Produção Distribuída e Energias Renováveis

-

Centrais Eólicas

J. A. Peças Lopes

Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

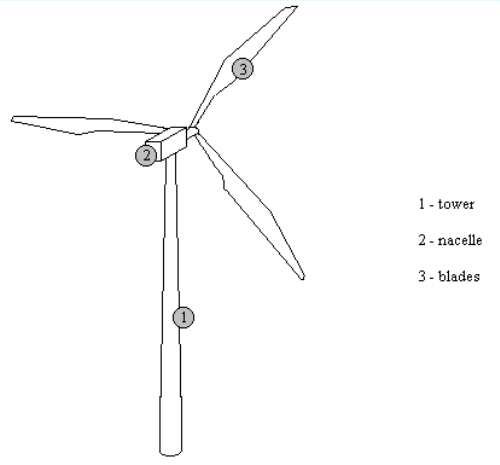
Introdução

- **Aumento da Produção de origem Eólica:**
  - Com integração na rede eléctrica interligada;
  - Sistemas isolados:
    - *Sistemas híbridos (eólico - diesel)*
- **Utilização crescente como resultado de:**
  - Necessidade da redução de emissões de CO_2
  - Autonomia de sistemas isolados

    ⇓

    - *Caracterizados por apresentarem custos de produção muito elevados (custo de combustível e custos de transporte)*

Introdução



Situação Actual / Desenvolvimento Tecnológico

The Global Market

Categori	Size	Application
Micro wind turbines	3 kW	Stand alone
Smaller wind turbines	10 - 100 kW	Hybrid-systems
Big wind turbines	500 - 1500 kW	Grid connected
Offshore wind turbines	> 2000 kW	Wind power stations

Critérios de selecção de locais

- **-Análise da estrutura do vento**
  - Análises estatíticas sobre o comportamento do vento:
    - **Perfis de velocidades médias;**
    - **Avaliação de turbulências;**
    - **Avaliação da vel. Máxima;**
    - **Influência da morfologia do local – modelo WASP.**
  - Proximidade a vias de acesso e a linhas de energia;
  - Impacto ambiental;
  - Cálculo da potência disponível e energia média fornecida
- **On-shore e Off-shore**

Grandes aerogeradores

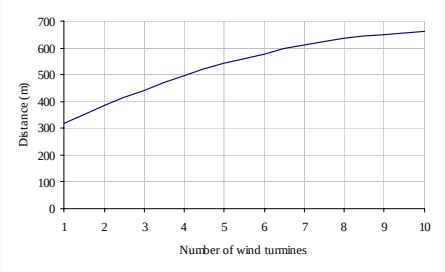
On-shore

Off-shore

Impactos ambientais e outros

- **Impacto visual**
- **Impacto em termos de ruído;**

Distance where the noise level is under 40 dB(A) for a certain number of wind turbines



- **Utilização do solo;**
- **Aves;**
- **Interferência electromagnética (antenas, feixes hertezianos);**
- **Segurança de pessoas.**

Potência disponível

$$P_w = \frac{1}{2}\rho C_p A V_w^3$$

onde:

- **P_w é a potência mecânica do rotor (W)**
- **V_w velocidade do vento no centro do rotor (m/s)**
- **$A=\pi R^2$ superfície varrida pelas pás (m^2)**
- **R raio das pás (m)**
- **ρ densidade do ar (kg/m^3) – 1,23 kg/m3**
- **C_p coeficiente aerodinâmico do rotor (típico = 0,4)**

O binário mecânico pode ser calculado a partir de P_w:

$$T_w = \frac{P_w}{\omega_R}$$

Potência disponível

- **O coeficiente, C_p, é a percentagem da energia cinética da massa de ar incidente no rotor que é convertida em energia mecânica, sendo dada por:**

$$C_p(\lambda,\theta) = 0.22 \times \left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4 \times \theta - 5\right) \times e^{\frac{-12.5}{\lambda_i}}$$

Onde:

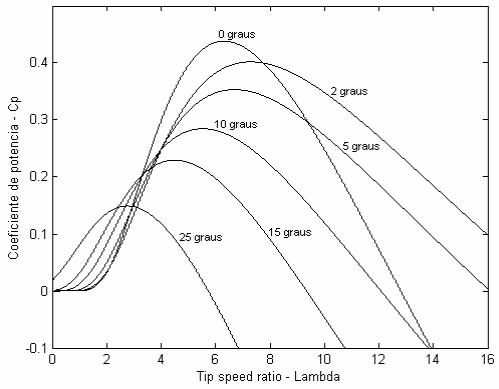
- **β ó ângulo de passo da pá (pitch angle)**
- **λ é a relação de velocidade da pá (tip speed ratio), definida como:**

$$\lambda = \frac{R\omega_R}{V_w}$$

Potência Disponível

- **Curvas Cp=f(Tip speed ratio)**

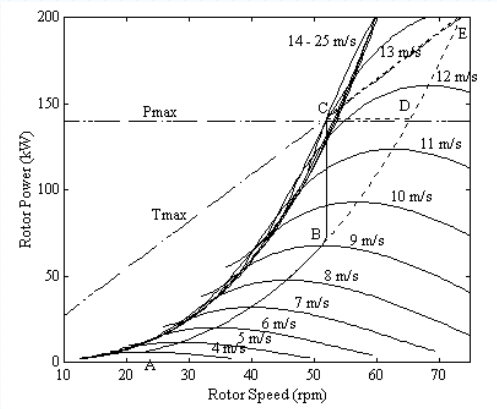
Cp max = 0.58



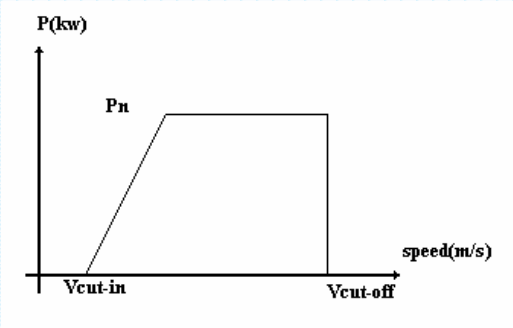
Turbinas de vel. Variável são operadas de forma a obter o melhor rendimento

Potência disponível

$P=K_{opt}\omega^3$

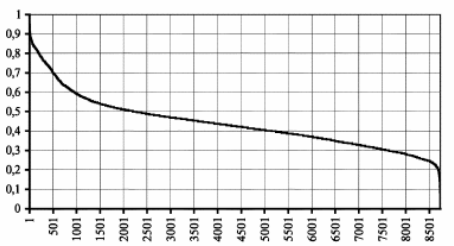


Potência disponível



Produção esperada

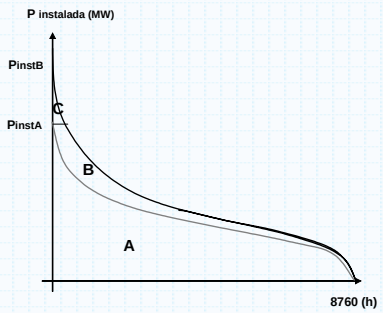
- **A potência instalada tem uma probabilidade baixa de vir a ser produzida**



Curva de duração da produção anual
de um parque eólico normalizada para a potência instalada

Aumento da produção de energia

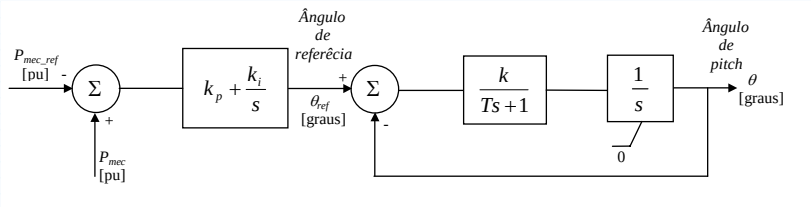
- **Aumento da potência instalada**

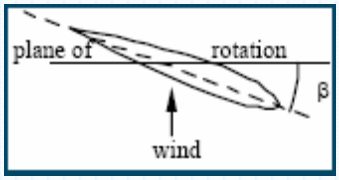


Curvas de duração da produção anual
de um parque eólico para dois valores de potência instalada

Controlo do ângulo de Pitch

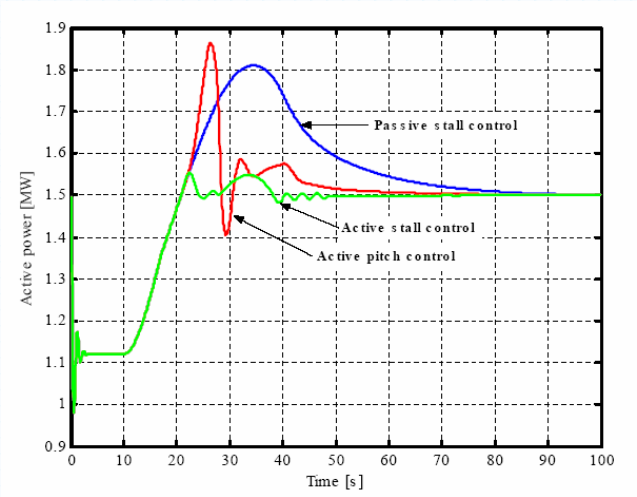
- **È necessário modelizar o comportamento do controlo de pitch**





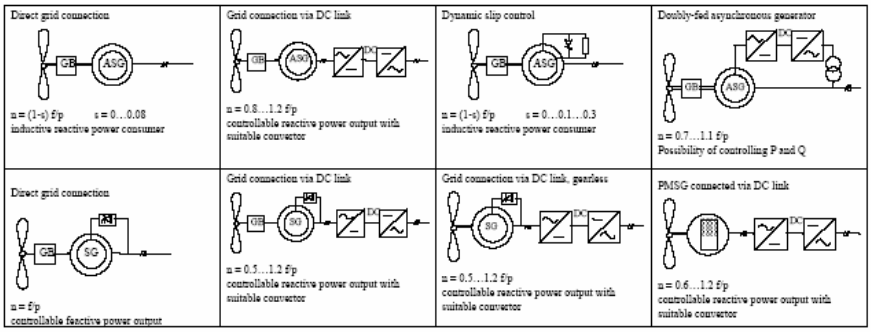
Outras técnicas:
-Active stall (θ negativo);
-Passive stall

Resposta ao controlo do ângulo das pás



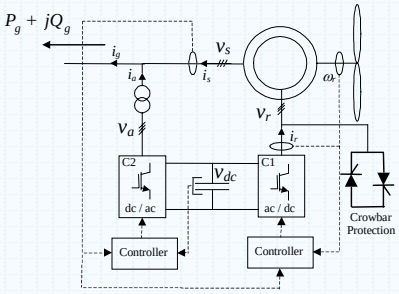
Tipo de Geradores

- **CIGRE TF38.0110**



Tipos de geradores

- **Gerador assíncrono:**
  - Directamente ligado à rede;
  - Ligado à rede via DC;
  - Com controlo dinâmico de deslizamento;
  - Double-fed induction machine



Modelos eléctricos

- **Gerador assíncrono convencional (modelo de 3º ordem)**

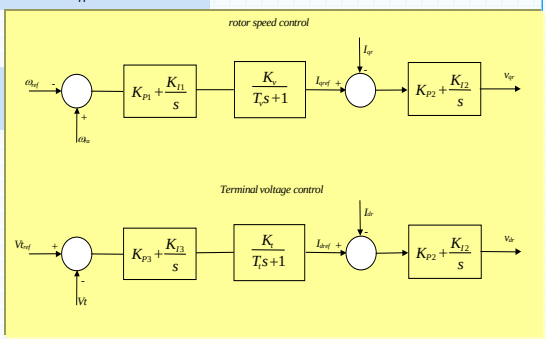
Electrical behavior	Mechanical behavior
$\begin{cases} \frac{\partial E'_{re}}{\partial t} = 2\pi f \times s \times E'_{im} - \frac{1}{T_o} \times \left(E'_{re} - (X - X') \times I_{im}\right) \\ \frac{\partial E'_{im}}{\partial t} = -2\pi f \times s \times E'_{re} - \frac{1}{T_o} \times \left(E'_{im} + (X - X') \times I_{re}\right) \end{cases}$ $X' = X_e + \frac{X_m \times X_r}{X_m + X_r}; \quad X = X_e + X_m; \quad T_o = \frac{X_r + X_m}{(2\pi f_0) \times R_r}$ $\begin{cases} V_{re} = E'_{re} - R_e \times I_{re} + X' \times I_{im} \\ V_{im} = E'_{im} - X' \times I_{re} - R_e \times I_{im} \end{cases}$ $P_g = E'_{re} \times I_{re} + E'_{im} \times I_{im}$ $Q_g = E'_{im} \times I_{re} - E'_{re} \times I_{im}$ $s = \frac{2.\pi.f - \omega}{2.\pi.f}$	$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\pi f}{H} \times \left(P_{mec} - P_g\right)$

Modelos Eléctricos

- **Geradores assíncronos duplamente alimentados**

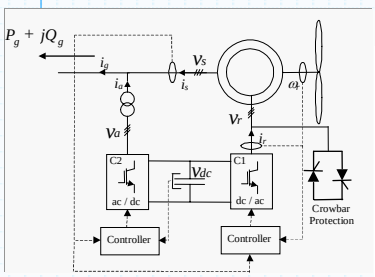
$$\begin{cases} \dfrac{de_d}{dt} = -\dfrac{1}{T_o}\left[e_d - \left(X - X'\right)i_{qs}\right] + s\omega_s e_q - \omega_s \dfrac{L_m}{L_{rr}} v_{qr} \\ \dfrac{de_q}{dt} = -\dfrac{1}{T_o}\left[e_q + \left(X - X'\right)i_{ds}\right] - s\omega_s e_d + \omega_s \dfrac{L_m}{L_{rr}} v_{dr} \end{cases}$$

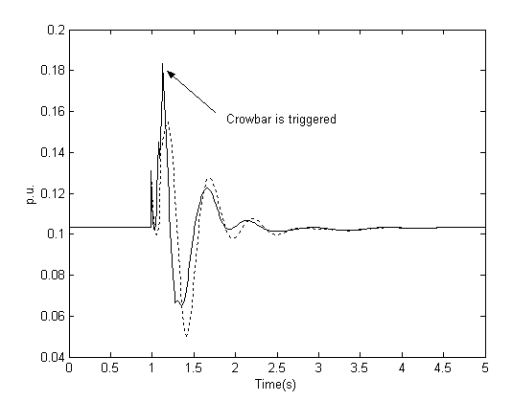
$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J}(T_m - T_e)$$



Modelos eléctricos

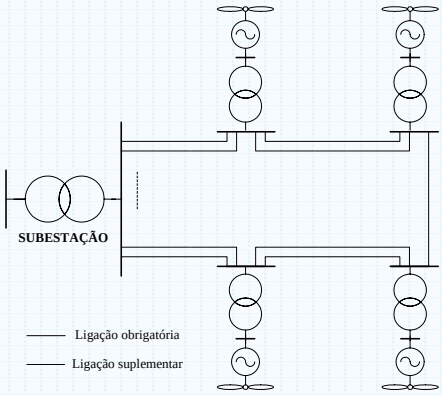
- **Gerador assíncrono duplamente alimentado (Operação do crow bar)**





Lay-out de parques eólicos

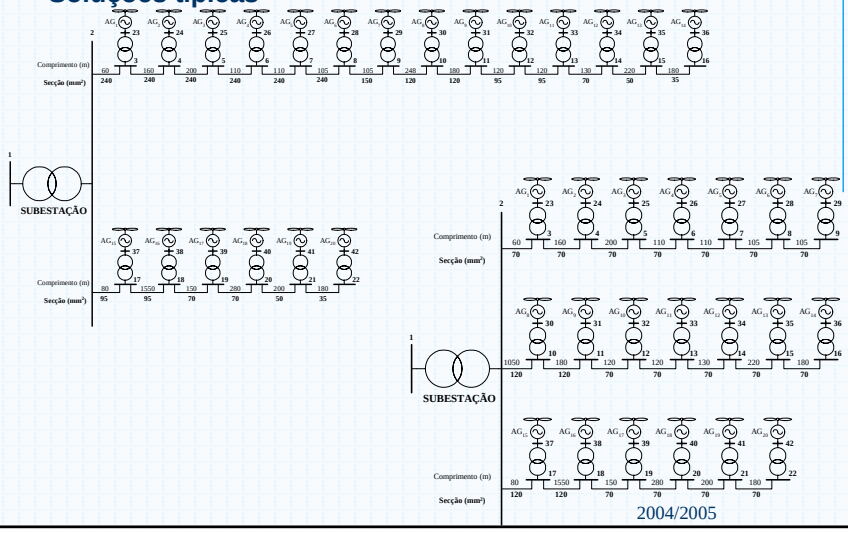
- **Solução genérica usual**



Produção Distribuída e Energias Renováveis

Lay-out de parques eólicos

- **Soluções típicas**



2004/2005

Problemas

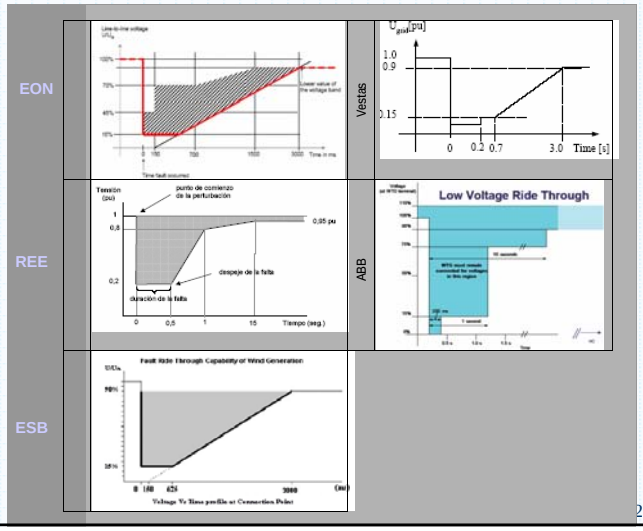
- **Variações de tensão em regime permanente e transitório**
- **Produção de "flicker";**
- **Injecção de harmónicos na rede;**

Qualidade da onda

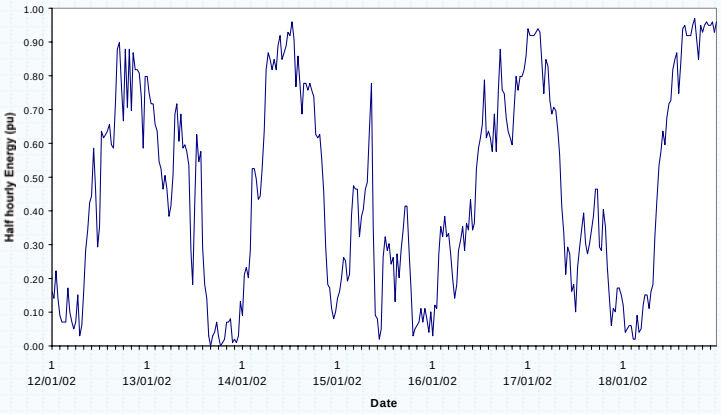
- **Congestionamentos em ramos do sistema com baixa probabilidade de ocorrência;**
- **Dificuldades de gestão técnica do sistema:**
  - Necessidade de maiores reservas secundárias;
  - Necessidade de maiores reservas terciárias.
- **Problemas na estabilidade e comportamento dinâmico do sistema**

Problemas

- **Comportamento perante ocos de tensão**

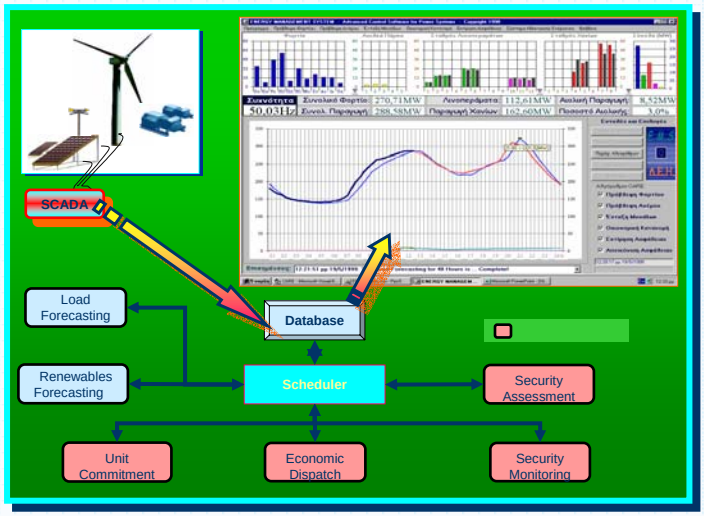


Variabilidade do recurso primário



Necessidade fazer a previsão da produção eólica para as próximas horas (24 a 48 horas).

Integração em redes Isoladas



Conclusões

- **Tendência para a utilização de máquinas de potências cada vez maiores ---- 2MW; 3MW, 4,5 MW;**
- **Utilização crescente de sistemas baseados em electrónica de potência para optimização da produção e melhor integração no sistema**
  - (alguns problemas presistem contudo);
- **Crescimento da produção off-shore**
- **Impactos crescentes na operação do sistema;**

→ Novas funcionalidades nos sistemas de gestão e controlo Do tipo EMS e DMS

- **Necessidade de harmonizar a regulamentação e standards para permitir a integração na rede desta produção;**
- **Novas ferramentas de planeamento.**