ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA EÓLICO PREDIAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM PORTO ALEGRE

Guilherme Munchen Wenzel – wenzel@pucrs.br
Henrique Fioravanti Miguel Lopez – henriqueharris@hotmail.com
Jorge Antonio Villar Alé – villar@pucrs.br
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica

5.2 Aplicações eólicas

Resumo. *O projeto tem por finalidade realizar um estudo de viabilidade técnica para implementação de sistema eólico no topo de um prédio na cidade de Porto Alegre. Espera-se verificar a possibilidade de instalar uma turbina eólica com finalidade demonstrativa, assim como para eventualmente suprir de energia sistemas auxiliares do prédio. O tamanho, assim como as características técnicas do sistema, será definido no presente projeto. Inicialmente foram recopilados dados de vento da cidade de Porto Alegre fornecidos pelo 8º Distrito de Meteorologia para anos anteriores ao projeto e utilizados como referência. Posteriormente, foi instalada próxima ao local de interesse, uma torre anemométrica registrando-se dados de velocidade e direção do vento. Foi realizado o tratamento dos dados coletados, avaliando-se o potencial eólico disponível. Por fim,, foi utilizado um aplicativo computacional para análise do potencial eólico (WAsP) e uso de planilhas eletrônicas (Excel) permitindo uma análise do consumo e da energia que poderia ser gerada por turbinas de pequeno porte de eixo vertical e de eixo horizontal. Os estudos com relação à torre mais adequada para a aplicação e a conexão deste sistema eólico na rede elétrica também foram realizados.*

Palavras-chave: *Energia eólica, prédio, pequenas turbinas.*

1. INTRODUÇÃO

Em países como Finlândia, Canadá e Inglaterra, sistemas eólicos de pequeno porte integrados à estrutura de edifícios já foram instalados com sucesso. Estes sistemas têm por finalidade suprir a demanda de energia de sistemas auxiliares de prédios, como elevadores e luzes de corredores, reduzindo os gastos mensais com energia elétrica dos mesmos. Muitas vezes possuem características mais demonstrativas do que operacionais, a fim de que, tanto os sistemas eólicos quanto fotovoltaicos, se tornem familiares à maioria da população e que estes sistemas comecem a ser implementados com o intuito de haver redução da emissão de CO_2 no meio ambiente, contribuindo para a diminuição tanto do efeito estufa como da destruição da camada de ozônio.

A ênfase neste tipo de aplicação é focada nos aspectos de segurança, prevenindo o desprendimento de uma pá ou a queda da turbina do topo do edifício; facilidade de operação, tanto na sua montagem quanto para sua manutenção; ruído gerado, que deve ser menor do que o produzido pela movimentação de veículos automotores e vento nas árvores na região em que se encontra a turbina; montagem e instalação, a fim de se evitar danos à estrutura do edifício por vibração; e alta-performance, devido às baixas velocidades de vento características em ambientes urbanos.

Quando uma turbina eólica é instalada próxima ou sobre um prédio, devem ser considerados os efeitos de interação da turbina com o mesmo. Neste caso, a velocidade do vento pode aumentar devido à estrutura do prédio ou também poderá gerar grandes níveis de turbulência. Em alguns casos a estrutura do edifício pode concentrar o vento em determinados pontos, sendo que o incremento de velocidade pode chegar a 1m/s (Campbell, 2001).

Como se observa na Fig. 1, a turbina deverá ser instalada acima da região de grande influência da turbulência, permitindo que a máquina trabalhe com ventos mais uniformes. Na região de grande turbulência apresenta-se um escoamento com baixas velocidades de vento, a qual deverá ser evitada.

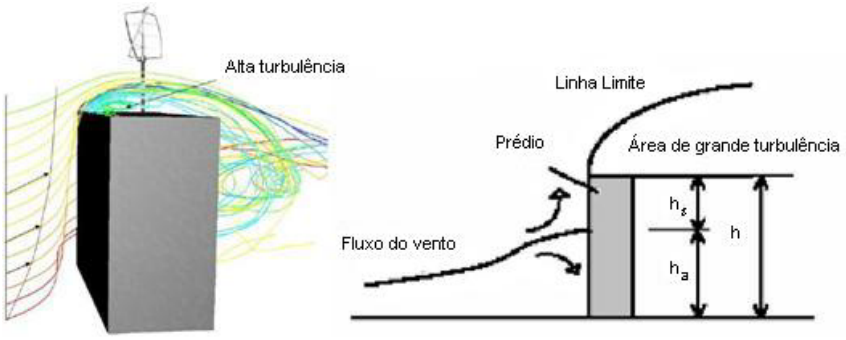


Figura 1. Fluxo do vento ao redor do prédio e representação da linha limite.

Devido à rotação das pás da turbina e da pressão dinâmica do vento incidente na estrutura, vibração pode ser gerada e transmitida da turbina para a estrutura do edifício, afetando sua integridade. Evidências de um projeto na Irlanda onde 3 turbinas de 1,5kW foram instaladas no topo de um prédio (Overmoor, 2003) mostraram que problemas de ressonância podem aparecer pelo efeito de múltiplas turbinas, em função das diferenças nas freqüências de vibração de cada máquina. Devido à complexidade do fenômeno de vibração, recomenda-se não utilizar um conjunto de máquinas em um único edifício. Quanto ao ruído, nas máquinas de grande porte é recomendável que o nível de ruído atinja no máximo 50dB a 500 metros de distância da máquina, geralmente isto não é um problema considerando que os parques eólicos são instalados em áreas rurais, abertas e afastadas da população. Para máquinas de pequeno porte, na área urbana, é aconselhável que este não exceda 43dB à noite e 47dB durante o dia (RES-e Project, 2005).

A fim de se minimizar vibrações e ruídos, a turbina deve ser instalada em áreas isoladas, como a sala de máquinas de elevadores. Se o teto da casa de máquinas foi feito com placas de concreto robustas, a turbina pode ser instalada sobre esta, entretanto, uma avaliação junto a um engenheiro de estruturas deve ser feita, pois poderá haver a necessidade de reforços de aço na estrutura original. Fundações para turbinas de pequeno porte são feitas em blocos de concreto reforçado. Para uma turbina de 6kW, com 500kg mais torre de 600kg, por exemplo, necessita-se de 3m² de área por 1,2m de profundidade (Smeaton, 2003).

No presente trabalho, são consideradas para a instalação em prédios, turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) (Fig. 2a) e turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV) (Fig. 2b).

(a) Turbina eólica de eixo horizontal

(b) Turbina eólica de eixo vertical

Figura 2. Exemplos de turbinas de pequeno porte de eixo horizontal (a) e eixo vertical (b).

Embora a tecnologia eólica tenha se desenvolvido internacionalmente e exista um grande número de produtos em termos de design, tamanho e aplicações, poucos produtos são disponíveis para integração predial. A maioria das turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) demonstra boa performance e efetividade de custo, o que torna favorável sua integração. Em princípio, elas são compatíveis com o desenho do topo do edifício, podendo apresentar maior complexidade de instalação. Turbinas de eixo vertical (TEEV) são mais robustas, sendo compatíveis com os projetos para serem instaladas em topos de prédios assim como esteticamente são preferidas por arquitetos e usuários. Sua integração é mais aceitável do que as TEEH e sua segurança é maior devido sua reduzida vibração, além de aproveitarem melhor o vento turbulento existente no topo de prédios (Overmoor, 2003).

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

A empresa Auxiliadora Predial, a qual é parceira do presente projeto, está construindo um prédio inovador. Trata-se de um prédio de 10 andares localizado na Avenida Carlos Gomes, setor nobre da capital. Suas janelas aproveitarão melhor a luz do sol durante o dia, necessitando o mínimo possível de energia elétrica para obtenção de luminosidade e ajudarão no conforto térmico. Possui um reservatório que recolhe e filtra a água da chuva para ser usada em banheiros e para limpeza da garagem e do prédio como um todo, além do que, utilizará a energia eólica para uma eventual redução de custos de energia elétrica. Com a instalação da turbina no topo de seu edifício, a empresa pretende ser a pioneira no Brasil neste tipo de instalação, e assim oferecer para seus clientes um diferencial com relação a outros empreendimentos comerciais. O presente projeto está relacionado com a avaliação do potencial eólico específico no entorno do prédio, permitindo verificar as condições em que trabalharia uma turbina assim como a escolha da máquina mais adequada, levando-se em conta à velocidade do vento, dimensões e potência gerada pela mesma. No momento o edifício está em construção, sendo escolhido um prédio próximo para efetuar as medições eólicas. A Fig. 3 mostra a vista de satélite do local onde será instalada a turbina (Local 1), onde foi instalado o sistema anemométrico (Local 2), e como será o prédio no final do projeto com a turbina já instalada.

Figura 3. Imagem de satélite mostrando o prédio onde será instalada a turbina (Local 1) e ainda o prédio onde se encontra o anemômetro (Local 2). O desenho mostra como deverá ficar o prédio da Auxiliadora após sua construção.

3. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO POTENCIAL EÓLICO

Para avaliar o potencial eólico foi instalado um sistema anemométrico num prédio próximo de onde pretende-se instalar a turbina (Fig. 4), o qual consta de um data logger e um anemômetro para registro dos dados horários e análise de velocidades médias diárias e mensais. O tratamento destes dados possibilitará avaliar o potencial eólico do local e assim realizar uma estimativa das condições em que deverá operar a turbina eólica. Estes dados de referência serão confrontados com informações do Oitavo Distrito de Meteorologia de Porto Alegre, verificando-se as tendências das velocidades médias e direção do vento no período em que será executado o projeto. Simulações acerca do comportamento do vento e consumo do edifício serão feitas utilizando softwares adequados, como WAsP e Excel.

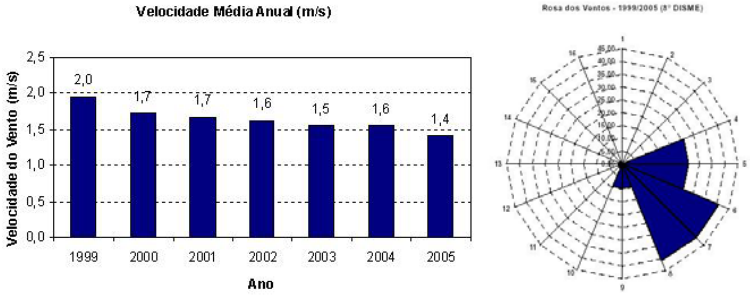
Paralelo a estas atividades, o NUTEMA realizará um estudo técnico econômico necessário para que a empresa possa tomar decisões enquanto a efetiva instalação do sistema eólico.

Figura 4. Anemômetro instalado em prédio próximo ao de estudo.

4. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO

4.1 Dados do 8º Distrito de Meteorologia (DISME)

Para correlacionar a velocidade obtida no prédio com outra série temporal de dados de vento na cidade de Porto Alegre, levando-se em conta velocidade e direção, dados foram adquiridos junto ao Oitvao Distrito de Meteorologia (DISME). Estes dados correspondem ao período de janeiro de 1999 a outubro de 2005. As velocidades médias registradas no 8° DISME são relativamente baixas, pois o local onde se encontra a torre anemométrica é rodeado de árvores e não muito elevado. A Fig. 5 mostra graficamente estes resultados onde se observa a velocidade média anual e sua respectiva rosa dos ventos.



(a) Velocidades medias anuais (b) Rosa dos ventos

Figura 5. Velocidades médias anuais e rosa dos ventos de 1999 a 2005 - 8º DISME.

A partir da Fig. 5a, podemos perceber que a velocidade média do vento na cidade de Porto Alegre é menor do que 2m/s, ou seja, bastante baixa para a instalação de uma turbina eólica nesta cidade. Quanto à direção do vento, a média de todos os anos foi tomada e o vento predominante na cidade de Porto Alegre é o Sudeste (Fig. 5b).

4.2 Dados de Vento Levantados no Projeto

A Fig. 6 mostra o resultado da velocidade diária média dos dados levantados com o sistema anemométrico instalado no prédio entre os meses de novembro de 2005 a maio de 2006. Observa-se num período de 24 horas a variação de intensidade do vento, chegando no seu mínimo por volta das 7:30h. No período do fim da tarde o vento apresenta maior intensidade, atingindo seu máximo por volta das 19:00h.

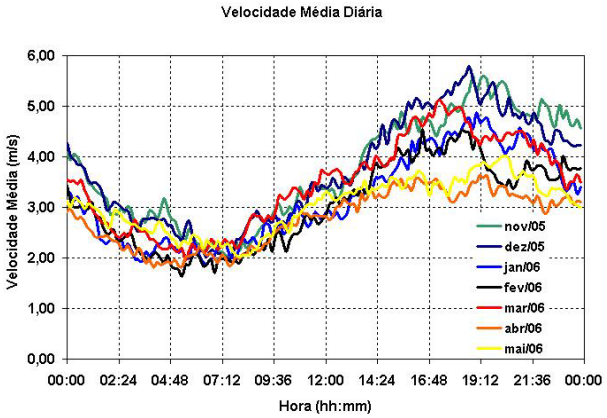


Figura 6. Velocidades médias diárias de novembro de 2005 à maio de 2006.

Conforme visto na Fig. 5, de acordo os dados do 8º DISME, a velocidade média dos ventos em Porto Alegre, não passa de 2m/s. Porém, no topo do prédio, a velocidade média é de 3,7m/s nos meses medidos. A razão que pode definir a diferença entre as velocidades de Porto Alegre e do topo do prédio podem ser fatores como altura, turbulência, terreno e posicionamento do prédio.

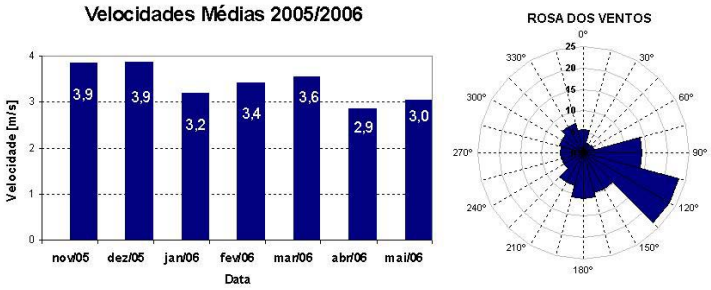


Figura 7. Velocidades médias mensais (a) e Direção do vento (b) correspondentes aos meses de novembro de 2005 à maio de 2006.

A média das direções do vento em Porto Alegre dos anos de 1999 a 2005 apresenta a direção Sudeste como predominante (Fig. 5b). No topo do prédio a direção predominante é Leste-Sudeste. A direção do vento no topo do prédio comparada com a direção dos ventos de Porto Alegre é praticamente a mesma (Fig. 7b). Uma avaliação por um período maior pode definir que estas sejam iguais.

5. ESTIMATIVA DA ENERGIA GERADA

5.1 Turbinas Eólicas Adequadas

Para integração com um prédio, inúmeros fatores devem ser levados em conta, porém os mais importantes são tamanho e capacidade de geração de energia. Sendo um projeto com finalidade demonstrativa, as turbinas apresentadas neste estudo são de pequeno porte, com potência nominal na faixa de 1kW à 10kW, nas quais o diâmetro do rotor varia de 1m à 7m podendo ser instaladas com torres de até 10m. Aerodinamicamente as turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) são mais efici-

entes e trabalham com maior rotação que as turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV). Por outro lado, as TEEV apresentam como vantagem menor ruído e maior robustez, o quê possibilita operar em condições de vento mais turbulentos e com maiores intensidades, adequando-se melhor ao ambiente urbano, esteticamente falando, do que as TEEH (Dutton, 2005).

5.2 Consumo e Energia Gerada

Um aplicativo para estimativa do consumo de energia do prédio foi desenvolvido no Excel. Permite avaliar o consumo de energia elétrica (kWh mensal e anual) do edifício, considerando-se lâmpadas, televisores, computadores, ventiladores, ar condicionado e outros equipamentos elétricos. O aplicativo apresenta um banco de dados com curvas de potência de TEEV e TEEH. A partir da escolha de uma delas, pode-se apresentar a economia proporcionada pela máquina em porcentagem, assim como sua Energia Anual Gerada (EAG). Na Fig. 8, se observa quanto uma TEEH de 3kW e outra TEEV de 2,5kW podem economizar de energia elétrica em um sistema auxiliar composto de 100 lâmpadas de 40W, dois elevadores de 500W e motores para acionamento dos portões da garagem (300W), levando-se em conta oito horas diárias de funcionamento, de segunda a sexta-feira. Conforme visto anteriormente, nota-se o melhor rendimento da turbina de eixo horizontal.

TEEH		TEEV	
Westwind 3kW		Turby	
Potência Nominal [W]	3000	Potência Nominal [W]	2500
EAG [kWh]	1277,33	EAG [kWh]	270,81
Economia	8,37%	Economia	1,77%
Diâmetro [m]	3,7	Diâmetro [m]	1,3
Área varrida [m²]	10,7	Área varrida [m²]	3,51

Figura 8. Estimativa da economia proporcionada a um sistema auxiliar e um prédio por uma turbina de eixo horizontal de 3kW e uma turbina de eixo vertical de 2,5kW.

A economia que uma turbina eólica de eixo horizontal de 3kW proporcionaria ao sistema auxiliar do prédio, levando-se em conta as condições do vento no local, é de 8,37%. Isso significa que com esta energia, poderíamos alimentar mais de 15 lâmpadas de 40W ligadas oito horas por dia de segunda a sexta-feira.

A Fig. 9 mostra a Energia Anual Gerada (EAG) por cada turbina de eixo horizontal que foi estudada. A indicação L1 corresponde ao local de instalação da turbina e L2 corresponde ao prédio onde está instalado o anemômetro. A indicação "WAsP" e "Excel" correspondem aos softwares utilizados para se fazer a simulação da EAG.

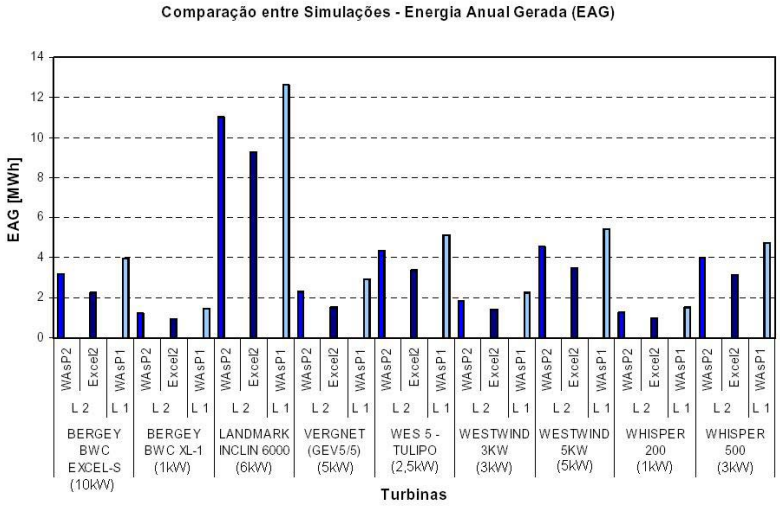


Figura 9. EAG em função da potência nominal da turbina, simulada no local de instalação da turbina (L1) e no local onde está instalado o anemômetro (L2), utilizando-se o "WAsP" e o "Excel".

6. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

As simulações computacionais foram realizadas com o WAsP, ferramenta utilizada para análise de parques eólicos com aerogeradores de grande porte (> 500 kW) e em campos abertos com poucos obstáculos. Uma representação tridimensional dos arredores de onde será instalada a turbina foi feita no WAsP para se obterem resultados reais.

Figura 10. Representação em 3D do bairro em que se encontra o edifício.

Como pode se observar, a partir do presente trabalho, o WAsP comportou-se bem em simulações de ambiente urbano, onde foram levados em conta a topografia e os obstáculos próximos ao prédio onde se encontra o anemômetro (40m de altura) e o local de instalação da turbina.

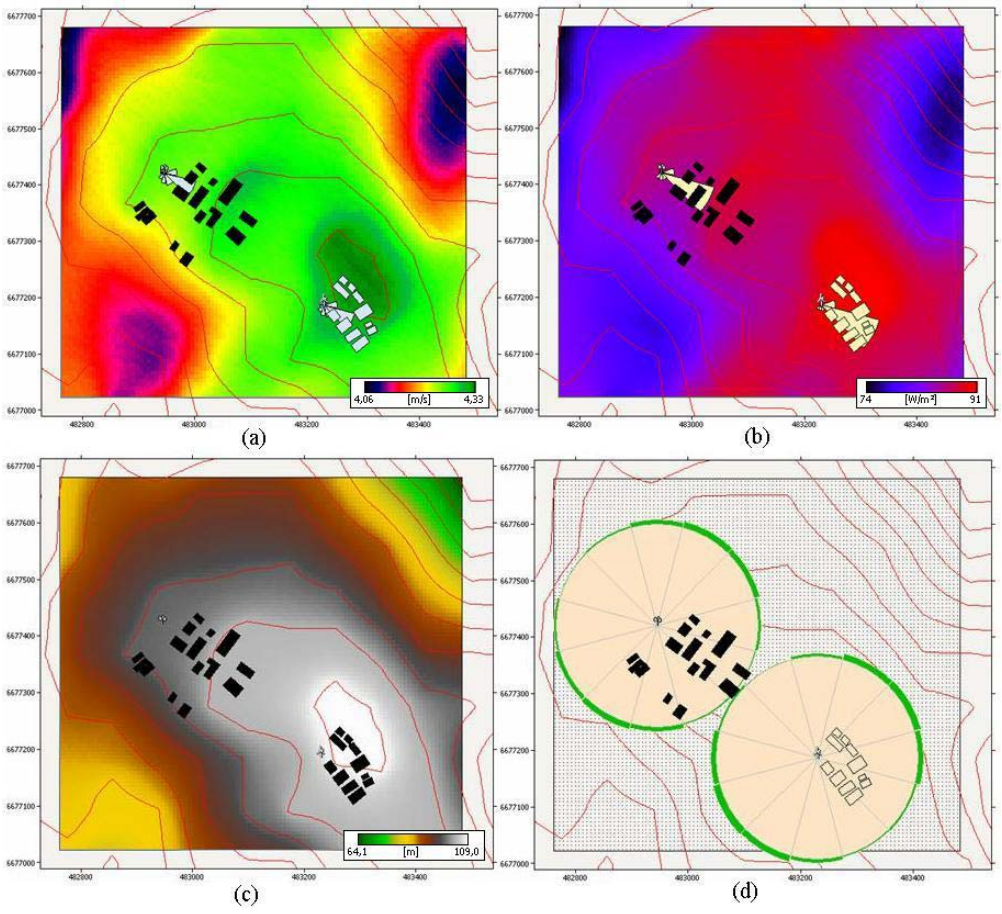


Figura 11. Simulação no WAsP para (a) velocidades médias, (b) capacidade de potência, (c) topografia e (d) efeitos da topografia.

Na Fig. 11 podemos ver as simulações, onde os obstáculos escuros correspondem ao local onde está instalado o anemômetro, e mais a direita, com os obstáculos em branco, o local de instalação da turbina. Na Fig. 11a podemos perceber que a região de maior potencial eólico devido às interações de topografia e obstáculos é justamente nos arredores do local onde a turbina será instalada. Na Fig. 11b podemos ver em vermelho as zonas de maior densidade de potência e em azul as zonas com menor densidade de potência. Percebe-se que local de instalação da turbina é a zona que possui maior densidade de potência. Na Fig. 11c está simulada a topografia do local, onde as zonas mais claras são as mais elevadas em altura. Percebe-se que o local mais elevado é onde está sendo construído o edifício, contribuindo para um melhor aproveitamento dos ventos após a instalação da turbina. Na Fig. 11d vemos os efeitos da topografia no Local 1 e Local 2. Quanto mais espessa a linha verde, maior é a contribuição da topografia para aumento da velocidade naquela direção.

7. TORRE ADEQUADA E PREVENÇÃO DE VIBRAÇÕES

7.1 Posicionamento da Turbina em Função do Escoamento do Vento no Topo do Prédio

A escolha do ponto mais apropriado para o funcionamento da turbina eólica teve de ser estudado a fim de se obter o máximo rendimento de aproveitamento do vento em um ambiente com elevada rugosidade, como o ambiente urbano. Para isso, fez-se um estudo a cerca do escoamento do vento no topo do prédio com ênfase no local de instalação da turbina eólica. Na Fig. 12a podemos ver que o melhor aproveitamento do vento se dá na região posterior ao choque do vento com o prédio (ponto 2). Na Fig. 12b, podemos ver o local onde deve ser instalada a torre e a turbina eólica.

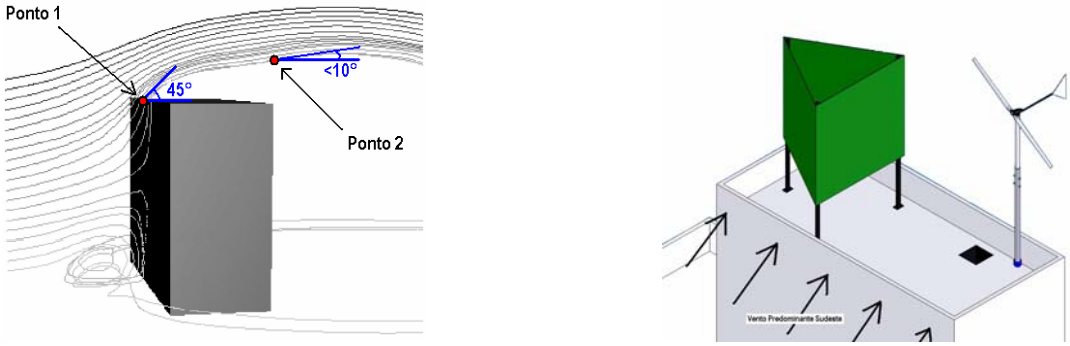


Figura 12. (a) Escoamento do vento e (b) posicionamento da turbina no topo do prédio.

7.2 Redução de Ruídos e Vibrações

Devido à rotação da turbina e do choque do ar com as pás e a torre, ruído e vibração são gerados. Para uma turbina instalada na estrutura de um edifício, a vibração se transfere para todo o edifício. Para se evitar este problema, um estudo com relação à redução das vibrações e ruídos gerados pela turbina à estrutura do prédio foi realizado. Amortecedores de vibração foram dimensionados em função da rotação, peso e esforços da turbina. Estes amortecedores devem ser colocados entre a torre e a estrutura do prédio, conforme a Fig. 13.

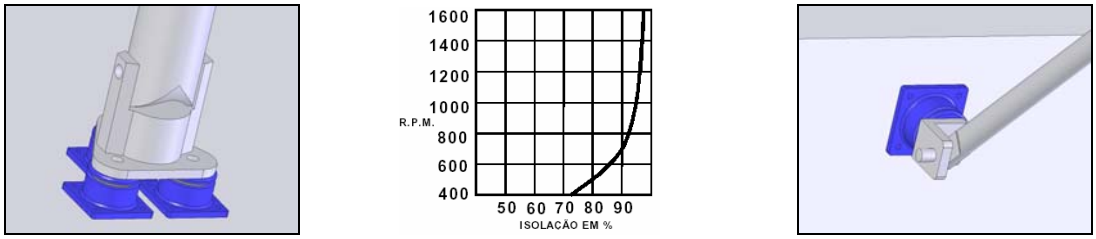


Figura 13. Amortecedores de vibração da torre e gráfico “R.P.M. x Isolação (%)”.

7.3 Facilidade Para Instalação e Manutenção

A instalação de uma turbina eólica no topo de um prédio é bem diferente da instalação em um campo aberto devido ao espaço reduzido. A altura da torre também difere muito em relação a esses dois tipos de instalações, devendo esta ser menor em um prédio, já que este já possui certa altura. Enquanto no campo podemos ter alturas de torre de até 40m, em um prédio esta altura não deve passar de 6m. Além disso, para podermos ter um fácil acesso ao rotor para manutenção, o abaixamento e levantamento desta torre deveriam ser facilitados. Por estes motivos, foi projetada uma torre que pudesse cumprir com estes requisitos.

Figura 14. Torre que facilita instalação e manutenção.

8. ESCOLHA DO SISTEMA EÓLICO E CONEXÃO NA REDE ELÉTRICA

O sistema eólico selecionado consiste de uma turbina de duas pás, com 5m de diâmetro na área de varredura das pás, com potência de 3kW a 12m/s. Este sistema foi selecionado levando-se em conta critérios como o tamanho (pode ser vista de longe, mas não é grande o suficiente para danificar a estrutura do prédio), potência, acabamento e confiabilidade do fabricante, tanto da turbina quanto dos componentes eletroeletrônicos. A turbina eólica Whisper 500, do fabricante Southwest, juntamente com a interface de conexão na rede e inversor AURORA, da Magnetek, compõem o sistema mostrado na Fig. 15.

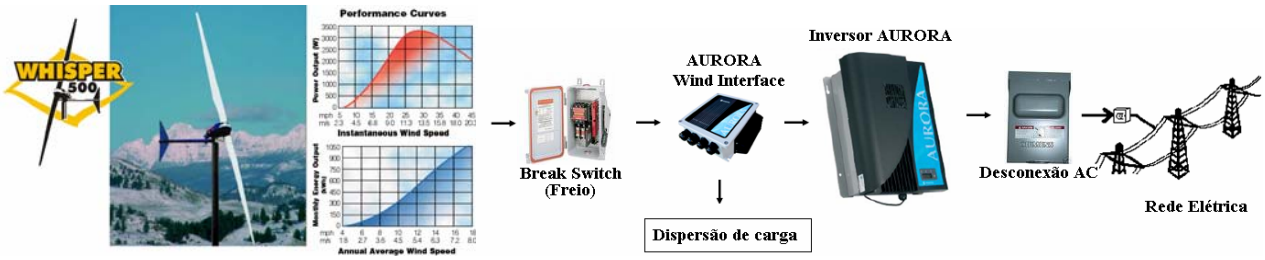


Figura 15. Sistema eólico de pequeno porte selecionado a ser conectado na rede elétrica.

Para se evitar o uso de um banco de baterias no prédio, estudou-se a possibilidade de conexão do sistema eólico diretamente na rede elétrica, conforme Fig. 15. Uma pesquisa a cerca dos equipamentos adequados para a implementação deste sistema foi realizada. Os componentes do sistema são basicamente um inversor e uma interface, que pode ser um retificador ou um booster (dependendo da turbina). Um retificador é utilizado quando a turbina gera corrente alternada (CA) e um booster quando ela gera corrente contínua (CC). A entrada do inversor aceita somente CC, e sua saída gera voltagem e freqüência de acordo com a rede elétrica (CA). A interface serve para adequar as alterações de freqüência e voltagem da turbina com a entrada do inversor, funcionando basicamente como um retificador.

9. CONCLUSÕES

O projeto permitiu realizar uma análise do recurso eólico por um período de sete meses, fazendo uma previsão da energia gerada por máquinas de pequeno porte e verificando as condições eólicas no local através de ferramentas computacionais, tais como o WAsP. Cabe assinalar que os resultados do WAsP, obtidos no presente projeto, são promissores, já que não temos informações de referências bibliográficas anteriores de que este aplicativo tivesse sido utilizado num ambiente urbano com resultados comparativos como os aqui apresentados. Os dados de vento mostram que a velocidade média do local é relativamente baixa para um aproveitamento eficiente de turbinas eólicas, contudo, para uma proposta com fins demonstrativos, uma turbina eólica instalada no local poderia gerar energia e produzir uma redução do consumo de energia para atender sistemas auxiliares do prédio. O projeto continuará com a coleta e tratamento de dados, assim como o estudo da integração de uma turbina eólica no prédio avaliando-se o comportamento do sistema interligado na rede elétrica.

REFERÊNCIAS

A Publication for the RES-e Project, 2005, "Domestic Roof-Mounted Wind Turbines - The Current State of the Art."

Dr. Campbell, 2001, "Wind Energy For The Built Environment (Project Web)"

Dutton A G, 2005, Energy Research Unit, CCLRC, "The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines (BUWTs): Achieving their potential for carbon emission reductions."

Overmoor, 2003, Energy for Sustainable Development Limited Ref: P00702, "Bradford West City Tower Blocks Wind Energy Feasibility Study, Bradford"

REN-2010-0603 ©2003 Wisconsin Focus on Energy "Using wind energy: small-scale systems"

Smeaton Road, 21 July 2003, "Ealing Urban Wind Study", Bristol BS1 6XN; Registered charity no.298740, Final Version, Centre for Sustainable Energy, The CREATE Centre

Wenzel G. M., Lopez H. F., Ale J. V. "Estudo da Implementação de Sistema Eólica em Prédio da Empresa Auxiliadora Predial" CONEM, Agosto 2006.

BUILDING WIND SYSTEM IMPLEMENTATION STUDY TO ENERGY GENERATION AT PORTO ALEGRE CITY

Abstract. *The project has for purpose to carry through a feasibility study technique for implementation of small wind energy system in the top of a building at Porto Alegre city. One is about an wind turbine with demonstrative purpose as well as supplying of energy systems auxiliary of the building. The size, as well as the characteristics techniques of the system, will be defined in the present project. Initially they had been collected given wind of wind of the city of Porto Alegre supplied for 8th District of Meteorology previous to the project and used years as reference. Later an anemometric tower registering itself given of speed and direction of the wind was installed next to place to interest. The treatment of the collected data was carried through, evaluating the available Aeolian potential. Finally, it was used applicatory computational for analysis of the Aeolian potential (WAsP) and a use of electronic spread sheets (Excel) allowing an analysis of the consumption and the energy that could be generated by small wind turbines of vertical axle and horizontal axle. The studies with regard to the tower more adjusted for the application and the connection of this aeolian system in the electric net had been also carried through.*

Keywords. *Wind energy, built, small turbines, roof-top.*