

# Energia Eólica em Ambiente Urbano

## Aspectos Gerais

### Proposta de metodologia para avaliação do recurso eólico em ambiente urbano



**LNEG**  
Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. P.

Teresa Simões, Ana Estanqueiro

”A dimensão das Energias Renováveis no Planeamento Urbano”

Auditório do Alto dos Moínhos

17 de Março de 2010



# Situação actual da energia eólica em Portugal



# Situação actual da energia eolica em Portugal

## Dados Gerais (Dez. 2009)

~3600 MW instalados

Parques Eólicos em fase de projecto:  
~280 MW

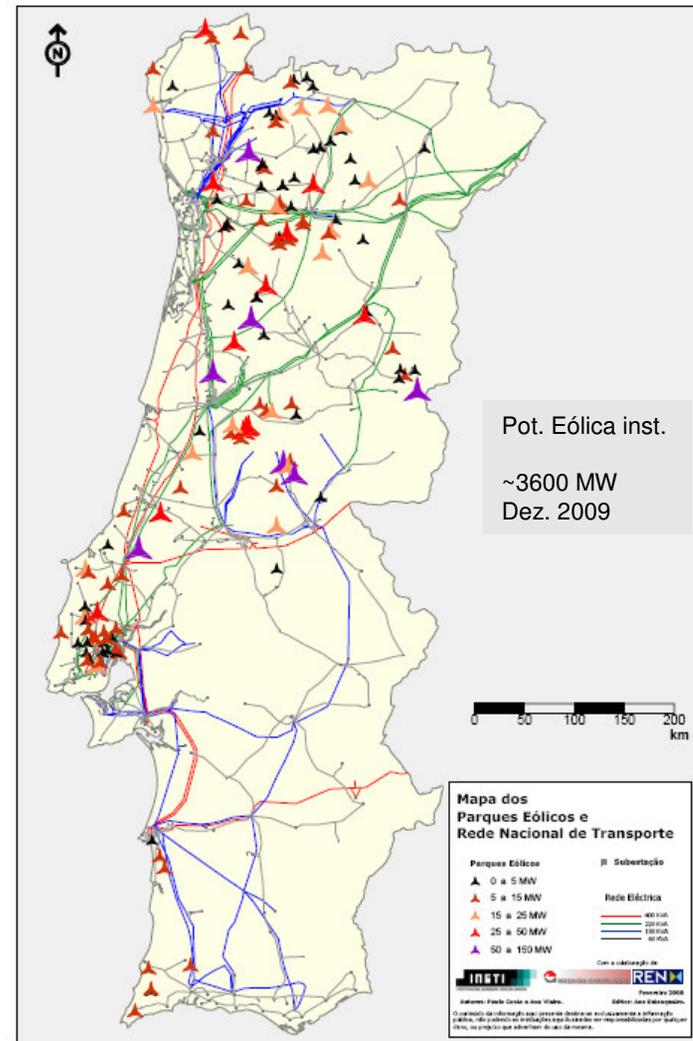
Estimativa Potencial Eólico Sustentável em Portugal:

Continente: ~6500 MW.

Madeira e Açores: 150 a 200 MW

Offshore: >3500 MW

Parques Eólicos Existentes  
Dezembro 2009



# Situação actual da energia eolica em Portugal

---

## ▪ **MAS...**

- **Locais para instalar PE em terra – quase esgotados/ocupados/reservados;**

## ▪ **Donde...**

- **A exploração de energia eólica oferece outras possibilidades:**
  - ***Offshore* e instalação de micro-turbinas (SWT) para uso doméstico em zonas urbanas ou construídas.**
- **MICROGERAÇÃO!!**

# Microgeração



# Microgeração

---

## Objectivo

**Aproveitamento máximo do potencial eólico e renovável em Portugal mantendo a qualidade de operação do sistema electroprodutor, a segurança da sua gestão e os custos da produção de energia dentro de limites economicamente exequíveis.**

## Valor

**Para o País:**

**aumentar o share de renováveis e auxiliar, o cumprimento das metas acordadas em 2007 (20 20 20 até 2020), contribuir para diminuição emissões (Kyoto e pós-Kyoto), reduzir a dependência energética externa.**

**Para a Gestão do Sistema:**

**aumentar a quota das fontes renováveis, diminuir fluxo de energia na transmissão e perdas, diminuir custos operacionais do sistema.**

**Para os Produtores/Consumidores**

**contribuir para um futuro sustentável, desenvolver um nicho industrial e de mercado na área da microgeração e da geração distribuída.**



## O que se pode obter?

- **Edifícios e áreas urbanas energeticamente sustentáveis;**
- Contribuição para a **diminuição da carga e das perdas eléctricas** nas redes de transmissão e distribuição;
  - i.e. dos custos operacionais do sistema
- **Desenvolvimento da indústria nacional** num “nicho tecnológico”
  - “*a big business for small turbines*” ?
  - painéis solares?
  - DSO's - gestão da distribuição (e “Smart Grids”)
- **Diminuição da factura energética dos edifícios.**

# Microgeração - Legislação

---

**Novembro de 2007:**

## **Dec.- Lei 363/2007**

- **Específico para microgeração de origem renovável.**

**É necessário:**

**A. Mapeamento do potencial eólico (atlas) nas áreas construídas**

- Tecnicamente “*challenging*”, mas possível em articulação com CM’s e Agências Regionais de Energia
- Já está a ser feito em alguns concelhos e zonas do país.

**B. Turbinas eólicas devem ser concebidas para instalação em ambiente urbano ou construído**

- situação tipicamente mais adaptada a VAWT ou soluções HAWT inovadoras;



# Microgeração – Dados estatísticos

---

## Microgeração – Dec.Lei 363/2007 de 2 de Novembro Programa “Renováveis na hora”

### Dados estatísticos de microprodução até 2009-12-09

#### Regime Bonificado

Registos Efectuados		Registos Pagos		Registos Certificados	
Qtd	Potência (kW)	Qtd	Potência (kW)	Qtd	Potência (kW)
13054	45622.7	7489	26401.1	4790	16886.9

#### Regime Geral

Registos Efectuados		Registos Pagos		Registos Certificados	
Qtd	Potência (kW)	Qtd	Potência (kW)	Qtd	Potência (kW)
214	762.1	7	32.53	2	9.35

Fonte: [www.renovaveisnahaora.pt](http://www.renovaveisnahaora.pt), consulta 2010-03-16



---

# **Recurso energetico do vento em ambiente urbano**



# Recurso Energético do Vento

---

## É preciso caracterizar o recurso eólico...mas

1. **Escoamento sobre áreas urbanas é de difícil caracterização:**
  - A. **Fortes efeitos 3D e de separação no topo e em redor dos edifícios;**
  - B. **Redução da velocidade do vento (> 20%);**
  - C. **Turbulência elevada – Formação de vórtices**
  - D. **etc...**
  
2. **Modelos padrão de microscala não têm capacidade de resolver estas questões, apesar de descreverem de forma simples o escoamento em torno de obstáculos.**

# Recurso Energético do Vento

---

**3.A avaliação do potencial eólico (urbano) economicamente inviável - custo de um estudo e/ou campanha de medição, supera, em muitos casos, o preço da micro-turbina**

- Assume-se o risco associado à não caracterização energética do recurso eólico, ou;
- **A ideia é abandonada.**

**4. Existem mapeamentos nacionais e regionais do potencial eólico**

- Ex. Atlas do Potencial Eólico de Portugal Continental (LNEG/INETI)
- **Mas não estão adequados à malha urbana.**

# Recurso Energético do Vento - modelos

---

## Modelos adequados à caracterização do recurso energético do vento em ambiente urbano

### ▪ **CFD – modelação 3D**

- **FLUENT (Ansys)** – Permite a programação de equações adequadas a diversos tipos de problemas: conforto térmico, escoamentos em torno e no topo de obstáculos, entre outros.
- **UrbaWind (Meteodyn)** – Adequado a problemas relacionados com energia eólica urbana: Resolve as equações de Navier-stokes e utiliza modelo de turbulência.

# Recurso Energético do Vento - modelos

---

- **WindSim (WindSim)** – Adequado a problemas relacionados com energia eólica no geral:  
**Avaliação do potencial eólico em terrenos complexos e muito complexos.**
- **WindPro (EMD)** – recorre a modelo de microscala  
**WASP e CFD WindSim**

# Recurso Energético do Vento - modelos

---

## ▪ **Desvantagens CFD**

- **Elevado custo computacional;**
- **Construção da geometria do problema normalmente complicada e de difícil concepção;**
- **Dificuldade na convergência do modelo gera frequentemente erros nos resultados.**

# Recurso Energético do Vento - modelos

---

## ▪ Modelos Físicos – Túnel de vento

- Perfeitamente adequados a este tipo de problemas
- Produzem muito poucos erros nos resultados

## ▪ MAS...

- Túnel de vento...nem sempre há acesso a um;
- Maquetes 3D dispendiosas
- Utilização de túneis de vento com possibilidade de simular estratificação da atmosfera é dispendiosa;

# Recurso Energético do Vento

---

- Em casos pontuais a utilização de modelos deste tipo não é um problema, mas para aplicação em áreas extensas à escala da cidade, sim.
- Desejável seria a existência de um Atlas do potencial eólico urbano nacional ou regional.
- É necessário definir metodologias de avaliação do recurso energético do vento urbano e de determinação do potencial eólico sustentável ao nível das cidades e/ou regiões no curto-médio prazo.

---

# Metodologia



# Recurso Energético do Vento - metodologia

---

## **Metodologia para a determinação de áreas urbanas adequadas à instalação de micro-turbinas eólicas**

### **- Ferramentas:**

**- Software: ArcGIS, WAsP/WindPro/(WindSim) e FLUENT/UrbaWind para validação.**

### **- Definição de dados de entrada:**

**- Dados de vento (medidas, bases de dados, mapeamentos existentes); Atlas do Potencial Eólico de Portugal Continental;**

**- Cartografia (altimetria, planeamento urbano – geometria e cotas dos edifícios).**

# Recurso Energético do Vento - metodologia

---

- Construção de uma superfície de cotas envolvendo uma área urbana de forma a que os edifícios possam ser tratados como se fossem um terreno de orografia muito complexa.
- A superfície pode ser gerada com base na geometria dos edifícios na forma de mapa CAD, desde que exista informação sobre as cotas.
- É aplicado um método de interpolação para gerar a superfície (e.g. método de Kriging ou outro).

# Recurso Energético do Vento - metodologia

---

- Este método permite poupar algum tempo no que respeita à geração da malha da cidade para CFD, e pode ser utilizado como **input em qualquer tipo de modelo (CFD, túnel, microscala).**

## **Mapeamento do recurso eólico:**

- **Utilização de dados de vento urbanos**
  - **Medidos (quase sempre inexistentes);**
  - **Alternativa: Atlas de vento do potencial eólico de Portugal continental;**
- **Utilização de modelos convencionais – WAsP/WindPro, ou (WindSim)**

# Recurso Energético do Vento - metodologia

---

## **Validação (em curso):**

- **Dados medidos em pontos da cidade ou área a estudar**
- **CFD em pontos típicos da zona urbana (tipologias distintas dos edifícios ou pequenas áreas de edifícios).**

## **Seleção de áreas para a instalação de micro-WT**

- **Recurso a *software* de informação geográfica, com inclusão de todas as condições necessárias consoante a informação disponível.**



---

## Um caso de estudo



# **Recurso Energético do Vento – caso de estudo**

---

## **Caso de estudo a decorrer numa zona da cidade de Torres Vedras – centro histórico**

- **Com história nas energias renováveis**
  - **Parques eólicos em redor da cidade;**
  - **Dinamismo académico e em I&DT**
- **Com cartografia urbana em diversas escalas - 1:200; 1:20000**
- **Com informação 3D numa zona relativamente extensa da cidade – Centro Histórico de Torres Vedras;**
- **Ortofotomapas (passíveis de georeferenciação)**

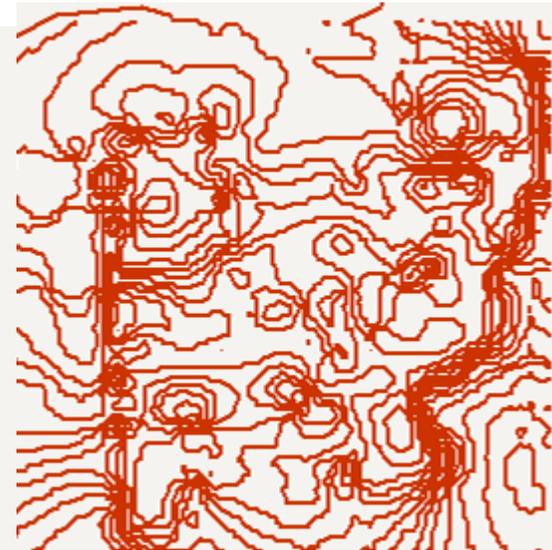
# Recurso Energético do Vento – caso de estudo



Fonte: GoogleEarth (fotos 2006)

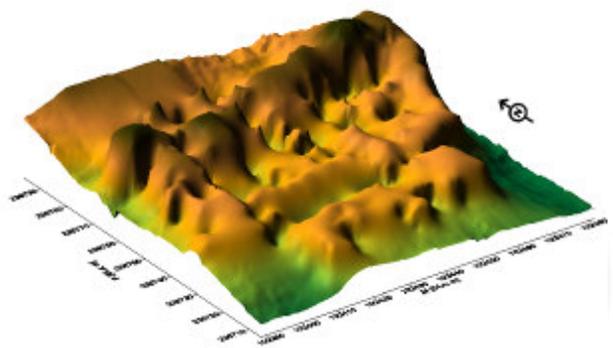


Polígonos representativos dos edifícios na área em estudo



Superfície gerada com base na geometria e cotas dos edifícios

# Recurso Energético do Vento – caso de estudo

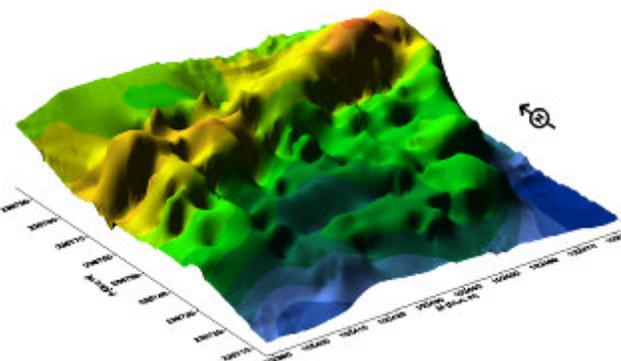


Maquete 3D da malha urbana.

+

Dados Vento  
e modelo  
convencional

=>



Maquete 3D com distribuição dos valores de velocidade do vento.

**SIG =>**



Áreas com valores acima de uma determinada velocidade do vento.

# Recurso Energético do Vento – validação

---

## -Validação

- **Em curso...**
- **Instalada torre anemométrica num edifício camarário da cidade de Torres Vedras (em 28.11.2009);**
- **Recurso a modelo CFD (UrbaWind já em simulação; FLUENT na fase de construção da geometria).**

# Recurso Energético do Vento – síntese

---

## -Síntese

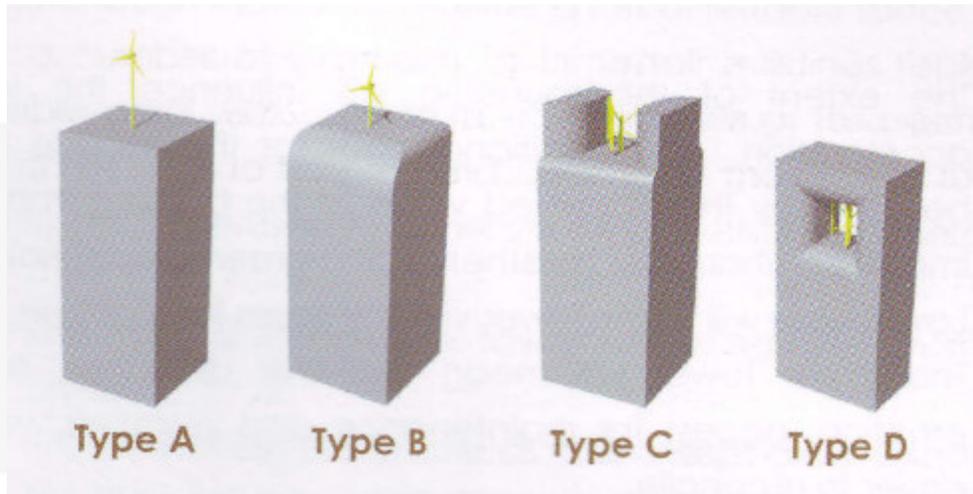
- O recurso eólico em ambiente urbano é de difícil caracterização e é normalmente estimado com base em modelos 3D do escoamento atmosférico;
- Está em desenvolvimento uma metodologia que recorre à geração de uma superfície sobre uma área de edifícios construída com base na sua geometria e informação sobre cotas, normalmente disponível nos municípios, e recorrendo a ferramentas tradicionais de estimativa do potencial eólico;
- O potencial eólico disponível numa área urbana pode ser determinado com base no mapeamento do recurso energético do vento e recorrendo a um sistema de informação geográfica para selecção de áreas de interesse;
- Os resultados obtidos podem ser úteis quer para apoio ao desenvolvimento da energia eólica urbana, quer para planeamento urbanístico.

---

## **Exemplos de turbinas eólicas em ambiente urbano**



# Turbinas eólicas em ambiente urbano – integradas em edifícios



## **- Tipo A: Topo de edifícios**

- Torres altas para evitar turbulência

## **- Tipo B: Topo de edifícios arredondados:**

- Aceleração do escoamento;
- torre pode ser mais baixa e implica redução flicker e emissão de ruído;

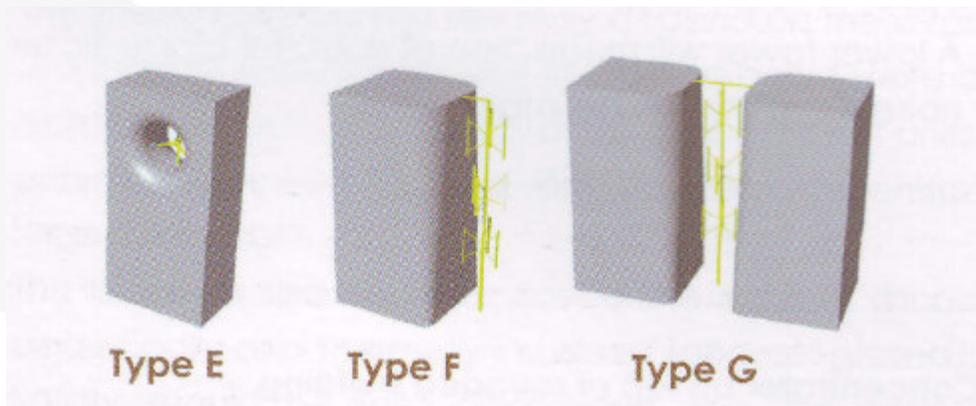
## **- Tipo C: concentrador**

- Para vento bidireccional há aumento na aceleração do vento (~20%)
- envolvente do concentrador pode ser aproveitada se houver disponibilidade de buffers acusticos para redução de ruído

## **- Tipo D: concentrador integrado quadrado**

- Aproveita ventos de maior qualidade a altitudes elevadas
- Favorece aceleração do vento;
- Favorece edifícios estritos;
- melhor adaptadas as VAWT

# Turbinas eólicas em ambiente urbano – integradas em edifícios



## **-Tipo G: Entre edifícios**

- Formato e orientação dos edifícios são peças chave na concepção dos sistemas;
- Semelhante a tipo F

## **- Tipo E: concentrador integrado circular**

- Semelhante a tipo D;
- Melhor adaptadas as HAWT

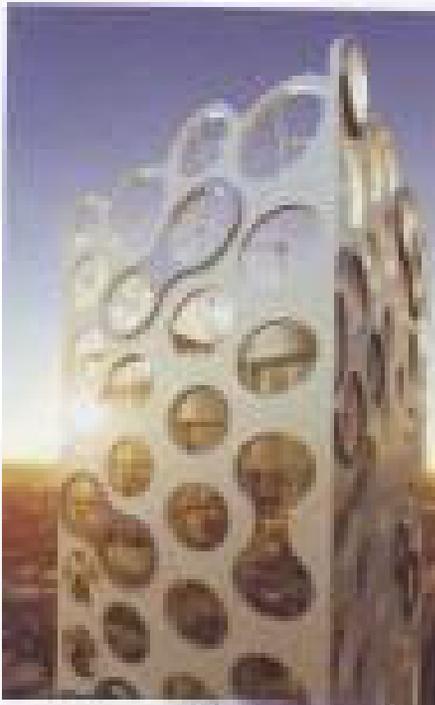
## **-Tipo F: Ao lado de edifícios altos:**

- aproveita ventos de qualidade a altitudes elevadas;
- Edifício deve ter formato adequado;
- Exige mitigação do ruído;
- exige medidas de segurança apertada na área da instalação e acesso a manutenção.

# Turbinas eólicas em ambiente urbano – Integradas em edifícios

---

Proposta torre  
COR (Miami)



Torre  
residencial  
Castle House  
(Londres)



Proposta SkyZED  
energia zero  
(Londres)

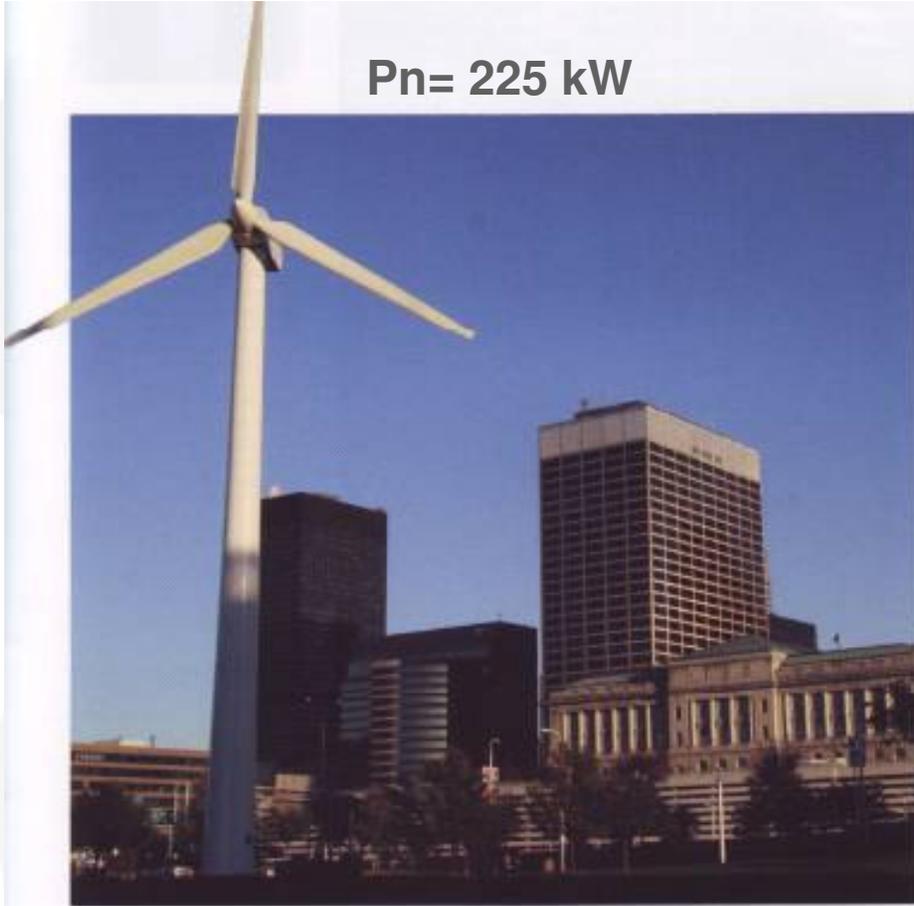


World Trade Centre,  
3x225kW  
(Bahrain – 2008)

# Turbinas eólicas em ambiente urbano

---

$P_n = 225 \text{ kW}$



Great Lakes Sciences Center, Cleveland, USA

$P_n = 100 \text{ kW}$



Escola Leonardo Da Vinci  
Calais, França

$P_n = 1800 \text{ kW}$



Ford Estate  
Londres

# Turbinas eólicas em ambiente urbano

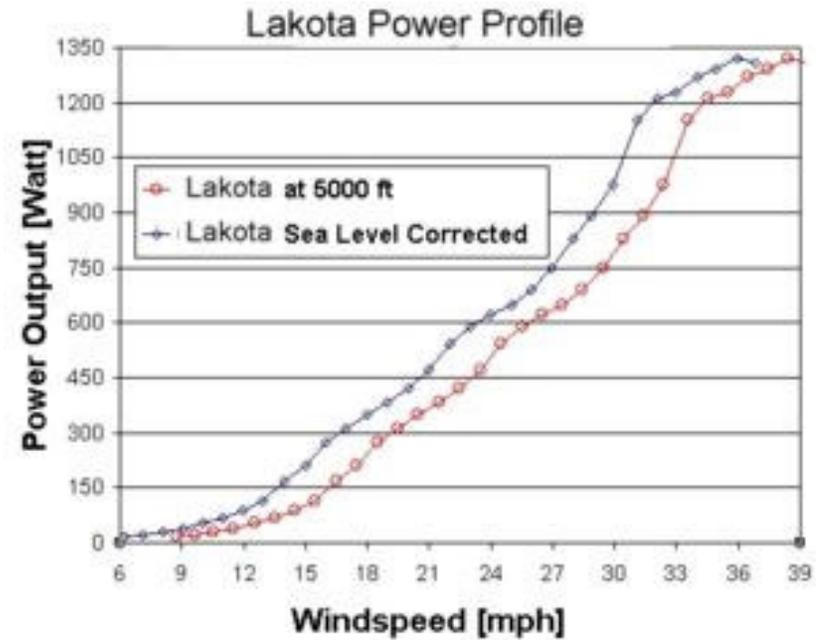
---



Proven 6kW, BP em Londres

**Turbina  
“na  
sombra”!  
!**

# Turbinas eólicas em ambiente urbano - HAWT



“Urbine”



# Turbinas eólicas em ambiente urbano - HAWT

---

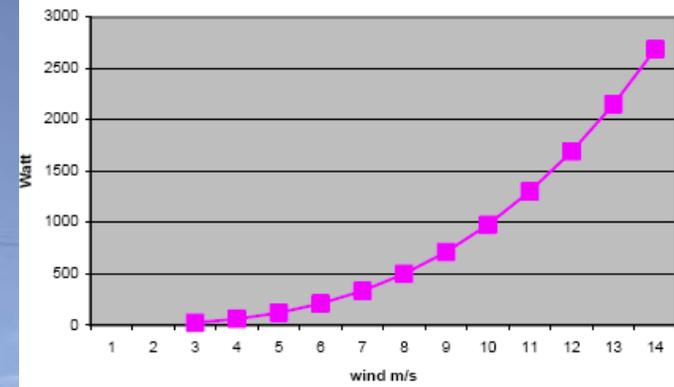
Turbina “tulipo” 2.5  
kW



Turbina “Skystream 3.7”, 1.8 kW  
Califórnia



# Turbinas eólicas em ambiente urbano - VAWT



# Turbinas eólicas em ambiente urbano - HAWT

---

Turbinas Swift .  
1.5kW, D=2m  
(UK)



1.0kW, D=1.9m  
(Escócia-UK)



# Turbinas eólicas em ambiente urbano - VAWT

---

Turbinas Turby  
2.5kW



Turbina QR5 ("Quiet  
Revolution")  
6kW, 3=2m, L=5m  
(UK)



# Turbinas eólicas em ambiente urbano - HAWT

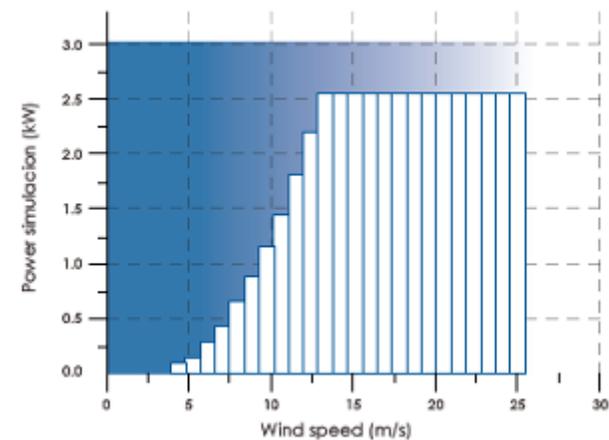
E claro....a turbina T.Urban HAWT



## Dados Técnicos:

*3 pás,  
Eixo horizontal,  
Velocidade rotação variável,  
Gerador PMG,  
Rotor de elevado desempenho,  
Potência nominal =2.5 kW,  
Diâmetro =2.3 m,  
Ligação monofásica (220/240 V).*

Power Output Characteristics



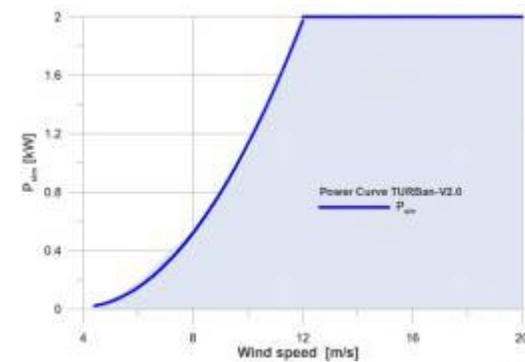
# Turbinas eólicas em ambiente urbano - HAWT

## E ....a turbina T.Urban VAWT



### Dados Técnicos:

*3 pás,  
Eixo vertical,  
Velocidade rotação variável,  
Gerador PMG,  
Potência nominal =2.5 kW,  
Diâmetro =2.0 m,  
Altura rotor =2.5 m  
Altura total =3.65 m  
Ligação monofásica (220/240 V).*



## **... o que falta fazer:**

### **Recurso energético do vento em ambiente urbano**

- Desenvolver atlas regionais do potencial eólico urbano
- Aperfeiçoar e validar metodologias expeditas para a avaliação do recurso a curto-médio prazo
- Colaboração entre entidades SCT e autarquias

### **Microgeração - tecnologia**

- Continuar a desenvolver tecnologia adequada
- Equipamentos, sistemas de integração - com o máximo de integração nacional!...

# ...e os nossos contactos

---

[ana.estanqueiro@ineti.pt](mailto:ana.estanqueiro@ineti.pt) & [teresa.simoese@ineti.pt](mailto:teresa.simoese@ineti.pt)

**Unidade de energia solar, eólica e dos oceanos**



LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

[www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)