

# Aproveitamento do Potencial Eólico Sustentável em Portugal

(A tecnologia, situação actual e perspectivas futuras....)



**INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA INDUSTRIAL**

Departamento de Energias Renováveis

Ana Estanqueiro

## Objectivo

Aproveitamento máximo do potencial eólico e renovável em Portugal mantendo a qualidade de operação do sistema electroprodutor e a segurança da sua gestão

## Valor

Para o País:

aumentar o *share* de energias renováveis,  
auxiliar o cumprimento das Metas EU e Quioto,  
diminuir custos operacionais

Para a  
Gestão do Sistema:

optimizar o despacho da produção renovável,  
aumentar o valor da energia entregue  
negociar garantia de potência (?)

Para os Produtores:

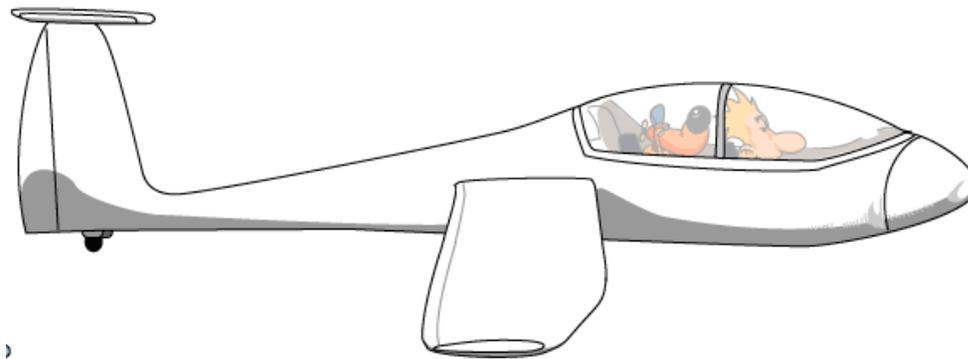
aumentar a capacidade instalada,  
aumentar a energia entregue à rede,  
aumentar o valor da energia entregue,  
permitir eventual negociação em bolsa de curto  
prazo

# A tecnologia



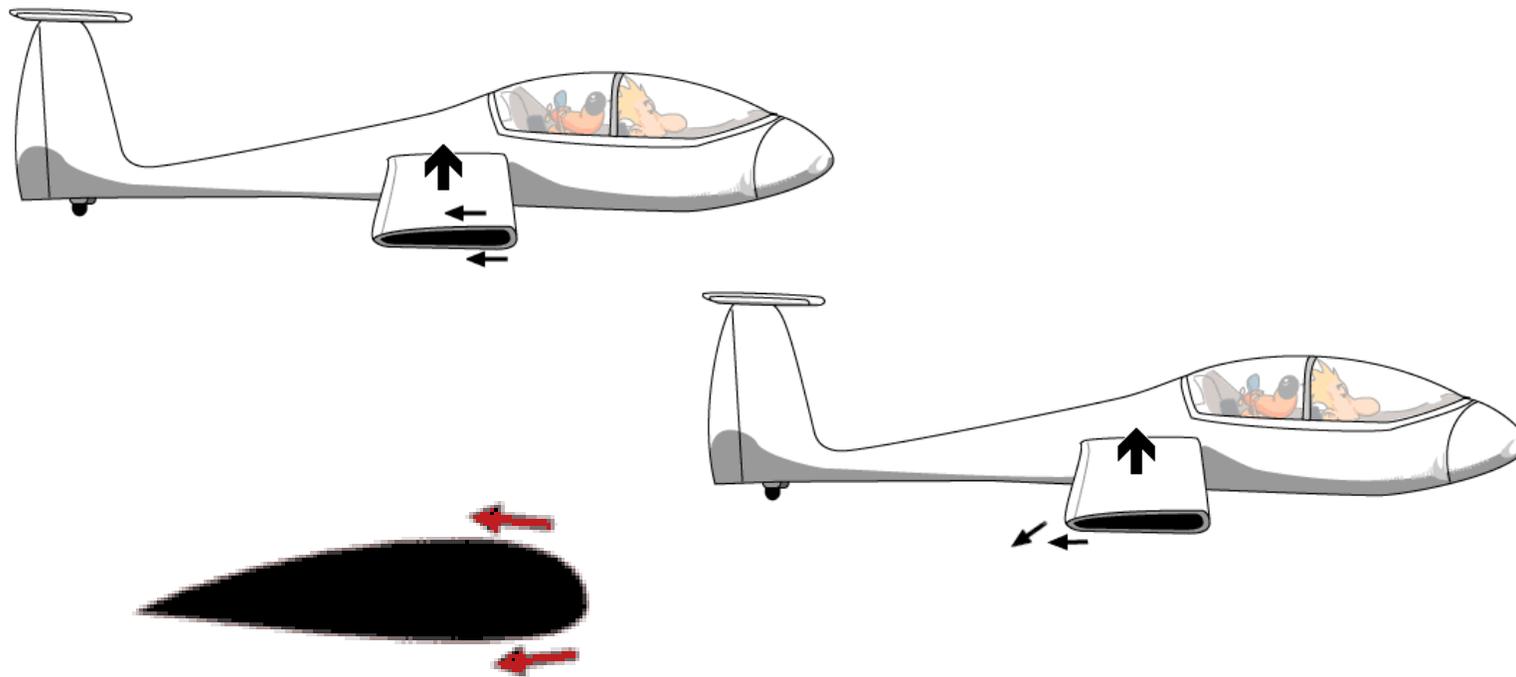
# A tecnologia: Como funciona?

**Para perceber o funcionamento de uma turbina é necessário saber...**



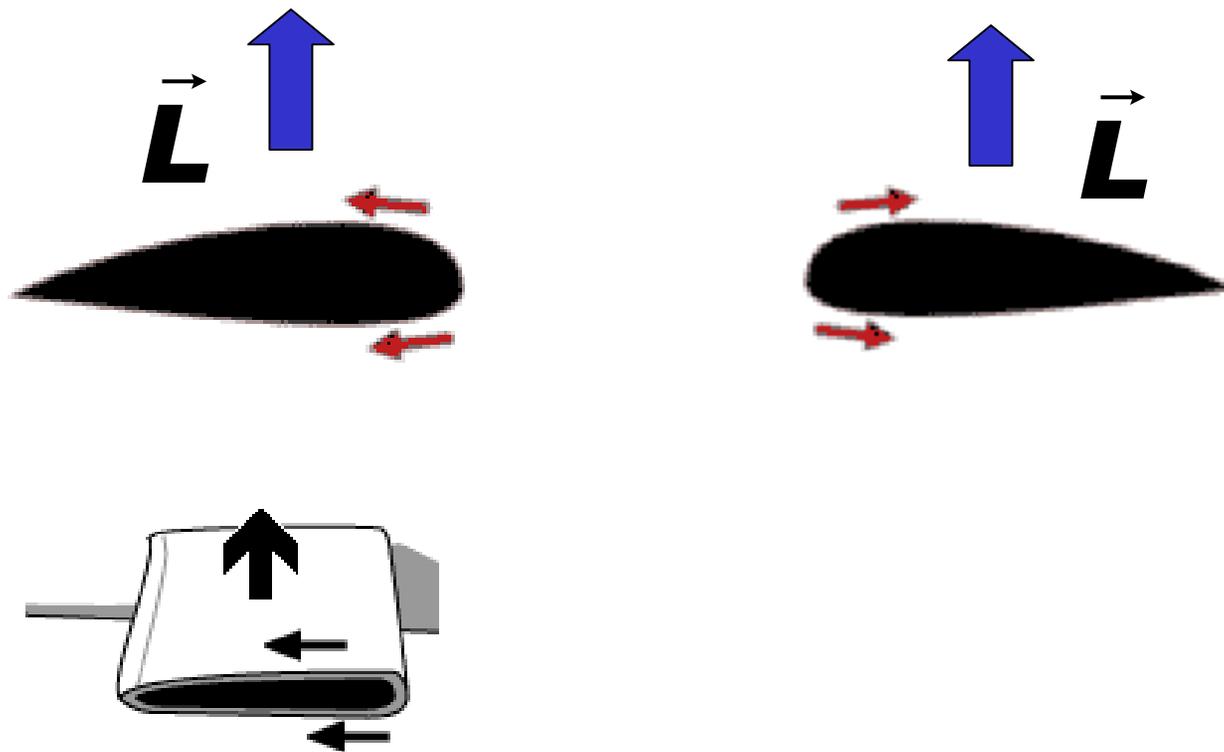
**...porque não caem os aviões?**

## Os aviões recorrem a forças...



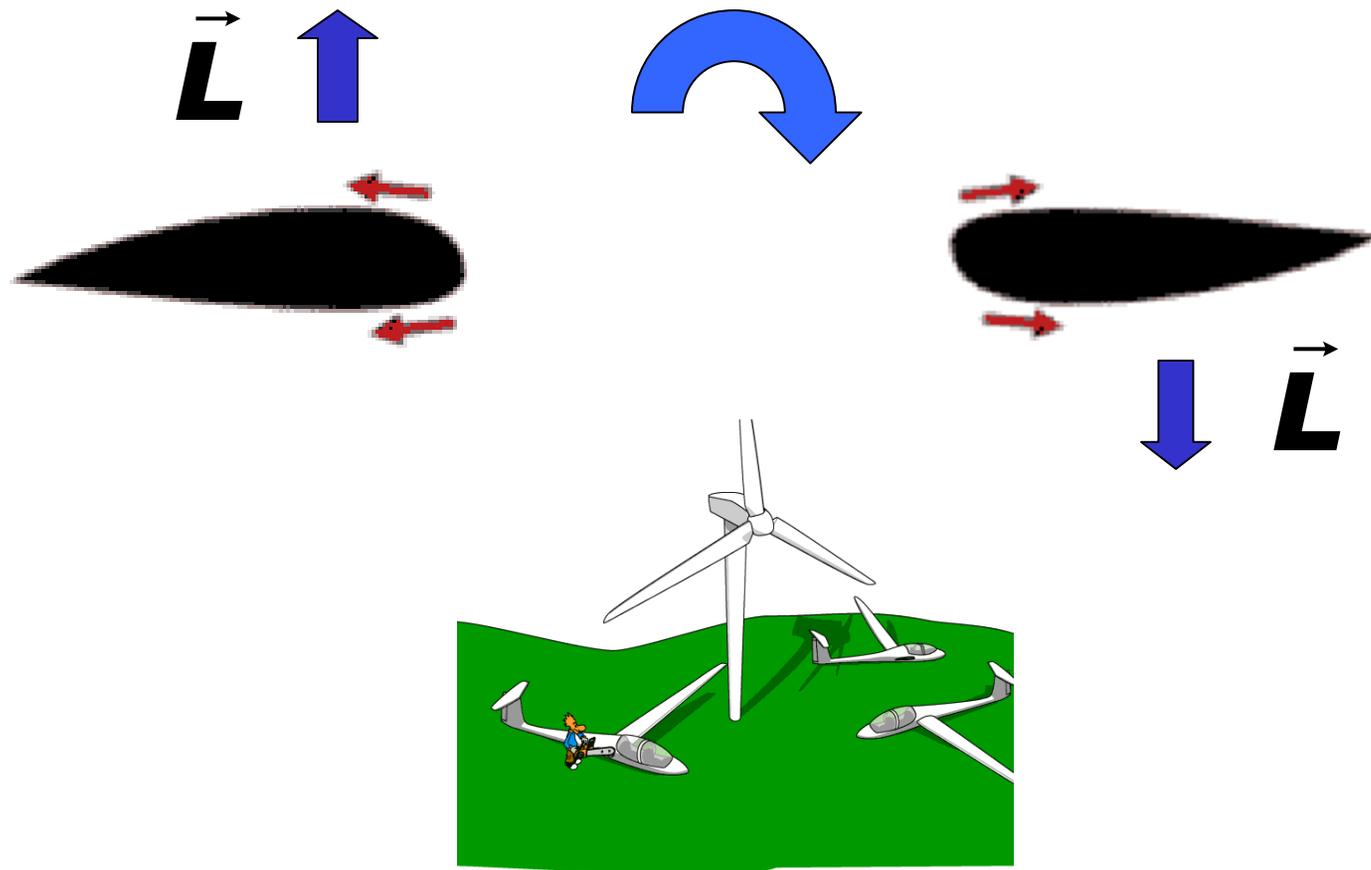
**...com origem na configuração aerodinâmica das asas**

## ...chamadas forças de sustentação:

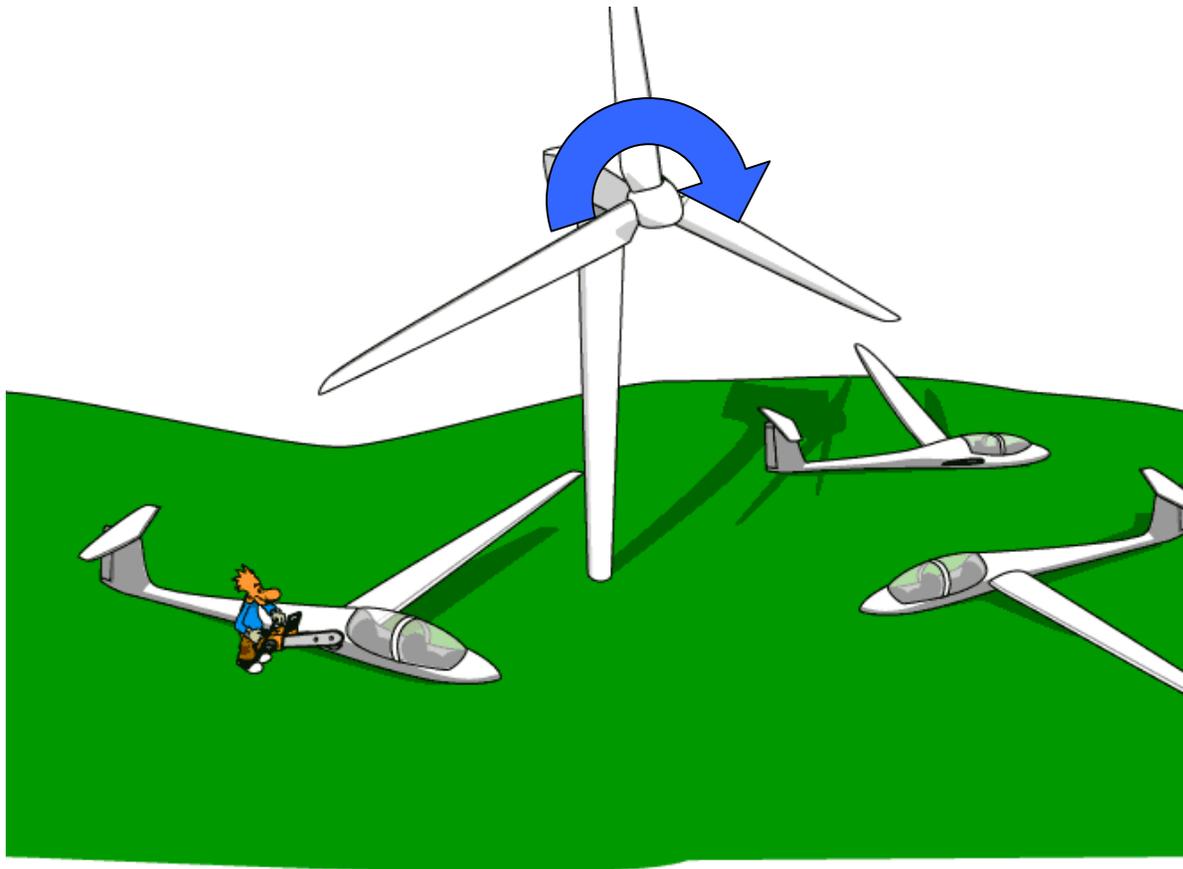


**Se cortarmos a asa de um avião...**

**...e a montarmos invertida:**



**obtemos uma turbina eólica!**

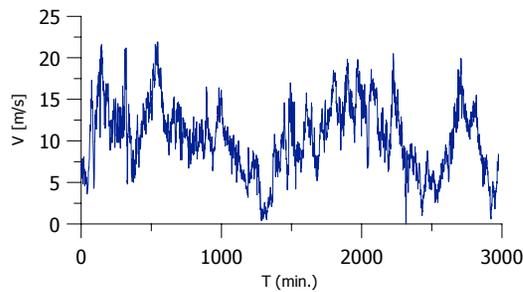


# **As especificidades da Energia Eólica**



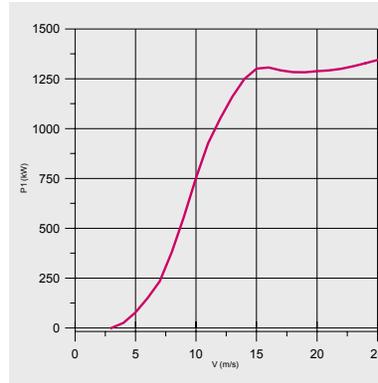
# A produção eólica face à produção convencional:

## Velocidade do vento

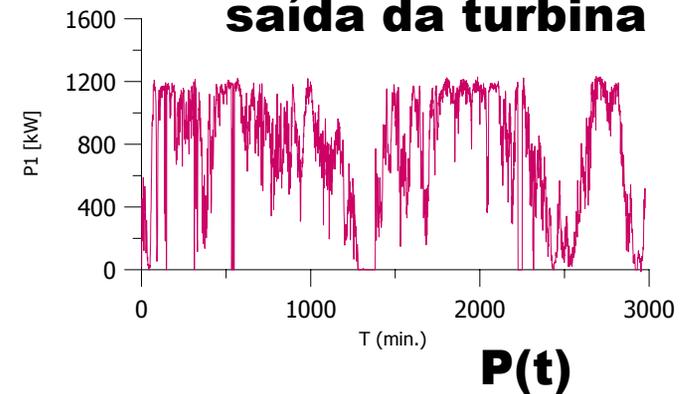


**V(t)**

## Curva de potência



## Potência eléctrica à saída da turbina

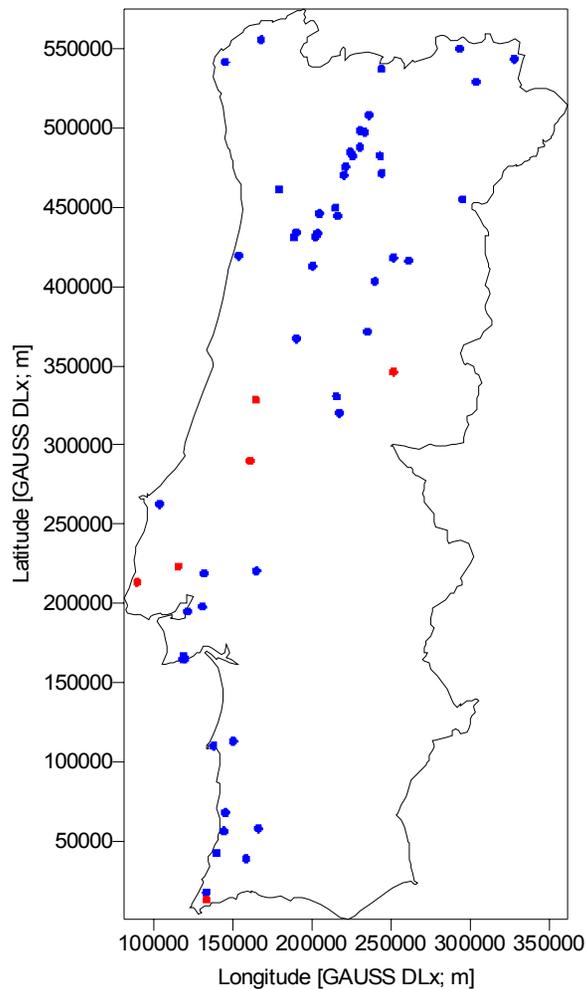


**P(t)**

# Factores (técnicos) a ter em conta no projecto de uma central eólica

1. **Variabilidade temporal e espacial do recurso energético**
2. **Adequação da tecnologia às características do local**
3. **Efeito de esteira**
4. **Efeito de cancelamento das flutuações de potência (quase ninguém em PT sabe o que é...)**
5. **Interacção turbina eólica-rede eléctrica local (quase toda a gente em PT pensa que sabe o que é...)**

# 1. Variabilidade temporal e espacial



■ Estações da Base de Dados  
■ Estações de Referência

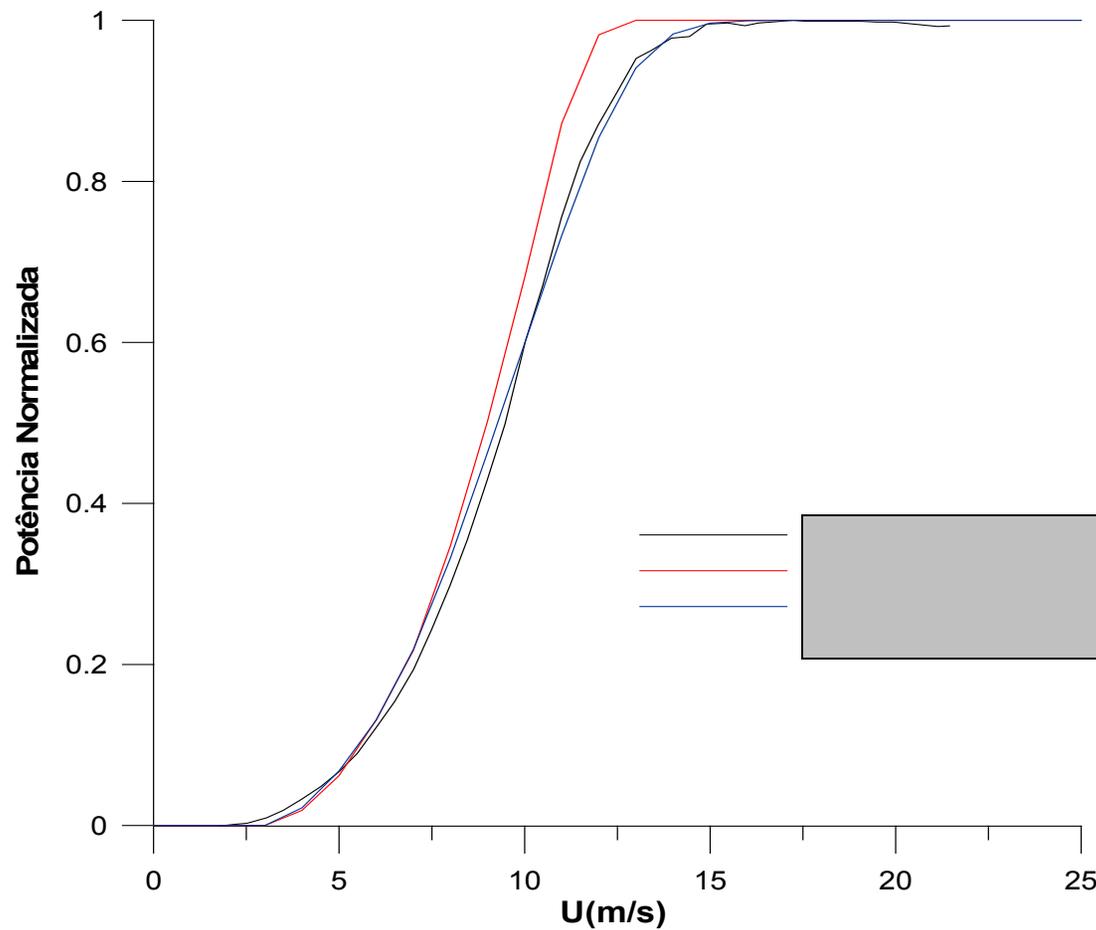
**Eolos 2.0**

**Cada parque exige medidas de vento em, pelo menos, um mastro anemométrico**

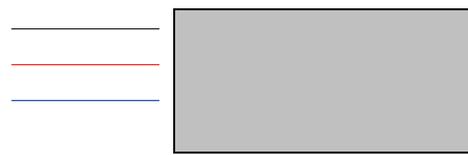
- **Período nunca inferior a um ano, desejavelmente dois, idealmente 4 a 5 anos**
- **Estações INETI (200 aprox.)**
- **Estações INEGI (250 aprox.)**
- **Estações promotores (150 aprox.)**

**Aprox. 600 estações anemométricas em operação em Portugal desde 1990**

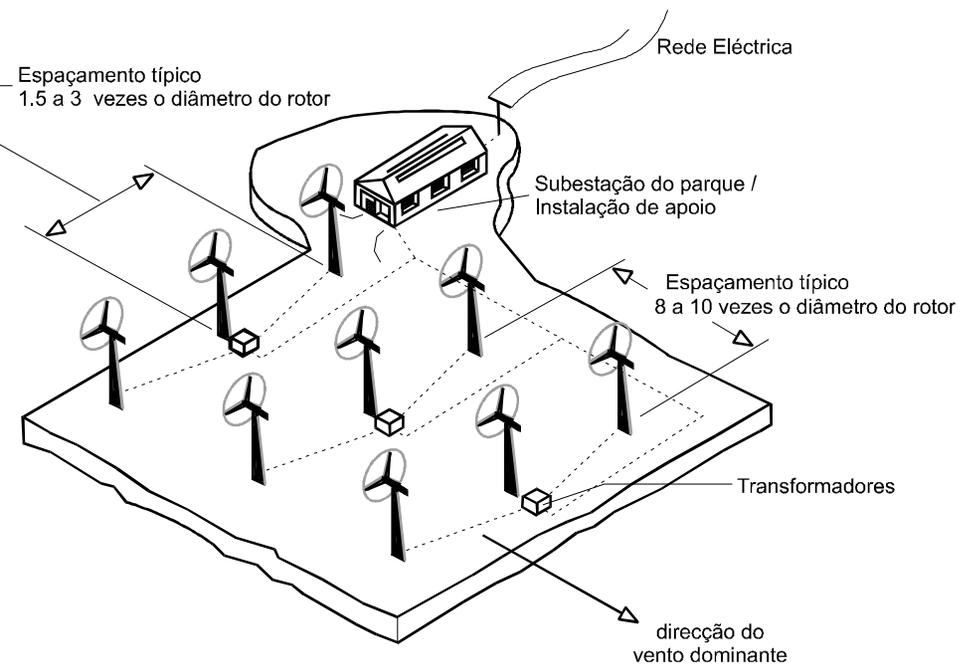
## 2. Adequação da tecnologia ao local



**Nem todas as turbinas  
são ideais para todos  
os locais...**



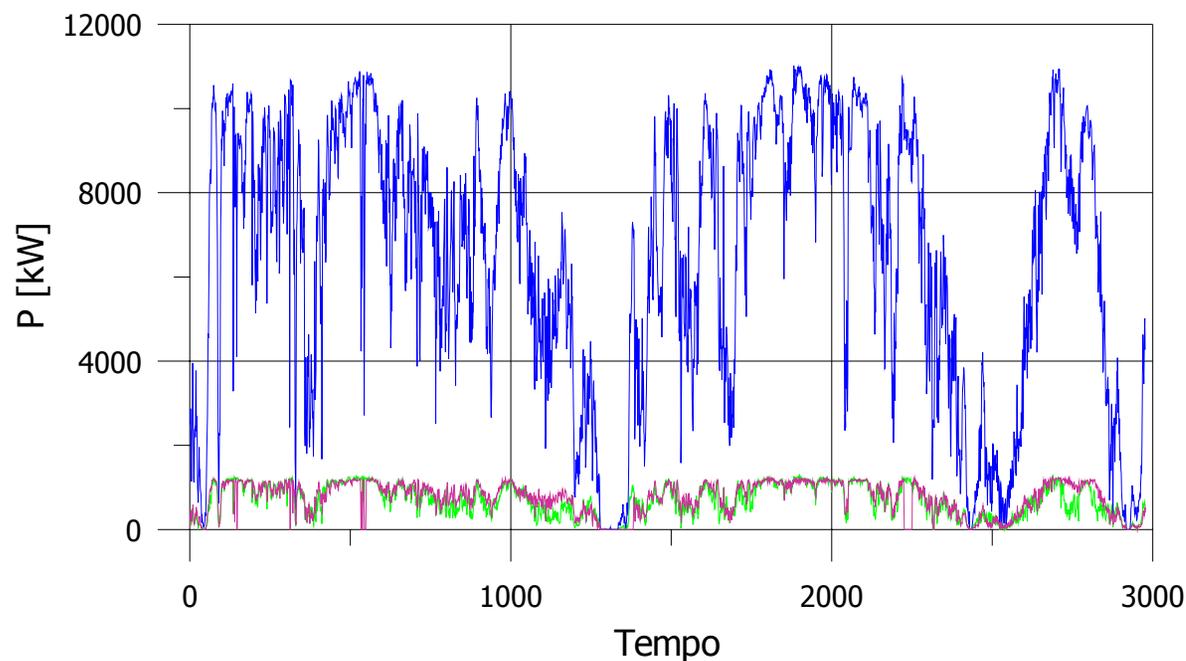
### 3. O efeito de esteira



## 4. O efeito de “cluster” em parques eólicos

**Factor de alisamento das flutuação de potência de uma central eólica**

$$f(\sigma_P)_N = \frac{1}{\sqrt{N}}$$



## 5. Integração na rede eléctrica

**Existem Normas internacionais...**

**IEC 62400-21:2001 - *Power Quality of Grid Connected Wind Turbines***

**Nas quais estão definidas metodologias para a determinação da potência máxima injectável num determinado ponto (nó) da rede eléctrica que mantêm a qualidade do serviço (flicker, harmónicas, ...)**

**Não são aplicadas em Portugal, sendo preteridas em favor de “thumb rules” (e.g. 8% da potência de cc)**

# O contexto técnico-legal



# Legislação de Base

## 25 Anos de legislação para produção independente de energia eléctrica (PRE)

### 1º Pacote legislativo:

- Dec.-Lei 189/88
  - Capacidade limitada a 10 MVA. Não há caducidade da “reserva de potência”

### Actualizações

- Dec.-Lei 313/95
  - Retira-se a limitação à capacidade. Introdução do conceito de “produtor de reactiva”
- Dec.-Lei 168/99
  - Introdução da caducidade da reserva de potência e de pressupostos tecnológicos.

### 2º Pacote legislativo:

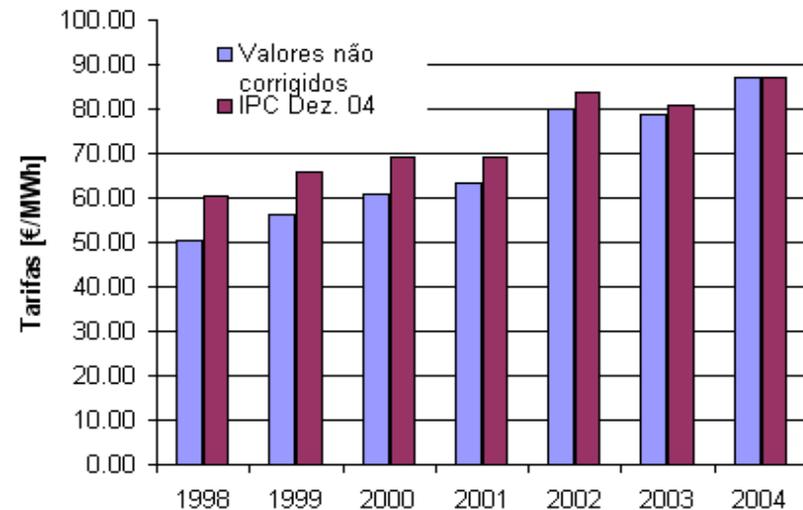
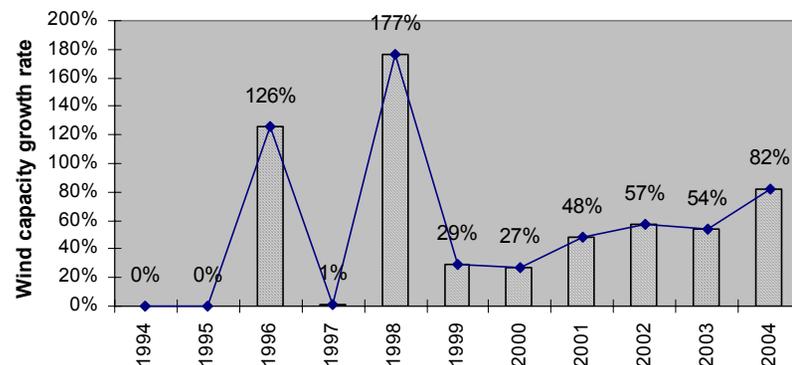
- Dec.s-Lei 312/01 e 339-C01
  - Introdução dos PIP's e novo tarifário.
- Dec.-Lei 68/02
  - Introdução do conceito de “produtor/consumidor” limitado a 150 kW e BT

### Actualização:

- Dec.-Lei 33-A/05 (16 Fevereiro 2005)
  - .....

# Impactos da Legislação

- **Dec.-Lei 189/88**
  - Perfeitamente adequado ao estado de evolução tecnológica e economia dos projectos de mini-hídricas e co-geração. 10 MVA não são problema à data. Não existência de caducidade da “reserva de potência” introduz problemas que ainda hoje se sentem.
- **Dec.-Lei 313/95**
  - Prever PPA para projectos >10MVA não teve impacto prático. Tarifário não fomenta o desenvolvimento de parques eólicos. Problemas técnicos muito graves com  $\text{tg } \phi = 0.4$
- **Dec.-Lei 168/99**
  - Introdução da caducidade da reserva de potência (não retroactiva). Problemas mantêm-se. Leve actualização nas tarifas.
- **Dec.s-Lei 312/01 e 339-C01**
  - Introdução dos PIP's e novo tarifário. Dá-se o “boom” da eólica em Portugal
- **Dec.-Lei 68/02**
  - Conceito de produtor/consumidor quase sem aplicação prática (!). Porquê as limitações (150 kW e BT)?
- **Dec.-Lei 33-A/05**
  - Limitação do potencial eólico economicamente sustentável....



# As vantagens e desvantagens da eólica...

## Desvantagens das centrais eólicas face às centrais convencionais (T+H):

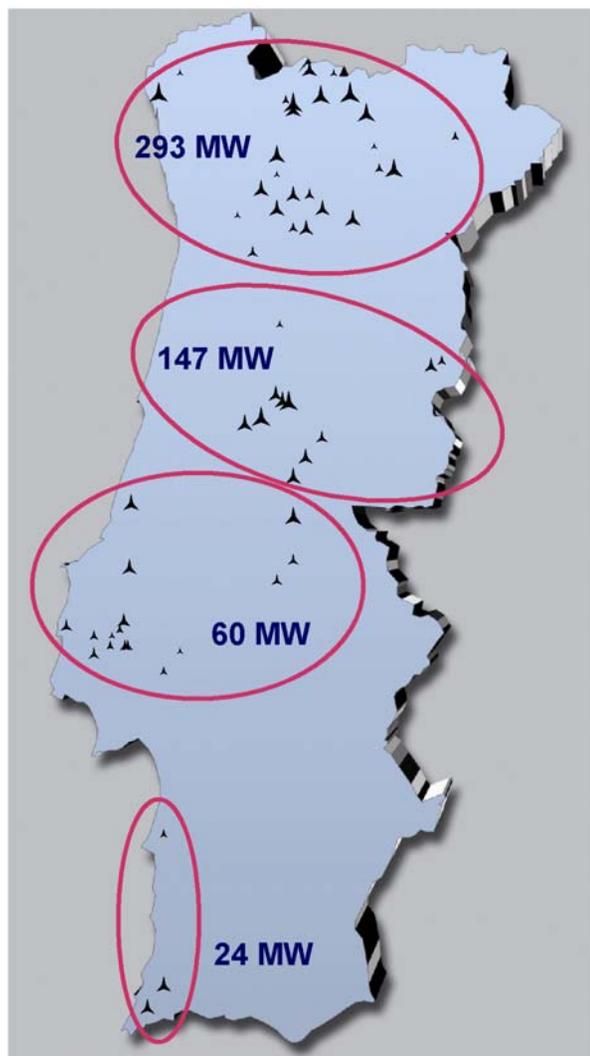
- **Fonte flutuante de produção dificilmente previsível**
  - **Dá garantia de energia (à escala anual)**
    - **A variabilidade intra-anual é elevada mas a variabilidade inter-anual é inferior a 25% (muito menor que a hídrica);**
- **É dificilmente despachável**
  - **Para o despacho económico as piores centrais são as não reguláveis.**
    - **Contribuem só para a produção de base: e.g. centrais renováveis (excluindo hídrica c/albufeira) e nucleares**
- **Não dá garantia de potência (ou dá muito pouca)**
  - **Logo não dispensa a instalação de novas centrais reguláveis**
  - **Ou então requer uma criteriosa (e difícil) gestão de consumos**

# As vantagens e desvantagens da eólica...

## Vantagens:

- **Permite diminuir a dependência energética do petróleo na geração de energia eléctrica;**
  - **Cerca de 34% com 3750 MW instalados e 40% com 4500 MW**
    - **indexado à produção de energia eléctrica via centrais térmicas de 2004**
- **Contribui fortemente para a diminuição das emissões poluentes;**
- **É muito competitiva quando todos os custos das outras formas de energia são internalizados;**
- **Permite distribuição de riqueza em zonas carenciadas;**
  - **e acrescenta valor a áreas até agora sem qualquer perspectiva de desenvolvimento económico.**
- **Os investimentos são exclusivamente do sector privado.**

## Situação actual (Dez. 2004):



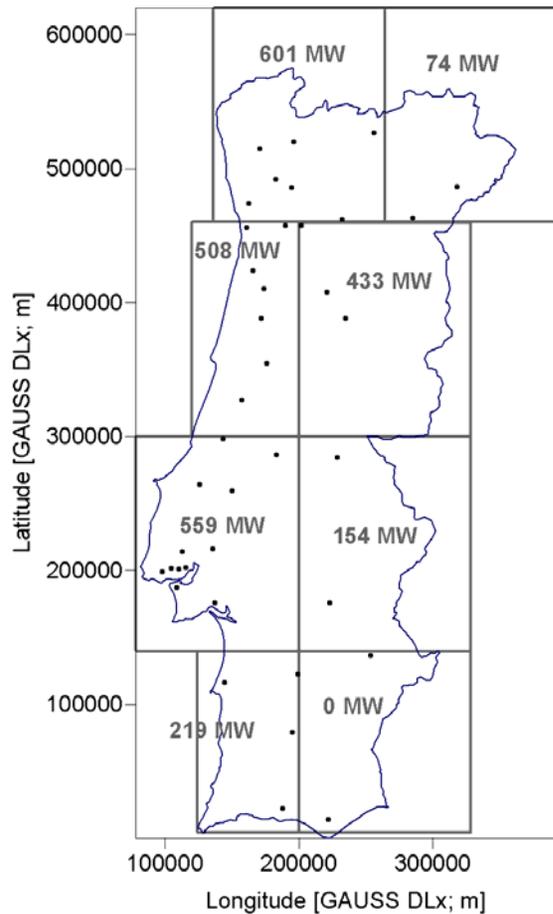
**Potência instalada : 541 MW**

**Potência média (ano 2004)\* : 142 MW**

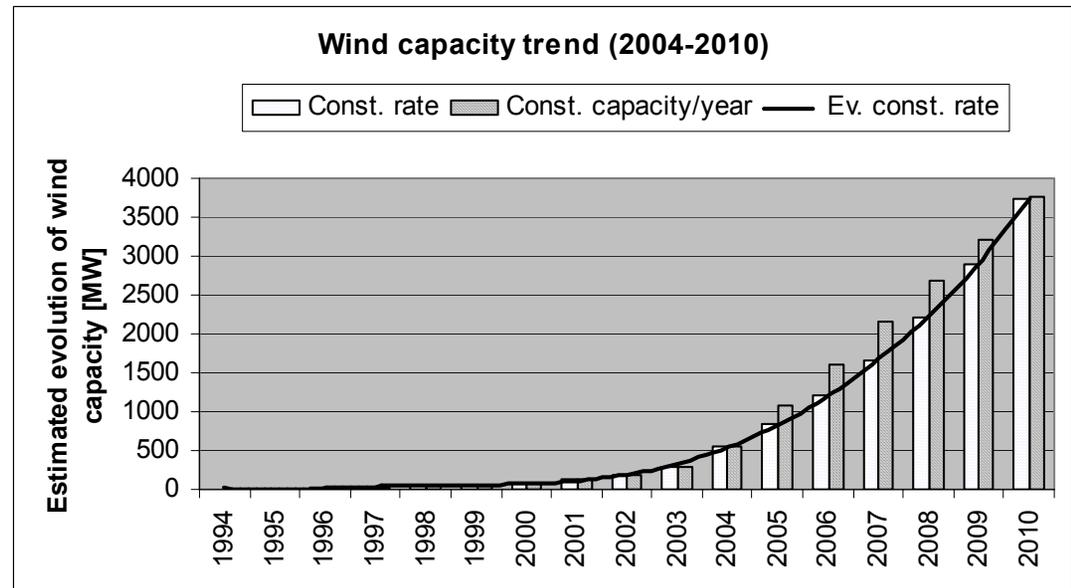
**Energia entregue à rede\* (2004): 1.25 TWh**  
valor estimado (NEP=2300 h)

	<b>Total Operating Capacity</b>	<b>Total Operating WT</b>
	( Dez. 2004) [MW]	(Dez. 2004) [nº]
Continent	526.45	436
Azores	5.25	22
Madeira	9.60	43
<b>TOTAL</b>	<b>541.30</b>	<b>501</b>

# Capacidade Eólica Prevista (2010):



**Capacidade já atribuída**



	Total Operating Capacity [MW]	Total Operating WT [n°]	Energy [GWh]
TOTAL	3750	2083	9000

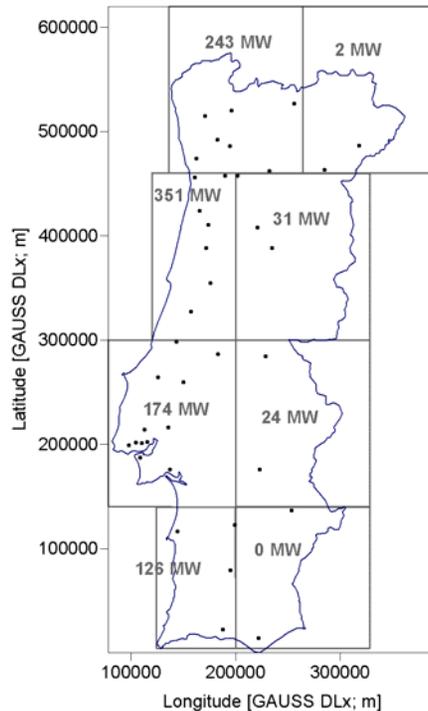
# **Aproveitamento do Potencial Eólico Sustentável ...mitos e realidades**



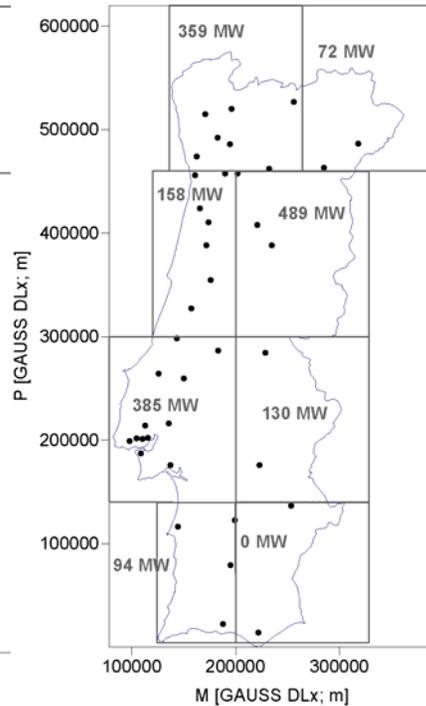
# O problema (!) da capacidade da rede

- **Penetração máxima de energia eólica**
  - **Tecnicamente a definição não existe;**
  - **A capacidade “máxima” pode depender:**
    - da estratégia de gestão do sistema electroprodutor
    - factores económicos (reforço e malhamento da rede)
  - **Análise da estabilidade transitória da rede portuguesa/ ibérica (Junho 2004) indicou não existirem problemas com instalação de 3750 MW em condições extremas de operação**
    - e de probabilidade de ocorrência nula...
- **A instalação de 4500 MW é:**
  - **Perfeitamente possível do ponto de vista técnico**
  - **Suportada pelo mapeamento do potencial eólico existente**
  - **Será estrategicamente desejável?**

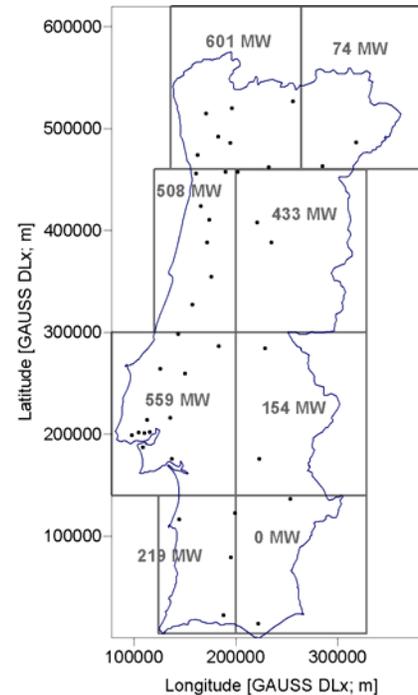
# O aproveitamento eólico previsto\* (Jan. 2005):



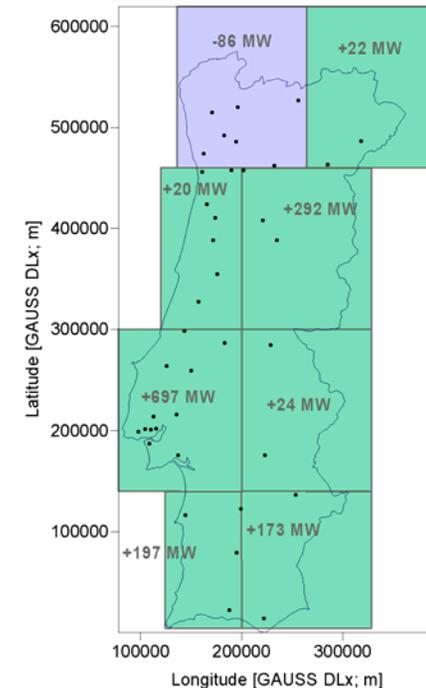
(a) cap. rede atribuída até Dez 01 (951 MW)



(b) cap. rede atribuída Jan 02 (1687 MW)



(c) cap. total atribuída Jan 05 (2638 MW)

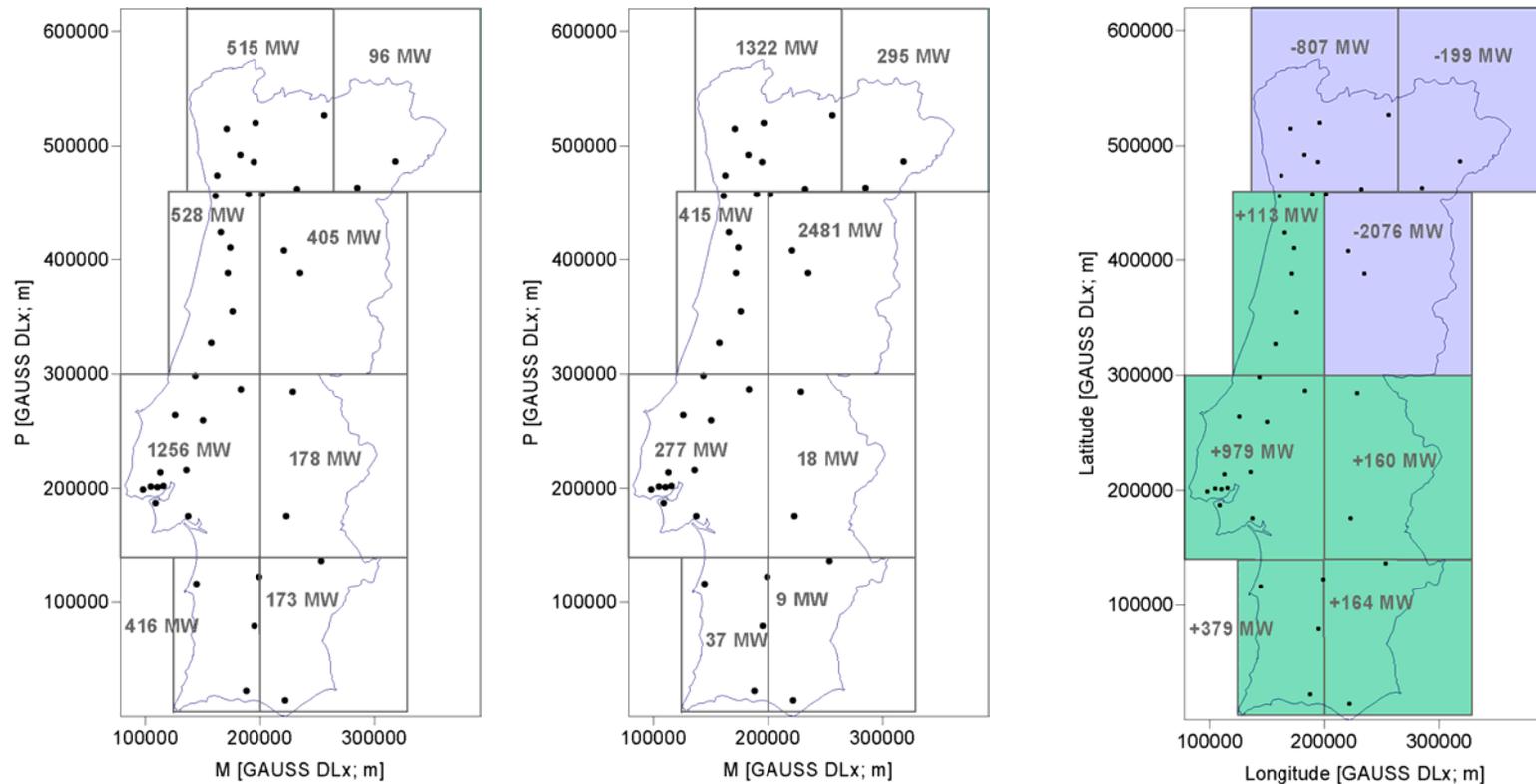


(c) "Déficit" (+1400 MW até 2007)

## Distribuição Regional dos Pedidos de Ligação PE face à Capacidade da Rede

\*Dados DGGE

# O aproveitamento do potencial sustentável (2010-2015):



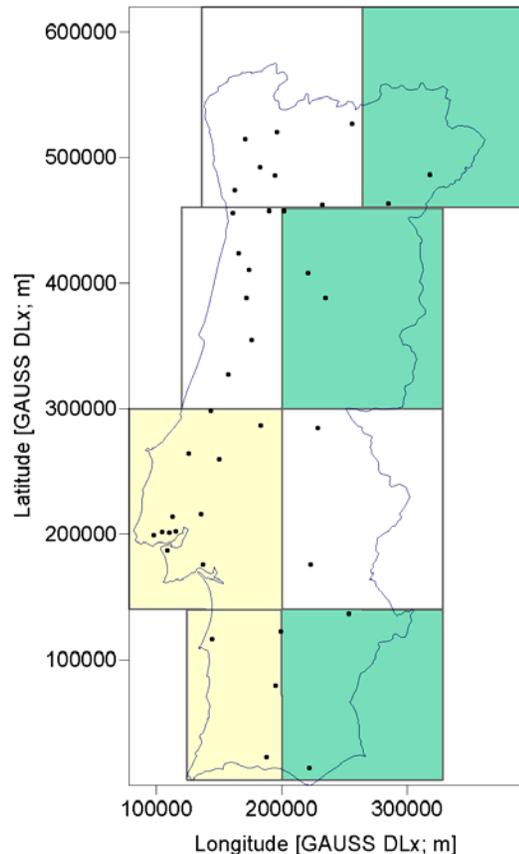
(a) capacidade da rede (3887 MW)

(b) potencial eólico 4800 MW (aprox.)

(c) déficit/superavit regional.

## Distribuição Regional do Potencial Eólico face à Capacidade da Rede

# Regiões com potencial de desenvolvimento



**A quantificação à escala regional é (tecnicamente) difícil à data:**

**-Exige filtragem dos pedidos de ligação existentes**

*(há demasiada potência atribuída onde não há vento!)*

**- Requer análise de externalidades de um eventual reforço da rede eléctrica;**

*(não é economicamente viável construir linhas extensas de MAT só para interligação de PE)*

**- Requer discretização espacial acrescida na avaliação do potencial eólico sustentável;**

**Distribuição Regional (aprox.) do Potencial de Desenvolvimento Eólico (2010 – 2015)**

# **Novos conceitos e metodologias**

## **O que falta fazer...**

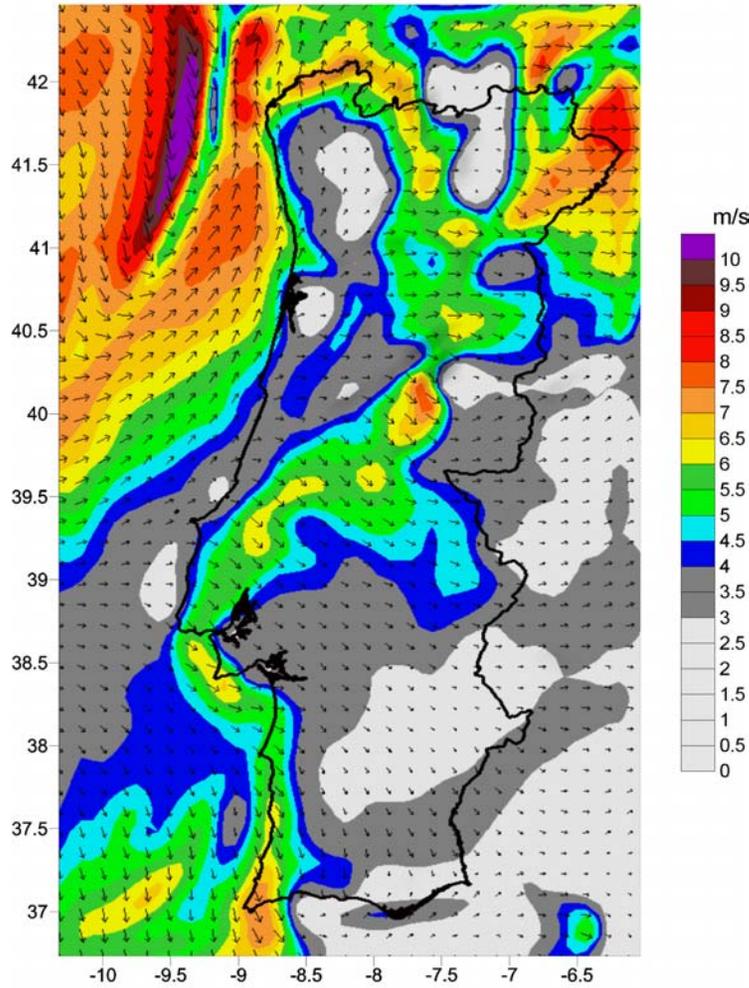


## O que falta fazer...

- A) Previsão da produção eólica em Portugal continental;**
- B) Monitorização (despacho económico) da produção por “clusters eólicos”;**
- C) Planeamento realista da integração de parques eólicos na rede**
- D) Estudo da compatibilidade de produção hídrica/eólica.  
Armazenamento ER e gestão consumos**

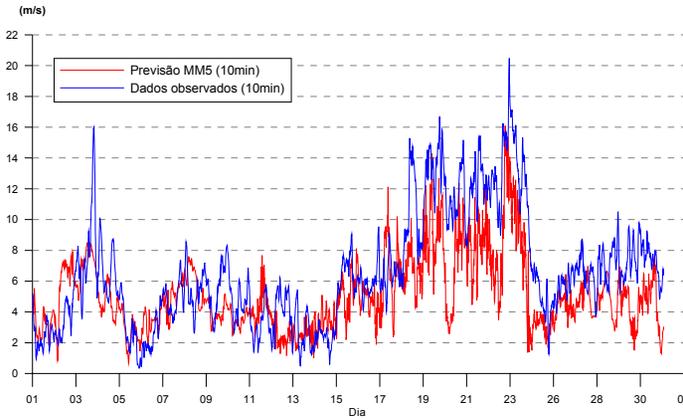


# A1) Previsão: Conceito Global

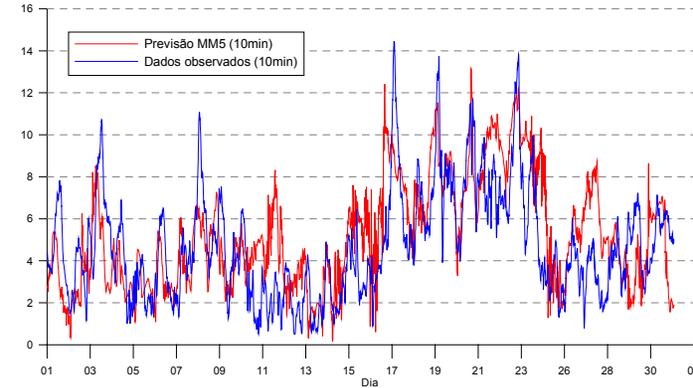


Modelo mesoscala MM5

Previsão de vento (séries históricas)  
alta montanha GARDUNHA (Out.99)



Previsão de vento (séries históricas)  
região costeira Oeste (Out.99)



## **A2) Previsão da Produção Eólica:**

### **Estado da arte**

A exequibilidade é reconhecidamente boa, em princípio

Os dados de modelos globais de previsão do tempo já são adequados

Modelos numéricos de aumento de resolução espacial existem e funcionam bem (?)

Modelos numéricos da produção de Parques existem (e funcionam)

Vários países europeus estão já a testar o conceito

### **Problemas**

Em princípio a qualidade dos resultados dependerá do clima, sistema eléctrico, etc. de cada região – é preciso um estudo para cada País

No caso de Portugal os sistemas de vento em geral “chegam” do Atlântico, uma zona com poucas estações meteorológicas, o que dificulta o aumento de qualidade das previsões globais

A produção de cada Parque depende muito de factores locais – é preciso conhecer e modelar bem cada Parque, possivelmente testar diversos métodos

## **C) Planeamento de Parques Eólicos como sistemas de produção distribuída (DGS)**

- Ao nível da rede de distribuição
- Para parques com capacidade máxima limitada (ex. 5 a 10 MW)
  - avaliação da potência eólica máxima injectável na rede de distribuição por subestação da rede distribuição
  - actualmente é efectuado na subestação de interligação à REN, e prevê escoamento total da potência nominal de uma turbina ou parque por esta
  - aplicação do conceito de interruptibilidade
- Carga mínima por zona de rede e/ou subestação
  - ex. na região Oeste (elevados consumos) a produção eólica não vai sobrecarregar a rede de transporte (mas assume-se no planeamento que sim!)
- Alargamento da legislação de produtor/consumidor a PME's
  - média tensão
  - potência nominal a 1 ou 2 MW

# D) Estudo da complementaridade (ou não) de produção hídrica e eólica

## O que há a fazer?

- correlação dos recursos energéticos por região ao longo do ano;
- identificação das condições limite de produção hídrica/eólica;  
recurso à bombagem em centrais hídricas como “armazenamento” de energia eólica:  
avaliação custos, retribuições e mais valia nacional.

## Para quê?

- Gestão da produção eventualmente excessiva de renováveis  
Previsivelmente somente a nível local/regional
- Gestão otimizada da rede de transmissão e/ou distribuição  
Factor ocupação médio anual da linha de interligação de um PE entre 25% (2200 heq) e 35% (3000 heq)
- “Armazenamento de renováveis”

# Síntese de conceitos:

- A) O aproveitamento do potencial sustentável é tecnicamente possível.
  - decisões são político-estratégicas...
  - e económicas.
- B) Integração de parques eólicos na rede deve ser feita com critérios objectivos e não-conservativos
  - aplicação da norma IEC 61400-21 (com “ride through fault”)
  - planeamento de DGS ao nível da distribuição
  - alargamento da legislação produtor/consumidor à média tensão e 2 MW
- C) Previsão e monitorização da produção eólica em Portugal continental;
  - modelação parques e e rede local
    - aproveitamento do “timing” ideal para desenvolver e por em prática ferramentas de gestão da “variabilidade eólica”
    - 5 anos de antecedência;
    - menos de 15% da capacidade eólica instalada
  - aplicação da norma IEC 61400 - 25 CDV à conjuntura nacional. Introdução do conceito de interruptibilidade da produção
- D) Estudo da compatibilidade de produção hídrica/eólica e outras ER
  - correlação da sazonalidade dos recursos renováveis por região
  - bombagem como “armazenamento de energia eólica”: Custos, retribuições e mais valia nacional.