



Desenvolvimento de Regiões Produtoras de Petróleo Através da Utilização de Energia Eólica na Elevação Artificial de Petróleo

Hélio Henrique Cunha Pinheiro¹, Thaynon Brendon Pinto Noronha², Hércules Amorim Mota Segundo², Raimundo Jovino de Oliveira Neto², Alana Vanessa Chagas da Rocha², Karla Skarlack Oliveira Farias²

¹Mestre em Engenharia Elétrica e professor do IFRN – Campus Mossoró. e-mail: helio.pinheiro@ifrn.edu.br

²Alunos do Curso Técnico Integrado em Eletrotécnica do IFRN – Campus Mossoró. Bolsistas do PFRH. e-mail: brendon.pinheiro@hotmail.com, hercules.segundo@yahoo.com.br, netinho_apodi@hotmail.com, alana.vanessa@hotmail.com, karlaskarlack@hotmail.com

Resumo: A indústria petroquímica, sob o ponto de vista regional, traz muitos benefícios econômicos para o local e regiões circunvizinhas, onde se localiza. Para alavancar ainda mais esses benefícios é necessário que a produção de petróleo se torne mais viável. Uma alternativa interessante é a utilização de energias renováveis, como por exemplo, a energia eólica. Neste contexto, este trabalho pretende mostrar a viabilidade da substituição do fornecimento tradicional da energia elétrica, por aerogeradores, para alimentação das unidades de bombeio da PETROBRAS no Estado do Rio Grande do Norte. A energia eólica potiguar mostra-se viável para a proposta do projeto, pois possui velocidade média de vento favorável para este tipo de aplicação. Devido a isso, o estado potiguar vem recebendo cada vez mais investimentos e está com a energia eólica em franca expansão. Analisamos a incidência de vento no estado do Rio Grande do Norte e selecionamos velocidades de vento entre 4 e 6,5 m/s para fazermos simulações matemáticas. Através dessas simulações, concluímos que o raio do rotor adequado, para o nosso estudo, varia de 4 a 9 m. O modelo de aerogerador que se mostrou mais adequado foi o aerogerador de eixo horizontal, pois este é mais eficiente do que os demais e exige menos complexidade mecânica, além de necessitar de pouca manutenção. Este aerogerador deve possuir três hélices, pois ficará mais seguro quando estiver diante de turbulências, terá uma vida útil maior, terá maior rendimento e maior estabilidade estrutural. Concluímos que a utilização da energia eólica é promissora para a proposta do projeto, uma vez que a velocidade média de vento no local onde o aerogerador será instalado é propícia para esta aplicação. No decorrer da pesquisa será possível constatar se as dimensões do aerogerador calculadas atenderão totalmente ou parcial à potência necessária ao funcionamento da unidade de bombeio.

Palavras-chave: aerogerador, elevação artificial de petróleo, energia eólica, energias renováveis.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de petróleo e gás traz inúmeros benefícios para a região onde se localiza, como por exemplo, no aumento do crescimento da economia, na elevação do volume de royalties pagos ao governo do estado, prefeituras e proprietários rurais. Uma consecutiva diminuição na produção de petróleo de um estado faz com que esses benefícios se reduzam, gerando assim, grandes impactos negativos para sua economia. Segundo o economista Aldemir Freire uma crise de petróleo no Estado do Rio Grande do Norte traz vários estragos como, por exemplo, na diminuição do crescimento da economia, na redução do volume de royalties pagos ao governo do estado, prefeituras e proprietários rurais e outros impactos significativos. Além disso, segundo ele, os empregos e a renda que são gerados nas atividades diretas de produção de petróleo e nos serviços correlacionados também são afetados [1].

Freire afirma que os benefícios gerados pela indústria petroquímica são mais expressivos em regiões onde se encontram as atividades de exploração e refino do petróleo. Quase 40% dos R\$ 9,1 bilhões de Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI) do Rio Grande do Norte são originários de atividades relacionadas ao petróleo. No total, cerca de 17,6% do VBPI do petróleo da região Nordeste vem do Rio Grande do Norte. O Estado potiguar só perde para a Bahia, que possui atualmente a maior refinaria de petróleo do Nordeste. Diante disso tudo, o Rio Grande do Norte, do ponto de vista do PIB estadual, possui o setor de petróleo e gás como o mais importante segmento econômico, sendo esta

atividade considerada fundamental para o desempenho da economia local e para o desenvolvimento do Estado potiguar [2].

Para que a indústria petroquímica continue gerando benefícios e aumente a sua colaboração no desenvolvimento do Rio Grande do Norte e de outros estados produtores é preciso solucionar problemas que envolvem o setor, como por exemplo, na elevação artificial do petróleo. Uma das etapas mais importante na indústria petroquímica é na elevação artificial de petróleo, uma vez que, esta é a principal responsável por trazer à superfície a matéria prima (petróleo) que a indústria petroquímica necessita. Para solucionar problemas na parte de elevação artificial de petróleo uma alternativa interessante para tornar viável a instalação de unidades de bombeio mecânico é a substituição da utilização de energia elétrica por energia eólica.

Como os campos de petróleo, muitas vezes, são descobertos em regiões distantes dos centros urbanos que não dispõem rede de distribuição de energia, torna-se difícil fornecer energia elétrica às unidades de bombeio mecânico. Mesmo que nestes casos a abordagem tradicional seja a utilização de motores elétricos (eletrificação rural), há casos em que a instalação de motores à combustão interna são utilizados por serem mais vantajosos economicamente [3]. Entretanto, essa alternativa apresenta algumas desvantagens, são elas: elevado custo do combustível, de distribuição e alto risco de roubo. Nesse cenário, o aproveitamento de energias renováveis para elevação de petróleo pode substituir a eletrificação rural e a utilização de motores a diesel, além de trazer benefícios para o estado produtor e ao meio ambiente, reduzindo a poluição e a agressão ao meio ambiente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A proposta deste projeto é substituir o método de alimentação convencional das unidades de bombeio mecânico (que são alimentadas através de energia elétrica) por fontes alternativas de energia como a energia eólica, por exemplo. Embora as unidades da PETROBRAS do Rio Grande do Norte e Ceará já a utilizem, em alguns campos de petróleo, sistemas de fontes de energias alternativas (figura 1) estes sistemas apresentam problemas como, por exemplo, alto custo de aquisição, elevadas perdas e baixa confiabilidade.



Figura 1 – Utilização de energia eólica pela PETROBRAS para alimentar a unidade de bombeio

Para que o aproveitamento de energias renováveis ocorra de forma viável é necessário melhorar o sistema, conforme a figura 2. Neste novo esquema, pretende-se aumentar a eficiência em mais de 90%, pois no esquema convencional as eficiências calculadas do conversor DC/AC monofásico para o inversor de frequência ficam em torno de 74%. Para atingir esta eficiência o inversor de frequência trifásico será alimentado de forma direta através do banco de baterias, com isso, não será necessária a conversão AC/DC do inversor monofásico, como ocorre atualmente. Além de aumentar a eficiência, este sistema deve possuir tamanho e custos reduzidos. Desta forma, a pesquisa neste momento inicial tem como primeiro objetivo: dimensionar o aerogerador de forma que ele forneça uma potência elétrica adequada à unidade de bombeio mecânico.



Figura 2- Modelo para tornar mais viável a utilização da energia eólica

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram divididos em partes para melhor entendimento. Na primeira parte do trabalho será abordada a análise da viabilidade da energia eólica no Rio Grande do Norte. Na segunda parte serão expostos os resultados da escolha do aerogerador. Na terceira e última etapa será mostrada os tamanhos do raio do rotor do aerogerador com seus respectivos cálculos. Abaixo pode-se encontrar cada uma das etapas e a explicação de como chegou-se até cada um dos resultados.

3.1. Análise da Energia Eólica no RN

Diversos levantamentos e estudos realizados têm dado suporte e motivado a exploração comercial da energia eólica no Brasil. Um estudo bastante importante, em âmbito nacional, foi publicado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESES/CEPEL. Nesse estudo, chamado de Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, estimou o potencial eólico brasileiro na ordem de 143 GW e constatou que os locais mais promissores estão situados no litoral dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte [4]. Analisando a disponibilidade de vento na região do Rio Grande do Norte ao longo do ano, constatamos que a utilização de energia eólica neste estado é bastante promissora (ver figura 3).

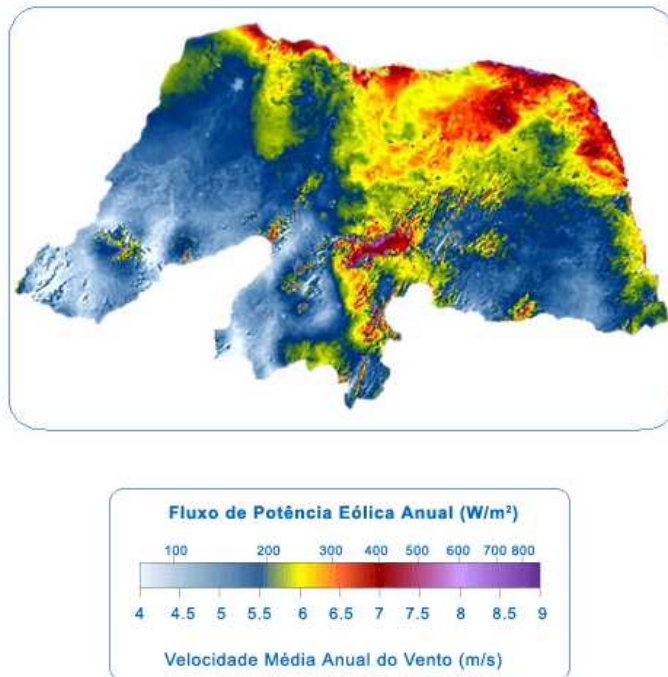


Figura 3 – Velocidade média de vento no estado do Rio Grande do Norte (Fonte <<http://www.cosern.com.br/O%20SETOR%20ELETRICO/ENERGIA%20ALTERNATIVA/ATLAS%20EOLICO%20DO%20RN/38426%3B51231%3B250103%3B0%3B0.asp?c=621>> Acesso em 10 de Maio de 2012).

Nos estudos sobre o potencial no Nordeste do Brasil, os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, apresentam, em alguns locais, um fator de capacidade (FC) que pode superar o valor de 0,4. Comparados com os valores médios da Alemanha (FC de 0,23) nota-se um grande potencial a ser explorado [5]. Com todo esse potencial à disposição, o aproveitamento eólico potiguar está mudando, pois através dos leilões de energia do governo federal (Figura 4) centenas de parques estão saindo do papel e gerando uma série de empregos e investimentos bilionários, principalmente na fase de construção.



Figura 4- Potência nominal de eólica contratada por estado



Na Figura 4 podemos observar que o Rio Grande do Norte continua como líder do setor de energia eólica no país com o maior número de parque eólicos a serem construídos até 2014 e a maior capacidade instalada (mais de 2.500 MW). Esses leilões tornam o preço da energia eólica mais barata, possibilitam que as empresas do mercado comprem energia, ajudam a viabilizar os projetos e impulsiona o uso da energia eólica. Em 2009 o governo contratou energia eólica por R\$ 140 o MWh, já em 2010 o preço caiu para R\$ 130 e em 2011 esteve valendo R\$ 99 o MWh [6].

3.2. Escolha do aerogerador

Como o estado do Rio Grande do Norte mostrou-se promissor para o aproveitamento de energia eólica, faz-se necessário analisar qual o modelo de aerogerador melhor se adequa ao projeto. Existem dois tipos de aerogeradores que podem ser utilizados no projeto: o aerogerador de eixo vertical e o de eixo horizontal. As turbinas eólicas de eixo horizontal (HAWT, na sigla em inglês) têm o eixo do rotor principal e o gerador elétrico no topo de sua torre. Quando este tipo de turbina é de pequeno porte um cata-vento simples possibilita que o aerogerador fique apontado na direção do vento. Quando as turbinas pretendem gerar uma grande potência geralmente usam um sensor de vento acoplado a um servomotor para acertar o direcionamento. Os aerogeradores, de modo geral, possuem uma caixa de engrenagens que adequa a rotação lenta das pás à rotação do gerador elétrico que trabalha com uma rotação mais elevada. Em linhas gerais, a caixa de engrenagens geralmente é usada para elevar a velocidade de giro na conexão com o gerador. Algumas turbinas operam com a velocidade constante, mas quanto maior for a variação da velocidade mais energia pode ser coletada, empregando conversores eletrônicos de potência na interface com o sistema elétrico. Neste caso, essas turbinas devem ser equipadas com controles de posicionamento das pás e sistemas de freio para evitar danos em velocidades de vento muito altas [7].

Turbinas eólicas de eixo vertical (VAWT, na sigla em inglês) têm o eixo do rotor principal disposto verticalmente. Por possuir o eixo vertical, o gerador e caixa de engrenagem podem ser colocados perto do chão, facilitando a manutenção. Além disso, este tipo de aerogerador não necessita de cata-ventos ou de sensores, pois ele não precisa ser direcionado para o vento. Este tipo de aerogerador apresenta um torque elevado por possuir baixa velocidade de rotação, isto faz com que ele necessite de maiores relações na caixa de engrenagens. É difícil analisar e projetar uma VAWT antes de fabricar um protótipo, pois é mais complicado modelar o fluxo de vento com precisão [7]. Este tipo de aerogerador é geralmente mais barato e apesar de possuir esta vantagem é menos eficiente que os aerogeradores horizontais.

O aerogerador que melhor se adequa ao projeto, com base nas características de cada modelo expostas, é o modelo de eixo horizontal, pois mesmo que este modelo possua um pouco mais de dificuldade no acesso a manutenção e exija mais complexidade mecânica, ele não possui o desgaste de seu rolamento (como ocorre com os aerogeradores verticais) e, portanto, necessita de menos manutenção e trabalha com a rotação mais elevada (reduzindo os altos custos por parte dos alternadores).

Como as turbinas eólicas têm como objetivo captar a velocidade do vento para produzir eletricidade de forma eficiente, após determinarmos o modelo de aerogerador que pode ser utilizado o próximo passo consiste na escolha do número de pás do aerogerador. Para escolher o número de pás de uma turbina de vento existem algumas variáveis que devem ser consideradas, tais como a velocidade do vento no local, o peso, o arrasto das pás, os custos e assim por diante.

Turbinas eólicas com uma ou duas pás por possuir maior velocidade de rotação, necessitam apenas de uma caixa multiplicadora reduzida já que a multiplicação de velocidade necessária será menor. Com o uso de uma caixa multiplicadora reduzida o peso do aerogerador será menor e sua instalação será mais fácil. Além disso, esses aerogeradores com uma ou duas pás possuem um menor número de hélices e peso do rotor que faz com que se tornem mais baratos quando comparado aos rotores com três pás. Mesmo possuindo custos menores, nos rotores de uma pá não há redução de peso se comparado ao de duas pás, pois é necessário que se instale um contrapeso para balancear o rotor [8]. As turbinas com duas lâminas, assim como os modelos de uma lâmina, tem a sua desvantagem na parte de equilíbrio, pois podem ter graves problemas diante de grandes oscilações de ventos. Por



dispor de duas hélices em direções contrárias, o topo da pá superior pode ser atingido por uma velocidade de vento maior do que a da parte inferior e, assim, ocasionar problemas de vibração da turbina (que são indesejáveis). Devido a isso tudo, turbinas de duas pás são mais indicadas para locais onde o vento possui baixa turbulência [9]

Os aerogeradores de três pás são os mais utilizados por apresentarem maior estabilidade estrutural, maior rendimento e menor produção de ruído quando comparado com turbinas com uma ou duas pás. Qualquer aerogerador com mais do que três pás irá apenas adicionar mais resistência ao vento e menos eficiência. Mesmo que um aerogerador possua mais de três hélices e que estas sejam confeccionadas com a mais eficiente aerodinâmica, isso não será capaz de aumentar a sua eficiência [9]. Além disso, quanto mais hélices possuir a turbina mais lentamente ela irá girar para cobrir a área de varredura do rotor [10]. As rotações lentas exigem componentes de transmissão mais pesados e caros [11].

Diante de todas essas características citadas, o número de pás mais adequado para o projeto é o de três hélices, pois terá uma melhor relação custo x benefício, maior estabilidade estrutural, maior rendimento, menor produção de ruído e ficará mais “seguro”, possibilitando uma vida útil maior. Além disso, com três pás será necessária menos complexidade dinâmica estrutural, menores custos para fabricação das hélices e evitará que mais gastos ocorram na conexão das hélices com o rotor da turbina, comparado com turbinas de mais de três pás.

3.3. Cálculo do raio do rotor

O diâmetro do rotor do aerogerador e o tamanho da sua torre ainda não foram determinados, pois a pesquisa está em sua fase inicial. Contudo, com base na equação 1, fizemos diversas simulações do tamanho do rotor do aerogerador e da sua torre. Para tanto, é necessário o conhecimento de algumas grandezas como: a área de varredura do rotor (A_r) a potência elétrica de saída do aerogerador (3 KW), a densidade do ar ($1,225 \text{ Kg/m}^3$), a velocidade do vento (variando de 1 a 10 m/s), a eficiência do conjunto gerador/transmissões mecânicas e elétricas (η) e o coeficiente aerodinâmico de potência do motor (C_p).

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_r \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta$$

Como A_r equivale a $\pi \cdot d^2/4$, adaptando a fórmula para calcular o raio do rotor obtemos a equação:

$$r = \sqrt{\frac{2P}{\rho \cdot V^3 \cdot \pi \cdot C_p \cdot \eta}}$$

P = potência em Watts;

ρ = densidade do ar em kg/m^3

A_r = área de varredura do rotor em m^2

V = velocidade do vento em m/s

C_p = coeficiente aerodinâmico de potência do motor (max. 0,45)

η = eficiência do conjunto gerador/transmissões mecânicas e elétricas (~0,93-0,98)

r = raio do rotor em m

d = diâmetro do rotor em m

Equação 1 - Equação do tamanho do raio do rotor do aerogerador obtida através da fórmula de potência
Tabela 1 - Simulação do tamanho do diâmetro do rotor do aerogerador



Potência Instantânea (Watts)	Velocidade do vento (m/s)	Coefficiente aerodinâmico de potência do motor (Cp)	Eficiência (η)	Raio do rotor (m)
3000	4	0,35	0,93	8,65
3000	4,5	0,35	0,93	7,25
3000	5	0,35	0,93	6,20
3000	5,5	0,35	0,93	5,36
3000	6	0,35	0,93	4,70
3000	6,5	0,35	0,93	4,17

6. CONCLUSÕES

Apesar da pesquisa está apenas na sua fase inicial, podemos fazer algumas constatações. Uma delas é que a energia eólica mostra-se promissora à proposta do projeto, uma vez que estudos demonstram que a média da velocidade, no local a ser instalado o aerogerador, varia entre 4 e 6,5 m/s. Dentre os modelos existentes de aerogeradores, o de eixo horizontal é o mais apropriado para o nosso caso, e conforme simulações matemáticas, o raio da sua hélice deve se situar entre 4 e 9 m.

No decorrer da pesquisa, com o aerogerador *in loco*, será possível constatar se suas dimensões calculadas atenderão parcial ou totalmente à potência necessária ao funcionamento da unidade de bombeio. É importante salientar que a pesquisa está em aberto e que muitos estudos são necessários até a conclusão do projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à PETROBRAS por proporcionar, em parceria com o IFRN, as bolsas do Programa de Formação de Recursos Humanos (PFRH).

REFERÊNCIAS

- [1] Freire, Aldemir. **Produção de Petróleo no RN Continua em Queda, mas Apresentou Sinais de Recuperação.** Disponível em: <<http://economia-do-rn.blogspot.com.br/2011/02/producao-de-petroleo-no-rn-continua-em.html>> Acesso em: 30 jul 2012.
- [2] Freire, Aldemir. **A Indústria de Petróleo e Gas do RN na Economia Industrial do Nordeste.** Disponível em: <<http://economia-do-rn.blogspot.com.br/2012/07/industria-de-petroleo-e-gas-do-rn-na.html>> Acesso em: 30 jul 2012.
- [3] Nascimento, J. M. A. **Simulador Computacional para Poços de Petróleo com Método de Elevação Artificial por Bombeio Mecânico.** 2005. 114f. Dissertação (Mestrado em Automação e Sistemas)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- [4] CRESESB/CEPEL. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf> Acesso em: 9 mai 2012.
- [5] MOLLY, J. P. Viabilidade econômica de centrais de energia eólica no Brasil. **DEWI Magazin.** n 25, p. 50-62, agosto 2004.
- [6] Pereira, Renée. **Energia eólica é destaque em leilões.** Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impreso.energia-eolica-e-destaque-em-leiloes,760722,0.htm>> Acesso em: 9 mai 2012.
- [7] Pomilio, José Antenor. **Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.** Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/files/it744/CAP1.pdf>> Acesso em: 6 ago 2012.
- [8] Dalmaç, Alessandro. **Estudo Do Potencial Eólico E Previsão De Ventos Para Geração De Eletricidade Em Santa Catarina.** 2007. 174f. Dissertação (Mestrado em Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.



- [9] Colorado Wind Power. **How many blades.** Disponível em: <<http://www.coloradowindpower.com/page.php?12>> Acesso em: 9 ago 2012.
- [10] Flap Turbine. **How many blades should a HAWT have?.** Disponível em: <http://www.flapturbine.com/how_many_blade.html> Acesso em: 9 ago 2012.
- [11] Scientific American. **Why do wind turbines have three narrow blades, but ceiling fans have five wide blades?.** Disponível em: < <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=wind-turbine-fan-blades>> Acesso em: 9 ago 2012.