



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Centro de Engenharias
Curso de Engenharia de Energia

GIAN CLEITON BRAÚNA CHAVES

ESTUDO DO SISTEMA EÓLICO PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA NA
ZONA RURAL DE LIMOEIRO DO NORTE

Mossoró/RN
2017

GIAN CLEITON BRAÚNA CHAVES

**ESTUDO DO SISTEMA EÓLICO PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA
NA ZONA RURAL DE LIMOEIRO DO NORTE**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – **UFERSA**, Centro de
Engenharias para a obtenção do
título de Engenheiro de Energia.

Orientador: Adriano Aron Freitas
de Moura.

Gian Cleiton B. Chaves

Assinatura do Aluno

Adriano Aron Freitas de Moura

Assinatura do Orientador

Aprovado:

em: 16 / 10 / 17

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por renovar minhas forças dia após dia e por sempre me ajudar a superar meus momentos de fraquezas.

Aos meus pais, FRANCISCO GEORGE e MARIA LUCILA por estarem sempre ao meu lado apoiando todas as minhas decisões, acreditando no meu potencial, sonhando juntos, e acima de tudo dedicando um amor inigualável, que me ajudou a superar todas as barreiras durante esta jornada.

Aos meus irmãos, GERLÂNIO CRISTIAN e GEORGIA MARLA, que me apoiaram em todos os momentos difíceis.

Expresso minha gratidão ao Prof. ADRIANO AROM, pela paciência, pelo dom que o mesmo tem de orientar, por acreditar no meu potencial, possibilitando concluir mais uma etapa da minha vida.

Ao Professor EDNARDO PEREIRA e ao MESTRANDO LUAN GEORGY, pela disponibilidade de estar presente na banca examinadora.

A todos os Professores em geral da UFERSA – Mossoró/Angicos que contribuíram para conclusão dessa jornada.

Enfim a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, a vocês o meu muito obrigada.

RESUMO

Nas últimas décadas se tem notado uma crescente busca por alternativas de fontes renováveis de energia, devido aos impactos causados pelas formas tradicionais de geração de energia elétrica, e principalmente o custo elevado de energia causado pela crise hídrica. A utilização de novas soluções para o fornecimento de energia visa uma fonte alternativa de energia que possa agredir em menor escala o meio ambiente. A partir dessa busca, é visto um grande espaço para a penetração das energias renováveis, em especial a energia eólica que se caracteriza como uma fonte alternativa de grande importância para a elaboração de novos cenários energéticos ecologicamente melhores. Avaliar a viabilidade econômica da implantação do sistema eólico para bombeamento de água na zona rural de Limoeiro do Norte é um ponto muito importante a ser estudado. O projeto de implantação desses sistemas baseou-se no levantamento do consumo anual médio de energia elétrica dos pequenos agricultores municipais através de dados fornecidos pela ENEL. Deste modo, o estudo permitiu determinar o potencial das bombas e realizar uma análise da viabilidade econômica com a implantação do sistema.

Palavras-chave: Fontes renováveis; viabilidade econômica; energia eólica.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Anemômetro Digital.....	8
Imagem 2 - Moinho de vento.....	12
Imagem 3 - Cata-vento com Múltiplas Hélices (Pás).....	12
Imagem 4 - Corte transversal da turbina Savonius.....	14
Imagem 5 - Cata-Vento Savonius.....	15
Imagem 6 - Bomba de pistão aspiro-premente.....	20
Imagem 7 - Caixa d'água.....	21
Imagem 8 - Tubulação de PVC.....	21
Imagem 9 - Tubo de polietileno.....	22
Imagem 10 - Válvula de pé.....	22
Imagem 11 - Manivela.....	23
Imagem 12 - Sistema Completo.....	23
Imagem 13 - Cata-vento Mais Caixa D'água.....	24
Imagem 14 - Linhas principais e de derivação.....	25
Imagem 15 - Dados Eólicos de Limoeiro do Norte.....	26
Imagem 16 - Motor Elétrico.....	29
Imagem 17 - Consumo do Motor Elétrico.....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo Geral	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
3. REFERENCIAL TEÓRICO	7
3.1 Energia Eólica.....	7
3.1.1 Histórico do moinho de vento usado para irrigação. (CATA-VENTO)	9
3.1.2 Tipos de moinhos usados na irrigação.....	13
3.1.3 Dimensionamento do sistema com múltiplas hélices (Pás).....	15
3.1.4 Construção do sistema com múltiplas Hélices (Pás)	19
4. METODOLOGIA	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Cata-vento X Motor elétrico	27
6. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o fator energético é um dos pontos mais importantes para continuidade e desenvolvimento de uma sociedade. É também de conhecimento geral, a vulnerabilidade dos atuais mecanismos de suprimento de energia.

Com o passar dos anos têm-se visto uma crescente busca por fontes de energia renováveis, devido ao aumento dos preços das fontes não renováveis de energia, como: petróleo, gás, carvão, aliado a uma possível escassez desses recursos, proporcionando assim um forte estímulo para a substituição dos convencionais meios de produção e de consumo energético por outras fontes alternativas.

Devido ao crescimento do consumo de energia elétrica no mundo atual, e a necessidade de uma geração de energia que tenha o mínimo de impacto ambiental possível, as chamadas fontes de energia limpa vem ganhando cada vez mais espaço nos grandes centros consumidores, diversificando assim, o sistema elétrico dos principais países do mundo, incluindo o Brasil.

O Nordeste, segundo Mialhe (1980), apresenta grande potencial para aproveitamento da energia eólica isto, quando comparado com outras regiões do globo. Salienta-se que este manancial tem sido pouco aproveitado de um lado pela política de desenvolvimento e, por outro, pelo fator econômico (Hirta et al.,1987).

O sistema eólico para bombeamento de água vem sendo utilizado a muito tempo desde as primeiras civilizações, onde não havia a existência de energia elétrica, a única energia que se utilizava era a dos ventos e todas as plantações eram supridas

por esse sistema. Após a descoberta da energia elétrica esse sistema foi sendo deixado de lado, por causa da criação dos motores e suas praticidades. Atualmente os pequenos agricultores estão tentando encontrar outra forma de sistema de irrigação e com valores mais acessíveis, pois os sistemas decorrentes da energia elétrica convencionais se tornaram inacessíveis para os pequenos produtores rurais.

Para Andrade (1990) o incremento da agricultura irrigada necessita do incremento de sistemas de irrigação simples, de baixo custo de aquisição e de baixo ou nenhum uso de energia convencional e que possam ser individualmente comercializados.

O funcionamento de sistemas de irrigação localizada de baixa pressão de serviço permite a utilização de fontes energéticas alternativas que pela utilização de estruturas simples (cata-ventos, tanques para armazenamento da água com pressão suficiente para acionamento dos emissores (Santos et al., 1996).

Segundo Medeiros et al. (1986) o sistema convencional de bombeamento é composto de um rotor de múltiplas pás e uma bomba alternativa acoplada por varilha que serve de elemento de transmissão da energia mecânica.

Sendo assim, uma boa ideia seria adaptar esses sistemas eólicos de antigamente para os dias atuais. Desta forma poderia baratear os custos de energia elétrica dos pequenos produtores rurais em virtude das dificuldades que os mesmos se encontram em quitar essas dívidas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

- Verificar se o sistema eólico para bombeamento de água é viável para satisfazer os pequenos agricultores da cidade de Limoeiro do Norte, diminuindo suas respectivas faturas de energia.

2.2 Objetivos Específico

- Realizar estudos e pesquisas bibliográficas sobre sistema eólico para bombeamento de água;
- Inspecionar a estrutura do local a ser instalado o devido sistema;
- Verificar se a instalação do sistema é viável ou não.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Energia eólica

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água (ENEEL, 2006).

A disponibilidade dos ventos varia de acordo com as estações do ano, região, latitude, condições atmosféricas e altitudes. Sendo assim, pode-se medir a velocidade e a direção do mesmo atreves de equipamento específico, o de maior utilização é chamado de anemômetro. A imagem 1 abaixo ilustra esse equipamento específico.

Imagem 1 – Anemômetro digital



Fonte: www.impact.com.br

Energia cinética é a quantidade de trabalho que teve que ser realizado sobre um objeto para modificar a sua velocidade seja a partir do repouso, seja a partir de uma velocidade inicial (BOMBA EÓLICA, 2009).

A quantidade de energia transferida é função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás e da velocidade do vento (BOMBA EÓLICA, 2009).

Pode ser obtida pela expressão:

$$Ec = \frac{1}{2} mV^2 \quad \text{Eq (1)}$$

- E_c : Energia Cinética
- M: Massa
- V: Velocidade

A avaliação precisa do potencial de vento em uma região é o primeiro e fundamental passo para o aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia (BOMBA EÓLICA, 2009).

Para a avaliação do potencial eólico de uma região é necessária à coleta de dados de vento com precisão e qualidade, capaz de fornecer um mapeamento eólico da região (BOMBA EÓLICA, 2009).

Quando foi feito o uso desse sistema para bombeamento de água não é muito diferente do sistema de geração convencional. A diferença principal é que em vez de gerar energia elétrica o mesmo vai puxar água de um poço através de uma bomba onde a mesma é acionada através da rotação das hélices de modo geral.

3.1.1 Histórico do moinho de vento usado para irrigação. (CATA-VENTO)

O primeiro registro histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta de 200 A.C. Esse tipo de moinho de eixo vertical veio a se espalhar pelo mundo islâmico sendo utilizado por vários séculos (CHESFBRASCEP, 1987). (SHEFHERD, 1994).

Acredita-se que antes da invenção dos cata-ventos na Pérsia, a China (por volta de 2000 A.C.) e o Império Babilônico (por volta 1700A.C) também utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação (CHESFBRASCEP, 1987). (SHEFHERD, 1994).

Esse sistema veio se expandir cada vez mais, pois as atividades de bombear água utilizando força humana necessitava de muito esforço e já não estava sendo atendido na época.

Mesmo com baixa eficiência devido a suas características, os cata-ventos primitivos apresentavam vantagens importantes para o desenvolvimento das necessidades básicas de bombeamento d'água ou moagem de grãos, substituindo a força motriz humana ou animal (DUTRA, 2008).

Não se sabe muito sobre o desenvolvimento e uso dos cata-ventos primitivos da China e Oriente Médio como também dos cata-ventos surgidos no Mediterrâneo. Um importante desenvolvimento da tecnologia primitiva foram os primeiros modelos a utilizarem velas de sustentação em eixo horizontal encontrados nas ilhas gregas do Mediterrâneo (DUTRA, 2008).

Na Holanda, entre os séculos XVII a XIX, o uso de moinhos de vento em grande escala esteve amplamente relacionado com a drenagem de terras cobertas pelas águas (SHEPHERD, 1994).

A área de Beemster Polder, que ficava três metros abaixo do nível do mar, foi drenada por 26 moinhos de vento de até 50 HP cada, entre os anos de 1608 e 1612. Mais tarde, a região de Schermer Polder também foi drenada por 36 moinhos de vento durante quatro anos, a uma vazão total de $1.000 \text{ m}^3/\text{min}$. (SHEPHERD, 1994).

Um importante marco para a energia eólica na Europa foi a revolução Industrial no final do Século XIX. Com o surgimento da máquina a vapor, iniciou-se o declínio do uso da energia eólica na Holanda. Já no início do século XX, existiam apenas 2.500 moinhos de ventos em operação, caindo para menos de 1.000 no ano de 1960 (CHESF-BRASCEP, 1987).

A utilização de cata-ventos de múltiplas pás destinados ao bombeamento d'água desenvolveu-se de forma efetiva, em diversos países, principalmente nas suas áreas rurais. Acredita-

se que, desde a segunda metade do século XIX, mais de 6 milhões de cata-ventos já teriam sido fabricados e instalados somente nos Estados Unidos para o bombeamento d'água em sedes de fazendas isoladas e para abastecimento de bebedouros para o gado em pastagens extensas (CHESF-BRASCEP,1987).

Os cata-ventos de múltiplas pás foram usados também em outras regiões como a Austrália, Rússia África e América Latina. O sistema se adaptou muito bem às condições rurais tendo em vista suas características de fácil operação e manutenção (DUTRA, 2008).

Toda a estrutura era feita de metal e o sistema de bombeamento era feito por meio de bombas e pistões, favorecidos pelo alto torque fornecido pelo grande número de pás. Até hoje esse sistema é largamente usado em várias partes do mundo para bombeamento d'água (DUTRA, 2008).

Logo abaixo percebe-se um pouco da mudança que os moinhos sofreram até os dias atuais de acordo com as imagens 2 e 3.

Imagem 2 – Moinho de vento



Fonte: www.pedesenvolvimento.com

Imagem 3 – Cata-vento com múltiplas hélices (Pás)



Fonte: nl.wikipedia.org

3.1.2 Tipos de moinhos usados na irrigação

Os rotores verticais são devidamente mais utilizados por causa das suas praticidades, como exemplo, não necessitam de mecanismos de acompanhamento para variações na direção do vento. Seus principais tipos são:

- Savonius;
- Convencional com múltiplas hélices (pás).

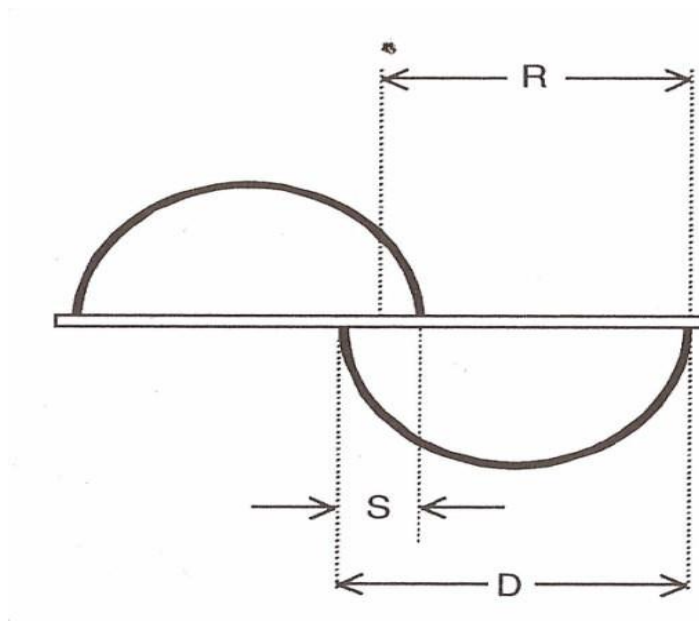
Conforme Souza et al., 2004, p. 32

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

As turbinas de eixo vertical, tipo arraste, operam pelo princípio do atrito causado pelo vento nas pás da turbina. Esse modelo de turbina é de simples construção, pois funcionam para qualquer direção do vento, podendo constituir-se de duas partes de um tonel cortado ao meio, uma parte fixada em oposição à outra, por uma de suas arestas longitudinais opostas, conforme sua concepção original pelo engenheiro J. Savonius (NOGUEIRA, 2009).

Logo abaixo pode-se observar o corte transversal da mesma de acordo com a imagem 4:

Imagem 4 – Corte transversal da turbina Savonius.



Fonte: (Nogueira, 2009).

O torque da turbina Savonius é produzido pela diferença de pressão entre as superfícies côncava e a convexa, e também pela circulação do ar que chega por trás da superfície convexa. Sua eficiência chega a 31%, mas apresenta desvantagem em relação ao peso por unidade de potência, pois sua área de construção é totalmente ocupada por material. (NOGUEIRA, 2009).

O cata-vento Savonius não é utilizado no interior do CEARÁ que é a região de estudo do presente trabalho. Sendo assim, este presente trabalho vai se aprofundar no sistema mais utilizado na irrigação, que é o convencional com múltiplas hélices (Pás).

A imagem abaixo demonstra o cata-vento Savonius na sua forma final de acordo com a imagem 5:

Imagem 5 – Cata-vento Savonius.



Fonte: www.engenheirosassociados.com.br

3.1.3 Dimensionamento do sistema com múltiplas hélices (Pás).

Este sistema de armazenamento da energia eólica é composto por uma bomba conectada ao eixo de saída da turbina. Quando a turbina atinge determinada velocidade de rotação aciona o mecanismo da bomba que eleva determinada quantidade de água para um reservatório situado a uma altura específica, armazenando assim, a energia eólica – mecânica sob a forma de energia potencial da massa de água. Quando necessário, a água é escoada e aciona uma turbina hidráulica para que a energia acumulada possa ser usada (BOMBA EÓLICA, 2009).

Nesses casos, a turbina costuma ser instalada logo acima da fonte de captação de água (que pode ser um poço) e a água

pode também, ser armazenada para simples consumo ao invés de gerar eletricidade (BOMBA EÓLICA, 2009).

Antes da implementação desse sistema são necessários cálculos prévios para saber se o local adequado.

1 passo: Cálculo da potência gerada pelo cata-vento que é igual ao trabalho dividido pelo tempo. É importante lembrar que só 59% dessa potência vai ser aproveitada aproximadamente quando o sistema trabalha de maneira excelente sem falha alguma.

$$P = \frac{W}{\Delta T} \quad \text{Eq (2)}$$

2 passo: O vento realiza o trabalho, então o mesmo é igual a energia cinética, sendo assim calcula-se de acordo com a equação 3 logo abaixo:

$$W = Ec = \frac{mV^2}{2} \quad \text{Eq (3)}$$

$$P = \frac{\frac{mV^2}{2}}{\Delta T} = \frac{mV^2}{2\Delta T} \quad \text{Eq (4)}$$

$$P = \frac{\rho V^3 A}{2} \quad \text{Eq (5)}$$

- ρ : Densidade do ar
- V : Velocidade
- A : Área varrida pelas hélices do rotor

A equação 5 é de grande importância, pois é através dela que foi possível conhecer o real aproveitamento da energia eólica em que o sistema está submetido.

Para o cálculo do potencial eólico disponível do vento é necessário a utilização da equação 6 que está situada logo abaixo:

$$\frac{P}{A} = K * V^3 \quad \text{Eq (6)}$$

- P: Potencial eólico (W/m^2);
- K: Valor tabelado;
- V: Velocidade do vento (m/s).

A equação (6) fornece o potencial energético do vento. Porém, apenas uma fração desse potencial poderá ser realmente convertido em trabalho útil por um cata-vento por exemplo. Através de pesquisas realizadas por Betz, chegou-se à conclusão que o cata-vento ideal consegue captar apenas 59,3% da potência disponível do vento (BOMBA EÓLICA, 2009).

Essa porcentagem da potência do vento, que é possível ser captada por um motor eólico, tem sido denominada de "coeficiente de potência máxima 17 (C_p)". Segundo estudos desenvolvidos, o valor de 0,593 para " C_p " não levam em conta as perdas aerodinâmicas no rotor, as variações da velocidade nos vários pontos da área de captação, o tipo de rotor e outras variáveis. Assim, na prática, o coeficiente " C_p " geralmente não ultrapassa o valor 0,3. A avaliação das potencialidades para utilização de motores eólicos, a partir dos dados dos ventos nos locais em estudo, pode ser realizada através da equação (7) (BOMBA EÓLICA, 2009).

$$\frac{P}{A} = 0,3 * V^3 \quad \text{Eq (7)}$$

Essa informação do potencial eólico é de suma importância na implantação do sistema, como por exemplo, através do mesmo foi possível saber o quanto de energia está disponível e também os seus limites na conversão da mesma em energia mecânica ou elétrica.

A conversão subsequente em potência de bombeamento resulta numa redução de potência disponível que depende das eficiências da transmissão e da bomba. Numa primeira estimativa, para sistemas eólicos de bombeamento d'água, esses efeitos levam à seguinte regra prática, a potência hidráulica média de saída num dado local com uma determinada velocidade média do vento é calculado pela equação (8) (BOMBA EÓLICA, 2009).

$$P_{hidr} = 0,1 * A * V^3 \quad \text{Eq (8)}$$

- P_{hidr} : Potência hídrica (w);
- A : Área da pá(m^2);
- V : Velocidade eólica média (m/s).

É de extrema importância o conhecimento do cálculo da vazão de água bombeada para se saber o tamanho e o tipo de sistema a ser utilizado, isso se dá logo após encontrar a potência hidráulica.

Segundo Silva, Seraphim e Teixeira (2003), a vazão recalçada pode ser calculada de maneira aproximada pela relação a seguir:

$$Q_M = \frac{3600 * P_{hidr}}{\rho a * g * H_m} \quad \text{Eq (9)}$$

$$Q_M = \frac{P_{hydr}}{2,725 * H_m} \quad \text{Eq (10)}$$

- Q_m : Vazão (m^3/h)
- P_{hydr} : Potência hidráulica (w)
- ρ_a : Densidade da água ($100 \text{ kg}/m^3$)
- g : Aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m}/s^2$)
- H_m : Altura manométrica (m)

Essa vazão recalçada é a quantidade d'água que o cata-vento consegue puxar do poço e jogar dentro da caixa d'água através de uma tubulação específica para aquele sistema.

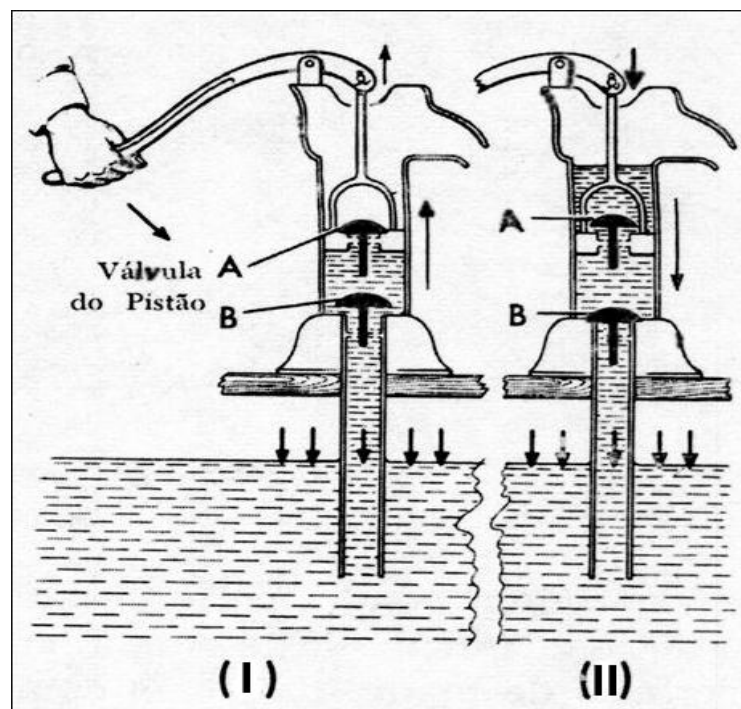
3.1.4 Construção do sistema com múltiplas hélices (Pás)

O sistema deste presente trabalho será construído para abastecer uma plantação de feijão através da técnica do gotejamento em uma área de 500 m^2 . Como já foi dito, neste trabalho apenas o cata-vento do tipo convencional com múltiplas hélices (pás). Utilizou-se uma estrutura com 18 hélices uma torre com 10 m de altura e uma bomba do tipo pistão aspiro-premente e capacidade nominal de $1,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, uma caixa d'água de fibra com capacidade de 2 m^3 instalada a $6,5 \text{ m}$ de altura, servindo de recipiente para a água puxada do poço. Terá uma tubulação de PVC com diâmetro de 50 mm na sua linha principal, nas suas linhas de derivação foram de POLIETILENO de 20 mm de cor preta evitando assim a possibilidade de surgimento de algas onde as mesmas podem prejudicar o respectivo sistema causando entupimento das vias.

Logo abaixo pode-se observar a imagem 6 que ilustra a bomba de pistão aspiro-premente e seu funcionamento em

termos básicos. E algumas imagens de alguns equipamentos que constituem partes principais do sistema, por exemplo, as imagens 7, 8, 9, 10 e 11.

Imagem 6 – Bomba de pistão aspiro-premente



Fonte: www.pontociencia.org.br

Esse tipo de princípio da imagem 6 ainda é muito utilizado por pequenos agricultores familiares nas zonas rurais do interior do Ceará, onde o sistema de água encanada convencional não consegue abastecê-los. O presente trabalho não poderia abordar o assunto da bomba de pistão sem comentar sobre o respectivo sistema, pois é equivalente ao sistema de sucção de água que utiliza energia eólica através do cata-vento.

Em (I), ao puxar o pistão para cima, diminuí a pressão na câmara abaixo do pistão. A válvula B se abre e a pressão atmosférica que atua na superfície livre do líquido (representada pelas setas verticais) força a água para dentro da câmara. Em (II), ao empurrar o pistão para baixo, a válvula B se fecha, enquanto a válvula A se abre. A água contida na câmara é forçada a sair

atravessando a válvula A. Esse é basicamente o funcionamento da bomba de pistão.

Imagem 7 – Caixa d'água



Fonte: www.americanas.com.br

Imagem 8 – tubulação de PVC



Fonte: www.produto.mercadolivre.com.br

Imagem 9 – Tubo de polietileno



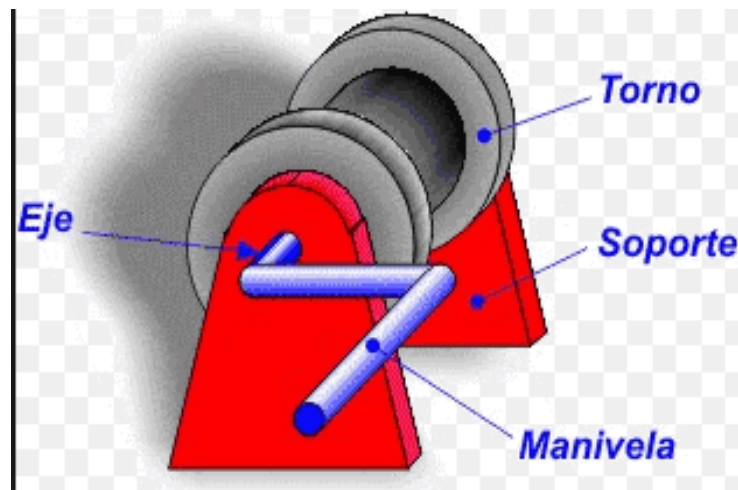
Fonte: www.tigre.com.br

Imagem 10 – Válvula de pé



Fonte: www.produto.mercadolivre.com.br

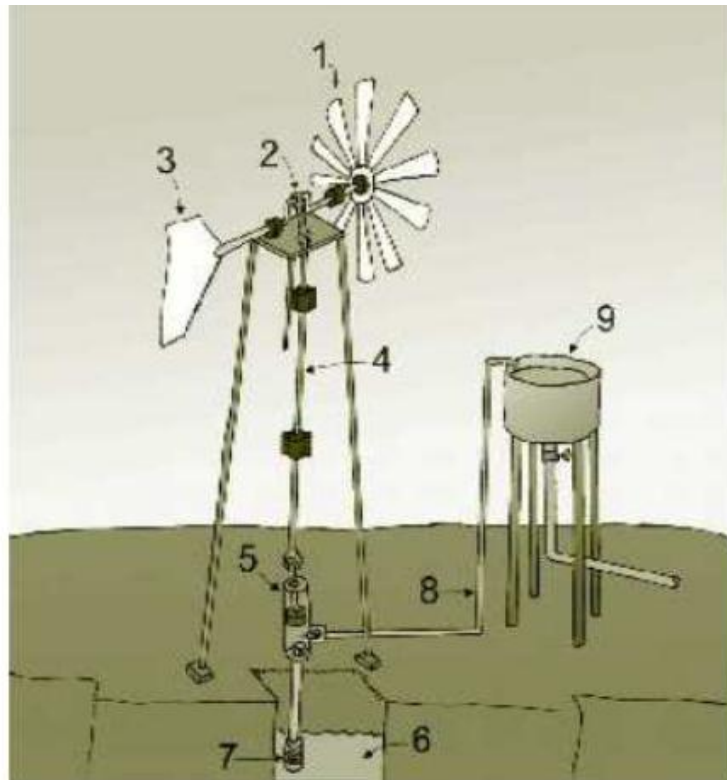
Imagem 11 – Manivela



Fonte: www.concurso.cnice.mec.es

Sendo assim o sistema completo semelhante ao estudado se encontra -se abaixo onde pode-se observar o local de cada peça que será utilizada de acordo com a imagem 12:

Imagem 12 – Sistema completo



- | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1 – Rotor eólico | 4 – Haste de acionamento da bomba | 7 – Válvula de pé |
| 2 – Manivela | 5 – Bomba a pistão | 8 – Tubo de recalque |
| 3 – Mecanismo de controle | 6 – Poço | 9 – Caixa d'água |

Fonte: (MAEDA, 2010)

Geralmente é utilizado para bombear água para reservatórios posicionados a uma altitude elevada, muitas vezes na própria torre de sustentação do cata-vento.

Do reservatório a água pode então ser distribuída por gravidade a sistemas de irrigação por gotejamento, micro aspersão ou superficial (MAEDA, 2010).

É um sistema de alto custo de aquisição em comparação ao sistema de bombeamento elétrico convencional, mas de baixo custo de operação e manutenção. Uma necessidade básica para a instalação do sistema é que a região tenha ventos acima de 2,5 m/s (EMBRAPA CNPAT, 2010).

O sistema completo em estudo ficará aproximadamente igual ao da imagem 13 abaixo, que ilustra o conjunto cata-vento mais caixa d'água:

Imagem 13 – Cata-vento mais caixa d'água

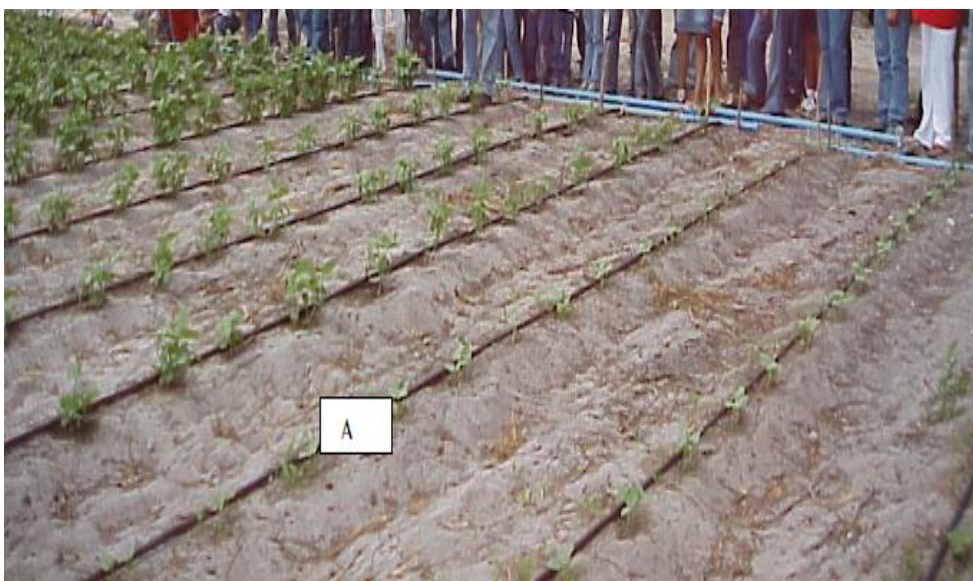


Fonte: (ARAÚJO, 2003)

A quantidade de água bombeada diariamente é função da velocidade do vento, da localização do cata-vento, da altura da torre, do diâmetro do rotor e da capacidade da bomba, principalmente (ARAÚJO, 2003).

A imagem 14 demonstra as linhas principais e de derivação no sistema de gotejamento. Está situada logo abaixo:

Imagem 14 – Linhas principais e de derivação



Fonte: (ARAÚJO, 2003)

4. METODOLOGIA

O estudo será desenvolvido na cidade de Limoeiro do Norte, mais precisamente no Sítio Córrego de Areia na zona rural. Serão feitas inspeções visuais no local e também serão coletados dados sobre a incidência de ventos no mesmo, isso tudo auxiliado por livros e bibliografias sobre o assunto, entre outras análises.

O presente tópico visa apresentar a metodologia utilizada no dimensionamento e análise de custos de um sistema eólico

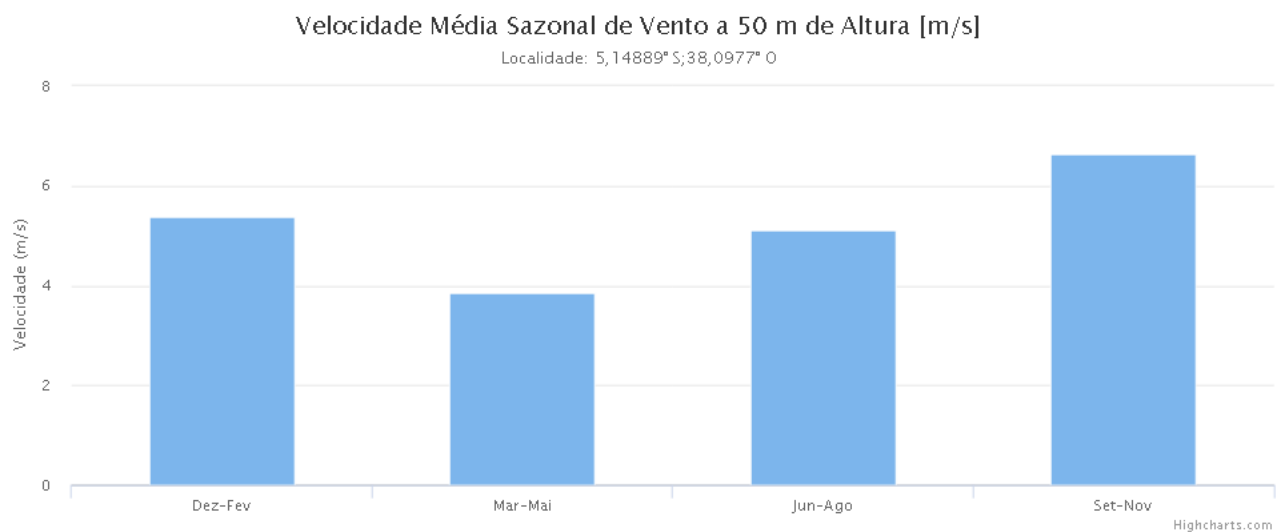
para bombeamento de água, implantado na fazenda Beira – Rio na zona rural de Limoeiro do Norte Ceará.

Pode-se dizer que o procedimento de dimensionamento de um sistema eólico para bombeamento de água é composto por diversas etapas, entre elas estão: a avaliação do recurso eólico disponível, cálculo da demanda a ser atendida pelo sistema, escolha do sistema a ser utilizado, determinação do local e orientação da instalação do mesmo, entre outras.

Para a obtenção de dados eólicos referentes a cidade de Limoeiro do Norte utilizou-se o site CRESESB, levou-se em consideração as coordenadas geográficas do local a ser analisado. Logo abaixo observou-se esses dados eólicos de acordo com a imagem 15.

Imagem 15 – Dados eólicos de Limoeiro do Norte

Latitude: 5,14889° S							
Longitude: 38,0977° O							
Atlas do Potencial Eólico Brasileiro		Dados de vento a 50 m de Altura					
Grandeza	Unidade	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual	
velocidade média do vento	m/s	5,38	3,86	5,12	6,64	5,25	
fator c		6,07	4,36	5,75	7,38	5,92	
fator k		2,37	2,08	2,81	3,49	2,41	
densidade de potência	W/m2	157	65	120	234	144	



Fonte: www.cresesb.cepel.br

Após esses dados foi possível fazer os cálculos necessários para a confecção do sistema em estudo. Deste modo as etapas que constituem essa análise são:

- Definir os conceitos do sistema eólico para bombeamento de água;
- Realizar o levantamento de dados referente ao potencial eólico da localidade, levando em consideração suas coordenadas geográficas;
- Determinar o local mais adequado para a implantação do sistema;
- Dimensionar o respectivo sistema;
- Comparar-lo com o sistema elétrico convencional, para se saber o mais adequado para aquela situação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Cata-vento X Motor elétrico

Baseado na metodologia do capítulo anterior, o presente capítulo objetiva proceder com o estudo da viabilidade da implantação de um sistema eólico para bombeamento d'água na zona rural de Limoeiro do Norte - CE, mais precisamente no Sítio Córrego de Areia na fazenda Beira – Rio, a fim de verificar se é viável a implantação desse sistema em relação ao sistema elétrico convencional, no caso, os motores elétricos.

Os custos para a implantação desse sistema estão na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Custos

Item	Descrição	Unid	Quant	Valor R\$	
				Unit	Total
01	Catavento	Um	01	3.700,00	3.700,00
02	Tubo de PVC azul, Din 50 mm, vara com 6 m	Vara	15	16,00	240,00
03	Tubo PEBD Din. 20 mm	Metro	3.480	0,85	2.958,00
04	Registro de globo Din.50 mm	Um	13	19,00	247,00
05	Registro de globo, din. 20 mm com adaptador	Um	15	8,10	121,50
06	Curva 90° din. 50 mm	Uma	02	9,80	19,60
07	Tê em PVC azul Din. 50 mm	Um	04	5,40	21,60
08	CAP em PVC Din. 50 mm	Um	10	2,80	280,00
09	Conector com chula p/tubo PEBD 20 mm	Um	40	2,9	116,00
10	Gotejador Katif, vazão 2,3 L/hora	Um	7350	0,35	2.572,50
11	Tubo em PVC roscável Din.1 ½” vara c/ 6 m	Vara	04	43,00	172,00
12	Joelho em PVC roscável Din.1 ½” vara c/ 6 m	Um	08	7,80	62,40
13	Luva em PVC roscável Din.1 ½” vara c/ 6 m	Um	04	5,00	20,00
14	Luva em aço galvanizado Din.1 ½” vara c/ 6 m	Um	04	6,00	24,00
15	Conectores para tubo PEBD Din 20 mm	Um	30	0,65	19,50
16	Tê PVC roscável, Din.1 ½” vara c/ 6 m	Um	02	5,60	11,20
17	Mangueira plástica Din ½”	Metro	03	090	2,70
18	Fita veda rosca 8 x 25	Rolo	10	1,65	16,50
19	Adesivo para tubo de PVC	Tubo	10	1,65	16,50
20	CAP PVC esgoto Din 150 mm	Um	02	22,50	45,00
21	Tubo PVC esgoto Din. 150 mm	Metro	01	3,00	3,00
22	Conexões diversas*	Verba			74,50
23	Caixa d’água 2.000 L	Uma	01	500,00	500,00
24	Torre para caixa d’água	Uma	01	1.500,00	1500,00
25	Mão-de-obra para instalação do sistema de irrigação	H/D	20	15,00	300,00
26	TOTAL				13.413,00

Fonte: Autoria própria

Na fazenda em estudo existem 3 motores de 10 *cv* trifásico de alta rotação que abastecem toda a demanda da fazenda. O presente trabalho só tomou por base apenas 1 dos três motores citados, pelo fato de ser uma pesquisa acadêmica em questão e a área em estudo não necessita mais que deles.

A figura 16 abaixo demonstra o tipo de motor que é utilizado na fazenda.

Imagem 16 – Motor elétrico



Fonte: www.submarino.com.br

O motor elétrico tem suas vantagens, como por exemplo, a praticidade de sua instalação, manutenção e usam seus enrolamentos com mais eficiência, isso faz com que eles sejam mais leves e compactos. Porém exige um alto consumo de energia para exercer a função de bombear água diariamente do respectivo poço situado na fazenda e seus enrolamentos se estragam rapidamente por causa do uso demasiado, causando a queima do mesmo. Em conversa com o proprietário da fazenda o senhor Francisco George Gondim Chaves foi dito que este mesmo motor já foi rebobinado 3 vezes só esse ano, gastando no total de R\$ 200,00 em cada serviço, somando um total de R\$ 600,00.

O proprietário gastou em média R\$ 6.000,00 na instalação do respectivo sistema em estudo R\$ 3.000,00 apenas no motor e os outros R\$ 3.000,00 ficou dividido em válvula, encanamento específico, chave trifásica, fiação e a montagem. Lembrando que diferente do sistema anterior que vai trabalhar no método do gotejamento, este trabalha baseado no método da inundação que tem um gasto muito exorbitante de água.

Será tomado como base o consumo equivalente desse sistema no mês de junho. A imagem 17 logo abaixo demonstra esse consumo:

Imagem 17 – Consumo do motor elétrico

[illegible]

Fonte: (Enel, 2017)

Pode-se perceber que é um consumo de energia muito alto e por consequência disso um alto valor a ser pago pelo proprietário chegando em um total de R\$ 410,89. Lembrando que esse sistema é utilizado para abastecer uma área equivalente a que o sistema de bombeamento d'água vai abastecer, aproximadamente uma área de 500 m^2 .

Levando em consideração os 6 meses da estação não chuvosa aqui no Ceará podemos fazer um cálculo simples para se ter uma ideia de como vai ser o consumo aproximadamente desse motor durante os 12 meses do ano. O proprietário relatou que o consumo cai pela metade na estação chuvosa, respectivamente nos outros 6 meses. Então se multiplicarmos o valor em R\$ do mês de junho vezes 6 que são os meses da estação não chuvosa, chegaremos nesse valor de R\$ 2.465,34 e se dividirmos esse valor por 2, encontraremos o valor dos 6

meses da estação chuvosa que é de R\$ 1.232,57. Por fim a soma desses dois valores vai dar aproximadamente o consumo anual do sistema com motor elétrico, que foi de R\$ 3.697,91. Esse valor só tem a aumentar consideravelmente ao longo da sua vida útil.

6. CONCLUSÃO

Atualmente a aplicação desses sistemas eólicos para bombeamento d'água vem crescendo consideravelmente nesse último ano devido a dependência da população rural por eletricidade. Esse sistema vem tendo destaque por ser uma energia renovável e limpa. Diferente do que muitas pessoas pensam sobre esse sistema, este pode ser instalado tanto no meio rural quanto no urbano.

O presente estudo permitiu verificar se é viável ou não a implantação desse sistema na zona rural de Limoeiro do Norte - CE, mais precisamente no Sítio Córrego de Areia na fazenda Beira – Rio. Desta forma foi possível obter dados eólicos com a ajuda do site CRESESB, onde foi inserido as coordenadas geográficas da região a ser estudada. Com isso foi possível dimensionar e projetar de acordo com a necessidade do local, pode-se conseguir também o valor total do sistema completo que chegou num valor aproximadamente de R\$ 13.413,00 R\$. Um valor bastante considerável.

O modelo elétrico pode ter um custo de implantação menor, mas a longo prazo o mesmo vai se sair muito mais caro, por causa da sua manutenção cara e o alto custo das tarifas. Sendo assim, chegou-se à conclusão que o sistema de bombeamento d'água é viável em relação ao sistema elétrico convencional.

Uma sugestão para trabalhos futuros é o estudo desses sistemas para grandes produtores rurais de Limoeiro do Norte – CE onde eles possam suprir pelo menos uma parte das suas demandas.

REFERÊNCIAS

Agencia Nacional de Energia Eletrica (ANEEL). **Energia Eólica**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf)> Acesso em 10 jul. 2017.

Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/>> Acesso em: 10 jul. 2017.

CRESESB, Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito. **Manual de engenharia para sistemas eólicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014. 530p.

CRESESB. **POTENCIAL EÓLICO – SUNDATA**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 10 jul. 2017.

CÍCERO, U.N 2009. Utilização de Sistemas Solar e Eólico no bombeamento de água para uso na irrigação. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS).

EMBRAPA, CNPAT. Energia eólica [on-line] Disponível: <http://www.cnpat.embrapa.br/home/janela.php?Id=58>. Acessado em jul 2017.

Energia Eólica. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/matriz-energetica/energia-eolica>>. Acesso em 10 jul. 2017.

LEONARDO, K. M 2010. Análise de Sistemas alternativos de bombeamento, condução de água e irrigação: estudo de caso a horta municipal de São Carlos. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos da UNESP, SP.