

PEA 3496

Energia e Meio Ambiente: Sistemas Energéticos e seus
Efeitos Ambientais

Prof. Marco Saidel



Energia do Vento - Eólica

Características físicas:

Vento: Influenciado pela rotação da Terra e pela topografia local

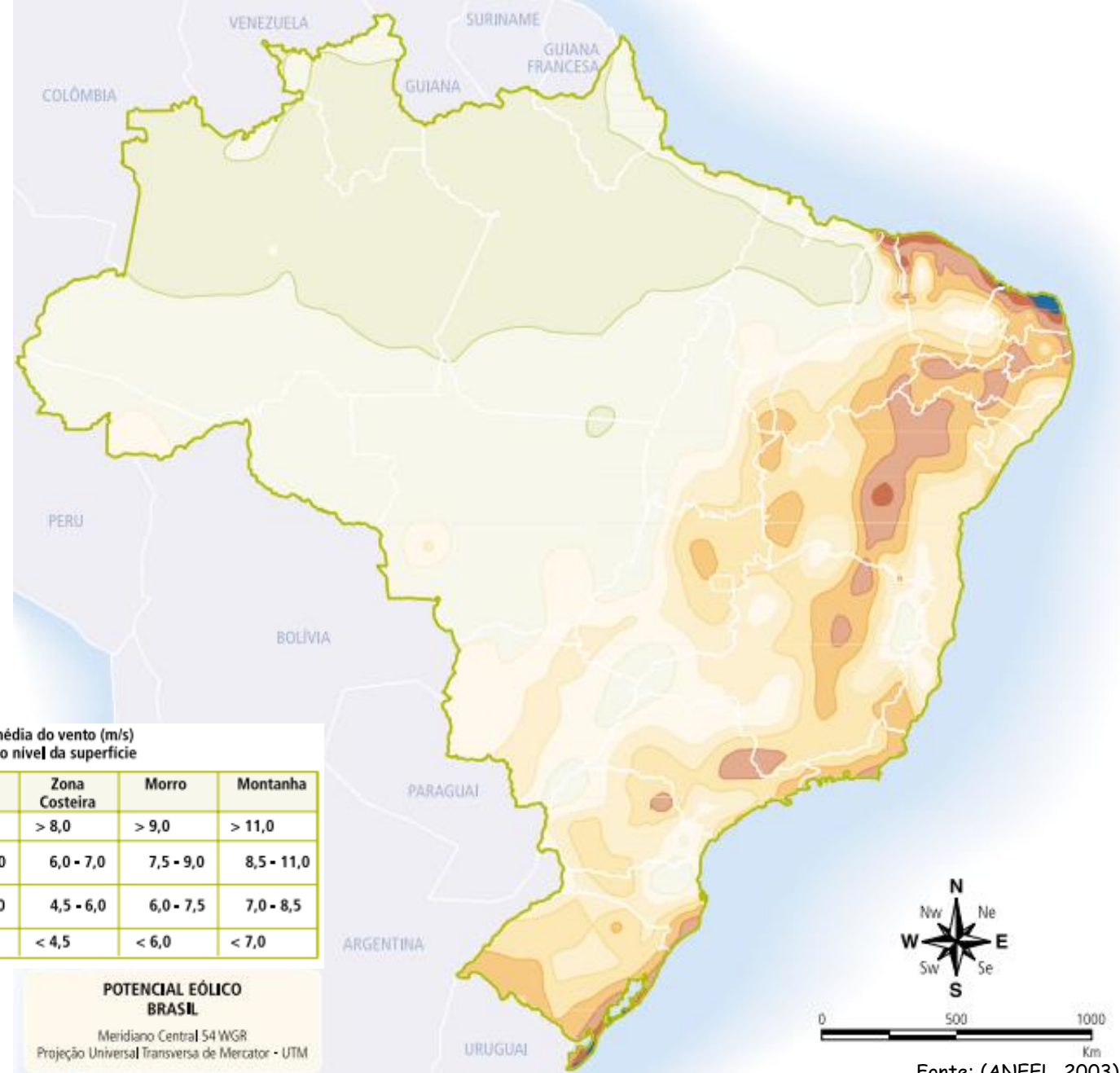
Medição: anemômetros - medem intensidade e direção do vento

Tratamento dos dados

- curva de frequência de velocidades
- energia disponível (Wh/m^2)
- velocidades máxima e média
- frequência de calmarias e de ventos fortes

Locais promissores: velocidade média $> 3,5\text{m/s}$

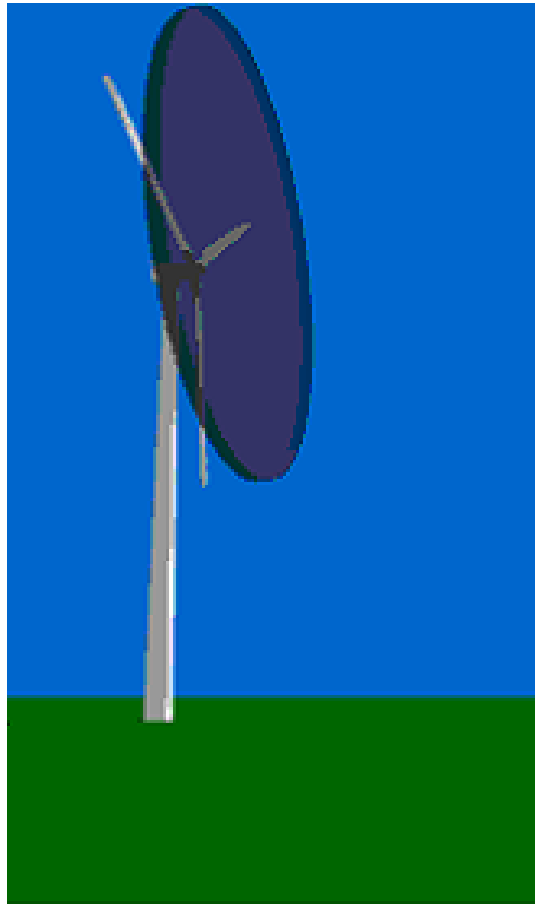
Velocidade Média Anual do vento (50m de altura)



Fonte: (ANEEL, 2003).

Fundamentos: **Potência Eólica**

Air Density



© DWTMA 1998

Potência

$$P_{eólica} = \frac{1}{2} \times A \times d \times V^3 \text{ (Watts)}$$

A: área do anel circular (m²)

d: densidade do ar (1,2256kg/m³ – 15°C e 1 atm)

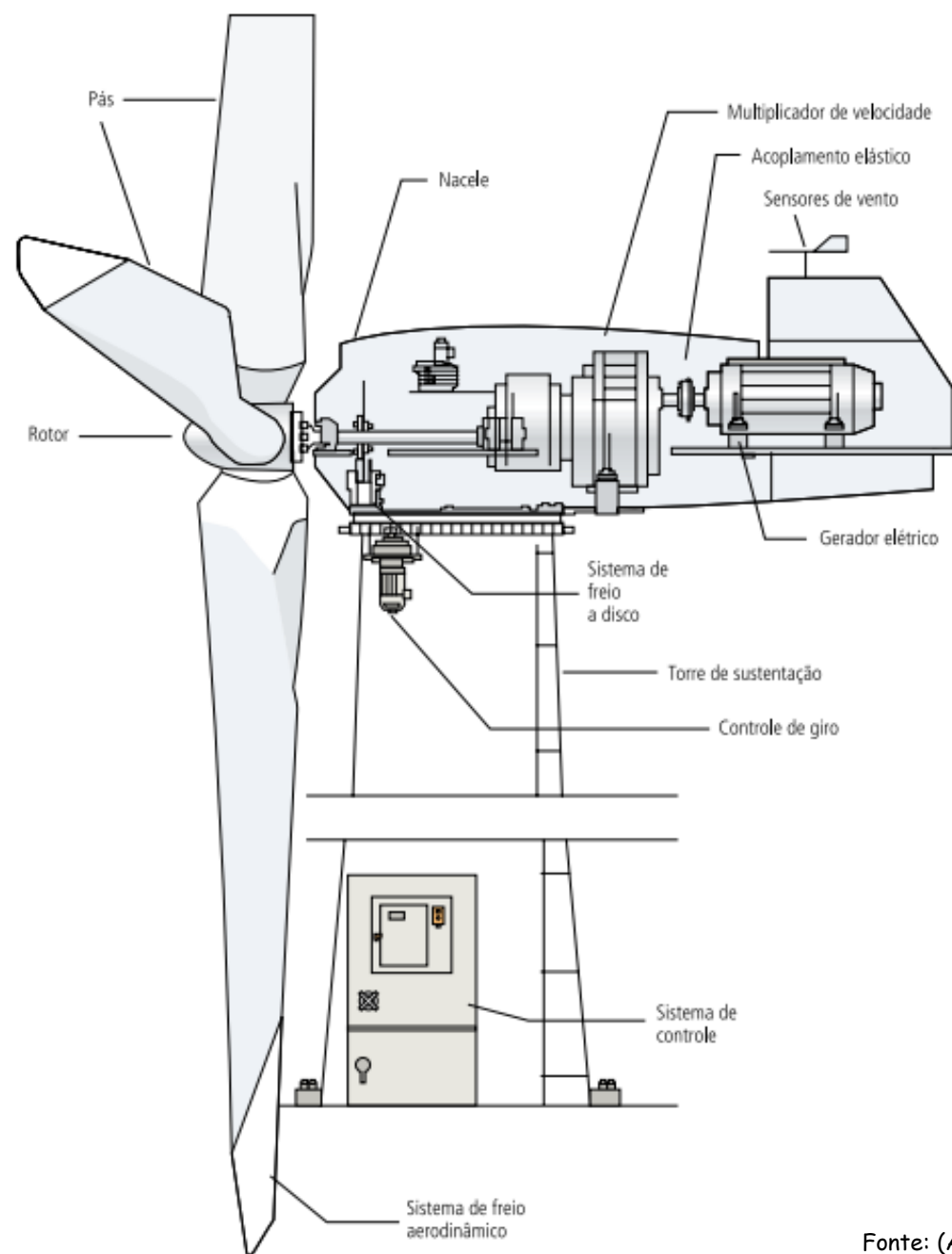
V: velocidade do vento (m/s)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

D= diâmetro do rotor (m)

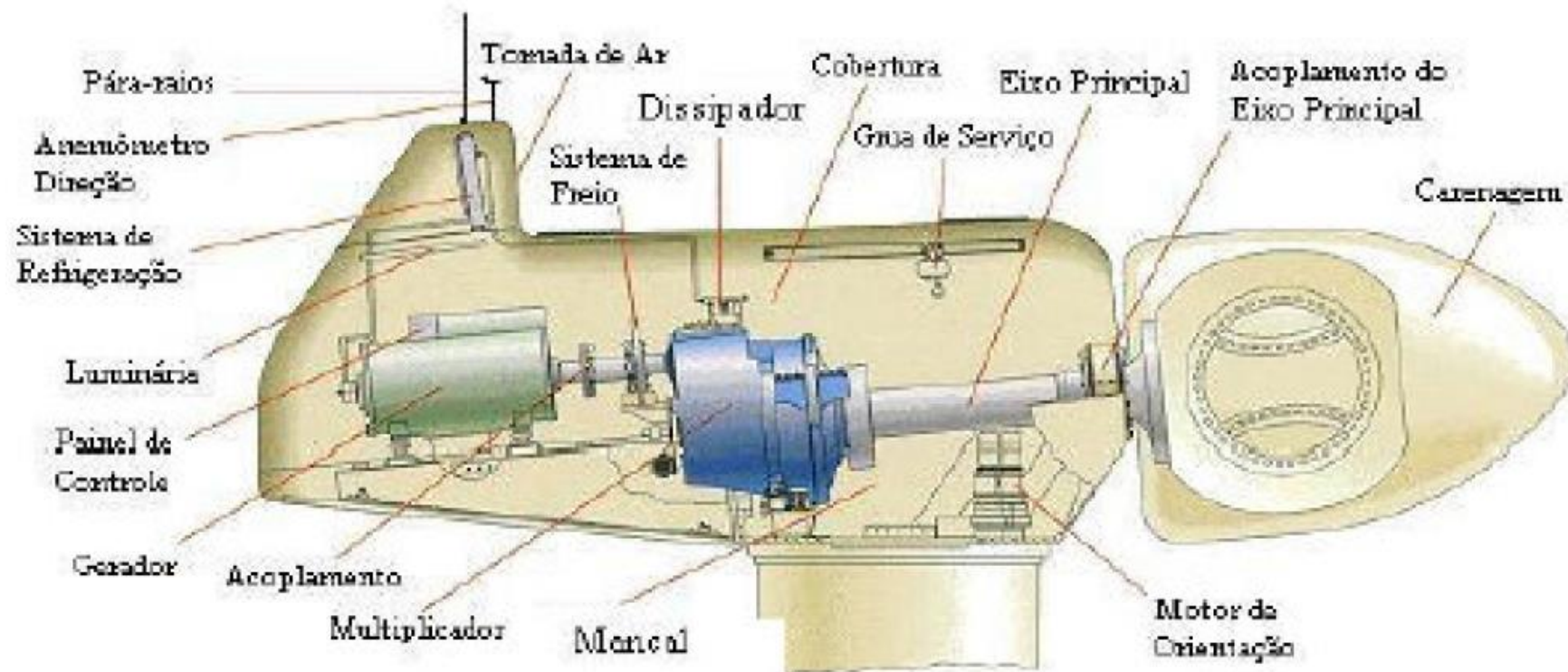
$$P_{el} = \eta \times P_{eólica}$$

Detalhes de um Aerogerador de Eixo Horizontal



Fonte: (ANEEL, 2003).

Detalhes de um Aerogerador de Eixo Horizontal



Sistema Eólico: Características

Rendimento total: $\eta = \eta_B \times \eta_A \times \eta_M \times \eta_G$

η_B : eficiência teórica de Betz $\approx 60\%$

Corresponde à eficiência do rotor, ou seja, a máxima potência contida no vento que pode ser extraída por uma turbina eólica. O valor exato determinado por Betz é de 59,3%.

η_A : rendimento aerodinâmico = 75%

Corresponde à eficiência aerodinâmica da turbina, podendo variar conforme o perfil aerodinâmico e o número de pás.

η_M : rendimento do multiplicador de velocidade = 80%

η_G : rendimento do gerador = 85%

Sistema Eólico: Características

Energia anual gerada:

$$EG = P_{el} \cdot FC \cdot 8760h/\text{ano}$$

FC = fator de capacidade: 0,25 a 0,60

Turbina de eixo horizontal

Material das pás

- madeira
- aço / alumínio
- fibra de vidro com epóxi ou poliéster

Figure 7.16 Multi-bladed wind pump

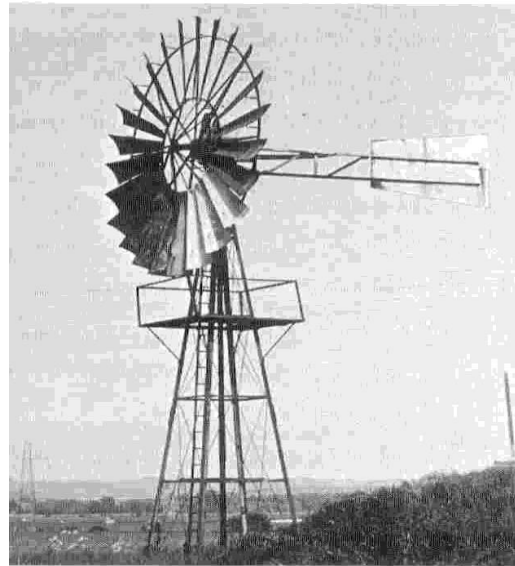


Figure 7.17 Two-bladed HAWT (WEG MS400 turbine)



Figure 7.18 Three-bladed HAWT (Howden 330 kW turbine)

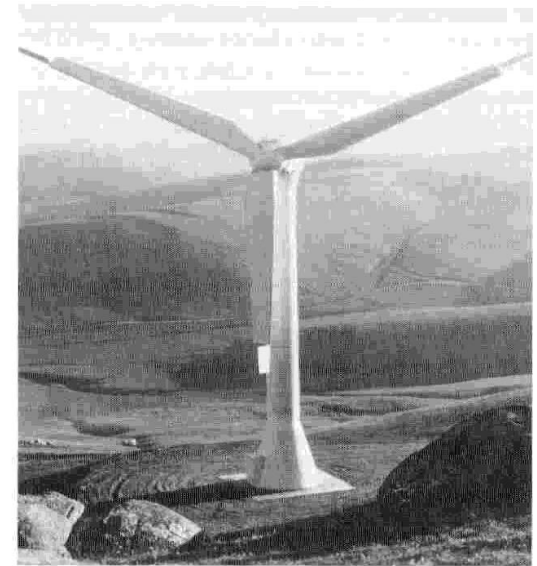
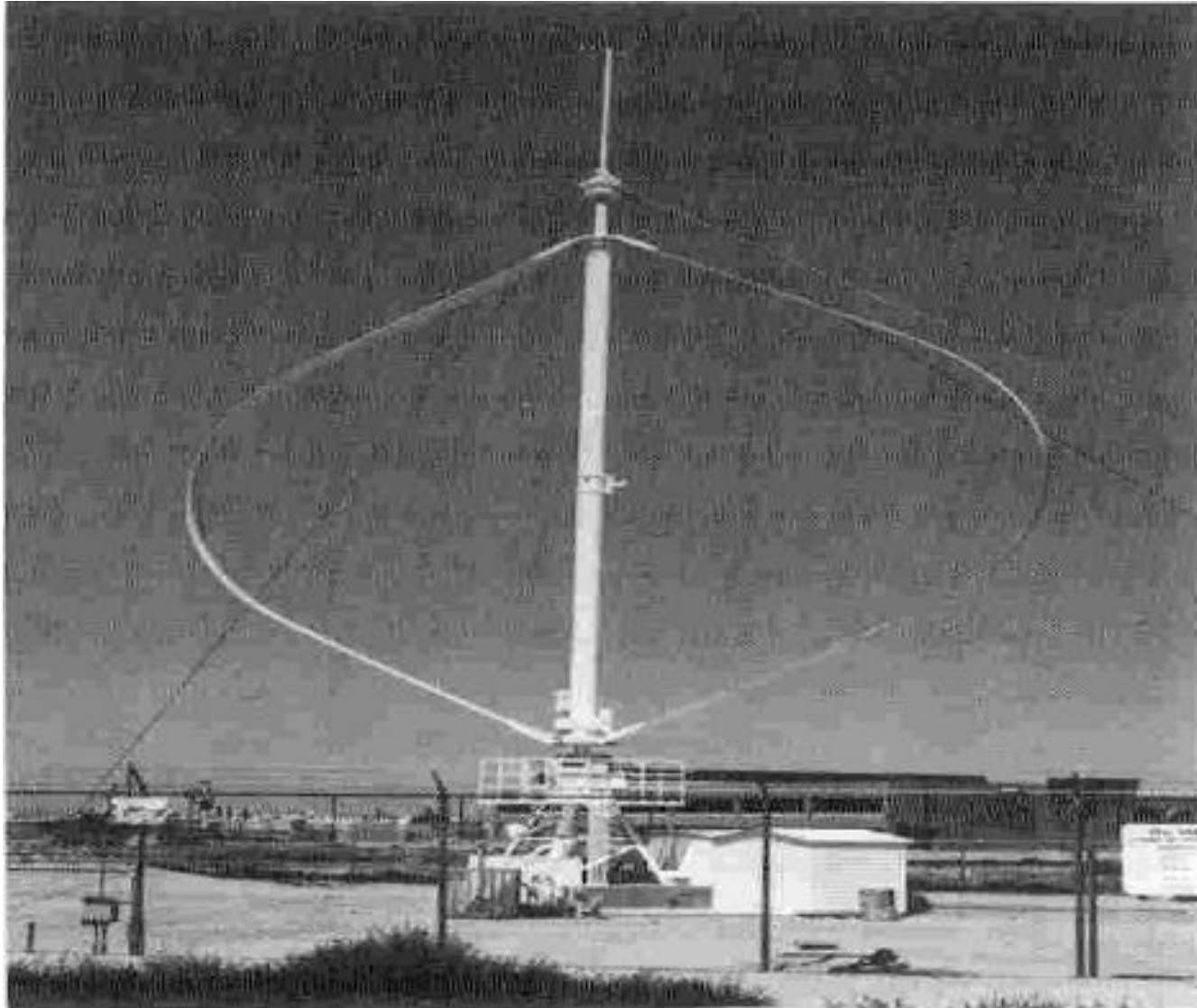


Figure 7.19 Single-bladed HAWT (MBB 600 kW turbine)



Rotor Darrieus - Eixo Vertical

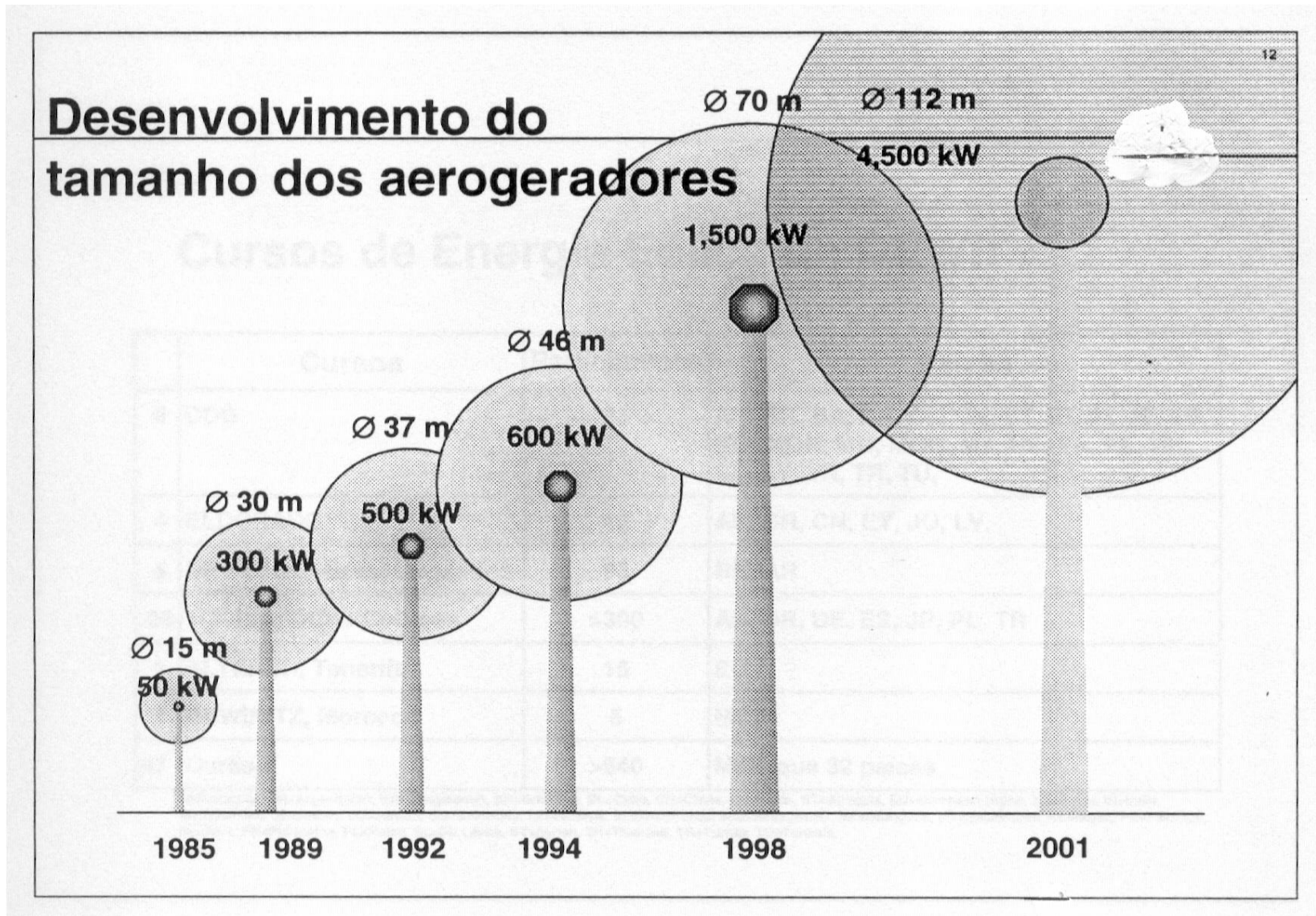


Classificação dos Aerogeradores

Tamanho	Diâmetro (m)	Área do Rotor (m ²)
Pequeno	Até 16 metros	Até 200m
Médio	16m à 45m	200 à 1600
Grande	> 45 m	> 1600

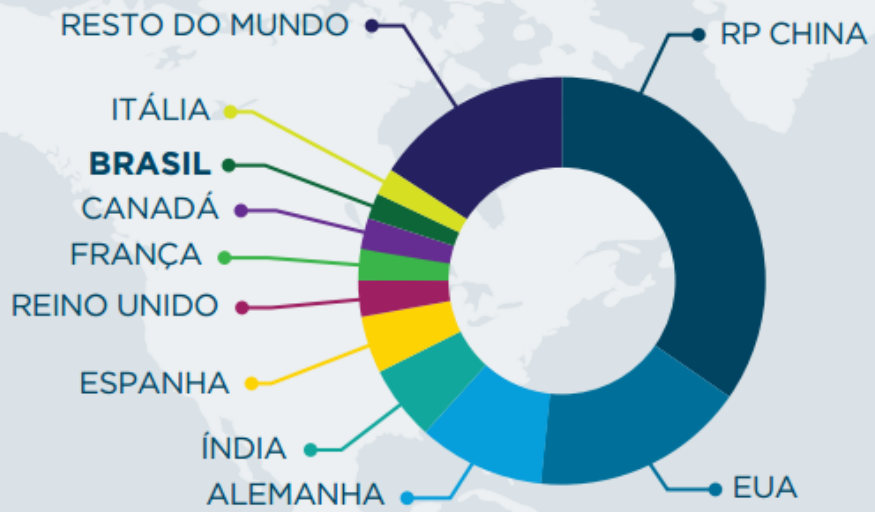
Tamanho	Potência Instalada
Pequeno	Até 80 kW
Médio	De 81 a 500 kW
Grande	> 500 kW

Evolução Comercial das Turbinas de Grande Porte



TOP 10 DE CAPACIDADE EÓLICA ACUMULADA 2016

Gráfico 11

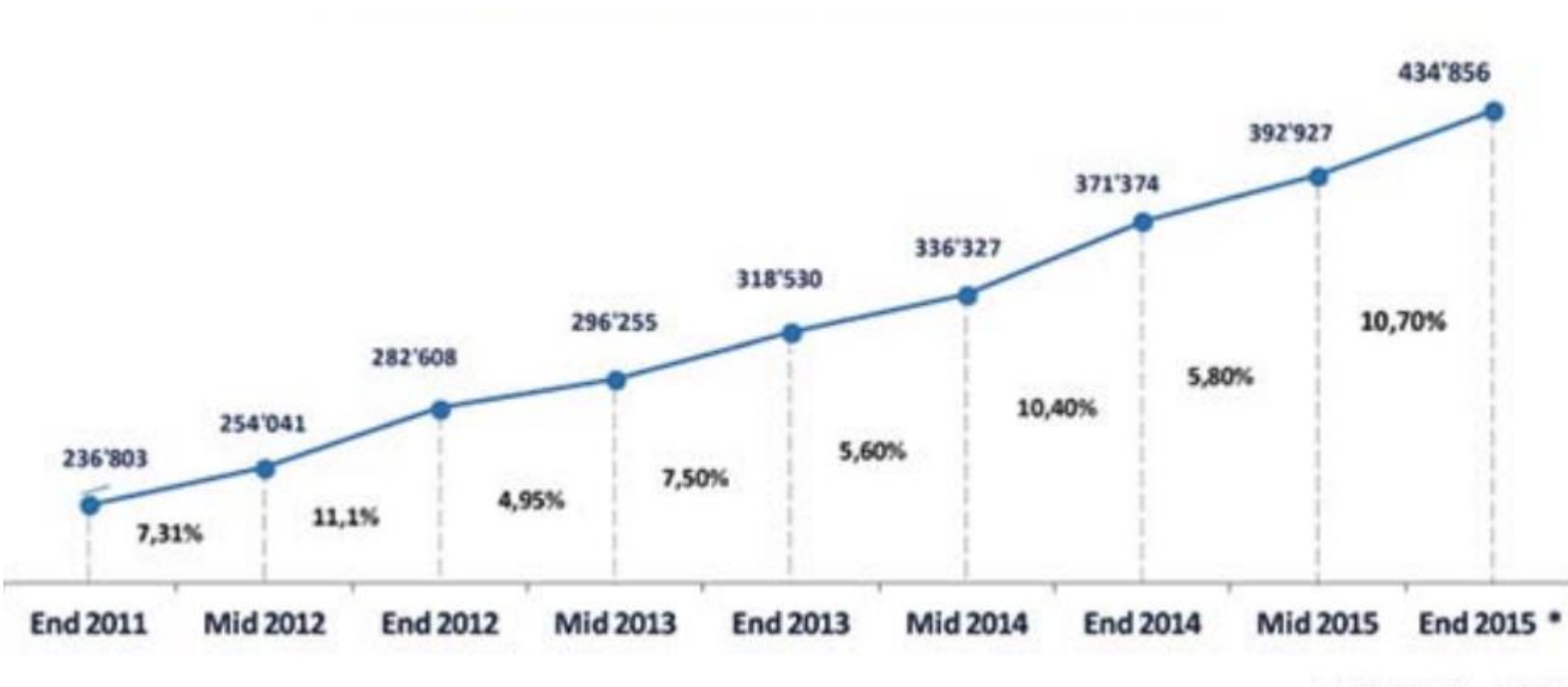


PAÍS	MW	%
RP CHINA	168.690	34.7
EUA	82.184	16.9
ALEMANHA	50.018	10.3
ÍNDIA	28.700	5.9
ESPAÑA	23.074	4.7
REINO UNIDO	14.543	3.0
FRANÇA	12.066	2.5
CANADÁ	11.900	2.4
BRASIL	10.740	2.2
ITÁLIA	9.257	1.9
RESTO DO MUNDO	75.577	15.5
TOTAL TOP 10	411.172	84
TOTAL	486.749	100

Fonte: Boletim ABEEOLICA, 2016.

EVOLUÇÃO DO MERCADO E ESTADO DA ARTE DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

Evolução na capacidade instalada

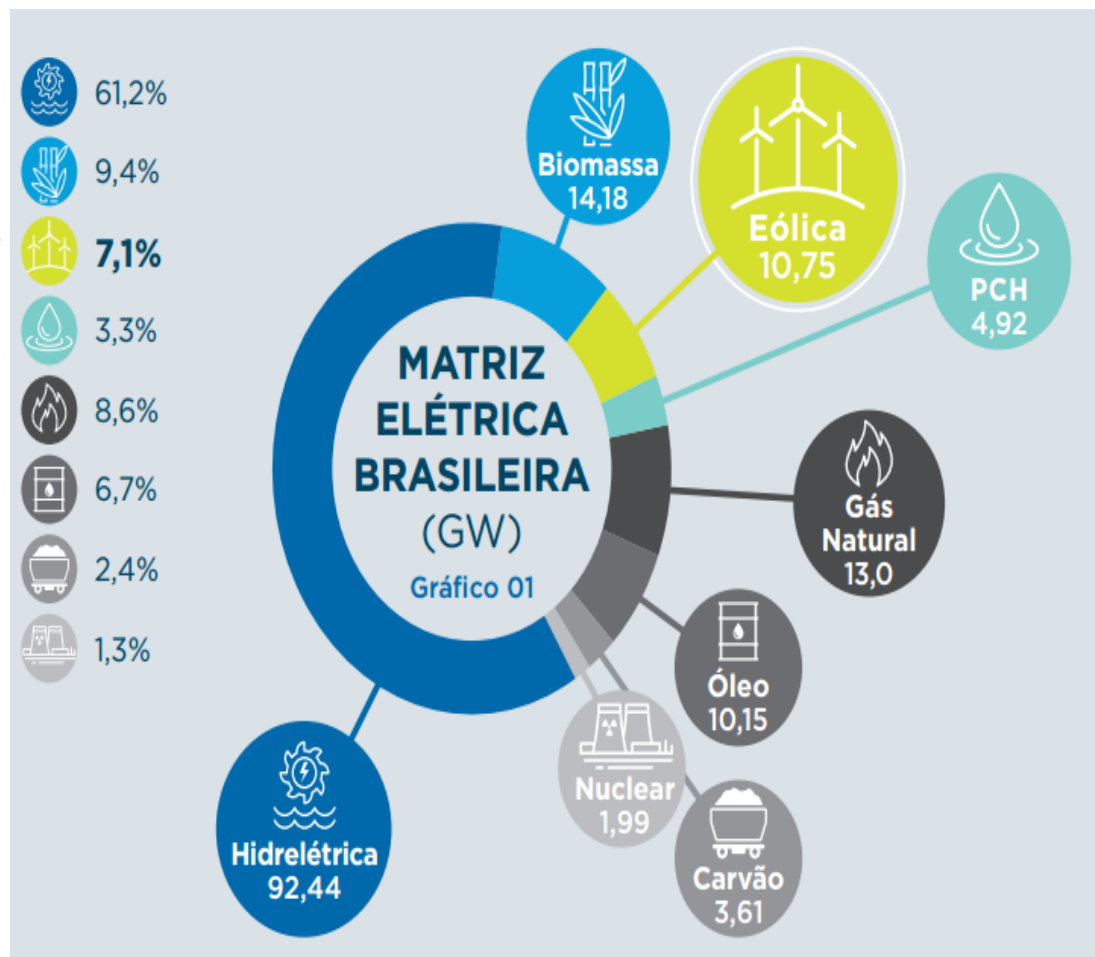


Fonte: WEA, 2015

Fonte: Boletim WWEA (Issue 1), Março 2016.

Energia eólica no Brasil - 2016

Nº de Projetos	Situação Atual	Potência [GW]
430	Em operação	10,75
161	Em construção	3,8
171	Outorgado	3,9

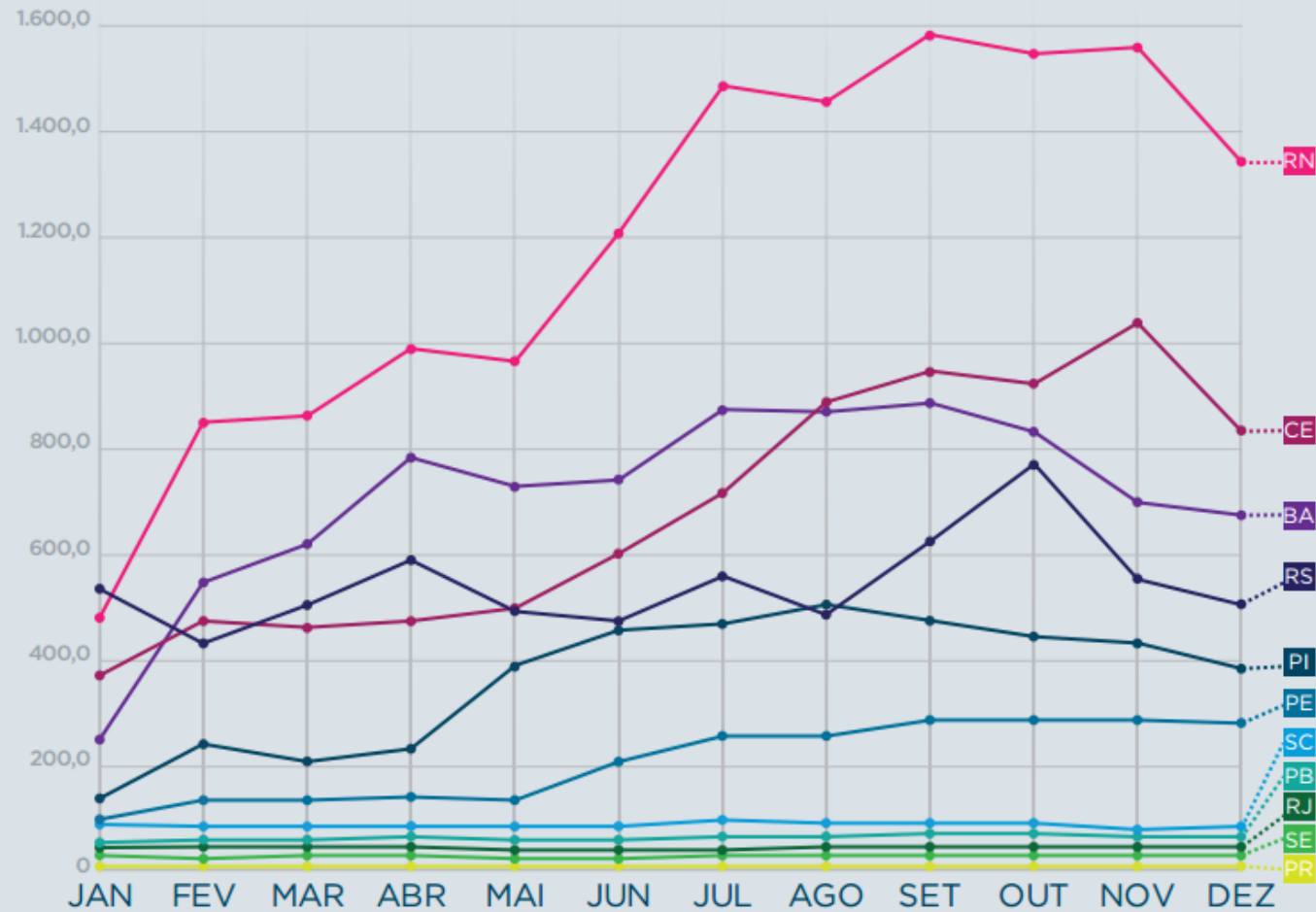


Fontes: (ANEEL, 2017) e (ABEEOLICA, 2016).

Energia eólica no Brasil

GERAÇÃO POR ESTADO 2016 (MW MÉDIO)

Gráfico 05

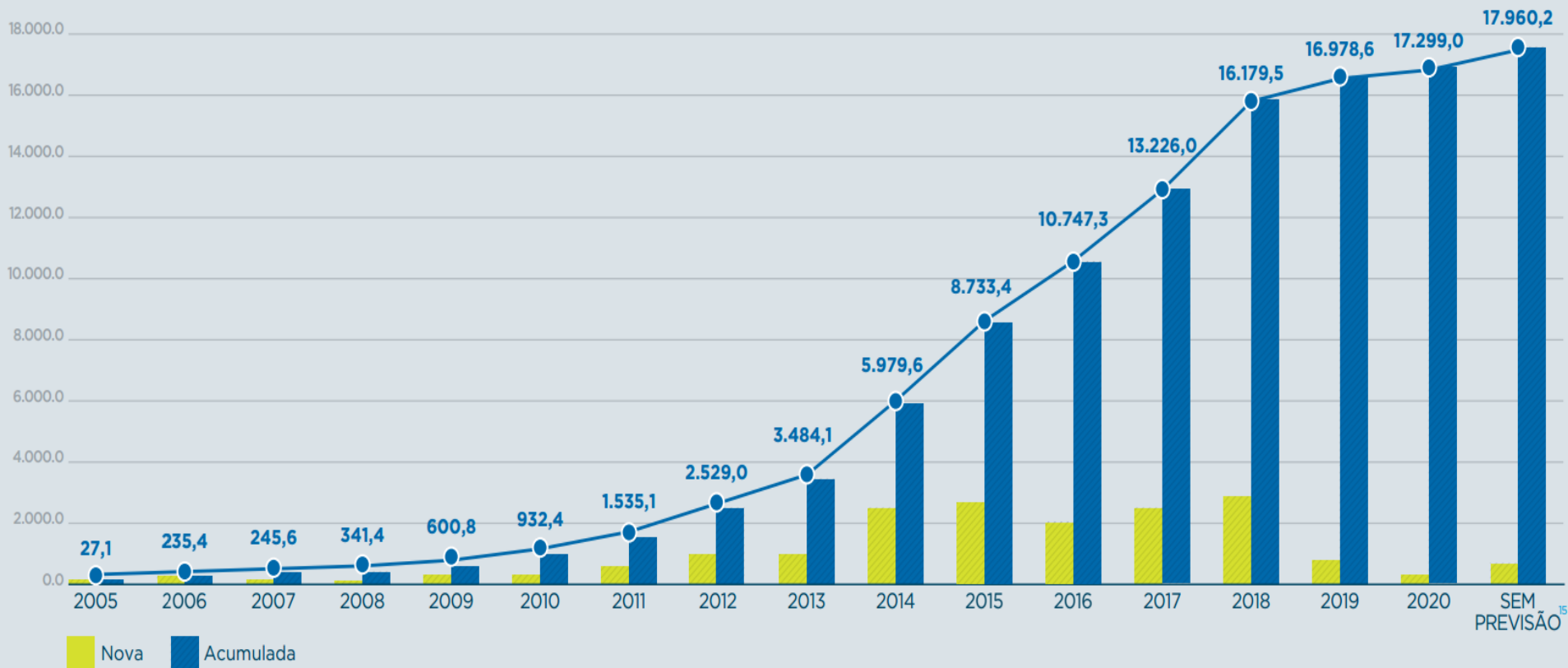


Fonte: (ABEEOLICA, 2016).

Energia eólica no Brasil

EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA (MW)

Gráfico 10



Fonte: (ABEEOLICA, 2016).

Energia eólica no Brasil

Maiores usinas eólicas em operação no Brasil

Usina eólica	Potência (MW)	Localização
Praia Formosa	105,0	Camocim - CE
Alegria II	100,7	Guamaré - RN
Parque Eólico Elebrás Cidreira 1	70,0	Tramandaí - RS
Miassaba 3	68,5	Macau - RN
Rei dos Ventos 3	60,1	Galinhos - RN

Fonte: ANEEL, 2017.