



**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR ENERGIA
 EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO**

**FEASIBILITY ANALYSIS OF WIND POWER DRIVE PUMPING SYSTEMS FOR IRRIGATION IN
 THE SÃO FRANCISCO VALLEY**

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE SISTEMAS DE BOMBEO EÓLICOS PARA EL RIEGO EN EL
 VALLE DE SÃO FRANCISCO**

Kennedy Almeida Sampaio Vieira¹, Deivid Santos de Almeida²

e391882

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i9.1882>

PUBLICADO: 09/2022

RESUMO

A fruticultura irrigada no Brasil tem como polo comercial o Vale do São Francisco, cujo reconhecimento faz-se tanto no âmbito nacional, quanto no internacional. A sua economia é baseada em parte na fruticultura irrigada, onde há considerável consumo de energia nos sistemas de bombeamento para a irrigação, aumentando as tarifas de energia e encarecendo a produção agrícola local. Analisou-se estatisticamente a viabilidade de sistemas de bombeamento de água através da energia eólica no Vale do São Francisco, na qual poderá trazer uma grande economia de energia e uma diminuição no impacto ambiental dessa região, exigindo menos da hidrelétrica de Sobradinho. O objetivo dessa pesquisa foi estudar o comportamento eólico na região do Vale do São Francisco, para comparar esse comportamento eólico com a demanda de consumo de energia do Distrito de Irrigação Nilo Coelho – DINC, com a intenção de criar a possibilidade de instalar um parque eólico na região, diminuindo os custos e o impacto ambiental. Os dados de vento foram coletados através da torre anemométrica do Sistema Organização Nacional de Dados Ambientais - SONDA, com sensores de velocidade de vento a 25 e 50 metros de altura, localizada em Petrolina, e a demanda de consumo do DINC foi fornecida pelo gerente. A partir dos resultados, constatou-se que a região tem capacidade de instalar um parque eólico, contendo 15 turbinas eólicas de 2 MW de potência a 100 metros de altura, suprimindo com a necessidade de produção de energia do DINC. Tendo uma economia de R\$ 4.143.583,037 ao ano.

PALAVRAS-CHAVE: Energia eólica. Irrigação. Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

Irrigated fruit production in Brazil has the São Francisco Valley as its trading hub, which is well known both nationally and internationally. Its economy is based in part on irrigated fruit farming, where there is considerable energy consumption in pumping systems for irrigation. This is the reason of increasing energy tariffs and making agricultural place production more expensive. The feasibility of water pumping systems through wind energy in the São Francisco Valley was statistically analyzed, which can bring great energy savings and a decrease in the environmental impact of this region. It also can require less from the Sobradinho hydroelectric plant. The objective of this research was to study the wind behavior in the São Francisco Valley region, to compare this wind behavior with the energy consumption demand of the Nilo Coelho Irrigation District - DINC, with the intention of creating the possibility of installing a wind farm in the region, reducing costs and environmental impact. Wind data were collected through the anemometric tower of the National Environmental Data Organization System - SONDA, with wind speed sensors at 25 and 50 meters high, located in Petrolina, and the DINC consumption demand was provided by the manager in charge. Based on the results, it was found that the region has the capacity to install a wind farm, containing 15 wind turbines of 2 MW

¹ Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Salgueiro

² Licenciado em Matemática e mestre em Matemática pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e doutorando em Matemática através do Programa de Doutorado em Matemática em Associação entre as Universidades Federais de Alagoas e da Bahia (UFAL/UFBA).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

power at 100 meters high, supplying the DINC's energy production needs and saving an amount of BRL 4,143,583,037 per year.

KEYWORDS: *Wind energy. Irrigation. Sustainable development.*

RESUMEN

La fruticultura de regadío en Brasil tiene como polo comercial el Valle de São Francisco, cuyo reconocimiento se hace tanto a nivel nacional como internacional. Su economía se basa en parte en la fruticultura de regadío, en la que hay un considerable consumo de energía en los sistemas de bombeo para el riego, lo que aumenta las tarifas energéticas y encarece la producción agrícola local. Se analizó estadísticamente la viabilidad de los sistemas de bombeo de agua a través de la energía eólica en el Valle de São Francisco, lo que podría traer una gran economía de energía y una disminución del impacto ambiental de esta región, exigiendo menos a la central hidroeléctrica de Sobradinho. El objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento del viento en la región del Valle de São Francisco, para comparar este comportamiento del viento con la demanda de consumo de energía del Distrito de Riego Nilo Coelho - DINC, con la intención de crear la posibilidad de instalar un parque eólico en la región, disminuyendo los costos y el impacto ambiental. Los datos de viento fueron recolectados a través de la torre anemométrica del Sistema Nacional de Datos Ambientales - SONDA, con sensores de velocidad de viento a 25 y 50 metros de altura, ubicada en Petrolina, y la demanda de consumo de la DINC fue suministrada por el gerente. A partir de los resultados, se verificó que la región tiene capacidad para instalar un parque eólico, conteniendo 15 aerogeneradores de 2 MW de potencia a 100 metros de altura, abasteciendo la necesidad de producción de energía de la DINC. Teniendo un ahorro de R\$ 4.143.583,037 al año.

PALABRAS CLAVE: *Energía eólica. El riego. Desarrollo sostenible.*

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura irrigada no Brasil tem como polo comercial o Vale do São Francisco, cujo reconhecimento se faz tanto no âmbito nacional, quanto no meio internacional, tendo como principais produtos de exportação a uva e a manga, que juntas ocupam mais de 35 mil hectares em área plantada e exportam cerca de 700 mil toneladas por ano. Esta produção está concentrada principalmente nas cidades pernambucanas de Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria da Boa Vista e nas cidades baianas de Juazeiro, Casa Nova e Curaçá. Cerca de 70% das frutas exportadas no Brasil vão direto para mercado europeu (PRIETO, 2009). O Vale do São Francisco (Bahia e Pernambuco) representa 90% dos embarques totais de uva e 87% dos de manga do país (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

A economia no Vale do São Francisco é baseada em parte na fruticultura irrigada, onde há considerável consumo de energia nos sistemas de bombeamento para a irrigação, aumentando as tarifas de energia e encarecendo a produção agrícola da região. O Projeto Nilo Coelho, localizado no município de Petrolina é responsável por retirar a água da barragem de Sobradinho – Ba, e conduzir até as plantações, que se estende do município de Casa Nova – BA até o município de Petrolina – PE. Porém, é possível utilizar outra fonte de energia mais favorável ao custo-produção e que cause menos impacto ambiental: a energia eólica, uma vez que a região do Vale do São Francisco também é conhecida pelos bons níveis de velocidade de vento, sendo muito favorável à utilização de energia eólica.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

O Nordeste do Brasil apresenta um grande potencial eólico com áreas que possuem médias anuais de vento de até 11 m/s (FEITOSA, 2005). As maiores incidências de vento no Vale do São Francisco coincidem com o período em que a vazão de água do Rio São Francisco é mínima, favorecendo, dessa forma, uma interligação entre as hidrelétricas e as usinas eólicas, evitando que um considerável volume de água do rio seja utilizado na produção de energia em períodos de baixo regime hídrico. Esta consorciação energética, além de aumentar a reserva hidrográfica nas barragens, possibilita que esta água poupada na geração de energia elétrica tenha outras importantes finalidades, considerando-se que a região Nordeste sofre frequentes períodos de seca, dificultando a vida dos seus habitantes.

Atualmente, acontecem constantes conflitos políticos/sociais relacionados ao uso da água do São Francisco, principalmente quando se refere à irrigação de lavouras e à transposição do rio para outros estados do Nordeste. Entretanto, é importante ressaltar que grandes projetos de irrigação às margens do rio, envolvendo ou não a transposição de suas águas para outras áreas, podem causar um forte impacto no volume de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas e, conseqüentemente, prejudicar o fornecimento de energia para a região, por isso é importante buscar por outra fonte de energia menos impactante e capaz de suprir as necessidades econômicas da região.

Visando a sustentabilidade no processo de geração de energia, através da inserção de fontes alternativas na matriz energética, a proposta deste trabalho é estudar o comportamento eólico na região do Vale do São Francisco, em especial nos municípios de Petrolina e Juazeiro, a fim de compará-lo à demanda de energia do DINC - Distrito de Irrigação Nilo Coelho, órgão responsável pela irrigação do Vale do São Francisco, que está composta por 40 estações que compõem o sistema de irrigação de frutas cultivadas nesta região.

Além disso, busca-se desenvolver uma metodologia para o dimensionamento de sistemas de bombeamento acionados por energia eólica na irrigação, diminuindo o impacto ambiental e os custos.

Pretende-se expor também um conhecimento mais amplo desta fonte de energia, gerada através do vento, que vem crescendo em todo mundo; uma energia limpa, renovável e barata, que constitui uma boa opção para a agricultura.

O capítulo 2 aborda um pouco da história da energia eólica, o seu desenvolvimento, como é produzida, quais são as suas aplicações, comenta sobre o potencial eólico baiano, e algumas possíveis criações de parques eólicos. Explana também uma possível junção da energia eólica na irrigação.

O capítulo 3 demonstra várias análises de vento da cidade de Petrolina – PE, através de vários gráficos, a fim de saber o potencial eólico da região, para então poder comparar com a demanda do consumo de energia do Distrito de Irrigação Nilo Coelho – DINC. Depois de fazer comparações chegou-se à conclusão de que é possível suprir a demanda de energia do DINC, conseqüentemente foram feitas as análises de Viabilidade Econômica.



2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Energia eólica

A energia eólica é aquela que provém do vento, podendo ser transformada em energia mecânica e elétrica, através de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores. O termo eólico vem do latim *aeolicus*, relativo a Éolo, Deus dos ventos na mitologia grega. Na civilização egípcia, há vários milênios, as pessoas utilizavam a energia eólica para fazer mover os barcos impulsionados por velas, que capturavam a energia do vento para empurrá-los ao longo da água. Os cata-ventos também faziam uso da energia eólica, transformando-a em energia mecânica, utilizada na moagem de grãos ou no bombeio da água. Para Silva (2009), essas criações surgiram entre 2 mil anos a.C., na antiga Babilônia, e 200 anos a.C., na antiga Pércia.

Com o avanço da tecnologia, a energia eólica passou a ser utilizada para mover aerogeradores, que são grandes turbinas fixadas em lugares com altas incidências de vento. As hélices dos aerogeradores se assemelham às asas de aviões e possuem a mesma aerodinâmica, sendo mais eficientes que as lâminas dos antigos moinhos.

Organizações, indústrias e empresas manifestam, cada vez mais, interesse pela energia eólica como investimento comercial e como solução para os problemas energéticos do futuro. No entanto, a viabilidade econômica dos investimentos é muito diferente em cada país ou região, dependendo essencialmente da distribuição geográfica do potencial eólico e dos outros tipos de energéticos disponíveis no local, uma vez que os aerogeradores são caros, inicialmente, mas os retornos ao longo do tempo são compensáveis (BUENO, 2008).

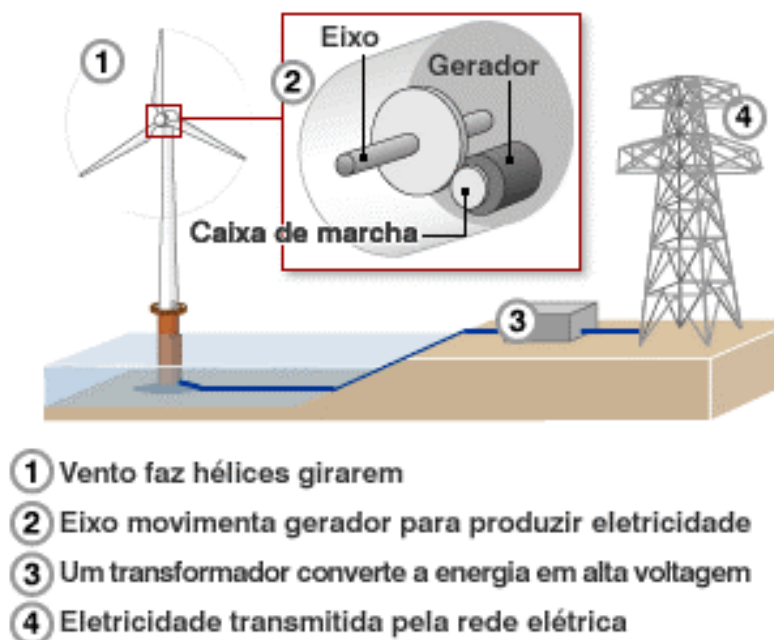
A localização definitiva para a implantação dos aerogeradores deve considerar todos os aspectos que de alguma forma interferem na velocidade do vento, como os acidentes topográficos ou a presença de árvores e de construções. A rugosidade do solo também tem grande influência na distribuição da frequência da ocorrência dos ventos e da sua velocidade. Além disso, a quantidade de energia eólica extraível numa região depende das características de desempenho, altura de operação e espaçamento horizontal dos sistemas de conversão de energia eólica instalados. Na avaliação desse potencial energético é necessária a coleta de dados dos ventos com precisão e qualidade, para que se possa obter um mapeamento eólico da região (CUSTÓDIO, 2009).

Para que a produção de energia se torne rentável são utilizados parques eólicos com uma grande concentração de turbinas eólicas; estes, também podem ser usados isoladamente, para alimentar localidades remotas. É possível ainda a utilização de turbinas eólicas de baixa potência quando se trata de requisitos limitados de energia elétrica, principalmente por terem tamanho e peso bem menores em relação as turbinas de alta tensão, este tipo de turbina é muito definido como turbina eólica doméstica, pois quase todas são instaladas em habitações ou micro-indústrias.

O processo para a geração de energia elétrica se inicia quando o vento gira as hélices dos aerogeradores, fazendo uma rotação no eixo que movimenta o gerador. Essa eletricidade vai para um

transformador que converte a energia em alta voltagem, transmitindo-a para a rede elétrica, como é possível observar na figura 1.

Figura 1: Etapas da produção de energia eólica.



Fonte: CEPEL (2005).

Um sistema eólico pode ser utilizado em três aplicações distintas: sistemas isolados “Pequeno Porte”, sistemas híbridos “Intermediário” e sistemas interligados à rede “Grande Porte”. As turbinas de pequeno porte são utilizadas em residências, fazendas ou em aplicações remotas; as intermediárias na geração distribuída e para sistemas hídricos, e as de grande porte utilizadas em parques eólicos ou na geração distribuída. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, necessitam de uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, de uma unidade de armazenamento.



Figura 2: Tamanho dos aerogeradores e suas principais aplicações.



Fonte: CRESESB (2008).

Os sistemas isolados, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, com o objetivo de utilizar aparelhos elétricos, ou na forma de energia gravitacional, com a finalidade de armazenar a água bombeada em reservatórios para posterior utilização. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida. Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria (FARIA, 2009). O controlador de carga tem como principal objetivo evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário à utilização de um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor do ponto de máxima potência necessário para otimização da potência produzida. Este sistema é usado quando se deseja utilizar eletrodomésticos convencionais.

Os sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia como, por exemplo, turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica aumenta a complexidade do sistema e exige a otimização do uso de cada uma das fontes. Nesses casos, é necessário realizar um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

energia para o usuário. Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistema de médio porte destinados a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas em corrente alternada, o sistema híbrido necessita de um inversor. Devido à grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular a cada caso (CRESESB, 2008).

Os sistemas interligados à rede utilizam um grande número de aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica.

A energia eólica pode ser considerada uma das mais promissoras fontes naturais de energia, principalmente porque é renovável e bem distribuída globalmente. Em países como o Brasil, que possui uma grande malha hidrográfica, esta energia será mais valorizada no futuro, porque não consome água, um bem cada vez mais escasso. Em países com uma malha hidrográfica pequena, a energia eólica tem um papel fundamental já nos dias atuais, sendo talvez a única fonte de energia limpa e eficaz desses locais.

Muitos países investiram na produção de energia eólica, e, em alguns deles, esta forma de energia responde por grande parcela da energia elétrica consumida: na Dinamarca representa 23% da produção, na Alemanha 6%, e em Portugal e na Espanha 8%. O Estado norte-americano da Califórnia também é um exemplo considerável da utilização desta fonte de energia, uma vez que lá não só houve a diminuição do impacto ambiental causado por outras fontes comuns, como também uma economia em mais 10 milhões de barris de petróleo (BUENO, 2008).

O Brasil produz e exporta equipamentos para as usinas eólicas, mas, apesar de ser o país da América Latina com maior capacidade de produção desta energia, ainda pouco se utiliza desses equipamentos. A Bahia tem se destacado na produção desta nova fonte energética, iniciando um grande processo de instalação de parques eólicos, através de uma política de incentivo forte que atraia os investidores e a força dos ventos locais. Com isso a Bahia entra de vez no mapa brasileiro de energia eólica.

Atualmente, o estado baiano possui um potencial de produção de energia eólica estimado a 14.500 MW, representando 10,1% do potencial nacional. Entre os municípios baianos, destacam-se: Tucano, Juazeiro, Campo Formoso, Jacobina, Igaporã, Caetité, Brotas de Macaúbas, Sobradinho, Morro do Chapéu, Ourolândia, Cafarnaum, Vitória da Conquista, Mucugê, Ibicoara, Conde, Casa Nova, Pindaí, Guanambi e Riacho de Santana; sendo que algumas cidades já estão com previsão para entrar em operação na produção desta energia a partir de 2012 e 2013 (RODOVIAS E VIAS, 2010).

Na região do Vale do São Francisco, a cidade de Sobradinho apresenta um projeto para a construção de cinco parques de geração de energia eólica, totalizando 120.600 quilowatts de capacidade, distribuída em 63 UG (Unidades de Geração), com torres de 85 a 100 metros de altura. (BELFORT, 2010).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

Além de apresentar baixo impacto ambiental, a energia eólica está entre os sistemas de produção de energia elétrica mais seguros, com relação custo/benefício competitiva e boa vida útil dos equipamentos (20 anos em média) (SÁ, 2010). As turbinas eólicas possuem a vantagem de poderem ser utilizadas tanto em conexão com redes elétricas, quanto em lugares isolados, não sendo necessária a implantação de linhas de transmissão para alimentar as regiões que possuam aerogeradores, contribuindo, assim, para o desenvolvimento socioeconômico.

Portanto, a energia eólica caracteriza-se por ser uma energia limpa, renovável e inesgotável, que não emite gases poluentes, nem produz resíduos de longa duração. É uma fonte de energia barata e com fácil retorno financeiro, pois não necessita de combustível fóssil e possui baixos custos de manutenção. Por ser bem distribuída globalmente, auxilia na redução do efeito estufa, sendo uma das formas alternativas de energia de maior crescimento no mundo. Claro que também há desvantagens na sua produção, uma vez que é uma energia instável, sujeita a variações do vento e a calmarias, emite ruídos, provoca pequenos impactos visuais e ambientais, com alterações na flora e na fauna nos locais em que se encontram os parques, além de apresentar interferências eletromagnéticas; mesmo assim, ainda é uma das opções mais viáveis de produção sustentável de energia elétrica.

2.2 Energia eólica e Irrigação

A região do vale do São Francisco é beneficiada por uma extensa malha hidrográfica e se destaca, no país, por apresentar uma considerável área de fruticultura irrigada, acarretando um grande desenvolvimento na região, principalmente nas cidades de Juazeiro-BA e Petrolina-PE, beneficiadas por quase três décadas de investimentos públicos e privados em projetos de irrigação na região.

A partir dos investimentos resultantes na irrigação, a área irrigada no Nordeste foi substancialmente aumentada. Neste particular Lima e Miranda (2007, p. 611) ressaltam que:

Em 1970, a região nordestina possuía apenas 116 mil hectares irrigados. Em 1980, já alcançam 261 mil hectares, saltando para 732 mil hectares em 1990. Neste ano, o Vale do São Francisco representava cerca de 32% das áreas irrigadas do Nordeste. A área irrigada do País cresceu 266% no período de 70-90, correspondendo a 105.795 hectares/ano. O crescimento da área irrigada do Nordeste, no mesmo período, foi de 530%, correspondendo a 30.825 hectares/ano. O Vale do São Francisco experimentou um crescimento de sua área irrigada na ordem de 286%, o que compreende 8.620 hectares/ano. Apenas no período de 80-90 o crescimento da área irrigada do País, do Nordeste e do Vale, respectivamente, atingiu 96,5%; 180,2% e 61% (LIMA; MIRANDA, 2007, p. 611).

Dessa forma, a fruticultura irrigada vem se impondo como uma atividade de elevado dinamismo na economia nordestina, tendo na origem um esforço significativo de investimento governamental, traduzido principalmente na montagem e administração dos perímetros irrigados. Esta atividade apresenta-se hoje com expressiva geração de renda, emprego e divisas, e com perspectivas concretas de expansão.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

O que se pretende aqui, neste estudo, é justamente mostrar as pessoas um tipo de energia que está crescendo a cada dia: a energia eólica. Este recurso pode ser usado em qualquer tipo de situação, desde a iluminação de pequenas cidades à irrigação de grandes áreas. A sua produção dependerá, apenas, do vento e das quantidades de turbinas instaladas na região. Nos Estados Unidos, por exemplo, já se usa a energia eólica para o bombeamento de água em sistemas de irrigação, com boa aceitação.

Mas como nem toda localidade é passível de uso de energia eólica, deve-se haver uma avaliação técnica do potencial eólico do local, através de um detalhamento do comportamento dos ventos, a fim de observar se na região há bons índices de vento. Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (SCHUBERT; SOLUTIONS, 2001) o Brasil é favorecido por boas correntes de vento, excelentes para a produção de energia eólica. Pretende-se, então, com este estudo, analisar a viabilidade de certificação da energia eólica no bombeamento de água.

Com esta finalidade, foi desenvolvida esta pesquisa para analisar os índices de vento na região do Vale do São Francisco e verificar a possibilidade de substituição da energia hidrelétrica pela energia eólica nas áreas irrigadas, ou pelo menos amenizar a intensidade do uso da energia hidrelétrica com a ajuda da energia eólica.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Análise de vento da cidade de Petrolina - PE.

O primeiro passo deste trabalho foi analisar as características do vento na região, com base nos dados coletados pela torre anemométrica do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA, localizada no município de Petrolina, que é uma extensão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, através de sensores de velocidade (ws), direção de vento (wd) e temperatura (tp), a 25 e 50 metros de altura, registrando-se uma média em intervalos de 10 minutos, no período referente ao ano de 2010, conforme pode ser visto na figura 3.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

Figura 3: Dados brutos.

year	day	datetm	min	ws_25	wd_25	tp_25	ws_50	wd_50	tp_50
2010	91	01/04/2010 00:00	0	5,329	188,1	30,35	7,2	182,1	29,95
2010	91	01/04/2010 00:10	10	3,908	195,9	30,26	5,571	188,9	29,83
2010	91	01/04/2010 00:20	20	3,854	192,7	29,95	5,528	184,7	29,5
2010	91	01/04/2010 00:30	30	3,788	193,3	29,78	5,809	185,8	29,39
2010	91	01/04/2010 00:40	40	3,899	194,5	29,63	5,687	186,3	29,25
2010	91	01/04/2010 00:50	50	3,853	194,9	29,34	5,691	186,6	28,98
2010	91	01/04/2010 01:00	60	3,478	194,4	29,03	5,567	184,9	28,71
2010	91	01/04/2010 01:10	70	3,747	192,6	28,74	5,729	183,1	28,63
2010	91	01/04/2010 01:20	80	3,382	198,5	28,55	5,462	188,2	28,44
2010	91	01/04/2010 01:30	90	3,197	199,3	28,36	5,306	190,1	28,28
2010	91	01/04/2010 01:40	100	2,951	198,7	28,19	5,057	187,5	28,13
2010	91	01/04/2010 01:50	110	3,024	196,3	27,93	4,963	185	27,98
2010	91	01/04/2010 02:00	120	3,34	193,5	27,68	5,528	181,7	27,9
2010	91	01/04/2010 02:10	130	3,571	192,1	27,39	5,908	179,6	27,83
2010	91	01/04/2010 02:20	140	3,289	184,7	27,28	5,466	171,7	27,75
2010	91	01/04/2010 02:30	150	2,635	178,4	27,24	4,834	166	27,6
2010	91	01/04/2010 02:40	160	2,817	183,8	27,25	4,67	165,7	27,58
2010	91	01/04/2010 02:50	170	3,382	178,4	27,32	5,069	162,3	27,6
2010	91	01/04/2010 03:00	180	3,693	170,8	27,25	5,664	159,3	27,43
2010	91	01/04/2010 03:10	190	4,028	166,8	27,23	5,849	158,2	27,36
2010	91	01/04/2010 03:20	200	3,766	168,9	27,2	5,848	160,2	27,34

Fonte: SONDA.

Foi feita uma análise estatística do comportamento do vento, com o auxílio do programa Microsoft Excel, pelo qual foram gerados gráficos, com médias anuais, mensais, diárias e horárias, a 50 metros de altura. A figura 4 foi gerada com o objetivo de caracterizar o comportamento dos dados eólicos obtidos, analisando, assim, a sua veracidade. É possível perceber que não há muitas oscilações, pois se houvesse oscilações bem distorcidas não poderíamos ter a confiança sobre os dados obtidos, mas a figura 4 segue uma frequência bem distribuída, que podem ser considerados confiáveis, com um erro padrão de 0,0074, que está bem próximo à zero, quanto mais próximo de zero, mais confiáveis serão os dados, o erro padrão – EP , é a variabilidade das médias de amostras de tamanho n (CRESPO, 2002).

$$EP = \frac{\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Onde:

RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

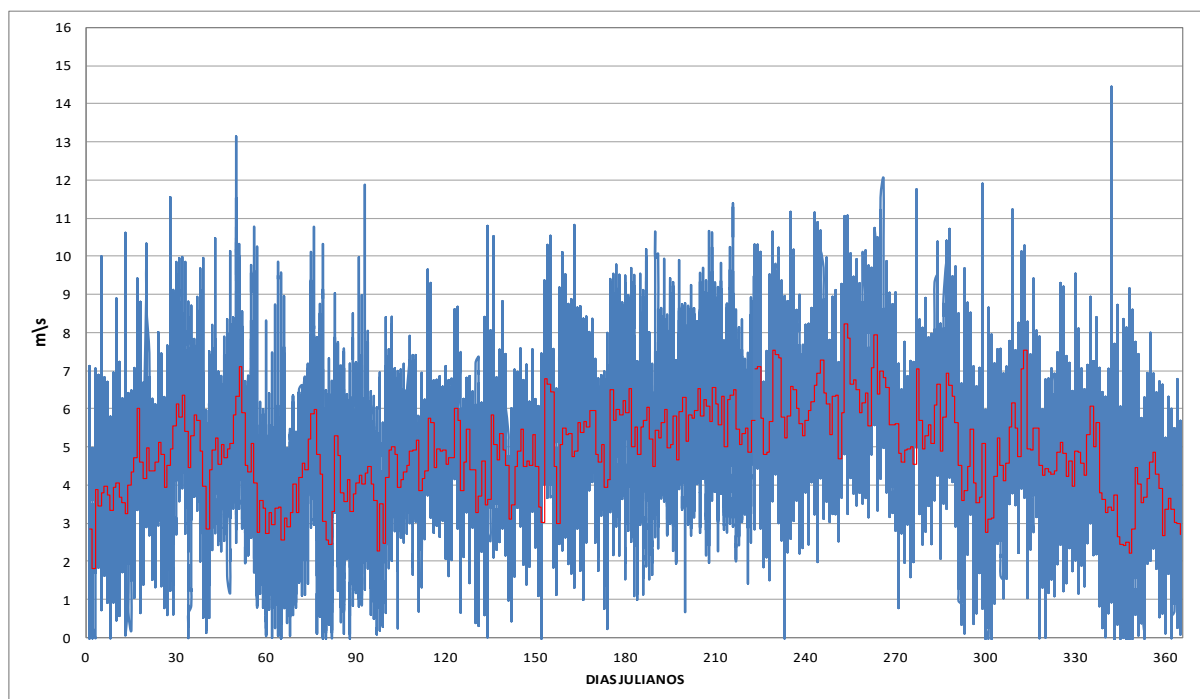
x_i = um elemento da amostra;

\bar{x} = média aritmética de todos os elementos da amostra;

n = quantidade de elementos;

Com isso, pode-se garantir uma boa confiança nos dados coletados.

Figura 4: Variação anual dos ventos a 50 metros.



Fonte: Autor.

Várias informações são de grande importância para o estudo destes dados, principalmente no que se refere aos fatores ambientais e técnicos e a uma boa análise sazonal. As análises sazonais servem para se identificar em qual período do ano ocorrem as maiores e as menores incidências de vento, sendo gerado, posteriormente, a figura 5, que separa os dados em intervalos trimestrais, a fim de se obter uma melhor caracterização do dia e do horário. Percebe-se que há uma maior incidência de vento no intervalo do mês de junho a setembro entre as 12 e 14 horas.

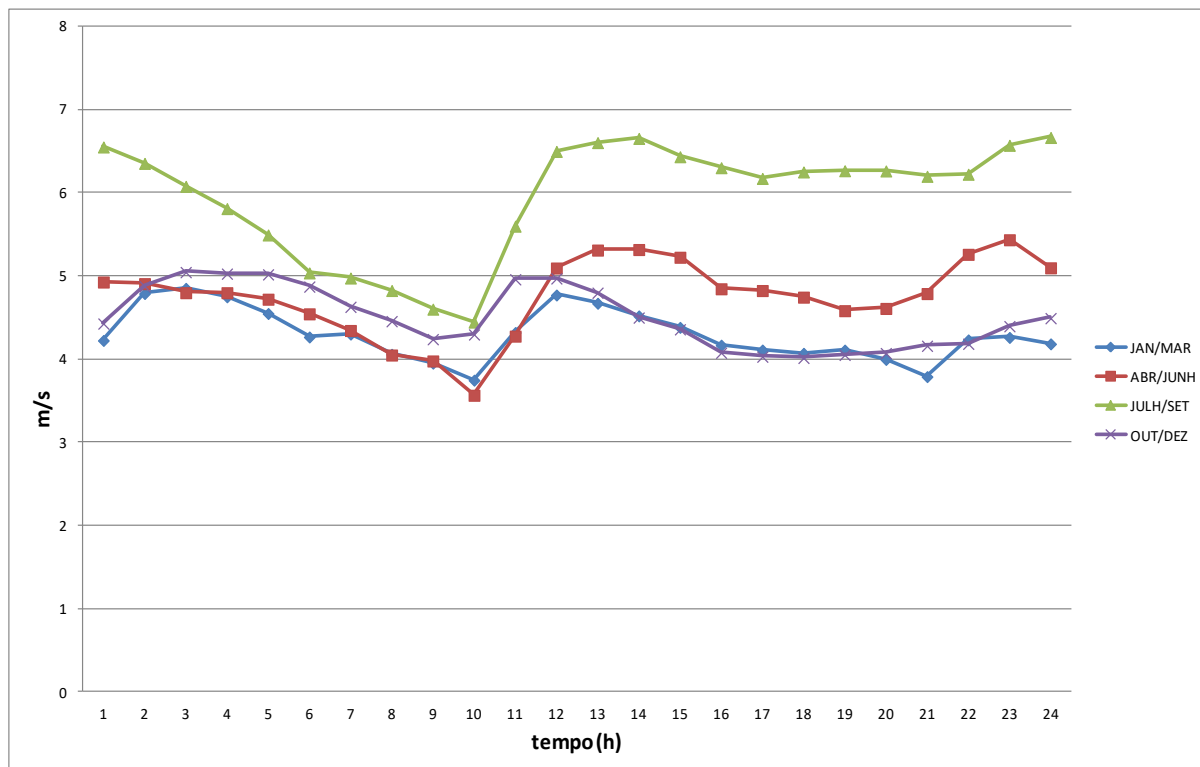


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

Figura 5: Velocidade média horária trimestral do vento ao longo do ano a 50 metros.



Fonte: Autor.

Para o cálculo da velocidade média foi utilizada a equação (2) (CUSTÓDIO, 2009):

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n vi \quad (2)$$

Onde:

n = número de registros;

i = identificação de registros;

vi = velocidade do vento registrada em [m/s].

É possível concluir que a velocidade média de vento, a 50 metros de altura, na cidade de Petrolina, no ano de 2010, foi de 4,9 m/s. Considerando-se que os aerogeradores precisam de uma velocidade mínima de 3,1 m/s para iniciar o giro, conseguindo o seu máximo rendimento aos 12,5 m/s, e param com ventos superiores a 27,8 m/s, para evitar danos ou desgastes. Com esses resultados é possível afirmar que esta região é propícia à instalação de turbinas eólicas, uma vez que um bom rendimento é atestado quando a localização dos aerogeradores está numa região muito



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

ventosa, que apresente ventos a maioria dos dias do ano, e com uma velocidade média anual superior aos 3,6 m/s (FREITAS, 2007).

Para o cálculo do potencial de geração de energia foi utilizada a curva de potência de uma turbina eólica de 2 MW da empresa IMPSA, operando a 100 metros de altura. Com isso, surge a necessidade de converter os dados de vento que estão a 50 metros, para a mesma altura das turbinas. Isso pode ser feito através da equação (3) que considera o fator de rugosidade do terreno (CUSTÓDIO, 2009).

$$V = V_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \quad (3)$$

Onde:

H_0 = altura do solo do ponto 1 [m];

H = altura do solo do ponto 2 [m];

V_0 = velocidade do vento no ponto 1 [m/s];

V = velocidade do vento no ponto 2 [m/s];

α = expoente de potência no local [adimensional].

Assim, o expoente alfa (α) varia de acordo com o terreno: terrenos com subúrbios considera-se alfa igual a 0,32; plantações, 0,19; campos, 0,13; e áreas com neves, 0,10. Usando terreno de plantações para a esta região, alfa será 0,19, havendo uma nova velocidade de vento igual 5,93 m/s (CUSTÓDIO, 2009).

Com a transformação da velocidade do vento fornecido pelo sensor a 50 metros para uma altura de 100 metros, pode-se obter um novo gráfico, com melhores rendimentos, conforme mostra a figura 6. Mantendo proporcionalmente as incidências de vento a 50 metros, no intervalo do mês de junho a setembro tem o seu melhor período de vento. Ou seja, quanto maior a altura maior será a velocidade do vento.

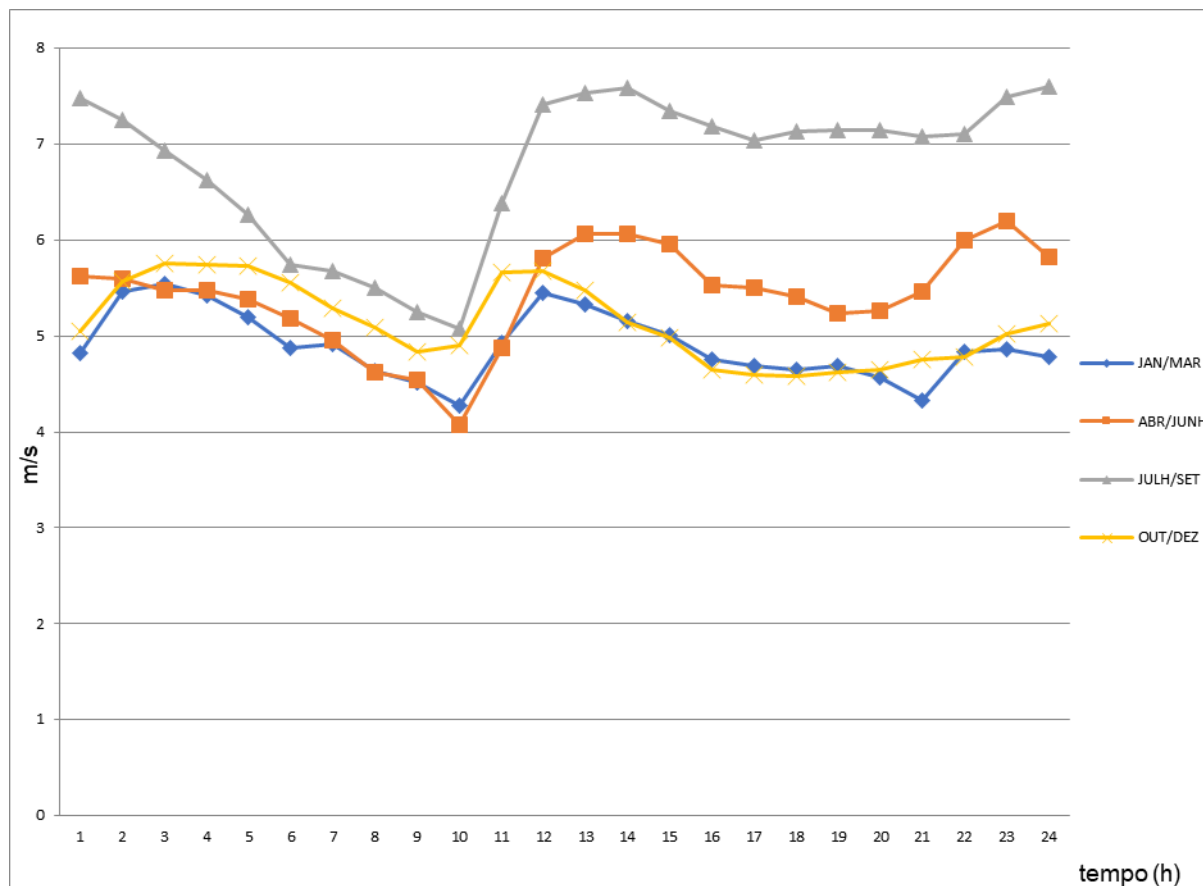


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

Figura 6: Velocidade média horária trimestral do vento ao longo do ano a 100 metros.



Fonte: Autor.

Para compreender melhor a geração de energia por turbinas eólicas, é preciso conhecer como estão distribuídos os dados de velocidade, pois essa informação demonstra a frequência com que ocorre cada velocidade, já que, se houver uma distribuição de ventos suficiente para gerar a energia, tem-se também uma boa distribuição da produção de energia. A função que dirá com mais precisão como se comporta esta distribuição é a função densidade de probabilidade da velocidade do vento. Considerando-se que o vento tem uma característica estocástica e sua velocidade é uma variável aleatória contínua, para facilitar a análise, os dados de vento são divididos em faixas de 1 m/s (CUSTÓDIO, 2009).

A função utilizada no trabalho foi a função de Weibull, que mostra uma boa aderência dos dados, foi construída pelo programa ALWIN, que obedece à seguinte lei (CUSTÓDIO, 2009):

$$f(v) = \frac{c}{a} \left(\frac{v}{a}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{v}{a}\right)^c} \quad (4)$$

Em que:

RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

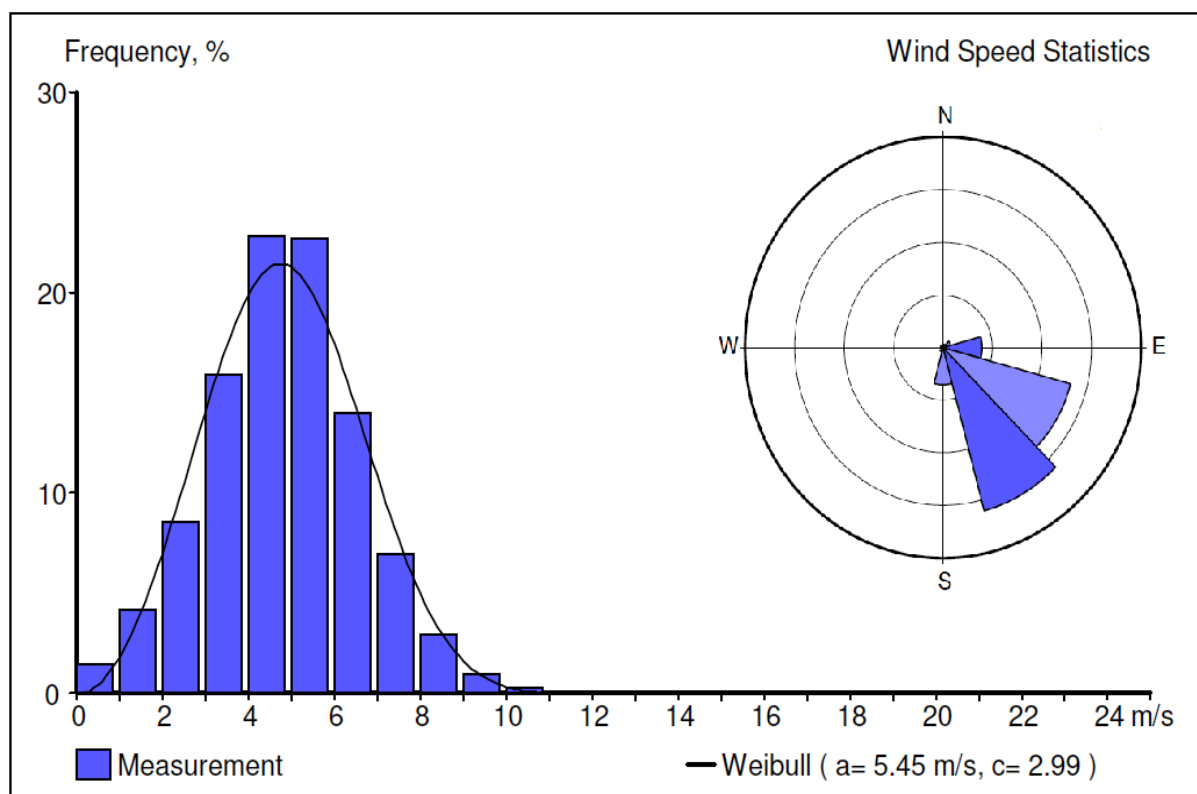
V = velocidade do vento (m/s);

a = fator de escala (m/s);

c = fator de forma (adimensional).

A equação (4) contém o fator c “parâmetro ou fator de forma da distribuição dos ventos, adimensional” e a “parâmetro ou fator de escala, dado em m/s” que permite um ajuste de curva mais refinado para diferentes características do vento. Quando se sobrepõe a função de Weibull sobre a distribuição no histograma de barras, percebe-se uma boa aderência, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7: Representação gráfica das distribuições das velocidades do vento e da função de Weibull, que nos deu a direção predominante dos ventos.



Fonte: Autor.

A Figura 7 contém o registro da frequência com a qual ocorre determinadas velocidades de vento, a 100 metros de altura, resultando em ventos na direção sudeste. A informação referente à direção dos ventos é de extrema importância, pois é ela quem vai definir em qual direção devem se dispor as turbinas eólicas, para que não haja perdas significantes de energia.

Estes dados foram cruzados com os dados da curva de potência de uma turbina, fornecidos pela IMPSA.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

Tabela 1: Dados para o cálculo de potência



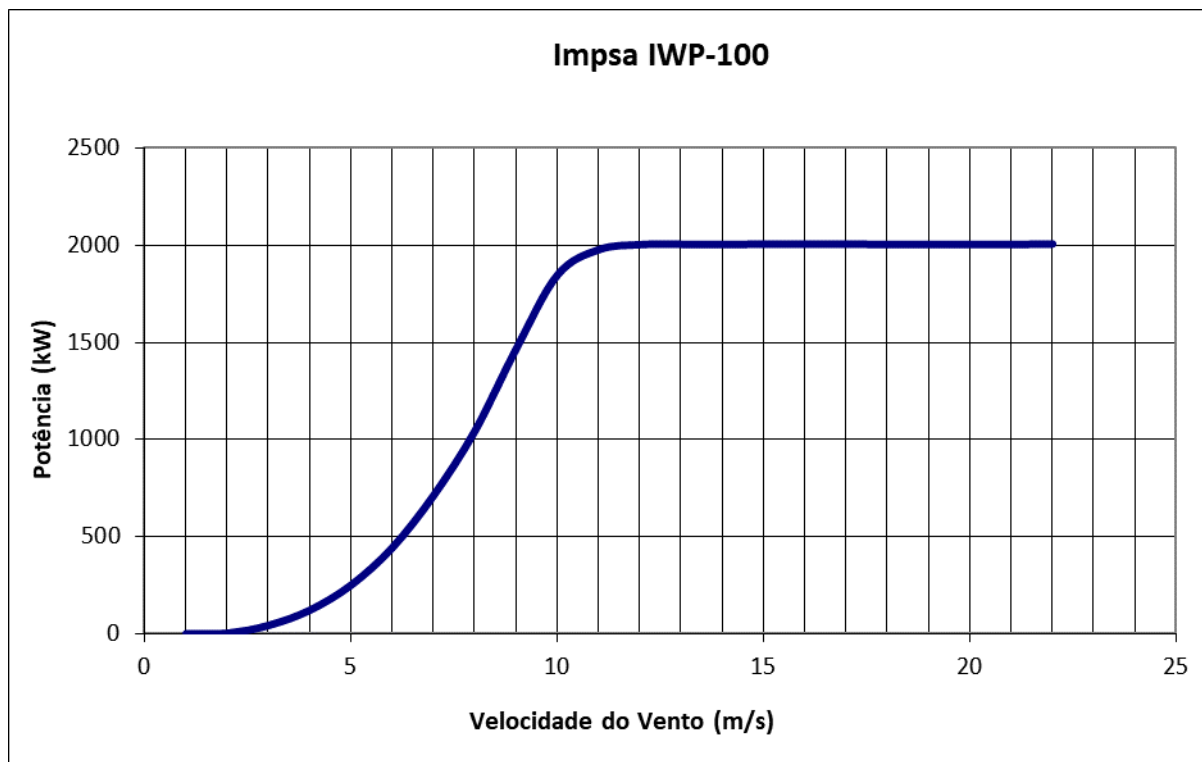
Velocidade do vento (m/s)	Potência (kW)	Cp	Ct
1	0	0	0
2	2,3	0,059	0,761
3	42,6	0,328	0,761
4	121,2	0,394	0,761
5	250,6	0,417	0,761
6	443,4	0,427	0,761
7	712,2	0,432	0,761
8	1044,2	0,424	0,76
9	1466,7	0,418	0,717
10	1846,3	0,384	0,602
11	1976,2	0,309	0,446
12	2002,2	0,241	0,333
13	2003,8	0,19	0,256
14	2002,4	0,152	0,203
15	2004,7	0,123	0,165
16	2005,0	0,102	0,136
17	2004,3	0,085	0,114
18	2003,4	0,071	0,097
19	2003,0	0,061	0,083
20	2002,2	0,052	0,072
21	2002,4	0,045	0,063
22	2005,2	0,039	0,056
23	2001,6	0,034	0,049
24	2002,3	0,03	0,044
25	2002,4	0,027	0,039

Fonte: IMPSA (2011).

A partir destes dados, o IMPSA criou uma função para o cálculo da potência de uma turbina de 2 MW.



Figura 8: Curva de potência da turbina de 2 MW de potência, fornecida pelo IMPSA.

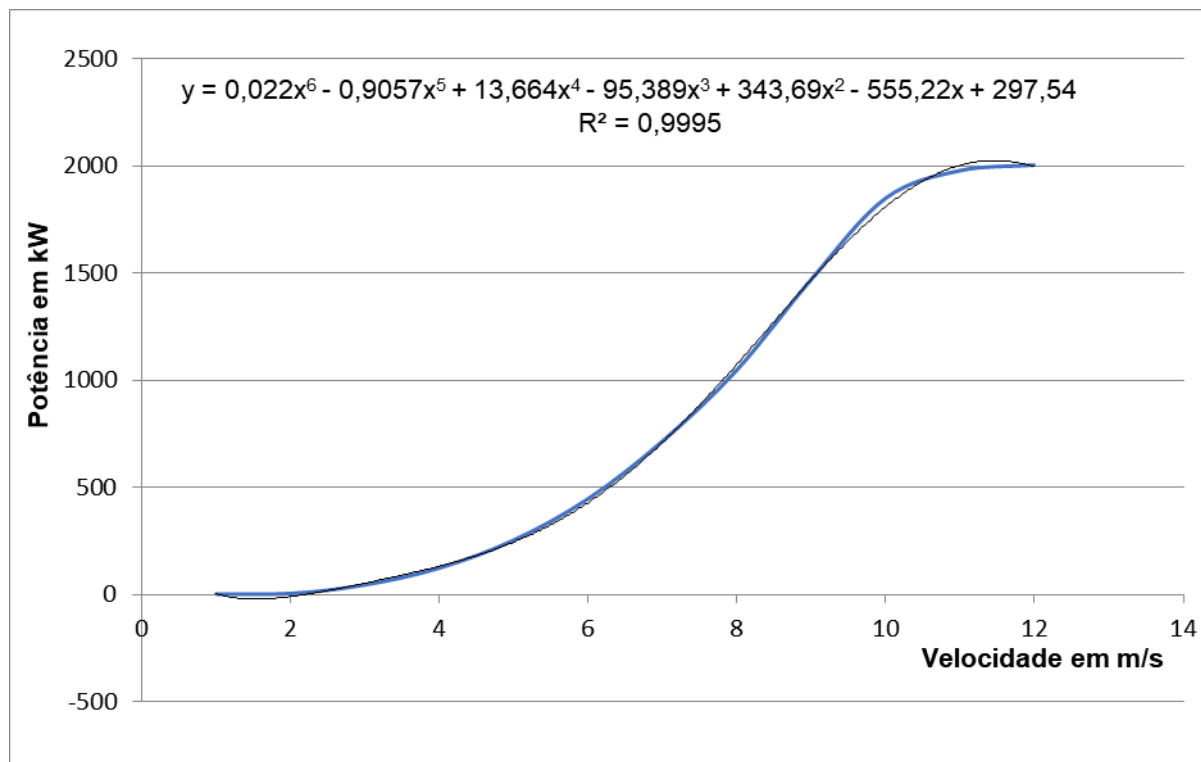


Fonte: Autor.

Através da curva de potência fornecida pela IMPSA, pode-se extrair, com o auxílio do Excel, a função da curva de potência da turbina eólica. A este valor foi adicionada uma curva de tendência na curva original, cujo programa fornece a equação (5) que pode ser utilizada neste cálculo. O quadrado da correlação (R^2) mostra o percentual da variância das variáveis, na qual se o valor do R^2 se aproximar de 1, mais precisa será a função. Vale lembrar que a curva é realizada até a velocidade de 12 m/s, pois após essa velocidade o continuará gerando 2MW de potência, ou seja, a função é constante para velocidade maior que 12m/s (IMPSA, 2011).



Figura 9: Potência da turbina em relação à velocidade (m/s).



Fonte: Autor.

Dessa forma, a equação da curva de potência é:

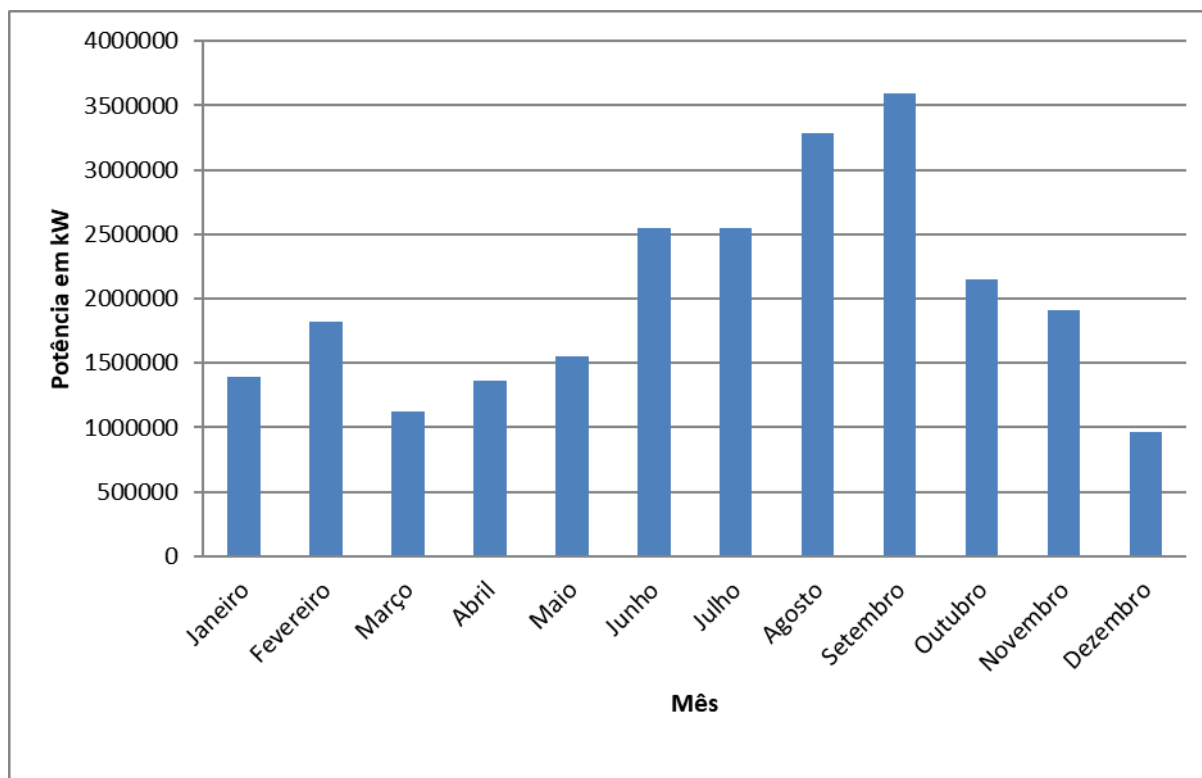
$$y = 0,022x^6 - 0,9057x^5 + 13,664x^4 - 95,389x^3 + 343,69x^2 - 555,22x + 297,54; \quad (5)$$

na qual o valor de y é a potência em kW e o valor de x é a velocidade em m/s.

A curva de potência, forneceu o cálculo das potências mensais de um rotor de 2 MW durante um ano, podendo ser visto na figura 10. O somatório das potências mensais durante o ano de 2010 foi de 24.563.880,68 kW. Esses dados foram transformados em kWh, utilizando a seguinte razão $\frac{KW}{6}$ (CUSTÓDIO, 2009), para poder fazer o cruzamento com o consumo anual do DINC que está em kWh.



Figura 10: Geração de Energia de um Rotor de 2MW durante um ano, com os dados de vento de Petrolina-Pe.



Fonte: Autor.

Com esses dados, fica confirmado que a região do Vale do São Francisco pode ter uma hipotética instalação de parques eólicos.

No Vale do São Francisco, como já foi visto, há um considerável consumo de energia elétrica, principalmente na irrigação com o DINC – Distrito de Irrigação Nilo Coelho, localizado no município de Petrolina. Esta empresa é encarregada de retirar a água da Barragem de Sobradinho – Ba, por meio da energia elétrica, e conduzi-la até as plantações, que se estendem do município de Casa Nova – BA até o município de Petrolina – PE. Assim, criou-se a ideia de analisar e comparar a demanda do consumo DINC com o potencial eólico da região.

3.2 Demanda do consumo de energia do DINC

Foram adquiridos dados anuais de consumo de energia das quarenta estações de bombeamentos que compõem o DINC, a tabela 2 mostra três estações de bombeamento – EB, a estação de bombeamento principal – EBP, e mais duas EB(s) secundárias a EB 14.09, a que mais consumo entre as EB(s) secundárias e a EB 04.04, a que menos consome entre as EB(s) secundárias. Nesta, consta os consumos em KWH e as demandas em KW mensais utilizada no



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

período de um ano, dados estes que foram usados para o cálculo de quanto será necessário, a fim de suprir o consumo do DINC.

Tabela 2: Demanda do consumo de energia de 3 estações de bombeamento. Fonte: (DINC, 2010).

EB	ENERGIA ELETRICA		VOLUME ÁGUA 1.000m ³		EFICIENCIA ENERGIA / VOLUME 1.000m ³			
	CONSUMO KWH	DEMANDA KW	CAPTADO	FORNECIDO	CAPTADO		FORNECIDO	
					CONSUMO Kwh/1000m ³	DEMANDA Kw/1000m ³	CONSUMO Kwh/1000m ³	DEMANDA Kw/1000m ³
EBP	2.285.152	7.324	18.686,994	18.686,994	122,29	0,39	122,29	0,39
14.09	249.122	979	1.261,705	865,033	197,45	0,78	287,99	1,13
04.04	57.148	195	230,534	230,534	247,89	0,85	247,89	0,85

Fonte: Autor.

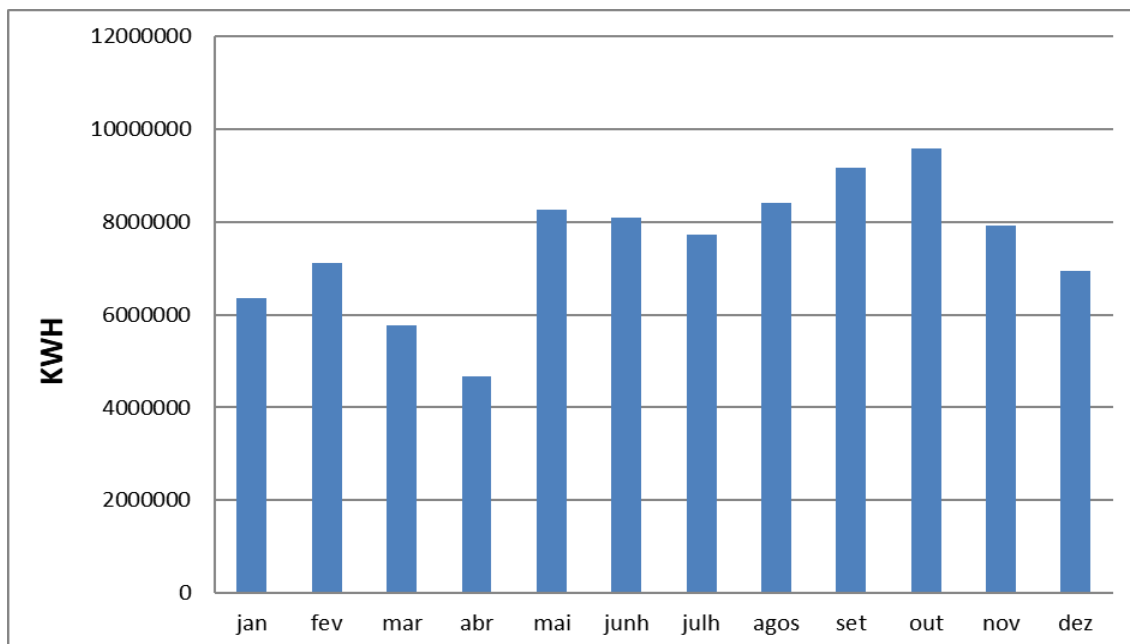
A demanda de consumo das 40 estações de bombeamento durante o ano de 2010, pode ser observada no histograma gerado com a ajuda do software Excel, no qual se tem um menor consumo no mês de abril e maior consumo no mês de outubro. Isso ocorre devido à época de colheita, em que se tem um menor consumo de água, e à época de plantação, que exige mais água e consequente aumento do consumo de energia.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

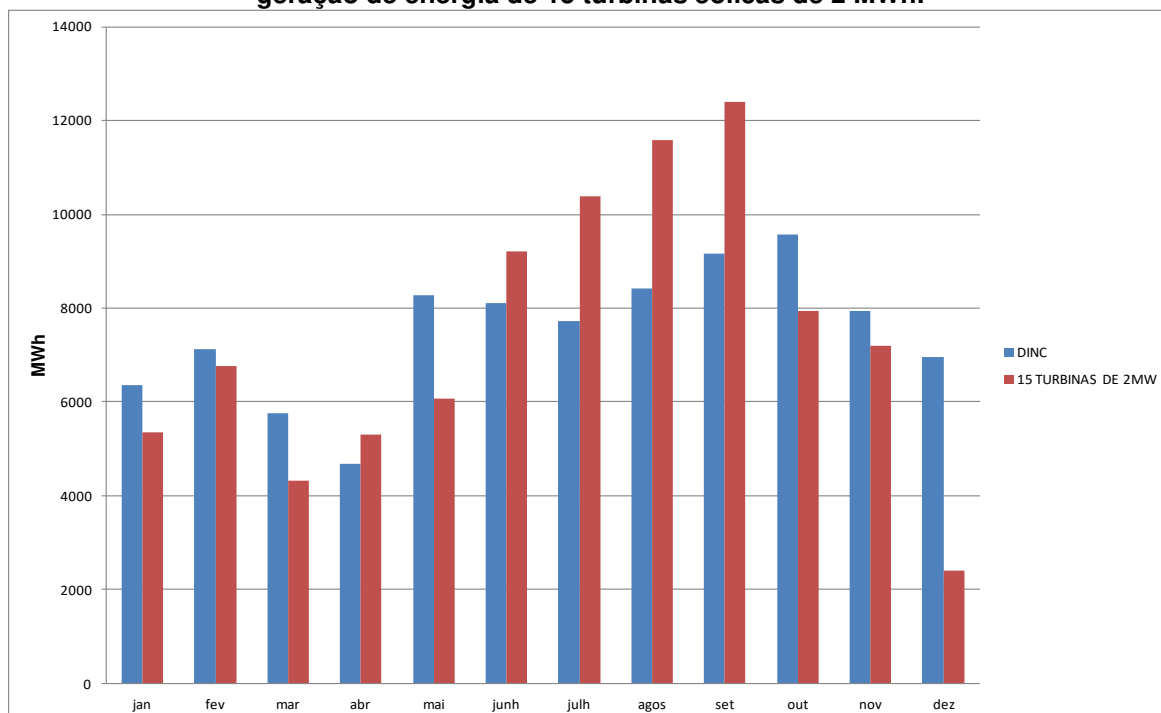
Figura 11: Consumo das estações de bombeamento do DINC em 2010.



Fonte: Autor

Depois de realizar vários ensaios comparando a capacidade de geração de energia e o consumo das estações, chega-se à conclusão de que são necessárias 15 turbinas de 2 MW para suprir a necessidade do DINC.

Figura 12: Comparativo do consumo das 40 estações de bombeamento, com a capacidade de geração de energia de 15 turbinas eólicas de 2 MWh.



Fonte: Autor.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

Apesar das 15 turbinas serem mais que o suficiente para a geração de energia, surge um pequeno problema com a sua sobra, já que ela não pode ser armazenada. Então, a ideia proposta é distribuir toda essa energia excedente nas redes elétricas da empresa distribuidora local, realizando, assim, um acordo de compra e venda entre o DINC e a empresa, o que além de evitar as perdas, favorece o DINC a suprir a sua demanda e lucrar com a energia gerada em excesso.

3.3. Análise de Viabilidade Econômica

Para suprir a demanda de consumo do DINC será necessária a instalação de 15 turbinas com uma potência de 2MW e, com posse dessa informação, é possível calcular o custo gasto para se obter um parque eólico com esse número de turbinas. Preço de uma turbina de 2MW fornecido por (ROSAS, 2006).

Tabela 3: Custo de Instalação

Turbina de 2MW	R\$ 8.166.750,76
Nº de turbinas	15
Valor Total	R\$ 122.501.261,45

Fonte: ROSAS (2006).

Para se realizar uma análise econômica preliminar, calcula-se o investimento inicial, em que devem ser incluídos todos os gastos de instalação e construção das turbinas, da mão de obra e da O&M (operação e manutenção).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

Tabela 4: Custo de 15 turbinas no período de 1 a 20 anos.

O&M		
ano	valor	
1	R\$	4.900.050,46
2	R\$	4.444.490,21
3	R\$	4.232.847,82
4	R\$	3.656.493,10
5	R\$	3.316.547,03
6	R\$	2.728.531,45
7	R\$	2.357.008,05
8	R\$	1.846.777,48
9	R\$	1.519.348,41
10	R\$	1.133.761,17
11	R\$	888.331,55
12	R\$	631.320,64
13	R\$	471.101,19
14	R\$	318.859,83
15	R\$	226.607,72
16	R\$	146.073,36
17	R\$	98.868,20
18	R\$	60.696,50
19	R\$	39.125,50
20	R\$	22.875,87
TOTAL	R\$	33.039.715,53

Fonte: ROSAS (2006).

O custo de operação e manutenção O&M depende da turbina e do sistema. Neste caso, foi utilizado um percentual de 4%, no qual se relatam todos os gastos durante a manutenção e instalação das turbinas. O valor residual (VR) é o valor de venda das turbinas depois de sua vida útil, que é de 20 anos, sendo que este é o intervalo considerado nesta análise, com a taxa do valor residual de 4%. A taxa de desconto r é a taxa que define o quanto o produto será desvalorizado ao longo do tempo, devido às taxas inflacionárias e os juros. Geralmente, a taxa de retorno é estipulada entre 5 e 7 %. Sendo assim, será utilizada a taxa mínima de 5% (ROSAS, 2006).

Assim foi calculado o custo total de gastos, com as seguintes informações já totalizadas: custo de operação e manutenção O&M no valor de R\$ 33.039.715,53; valor residual VR igual a R\$ 22.875,87; e o valor de investimento inicial (II) referente à R\$ 122.501.261,45.

Tem-se, então:

$$CT = II + O\&M - VR$$

$$CT = 122.501.261,45 + 33.039.715,53 - 22.875,87$$

$$CT = 155.518.101,11 \quad .$$



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO ACIONADOS POR
ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

As análises econômicas demonstram que os gastos para a instalação e manutenção das turbinas, considerando-se o tempo de vida útil de 20 anos, serão iguais a R\$7.856.416,963 ao ano. Atualmente, o DINC gasta, por ano, mais de R\$12.000.000,00, e com a instalação deste parque eólico será economizado R\$4.143.583,037 ao ano.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a finalização dos estudos sobre as análises de vento no Vale do São Francisco e o consumo e a demanda de energia do DINC, é possível observar que há grande possibilidade de implantação de parques eólicos nesta região, compostos por 15 turbinas eólicas, que são suficientes para suprir as necessidades, e com a instalação deste parque eólico será economizado R\$ 4.143.583,037 ao ano.

Assim, os benefícios trazidos pela produção de energia eólica e o favorecimento da sua produção na região do Vale do São Francisco poderão atrair muitos investidores que buscam soluções mais viáveis para a produção de energia. A análise de viabilidade econômica preliminar indica um saldo positivo ao longo de 20 anos, que é o tempo de vida útil de uma turbina eólica.

A implantação deste novo recurso energético favorecerá não só na relação custo/benefício de produção, como também na preservação ambiental, uma vez que a energia eólica apresenta menores impactos no que concerne ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BELFORT, Angela Fernanda. Vale do São Francisco vai ganhar usina eólica. **Jornal do Comercio**, 01 set. 2010. Disponível em: <http://ne10.uol.com.br/canal/cotidiano/economia/noticia/2010/09/01/vale-do-sao-francisco-vai-ganhar-usina-eolica-234733.php>. Acesso em: 29 jan. 2012.

BUAINAIN, Antônio Márcio; BATALHA, Mário Otávio. **Séries Agronegócios: Cadeia Produtivas de Frutas**. Brasília, DF: IBRAF, 2007. Vol. 7.

BUENO, Chris. Energia Eólica. **Revista 360 graus**, Rio de Janeiro, 2008.

CEPEL. **Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2005. Disponível em: <http://www.cepel.br/>. Acesso em: 28 mar. 2012.

CRESESB. **Aplicações dos Sistemas Eólicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=251>. Acesso em: 03 abr. 2012.

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística Fácil**. 18. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

CUSTÓDIO, R. S. **Energia Eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

FARIA, Caroline. Energia Eólica: Armazenamento da Energia Mecânica. **Info Escola**, 2009. Disponível em: <http://www.infoescola.com/energia/armazenamento-da-energia-mecanica-energia-eolica/>. Acesso em: 2 mar. 2012.

FEITOSA, E. A. N. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil: energia eólica**. 2. ed. Brasília, DF: Anel, 2005.

RECIMA21 - Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE BOMBAMENTO ACIONADOS POR
 ENERGIA EÓLICA PARA IRRIGAÇÃO NO VALE DO SÃO FRANCISCO
 Kennedy Almeida Sampaio Vieira, Deivid Santos de Almeida

FREITAS, Rúben Oliveira. **Energia Eólica: Um Recurso Renovável.** São Paulo: [s. n.], 2007.
 Disponível em: <http://www.slideshare.net/olivfrei/energia-elica>. Acesso em: 05 mar. 2012.

IMPESA. Disponível em: <http://www.impesa.com/pt/SitePages/IMPESA.aspx>. Acesso em: 25 ago. 2011.

LIMA, João Policardo Rodrigues; MIRANDA, Érico Alberto de A. 1º Fruticultura Irrigada no Vale do São Francisco: Incorporação Tecnológica, Competitividade e Sustentabilidade. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 32, n. Especial p. 611, nov. 2007.

PRIETO, José Ricardo. Vale do São Francisco: Da falência do "agronegócio" brotam as vinhas da ira. **A nova democracia**, Ano VII, n. 51, mar./abr. 2009.

RODOVIAS E VIAS. São Paulo, SP, 2010. Disponível em:
<http://www2.rodoviasevias.com.br/revista/default.php?rvc=25>. Acesso em: 2 maio 2012.

ROSAS, Pedro. **Práticas Recomendadas para Turbinas Eólicas: Estimando custos de geração de energia a partir de conversores eólicos.** Recife, PE: [s. n.], 2006.

SÁ, Pinho De. **A ciência não é neutra: Ciência, tecnologia e políticas tecnológicas.** [S. l.: s. n.], 2010.
 Disponível: <http://a-ciencia-nao-eneutra.blogspot.com.br/2010/07/longevidade-das-turbinas-eolicas.html>. Acesso em: 19 mar. 2012.

SCHUBERT, Camargo; SOLUTIONS, Thuewind. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.** Brasília, DF: [s. n.], 2001.

SILVA, Dorinda Da. **História Da Energia Eólica.** São Paulo, SP: [Instituto Monitor](http://www.instituto-monitor.com.br), 2009. Disponível em: <http://www.slideshare.net/Dorindasilva/histria-da-energia-elica>. Acesso em: 12 mar. 2012.

SONDA. **Sistemas de Organização Nacional de Dados Ambientais.** Disponível em:
<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/petrolina.html>. Acesso em: 31 ago. 2011.