

Física do Meio Ambiente

Tema: Energia Eólica no Brasil

Alex Sandro De Lima 7580414

Rubens Parker 8604130



Energia Eólica

- ▶ É a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento);
- ▶ Sua conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, através de turbinas denominadas aero geradores, para a geração de eletricidade;
- ▶ Primeiras tentativas: final do século XIX;
- ▶ Crise internacional do petróleo (1970);
- ▶ Interesse;



Primeira turbina eólica

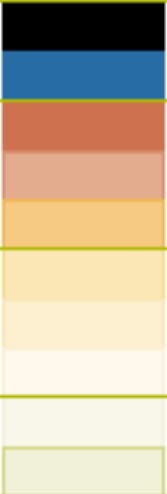
- ▶ Ligada a rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca;
- ▶ Desenvolvimento tecnológico;
- ▶ Sistemas avançados de transmissão;
- ▶ Melhor aerodinâmica;
- ▶ Redução de custos e melhor desempenho dos equipamentos;



Regiões viáveis para a construção de uma central elétrica

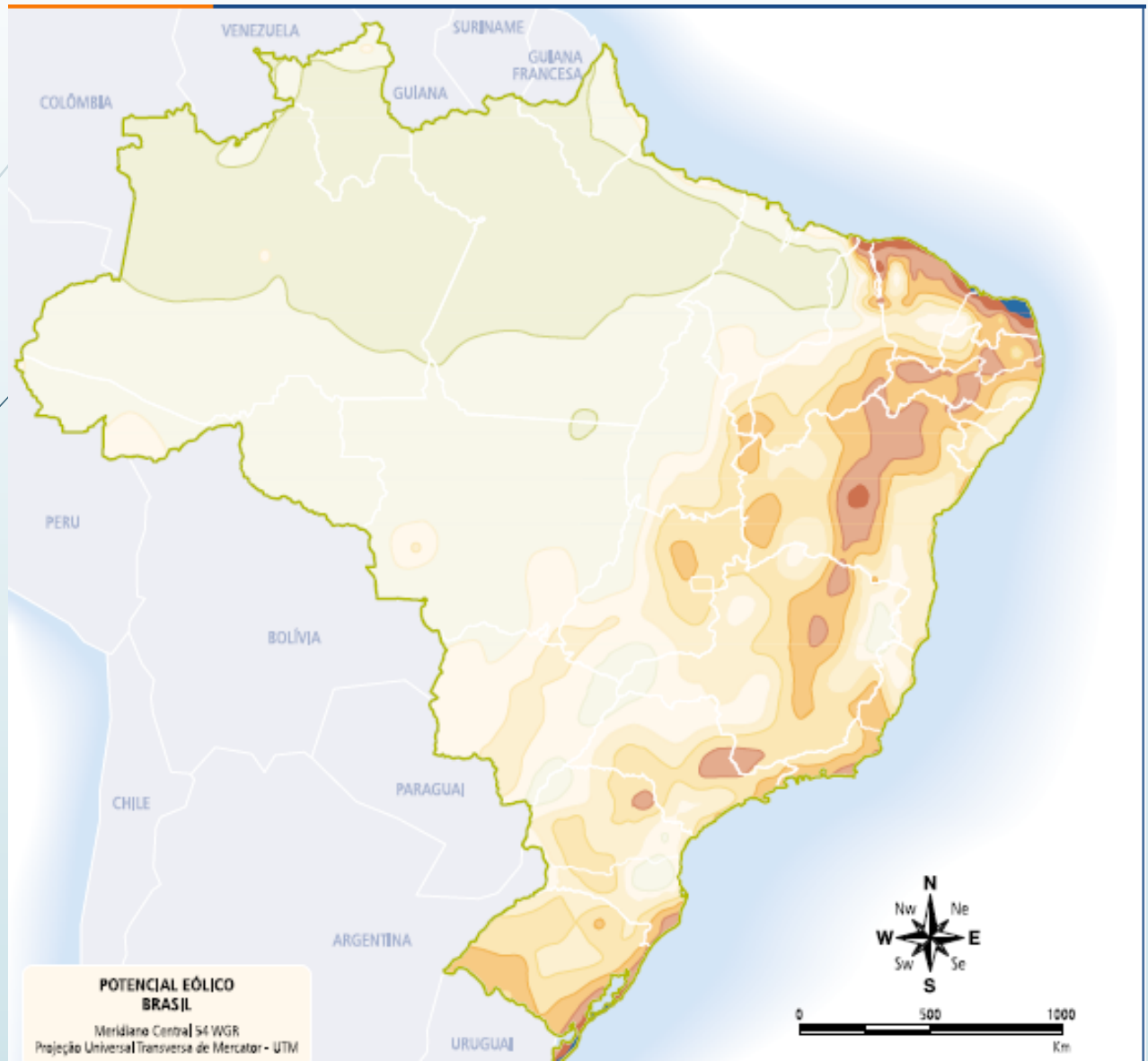
- ▶ Mata: áreas de vegetação nativa, com árvores altas;
- ▶ Campo aberto: áreas de pastagens, plantações, sem muitas árvores altas;
- ▶ Zonas costeiras: áreas de praias, normalmente com larga faixa de areia, onde o vento incide predominantemente no sentido mar-terra;
- ▶ Morros: áreas de relevo levemente ondulado, relativamente complexo e de pouca vegetação ou pasto;
- ▶ Montanhas: representam áreas de relevo complexo com altas montanhas.

**Velocidade média do vento (m/s)
50 m acima do nível da superfície**

		Mata	Campo Aberto	Zona Costeira	Morro	Montanha
Classes de energia	4	 > 6,0	> 7,0	> 8,0	> 9,0	> 11,0
	3	4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	7,5 - 9,0	8,5 - 11,0
	2	3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	4,5 - 6,0	6,0 - 7,5	7,0 - 8,5
	1	< 3,0	< 4,5	< 4,5	< 6,0	< 7,0

Fonte: FEITOSA, E. A. N. et al. Panorama do Potencial Eólico no Brasil. Brasília: Dupligráfica, 2003. (adaptado)

Mapa da velocidade média anual do vento à 50 m de altura.



A dark grey arrow points to the right from the left edge of the slide. Several thin, light blue lines curve upwards from the bottom left corner towards the text.

Regiões do Brasil com potencial eólico de classe 3:

- ▶ Regiões: nordeste, sudeste e sul;
- ▶ Podem conter: mata, campo aberto, zonas costeiras, morros e montanhas;
- ▶ Velocidade mínima dos ventos: 4,5m/s;



Região de classe 3:

- ▶ Usina de Belo Monte (UHE), possui energia assegurada inferior à capacidade instalada;
- ▶ Sem reservatório de água;
- ▶ Meio ambiente;
- ▶ Usinas com reservatório não possuem energia assegurada igual a potência instalada;
- ▶ Compatível com outras usinas hidrelétricas do rio madeira (Colider), Dardalos, Foz do Chapecó;



Megaparque eólico:

- ▶ UHE Belo Monte (11.233,1 MW);
- ▶ Seria necessários, no mínimo, 3750 aero geradores com potência de cada um de 3 MW, muito elevado para a atual tecnologia;
- ▶ Altura da base ao topo da pá de 150 m;
- ▶ Área de construção: 71 há para cada um;
- ▶ Área para todos os aero geradores seria de 266.250 há;
- ▶ Há perda de energia se construídos próximos um dos outros;

Análise comparativa entre UHE de Belo Monte e outras fontes energéticas renováveis e não renováveis.

Categorias	Belo Monte	PCH	Eólica	Biomassa	Solar	Gás Natural	Nuclear
Tarifa (R\$/MWh)	77,97	135,00	148,00	153,48	500,00	143,00	150,00
Capacidade (em MW)	11.233	8.310 (277 a 554 usinas)	15.240 (10.180 turbinas de 1,5 MW)	9.522	28.000	6.530	5.078
Fator de Capacidade Médio (%)	40,69	55,00	30,00	48,00	16,50	70,00	90,00
Custo de Instalação (R\$/kW)	1.700	5.000 a 6.000	3.660 a 4.500	2.175 a 2.745	12.600 a 18.300	1.281 a 1.647	6.400
Custo Total de Instalação (em R\$ bilhões)	25,00	41,55 a 49,86	47,80 a 83,60	21,00 a 26,00	355,00 a 507,00	9,00 a 11,00	32,50
Área (km ²)*	518	831 a 1.662	2.177 a 3.047	80.000	277	-	-
Emissões Anuais (tCO ₂ /ano)**	-	-	-	-	-	16.156.800	-



Locais de potencial para se instalar parques eólicos:

- ▶ São Paulo;
- ▶ Rio de Janeiro, entre outros;
- ▶ Empecilhos: área urbanizada, criação de gado;

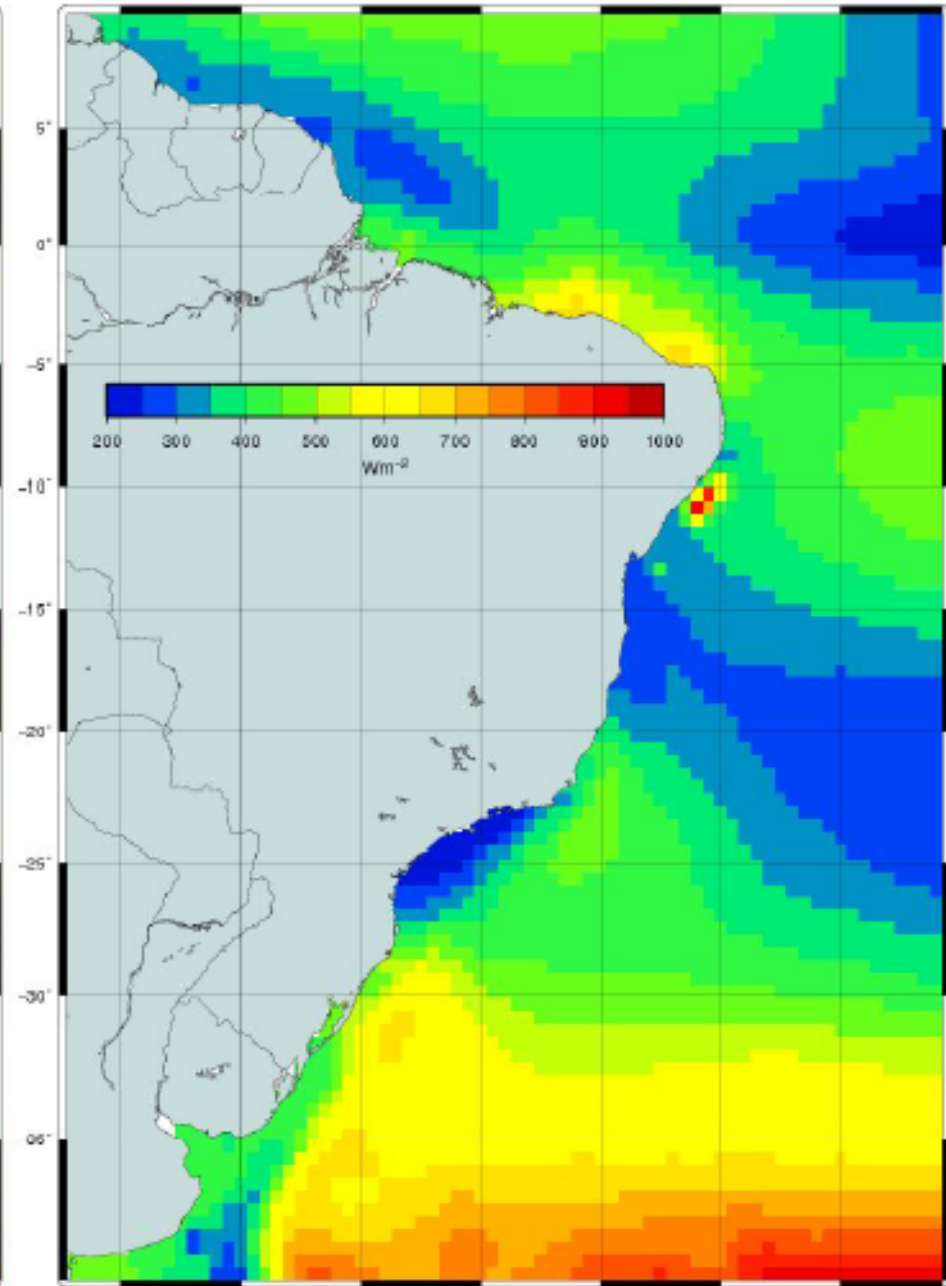
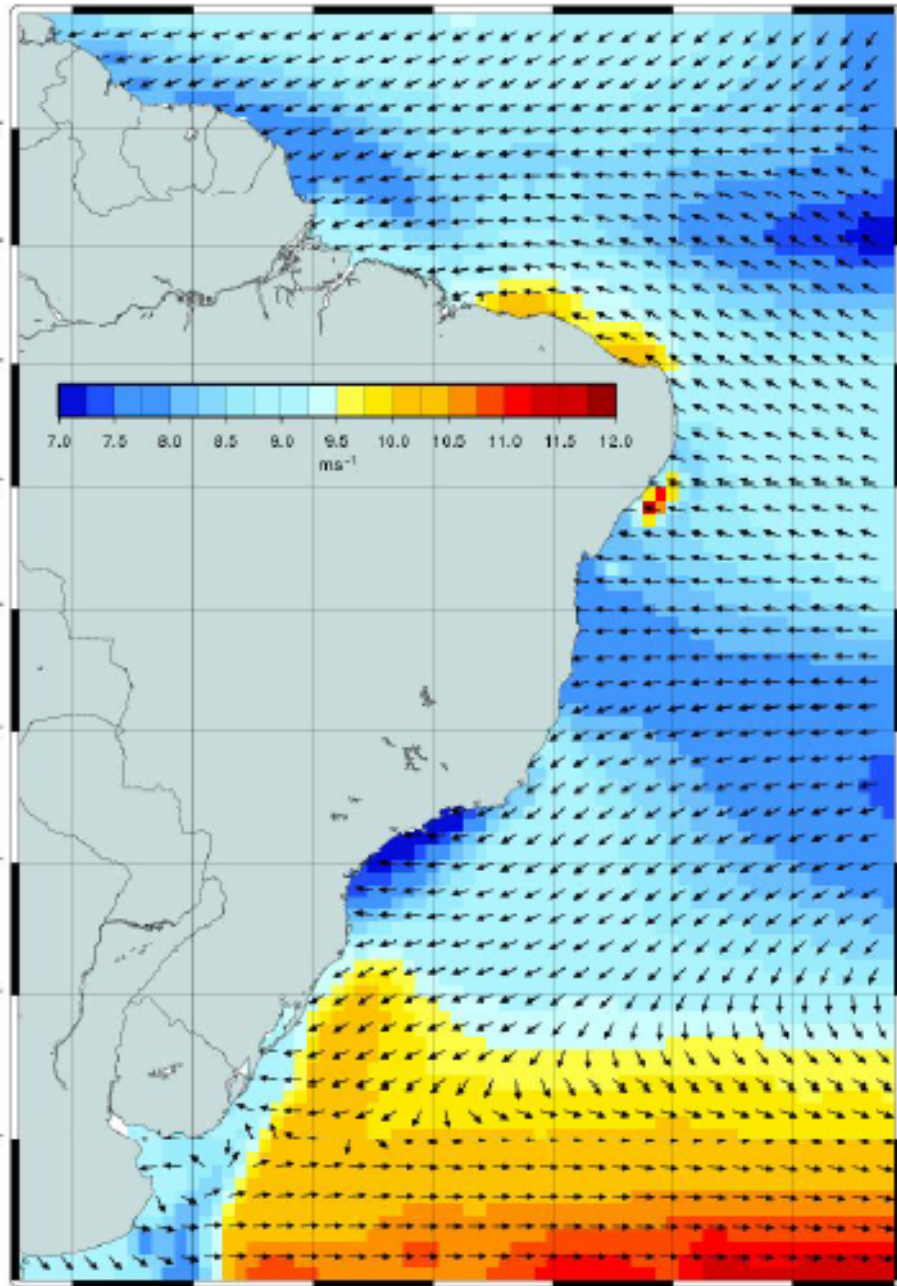
Comunidades de difícil acesso:

- ▶ Áreas de classe 3 de energia eólica não existem comunidades de difícil acesso, mesmo por que essas áreas estão próximas dos grandes centros urbanos;
- ▶ Fácil distribuição de energia, e construção de redes de transmissão segundo o mapa abaixo:



Regiões offshore (no mar) no Brasil:

- ▶ INPE (São José dos Campos);
- ▶ Pela primeira vez avaliado o potencial em toda a costa brasileira;
- ▶ Dados do satélite QuikSCAT entre agosto de 1999 e dezembro de 2009;
- ▶ Valores obtidos à 10 metros do nível do mar;
- ▶ 12 vezes maior que na área continental do país;
- ▶ Alavancar o desenvolvimento sustentável a longo prazo;





Avaliação do satélite QuikSCAT

- ▶ A densidade média de potência apresentou variação entre 215 Wm^{-2} e 968 Wm^{-2} (Figura 1);
- ▶ O potencial de energia gerada em cada pixel variou entre $4,7 \text{ MW}$ e 21.2 MW .



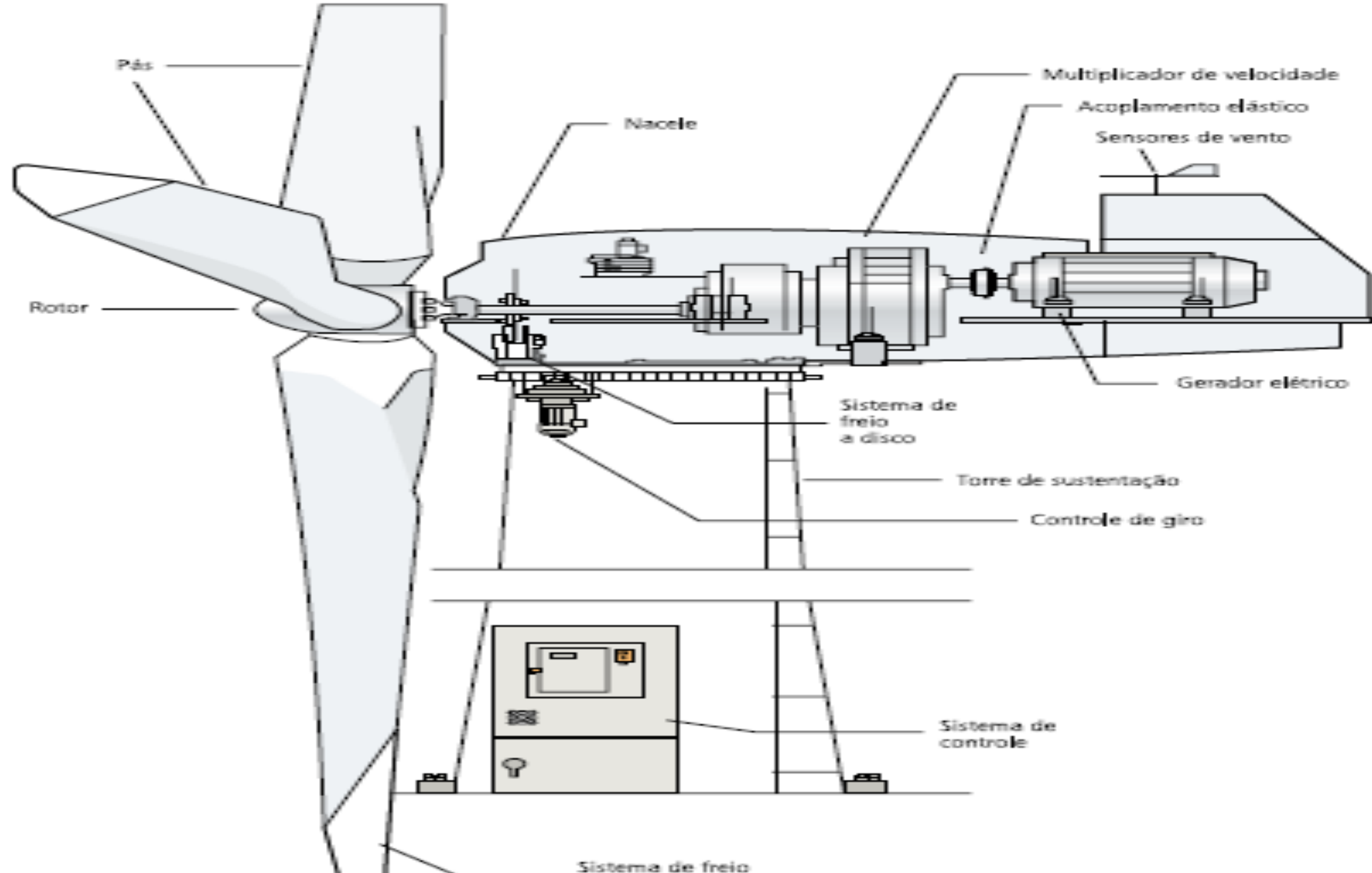
Estimativa do potencial real de energia:

- Realizada com simulação de utilização de turbinas geradoras AREVA Wind M5000;
- Distância de 600 m uma da outra no eixo meridional e 1200 m no eixo zonal;



MULTIBRID M5000

AREVA



Características técnicas da turbina AREVA Wind M5000:

Potência nominal	5 MW
Velocidade mínima	4 ms ⁻¹
Velocidade máxima	25 ms ⁻¹
Velocidade nominal	12,5 ms ⁻¹
Diâmetro do rotor	116 m
Área do rotor	10.568 m ²
Eficiência de conversão	39,55%

Velocidade média do vento no Brasil próxima da costa brasileira:

- ▶ Entre 7 e 12 m/s;
- ▶ Valores mínimos próximos à costa de São Paulo e mínimos à costa de Sergipe e Alagoas;

Distância da costa	
0 a 10 km	57 GW
0 a 50 km	259 GW
0 a 100 km	514 GW
0 a 200 M (ZEE)	1.780 GW

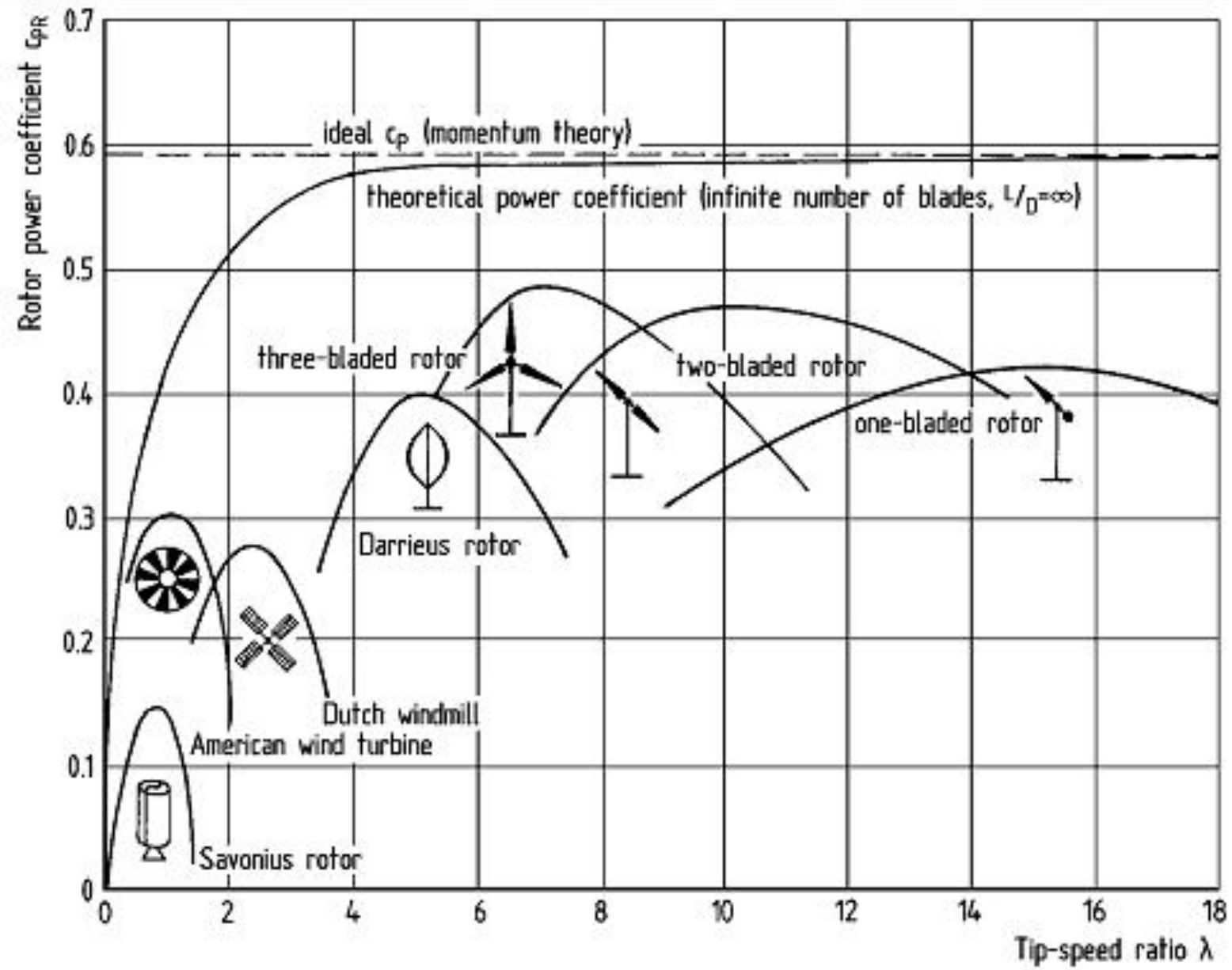
Cálculos da eficiência:

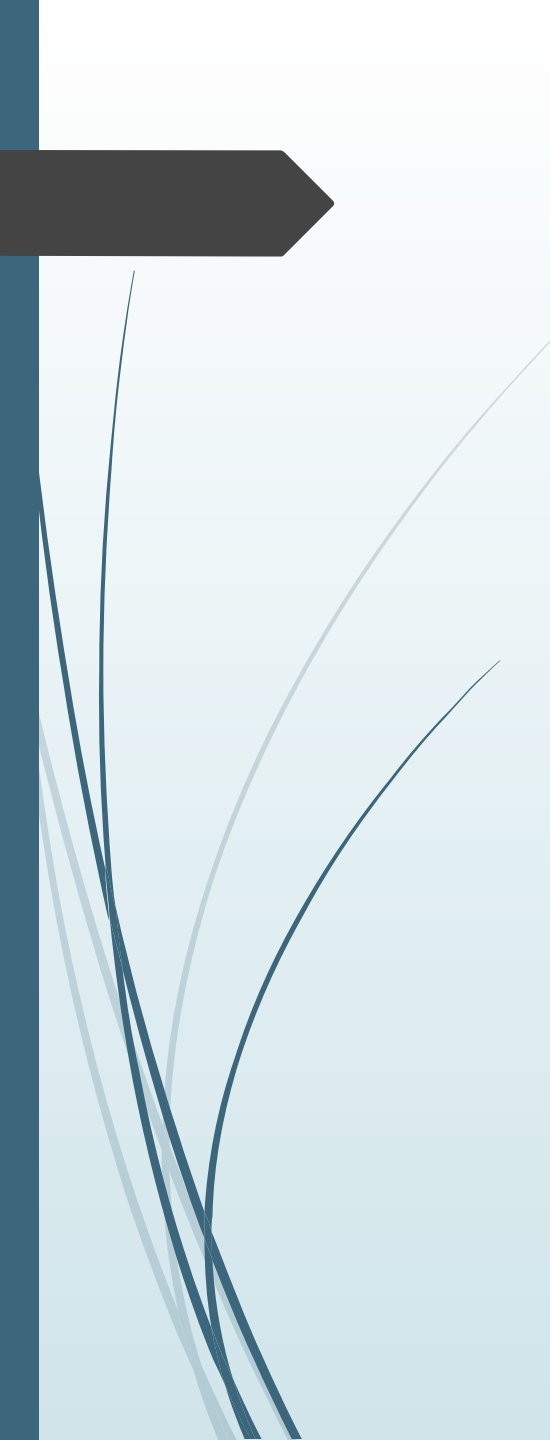
- ▶ A quantidade da energia que o vento transfere para o rotor dependerá da densidade do ar (ρ), da área de varredura do rotor (A) e do deslocamento de uma massa de ar (m) a uma velocidade (v_1). A potência do vento (P_v) associada ao deslocamento da massa de ar é definida por:
- ▶ $P_v = \frac{1}{2} \cdot (\Delta m / \Delta t) \cdot (v_1)^2 \dots (1)$
- ▶ Onde t representa o tempo. Como o fluxo de massa de ar que atravessa as pás do rotor é dado por:
- ▶ $\Delta m / \Delta t = \rho \cdot A \cdot v_1 \dots (2)$
- ▶ Substituindo (2) na (1), a potência mecânica disponível no vento irá variar com o cubo da velocidade e pode ser dada pela seguinte equação:
- ▶ $P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1)^3;$
- ▶ Onde:
- ▶ P_v = potência média do vento em Watts (W);
- ▶ ρ = densidade do ar seco = 1,225 kg/m³;
- ▶ A = área de varredura do rotor (m²);
- ▶ v_1 = velocidade média do vento (m/s).

Limite de Betz (Limite máximo de rendimento do aero gerador):

- O limite de Betz indica o valor máximo do rendimento que o aero gerador pode atingir. O coeficiente de potência C_p , $Betz = 0,593$ significa que somente 59,3% da potência disponível no vento pode ser convertida em potência mecânica por uma turbina eólica. Note que esta análise independe do tipo de turbina. Na prática as turbinas operam abaixo do limite de Betz, o coeficiente das turbinas com melhor desempenho no mercado está entre 0,35 e 0,45.

Tipos de Pás e limite de Betz:





Entrevista com o especialista em energia eólica do IEA (Instituto de Estudos Avançados), senhor Alcântaro:

- ▶ Perguntas:
- ▶ 1 – À quanto tempo ele trabalha no laboratório como especialista no ramo de energia eólica?
- ▶ 2 – Quais as vantagens e desvantagens?
- ▶ 3 – Regiões OFFShore?
- ▶ 4 – A eficiência dessa tecnologia?
- ▶ 5 – E sobre comunidades isoladas?
- ▶ 6 – O que os aero geradores trouxe de positivo para essas comunidades?
- ▶ 7 – E quanto à impactos ambientais?

Bibliografia:

- http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica%283%29.pdf (Até a data 22/05/2016);
- [Tabela de análise comparativa:](#)
- <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/TDSE35.pdf> (Até a data 22/05/2016);
- Foto Turbina AREVA Wind M5000:
https://www.google.com.br/search?q=AREVA+Wind+M5000&biw=1366&bih=635&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAcQ_AUoAmoVChMI063E4LOvyAIVBZKQCh09EQJq#imgrc=eVGb_zyX8BUvLM%3A (Até a data 22/05/216);
- Tabela técnica da turbina AREVA:
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DSYh-kojB2AJ:mtc-m19.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/07.06.17.10/doc/Ortiz_Potencial.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br (Até a data 22/05/2016);
- <http://www.ammonit.com/pt/energia-eolica/energia-eolica> (Até a data 22/05/2016);
- http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/19308/19308_3.PDF (Até a data 22/05/2016).