas de desempenho causadas pela interferência da turbina anterior. Na prática, essa distância varia com a velocidade do vento, as condições de operação da turbina, a rugosidade do terreno e a condição de estabilidade térmica vertical da atmosfera.

De modo geral, uma distância considerada segura para a instalação de novas turbinas é da ordem de 10 vezes o diâmetro "D", se instalada a jusante, e 5 vezes "D", se instalada ao lado, em relação ao vento predominante (Figura 7).



Fonte: Atlas Eólico (2001)

**Figura 7** – Distância Segura para Instalação de Aerogeradores

O diâmetro “D” é inversamente proporcional à velocidade angular do rotor. Para minimizar a emissão de ruído aerodinâmico pelas pás, usualmente a rotação é otimizada no projeto. Descreve-se na Figura 8 a fórmula prática para a avaliação da rotação nominal de operação de uma turbina eólica.

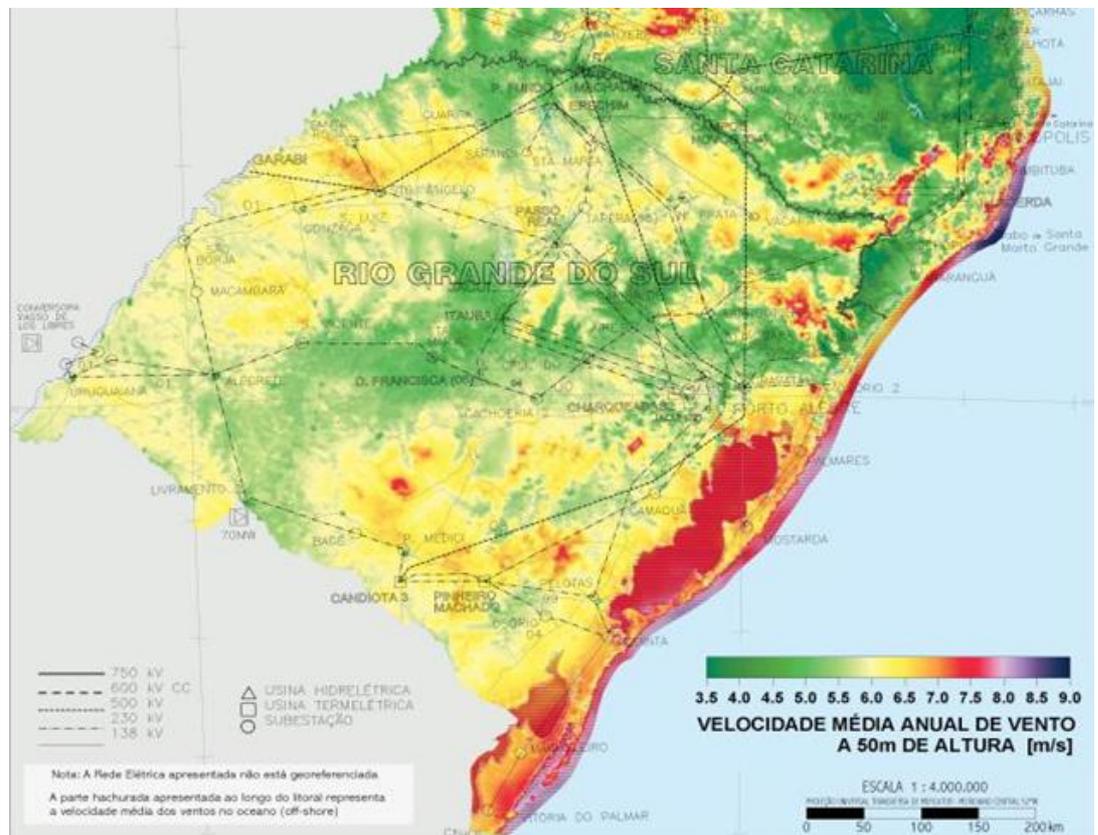
$$\text{RPM} = \frac{1150}{D}$$

**Figura 8** – Fórmula para Cálculo das Rotações por Minuto

Onde: “RPM” são rotações por minuto; e “D” é o diâmetro do rotor. À medida que a tecnologia propicia dimensões maiores para as turbinas, a rotação reduz-se: os diâmetros de rotores no mercado atual variam entre 30m e 100m, o que resulta em rotações da ordem de 35rpm a 12rpm, respectivamente. As rotações baixas tornam as pás visíveis e evitáveis por pássaros em voo.

Quanto aos níveis de ruído, turbinas eólicas satisfazem os requisitos ambientais (cerca de 45 decibéis - dB) mesmo quando instaladas a distâncias da ordem de 300m de áreas residenciais (Associação Americana de Energia Eólica - AWEA). Esses aspectos contribuem para que a tecnologia eólio-elétrica apresente o mínimo impacto ambiental, entre as fontes de geração na mesma ordem de gigawatts.

A Figura 9 representa o potencial eólico no Rio Grande do Sul, o que mostra na área sobre a Lagoa dos Patos a coloração vermelha predominante, significando uma velocidade média superior aos 7,5 m/s.



Fonte: Atlas Eólico (2001)

Figura 9 - Potencial Eólico Riograndense

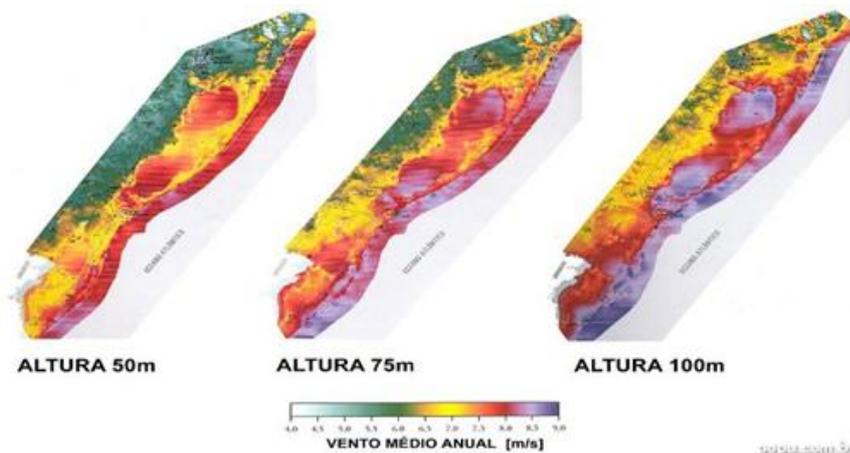
Pelo histórico das variações de velocidade dos ventos da região da Lagoa dos Patos, a energia eólica produzida estará disponível em média 85%, ao longo dos 365 dias do ano. No cálculo do desempenho foi considerado ainda um fator de disponibilidade de 98%, e uma eficiência de usina (interferência aerodinâmica entre rotores) de 97% e os Fatores de Forma de Weibull (k) locais. A Tabela 1 apresenta o resultado da integração dos mapas, por faixas de velocidade, segundo o estimado pelo SEINFRA do Rio Grande do Sul, adaptado para a Lagoa dos Patos pelo autor.

Tabela 1 – Potencial Eólico Offshore Sobre as Lagoas dos Patos

ALTURA	VENTO	ÁREA	POTÊNCIA INSTALÁVEL	ENERGIA ANUAL
[m]	[m/s]	[km2]	[GW]	[TWh/ano]
50	> 6.5	9909	14,86	41,07
	> 7.0	9334	14,00	39,19
	> 7.5	4689	7,03	21,26
	> 8.0	634	0,95	3,19
	> 8.5	9	0,02	0,05
70	> 6.5	9987	14,98	41,75
	> 7.0	9833	14,75	41,29
	> 7.5	7509	11,26	32,90
	> 8.0	2479	3,72	11,82
100	> 6.5	10028	15,04	38,55
	> 7.0	9949	14,92	38,35
	> 7.5	9136	13,71	35,81
	> 8.0	3688	5,53	15,74
	> 8.5	183	0,27	0,88

Fonte: SEINFRA adaptado pelo autor.

A Figura 10 mostra graficamente a influência da altura na velocidade do vento regional.

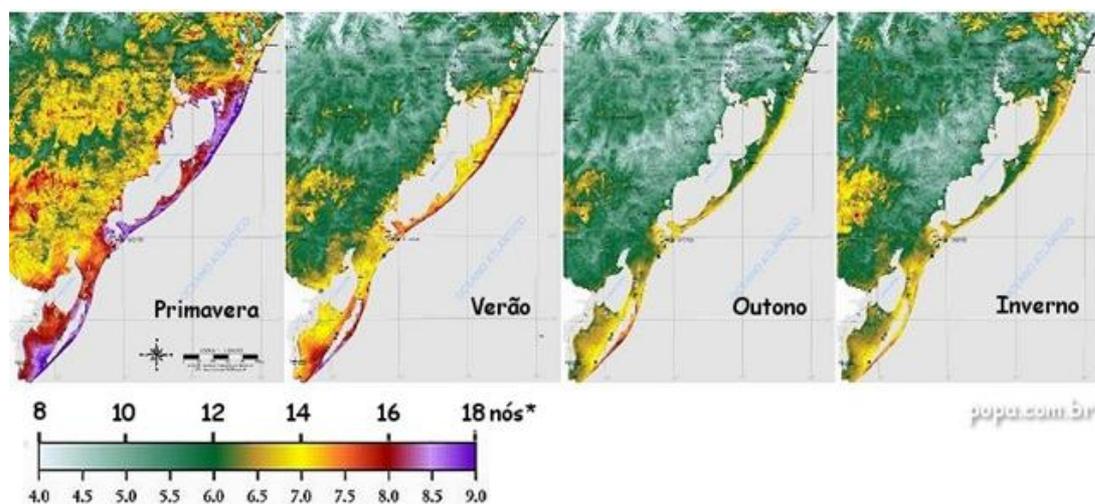


papa.com.br

Fonte: Atlas Eólico (2001)

**Figura 10** - Influência da Altura na Velocidade do Vento na Região da Lagoa

Os mapas sugerem que a velocidade do vento a 50m de altura seja de 1 m/s a menos do que a 100m. A Figura 11 demonstra a intensidade do vento ao longo do ano para altura de 50 metros.



papa.com.br

Fonte: Atlas Eólico (2001)

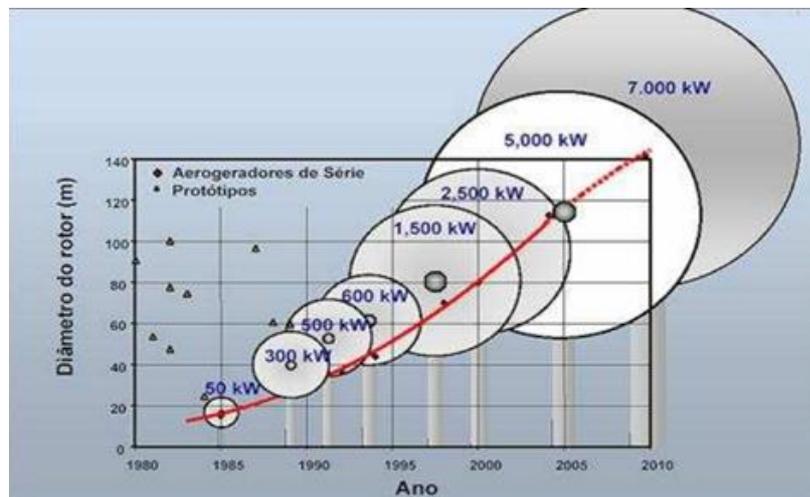
**Figura 11** - Intensidade do Vento ao Longo do Ano para Altura de 50 Metros

A incidência do vento possui maior intensidade no período da primavera, época do ano em que os reservatórios de água da geração de energia hidráulico-elétrica estão em baixo nível, ocorrendo possibilidades de racionamento de energia elétrica.

Para o presente projeto utiliza-se o valor de 7,5 m/s para o vento na Lagoa dos Patos, devendo ser a altura dos aerogeradores de 100 metros. Para esta altura de aerogeradores, os gráficos da FIGURA 10 evidenciam uma velocidade média anual superior a 8 m/s.

## 2.5. Equipamentos Necessários

Os equipamentos necessários, verificando-se as possibilidades mais aconselháveis para este investimento, são os aerogeradores com altura superior a 70 metros e diâmetro do rotor acima dos 60 metros. Conforme o item anteriormente estudado, propõe-se para este estudo a utilização de aerogeradores com 100m de altura e diâmetro do rotor de 71m. A Figura 12 mostra a evolução dos aerogeradores.



Fonte: CRESESB (2010)

**Figura 12** – Potência em Função do Diâmetro do Rotor

Para fins de estudo, em vista da tecnologia existente, selecionou-se o equipamento da família E-70, com potência instalada na faixa de 1.500 a 2.300 kW e 71 metros de diâmetro de rotor (possui cerca de 5.550 unidades instaladas em 28 países). Estes aerogeradores são da marca Wobben e atendem aos índices de nacionalização acima de 60%. Neste estudo propõe-se uma potência instalada no parque eólico de 50MW, portanto aproximadamente 25 aerogeradores serão necessários.

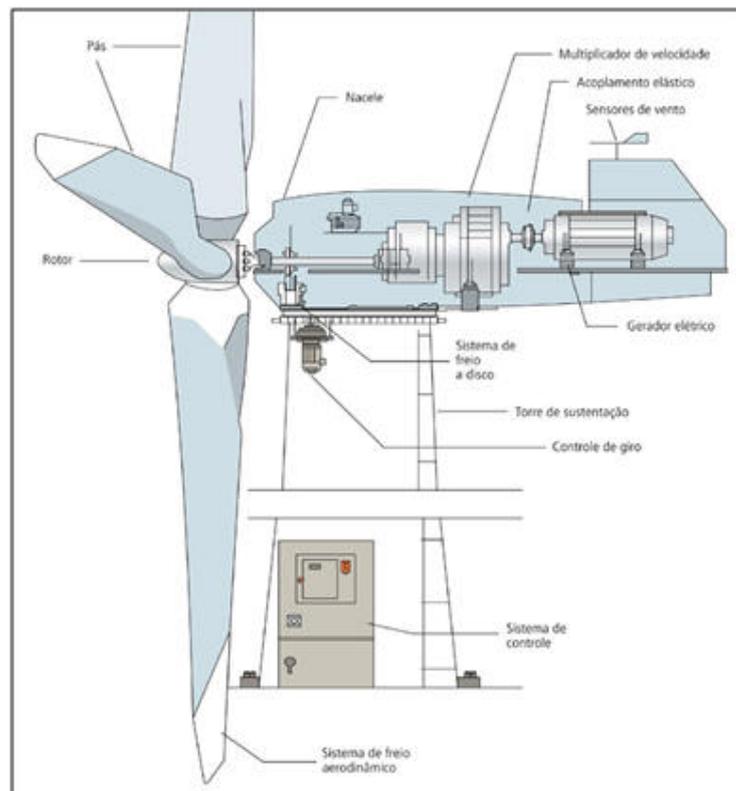
Os equipamentos de geração serão instalados com uma torre de 100 metros de altura, o que aumentará o potencial elétrico em 15% em relação à altura de 50 metros. A Figura 13 mostra a imagem de um parque eólico real em funcionamento sobre o mar.



Fonte: Reuters (2010)

**13** – Imagem Real de um Parque Eólico Marítimo

Os principais componentes de uma unidade geradora eólica estão descritos na Figura 14 e são: torre; pás do rotor; eixo; nacele; caixa de engrenagens; gerador; controlador; freios; unidade de controle eletrônico e equipamentos elétricos.



Fonte: Aneel (2007)

Figura 14 – Componentes de uma Grande Unidade Aerogeradora

A função de cada componente de uma grande unidade aerogeradora é especificada na Tabela 2.

**Tabela 2 – Função dos Componentes**

COMPONENTE	FUNÇÃO
Pás do Rotor	Capturar a energia eólica e convertê-la em energia rotacional no eixo
Eixo	Transferir a energia de rotação para o gerador
Nacele	Carcaça onde são abrigados os componentes
Caixa de Engrenagens	Aumentar a velocidade de rotação do eixo entre o gerador e o cubo do rotor
Gerador	Usar a energia rotacional para gerar eletricidade utilizando eletromagnetismo
Unidade de Controle Eletrônico	Monitorar todo o sistema, realizar o desligamento da turbina em caso de falha e ajustar o mecanismo de alinhamento da turbina com o vento
Controlador	Alinhar o rotor com a direção do vento
Freios	Em caso de falha no sistema ou sobrecarga de energia, detêm a rotação do eixo
Torre	Sustentar o rotor e a nacele, além de erguer todo o conjunto a uma altura onde as pás possam girar com segurança e distantes do solo
Equipamentos Elétricos	Transmitir a eletricidade do gerador pela torre e controlar os elementos de segurança da turbina

Fonte: Aneel (2007)

### 2.5.1. Preço dos Equipamentos

Segundo o fabricante (Wobben), o valor médio em investimento inicial para usinas de médio e grande porte (acima de 30MW) é de R\$4.200.000,00 por MW instalado. Este valor inclui o aerogerador, infra-estrutura civil e elétrica, tudo isso dependendo das características de cada empreendimento, devendo assim ser analisado caso a caso.

### 2.5.2. Financiamento

Incentivos que o governo federal tem dado para a energia eólica influenciaram em grande parte o crescimento da capacidade instalada no país. Administrado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA disponibiliza uma linha de crédito especial que financia até 70% do investimento. O financiamento considera um prazo de carência de seis meses após a operação comercial do empreendimento e um prazo de pagamentos de dez anos. Durante a construção do empreendimento não é feito o pagamento de juros. As condições do financiamento são 1,5% de *spread* de risco, acrescidos da TJLP e 2% ao ano.

### 2.5.3. Tempo de Instalação do Parque Eólico

Gonçalves (2007) observa que a instalação de uma usina eólica demanda cerca de 18 meses, o que torna esta modalidade de geração de energia altamente competitiva em relação a outros projetos de produção de energia elétrica, tanto alternativos quanto convencionais, que levam em média 24 meses para instalação. A Figura 15 mostra a instalação de uma grande unidade de geração de energia eólica sobre água (*offshore*).



Fonte: Google Imagens (2010)

**Figura 15** – Instalação Real de uma Grande Unidade Aerogeradora *Offshore*

## 2.6. Custos de Produção

Um dos obstáculos à geração de Energia Eólica apontados por especialistas é o custo de produção. Para solucionar o problema é sugerido a redução da carga tributária e aumento da geração. Como essa fonte não necessita de combustível, o preço da energia depende apenas do custo de instalação das estações geradoras. O presidente da Impsa Wind Power, Luis Perscamona, afirma que 10% do custo de geração advém do transporte das peças para instalação das estações (CÂMARA, 2009).

Segundo a Associação Americana de Energia Eólica, o custo da energia eólica em escala pública foi reduzido drasticamente nas últimas duas décadas devido aos avanços tecnológicos e de projeto na produção e instalação da turbina. No início dos anos 80, a energia eólica custava cerca de US\$300 por MWh. Já em 2006, a energia eólica custava de US\$30 a 50 por MWh nas áreas de vento abundante. Quanto maior a regularidade dos ventos em uma determinada área de turbinas, menor o custo da eletricidade gerada pelas mesmas. Em média, o custo da energia eólica é de cerca de US\$40 a 100 por MWh, nos Estados Unidos (Tabela 3).

**Tabela 3** – Comparativo de Custos entre Energias

TIPO DE RECURSO	CUSTO MÉDIO (CENTAVOS DE US\$ POR MWH)
<u>Hidrelétrica</u>	20-50
<u>Nuclear</u>	30-40
<u>Carvão</u>	40-50
<u>Gás natural</u>	40-50
Vento	40-100
<u>Geotérmica</u>	50-80
<u>Biomassa</u>	80-120
<u>Célula combustível a hidrogênio</u>	100-150
<u>Solar</u>	150-320

Fontes: Associação Americana de Energia Eólica, Wind Blog, Stanford School of Earth Sciences.

Segundo a MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL (2007), o potencial eólico brasileiro tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com essa tecnologia. Existem hoje cerca de 5.300 MW em projetos eólicos autorizados pela ANEEL. Apesar da queda do custo unitário de investimento em razão da evolução rápida na curva de aprendizagem,

o baixo fator de capacidade dessas centrais ainda faz com que o custo médio de geração se situe na faixa de 75 US\$/MWh, mesmo com o investimento por MW considerado a US\$1.200.000,00.

### 2.6.1. Mão de Obra e Manutenção

Considerou-se para custos de mão de obra para este investimento as informações fornecidas pelo fabricante dos equipamentos (WOBVEN), ou seja, o valor de 1% do investimento inicial em equipamentos, o que totaliza R\$42.000,00 por MW instalado por ano. Também se considerou para custos de manutenção para este investimento as informações fornecidas pelo fabricante dos equipamentos (WOBVEN), ou seja, o valor de 1% do investimento inicial em equipamentos (R\$42.000,00 por MW instalado por ano).

## 2.7. Mercado da Energia Elétrica e Preços Praticados

Devido ao fato da energia eólica ser 100% renovável, existem incentivos governamentais que favorecem um incremento no seu valor de comercialização. Enquanto para a energia comum o valor está em torno dos R\$134,00 por MWh, a energia proveniente de parques eólicos atinge o patamar dos R\$200,00 por MWh (2009).

O projeto de implantação do parque eólico poderá ser realizado com apoio do PROINFA, sendo o consumidor primário a ELETROBRÁS, que adquirirá a energia e a comercializará por intermédio de um contrato firmado por um prazo de 20 anos, tempo necessário para amortização do investimento.

### 2.7.1. Impostos

Segundo PIZETA (2007), os consumidores finais são responsáveis por pagar todos os encargos e tributos recolhidos ao longo da cadeia (Figura 17).



Fonte: ANEEL (2006)

Figura 17 – Tributos em Energia Elétrica

Segundo ANEEL (2006), o efeito da contribuição do PIS/PASEP e da COFINS, considerando a atual legislação tributária e dos encargos é demonstrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Cálculo da Receita Líquida Livre de Encargos

DESCRIÇÃO	RECEITA (R\$)	TRIBUTAÇÃO
Receita Ofertada no Leilão	87.600.000	87.600.000
Adicional a Faturar dos Usuários Relativo ao PIS/PASEP & COFINS	0	8.413.559
RECEITA BRUTA	87.600.000	96.013.559
(-) RGR = 2,5%	2.190.000	2.400.339
(-) Taxa ANEEL = 0,5%	438.000	480.068
(-) PIS/PASEP & COFINS a Recolher (Percentual Líquido de Deduções 8,5%)	0	8.161.153
SUB-TOTAL	84.972.000	84.972.000
(-) P&D = 1%	84.972	84.972
RECEITA LÍQUIDA DE ENCARGOS	84.887.028	84.887.028

Fonte: ANEEL (2006)

Portanto, para faturamento livre de impostos anual para o empreendimento deste projeto, temos o valor calculado em reais faturados de R\$84.887.028,00.

### 2.7.2. Consumo de Energia Elétrica por Habitante

No Brasil, o consumo médio de energia elétrica por residência é de 147 kWh por mês. Em 1997 o consumo era 18% maior: 179 kWh por mês. Marca essa que só será igualada novamente em 2015 ou 2016. (\*)

Considerando-se que para o presente projeto teremos a geração de 37 GWh por mês, pode-se atender aproximadamente 200 mil residências, ou seja, cerca de 1 milhão de habitantes.

Considerando-se que nossa capacidade instalada atual é de 103.000 MW, pode-se dizer que este empreendimento poderá ser responsável por cerca de 0,05% da matriz energética (elétrica) nacional. Porém o potencial existente na região de estudo (Lagoa do Patos) pode-se alcançar o patamar de mais de 10% da matriz, baseando-se nos valores apresentados na Tabela 1 deste estudo. Isto resultaria em um investimento 200 vezes maior que o previsto neste estudo (R\$ 42 bilhões).

### 3 - Metodologia das Atividades Desenvolvidas

Para realização deste estudo, foram consideradas informações de literatura, contatos com fabricantes de equipamentos, bem como discussões com responsáveis por distribuição e geração de energia elétrica.

A decisão sobre a localização do empreendimento na Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul se deu com base em uma pré-análise que verificou o grande potencial na região.

Consultando-se fabricantes, foram identificados os equipamentos necessários, preços e formas de financiamentos. Também se estimou o tempo previsto para instalação da unidade. Em revisões de bibliografias existentes calcularam-se os custos de produção previstos, considerando os investimentos, mão de obra e manutenções necessárias. Foi analisado o mercado da energia elétrica, preços praticados e impostos incidentes.

O método adotado considera um fluxo de caixa, ferramenta necessária para analisar a viabilidade econômica do empreendimento. Calculou-se a TIR (Taxa Interna de Retorno), o VPL (Valor Presente Líquido), o IBC (índice benefício custo) e o PAYBACK (tempo necessário para pagamento do investimento). Com base nestas informações avaliou-se a viabilidade econômica do projeto.

Um projeto de investimento envolve um conjunto de recursos humanos, materiais e financeiros que devem ser ajustados ao processo, de forma a evitar que surjam falhas que prejudiquem o seu adequado desenvolvimento. Nesse sentido, devem-se adotar decisões de investimento com base em informações cuidadosamente analisadas, pois, caso contrário, haverá a possibilidade de comprometimento de seus recursos ao longo do tempo. A Tabela 5 exemplifica os dados de entrada utilizados neste projeto.

**Tabela 5 – Dados de Entrada para o Fluxo de Caixa**

DADOS	VALOR	UNIDADE
Valor Energia Elétrica - Venda	200	R\$/MWh
Potência Instalada	50	MW
Tempo de Trabalho Anual	8.760	h/ano
Produção de Energia Elétrica	438.000	MWh/ano
Investimento Inicial	210.000.000	R\$
Depreciação	20	anos
Juros Financiamento	13	% a.a.

Fonte: O Autor (2010)

Para melhor precisão e minimização de riscos no investimento, verificou-se também a sensibilidade da viabilidade econômica frente a variações dos principais fatores do projeto. Selecionaram-se o preço da energia elétrica e a velocidade do vento para recálculo dos indicadores econômicos. Variaram-se os valores de Energia Elétrica entre R\$ 160 e R\$ 240 por MWh e os valores de Velocidade do Vento entre 7,1 m/s e 7,9 m/s.

### 4 - Resultados e Considerações

Para análise da viabilidade econômica foi considerado um fluxo de caixa previsto para um horizonte de 10 anos, compatível com o prazo de financiamento.

#### 4.1. Viabilidade Econômica

Na realização da análise da viabilidade econômica foram calculados o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), tomando como base a projeção do resultado e as simulações do fluxo de caixa constante na Tabela 6. Uma taxa mínima de atratividade de 15% ao ano, calculada em função do custo de oportunidade, risco do empreendimento e liquidez do empreendimento foi considerada.

**Tabela 06 – Fluxo de Caixa para o Período de 10 Anos em Milhão (000.000)**

ENTRADAS	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
Venda Livre de Impostos	21,2	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9
Integralização de Capital	63,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Financiamentos	147,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valor Residual										105,0
<b>TOTAL Entradas</b>	<b>231,2</b>	<b>84,9</b>	<b>189,9</b>							
SAÍDAS	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
Pagamento de Equipamentos	210,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amortização Capital Próprio	0,0	4,7	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	14,2
Juros Capital Próprio	0,0	3,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	9,2
Amortiz. Capital de Terceiros	0,0	11,0	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	33,1
Juros Capital Terceiros	0,0	7,2	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	21,5
Mão de Obra	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Manutenção	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
<b>TOTAL de Saídas</b>	<b>214,2</b>	<b>38,8</b>	<b>82,1</b>							
TOTAL	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>17,0</b>	<b>54,7</b>	<b>46,0</b>	<b>107,7</b>						

Fonte: O Autor (2010)

Considerando-se o valor de 15% para a Taxa de Mínima Atratividade (TMA), encontraram-se valores para o Valor Presente Líquido (VPL) de R\$45.038.980; o Índice Benefício/Custo (IBC), medida de quanto se espera ganhar por unidade de capital investido de 1,65; para "PAYBACK", período de retorno do investimento de 5 anos; e a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 22%.

Os valores encontrados indicam que o projeto possui viabilidade econômica e estão próximos àqueles calculados por Gonçalves (2007).

#### 4.2. Análise de Sensibilidade

Considerando-se que os dois principais fatores influentes para o projeto estudado são a Velocidade do Vento e o Preço de Venda da Energia Elétrica, pode-se fazer a Análise de Sensibilidade constante na Tabela 7.

**Tabela 7 – Análise de Sensibilidade**

VPL (000) TIR (%)		VELOCIDADE DO VENTO				
		7,1 (m/s)	7,3 (m/s)	7,5 (m/s)	7,7 (m/s)	7,9 (m/s)
VALOR DE VENDA ENERGIA ELÉTRICA (LEILÃO)	R\$ 160	(R\$ 74.054) 3%	(R\$ 52.190) 7%	(R\$ 29.094) 10%	(R\$ 4.733) 14%	R\$ 20.926 18%
	R\$ 180	(R\$ 42.607) 8%	(R\$ 18.010) 12%	R\$ 7.972 16%	R\$ 35.378 20%	R\$ 64.245 25%

R\$ 200	(R\$ 11.160) 13%	R\$ 16.169 17%	R\$ 45.038 22%	R\$ 75.490 26%	R\$ 107.565 31%
R\$ 220	R\$ 20.285 18%	R\$ 50.349 23%	R\$ 82.105 27%	R\$ 115.601 32%	R\$ 150.884 37%
R\$ 240	R\$ 51.732 23%	R\$ 84.528 28%	R\$ 119.172 33%	R\$ 155.713 38%	R\$ 194.203 44%

Fonte: O Autor (2010)

Considerando-se o valor de venda da energia elétrica em R\$200/MWh, caso tenhamos uma redução na velocidade do vento de 7,5 m/s para 7,1 m/s, o projeto em questão torna-se pouco atrativo, conforme é mostrado na área em cinza da tabela. O mesmo ocorre quando diminui-se o valor da energia elétrica abaixo do patamar dos R\$170/MW, mantendo-se a velocidade do vento em 7,5 m/s.

Para que o risco seja minimizado, o ideal seria comercializar a energia em um valor superior aos R\$ 220/MWh.

## Conclusão

O relevo é favorável e a região estudada tem alto potencial de geração de energia elétrica a partir de ventos. Além disto, a região não tem rugosidade influente na superfície da água, o fator de forma de Weibull é indicado como suficiente para uma ideal conversão de energia eólica em elétrica e tem proximidade de grandes centros de consumo, com baixos custos de transmissão, bem como proximidade a linhas de transmissão.

Os tempos para instalação da unidade verificados são compatíveis com a necessidade de início de atividades, não prejudicando o fluxo de caixa, havendo tempo de carência suficiente para início da amortização dos financiamentos realizados. Para este estudo o investimento inicial de previsto é de R\$210.000.000,00 os quais serão destinados para pagamento dos fornecedores de equipamentos, dos quais 30% deverão ser de capital próprio, ou seja, R\$63.000.000,00.

O custo de produção somada à mão de obra e manutenções necessárias tem valor médio de 2% do valor de investimento inicial, por ano.

Políticas criadas pelo governo favorecem a comercialização de energias provindas de fontes alternativas, consideradas 100% renováveis. Os preços praticados são da ordem de R\$200,00 por MWh, cerca de 50% maior que o valor pago pela energia comum. Os impostos representam 5% no custo de produção.

O projeto de instalação do PARQUE EÓLICO LAGOA DOS PATOS, com investimento próprio de 63 milhões de reais e outros 147 milhões financiados pelo BNDES através do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) viabiliza o projeto. Os indicadores econômicos calculados foram: TIR - 22%; PAYBACK - 5 anos; IBC - 1,65; VPL - R\$ 45MI (base TMA de 15%).

A análise de sensibilidade mostrou uma forte influência da velocidade do vento no resultado econômico do projeto, porém embasado no fator de forma de Weibull e que em mais de 80% do tempo a usina estará em plena atividade (com ventos acima de 7,5 m/s), pode-se concluir que este fator não será limitante à viabilidade do projeto.

## 6. Bibliografia

AMARANTE, O.A.C., ZACK, M.B.E.J, SÁ, A.L., *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília, 2001. 45p.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL.

[www.seplag.rs.gov.br/atlas/](http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/) Acessado em 13/10/2010.

CÂMARA, O. B. Energia Eólica – Brasil detém mais da metade da geração de Energia Elétrica por Fonte Eólica na América do Sul, mas ocupa a 24ª posição mundial. A Matriz Hidrelétrica esgotará em 2045. Disponível em: <<http://camaraecamara.wordpress.com/2009/10/16/energia-eolica-brasil-detem-mais-da-metade-da-geracao-de-energia-eletrica-por-fonte-eolica-na-america-do-sul-mas-ocupa-a-24%C2%AA-posicao-mundial-a-matriz-hidreletrica-esgotara-em-2045/>> Acessado 30/09/2010.

FETTER FILHO, A.F.H. *Estudo da circulação e processos de mistura da Lagoa dos Patos através do modelo de circulação oceânica da Universidade de Princeton (POM)*. Curso de Pós graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Tese de mestrado. 150p.1999.

GONÇALVES, M. J. Q., SALLES, J. A. C., PIZOLATTO, N. D. *Implantação de uma Usina Eólica – Avaliação Estratégica e Análise da Viabilidade Operacional e Econômica do Projeto*. Rio de Janeiro, 2007. 15p.

MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL 2030. Ministério das Minas de Energias. 2007. 254p.

PIZETA, E. G. *Estratégias para a Comercialização da Energia Eólica*. Andrade & Canellas Consult. e Eng. São Paulo – SP. 2007.

WAGNER, R. *Projeto do parque eólico piloto do Farol de São Tomé*. mimeo: LabCAD - Laboratório de Concepção e Análise do Design – CNPq/EBA. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997.

---

(\*) Nota da Redação: Essa expressiva queda é efeito da redução de consumo induzida durante o apagão de 2001, o consumo de outros setores retomou rapidamente o ritmo de crescimento, isso ocasiona maior necessidade de geração.

---

1 - Diretor da EAGARBE – Planejamento, Engenharia, Gerenciamento e Inovações. Rua Jorge Zipperer, 720, Centro - São Bento do Sul – SC - CEP: 89.280-499. Telefone +55 (47) 3635-5404 / 8448-3099. [ernesto@eagarbe.com.br](mailto:ernesto@eagarbe.com.br).

2 - Professor. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Centro de Educação do Planalto Norte (CEPLAN). Rua Luiz Fernando Hastreiter, 180 - Centenário – CEP: 89283-081 - São Bento do Sul - SC - Telefone +55 (47) 3634-0988. [renato1mello@gmail.com](mailto:renato1mello@gmail.com).

3 - Presidente da STCP – Projetos de Engenharia. Rua Euzébio da Motta, 450, Juvevê, Curitiba - PR – Brasil, CEP: 80.530-260, Fone: +55 (41) 3252-5861, Fax: +55 (41) 3252-5871. [itomaselli@stcp.com.br](mailto:itomaselli@stcp.com.br).

**Graphic Edition/Edição Gráfica:**

**MAK**  
**Editoração Eletrônica**

**Revised/Revisado:**  
**Wednesday, 17 October 2012**

4 8 6 6 8