

ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO E PREVISÃO DE VENTOS PARA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM SANTA CATARINA

Mestrando: Alessandro Dalmaz

Orientador: Júlio César Passos

Co-orientador: Hanz Georg Beyer

MOTIVAÇÃO

Fontes Alternativas de Energia

- Diversificação da matriz energética
- Questões ambientais
- Diminuição da dependência de combustíveis fósseis
- Programas governamentais de incentivo

Energia Eólica

- Tecnologia disponível
- Experiência
- Diminuição dos custos de fabricação, instalação e geração

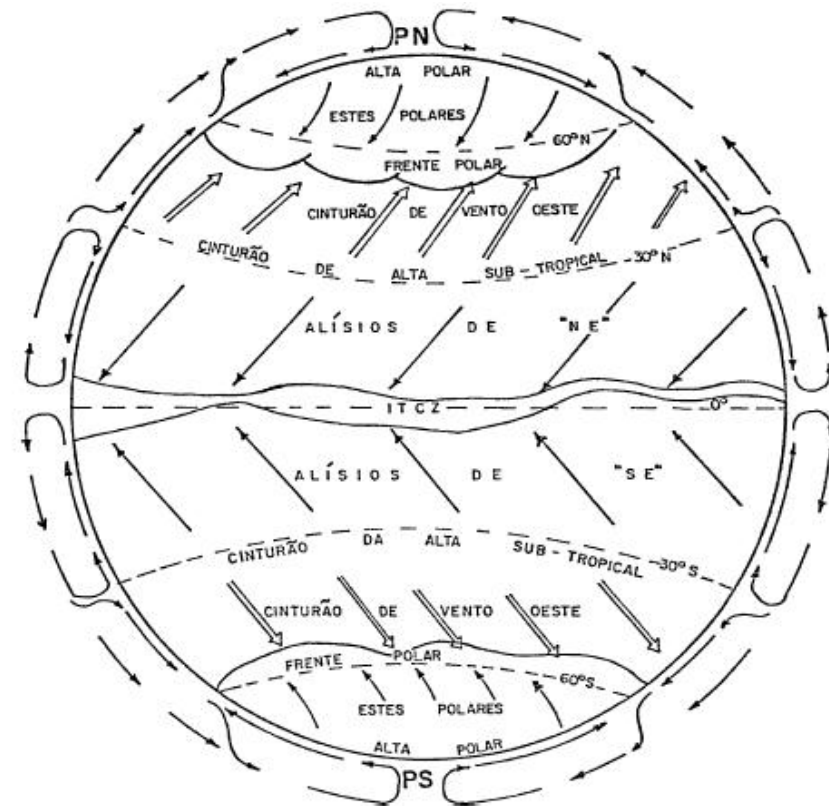
Incentivos

- Garantia de compra da energia
- Garantia da remuneração
- Subsídios, financiamentos e incentivos

- Marketing
 - por contribuir para preservação ambiental

ENERGIA EÓLICA - ORIGEM

- Energia Eólica – energia cinética dos ventos
- Ventos: origem
 - Gradientes de Pressão: aquecimento diferenciado da superfície da Terra
- Ventos e Energia Eólica são efeitos permanentes da dinâmica do planeta – Fonte Renovável de Energia
- Principal problema da fonte eólica é a difícil previsão da energia gerada
- dependência das condições atmosféricas, variações aleatórias



HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA

- A força dos ventos na antiguidade: movimentar embarcações
- Os egípcios utilizavam velas como auxílio para as embarcações a remo
- Os fenícios 1000 a.C. já dispunham de embarcações movidas exclusivamente a velas
- A força dos ventos perdeu espaço no séc. XIX, para propulsão a vapor

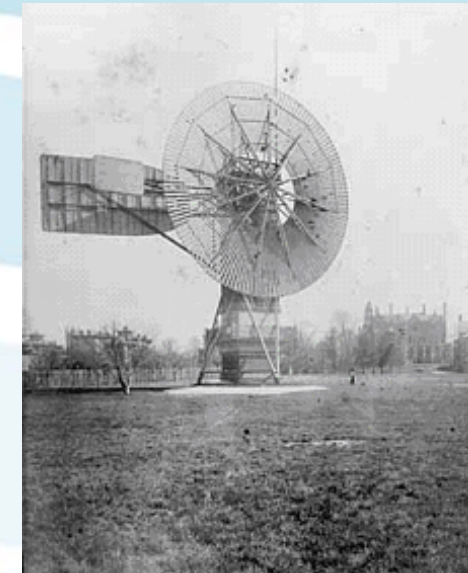
Moinhos de Vento

- Primeiros registros no séc. VII, ano 644, na Pérsia
- Utilizados na Europa do séc. XII ao início do séc. XIX
- Principais funções: moagem de grãos, bombeamento de água, serrarias
- Caiu em desuso após a revolução industrial



HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA

- No séc. XIX, nos EUA a força dos ventos foi explorada, principalmente para bombeamento de água
- No séc. XIX - força dos ventos para geração de eletricidade
- 1.º turbina eólica para geração de energia elétrica foi construída em 1888, pelo americano Charles Brush (1849 – 1929)
 - 12 kW
 - 144 pás de madeira
 - 17 m de diâmetro
- A energia gerada era armazenada em baterias
- Em operação por 20 anos



HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA

- O dinamarquês Poul La Cour (1846 – 1908), em 1897, constrói uma nova turbina eólica.
- Mais adequada a geração de energia elétrica, com menor número de pás e maior velocidade de rotação
- Considerado o pioneiro no desenvolvimento dos modernos aerogeradores



ENERGIA EÓLICA

HISTÓRIA DA ENERGIA EÓLICA

- Por volta de 1930, nos EUA, turbinas eólicas ligadas a baterias possibilitavam acesso a eletricidade para moradores afastados dos centros urbanos
- Em 1955, na Alemanha, já operavam turbinas eólicas precursoras dos modernos aerogeradores, com torre tubular, controle de passo da pá e pás fabricadas em materiais compostos
- A primeira turbina eólica ligada diretamente a rede elétrica, foi instalada na Dinamarca em 1976
- Atualmente, mais de 30 mil aerogeradores estão em operação no mundo, sendo mais de 18 mil só na Alemanha

CENÁRIO MUNDIAL

ENERGIA EÓLICA

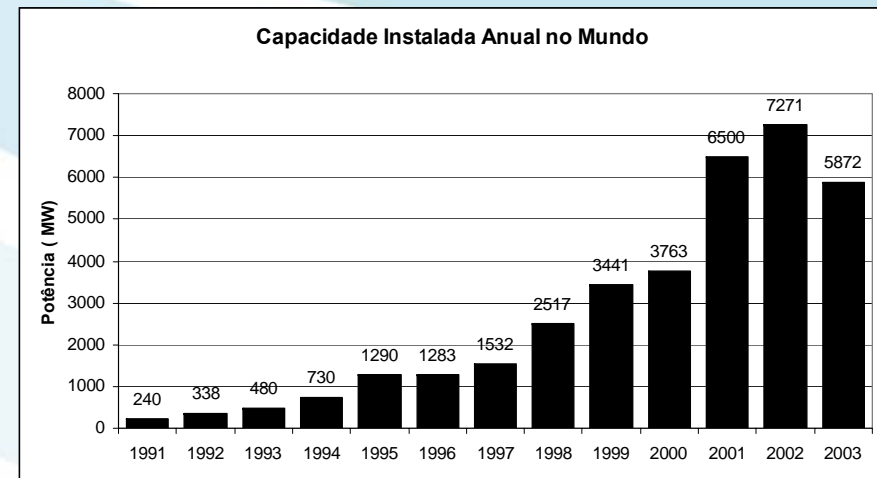
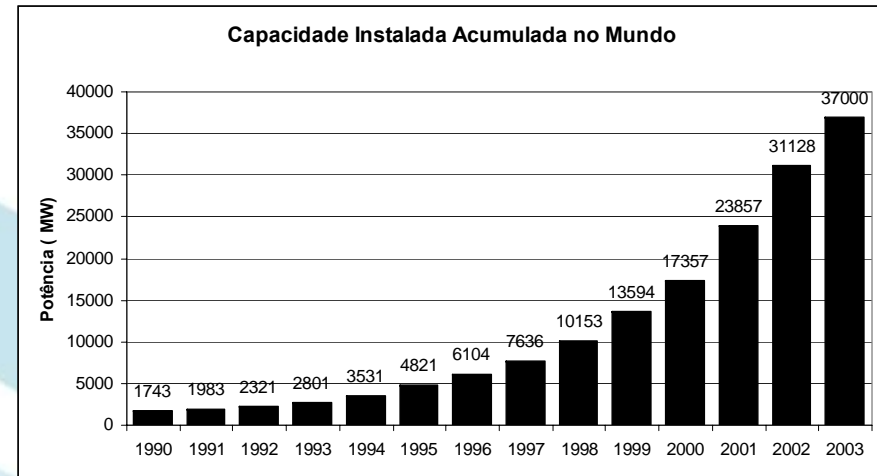
Geração de Energia Elétrica no Mundo		
Fonte	1980	2004
Fóssil	69,30%	67,96%
Hídrica	23,50%	19,71%
Nuclear	6,90%	9,83%
Outros	0,30%	2,50%

Fonte: EIA (2005)

- Grande dependência de combustíveis fósseis para geração de eletricidade
- Fontes alternativas de energia: crise do petróleo na década de 1970.
- Déc. 1990: investimentos e incentivos a fontes alternativas (preocupação ambiental)
- Foram estabelecidas metas, projetos de incentivos e apoio financeiro para energias alternativas (principalmente na Europa)
- A energia eólica se destacou em vários países

CENÁRIO MUNDIAL

- Em 1990 havia menos de 2 GW de potência eólica instalada no mundo
- Em 2001, mais de 23 GW haviam sido instalados no mundo
- 80% na Europa
- 8 GW instalados em 2004
- 11,4 GW instalados em 2005
- No final de 2005, haviam 60 GW de potência eólica no mundo



CENÁRIO MUNDIAL

Maiores Potências Eólicas Instaladas até 2005	
País	Potência (MW)
Alemanha	18429
Espanha	10000
EUA	9100
India	4430
Dinamarca	> 3000

Fonte: GWEC (2006)

- A Índia superou a Dinamarca em potência instalada de 2004 a 2005
- Os EUA tem como meta para 2020 que 6% da eletricidade venha de geração eólica
- A Europa tem como meta 5,5% para 2010 e 12% para 2020 (180 GW)

EUROPA

Comunidade Européia - Metas para Geração Eólica		
	2010	2020
Potência Instalada	Total 75 GW	Total 180 GW
	10 GW offshore	70 GW offshore
Geração de eletricidade na europa	5,50%	12,10%

Fonte: EWEA (2003)

- Mercado europeu de energia eólica vem crescendo 22% em média
- Depende de mercados com grande potencial mas pouco explorados (França, Itália e Reino Unido)
- Abertura de novos mercados fora do continente europeu

Maiores Mercados para Energia Eólica na Europa em 2004	
País	Potência (MW)
Espanha	2065
Alemanha	2037
Reino Unido	240
Portugal	224
Itália	221

Potência instalada no ano de 2004.
Fonte: Millais (2005)

BRASIL

Geração de Energia no Brasil	
Hidráulica	76,22
Térmica	21,54
Nuclear	2,09
Eólica	0,24
Fonte: Aneel 24/02/2007	

- **Brasil possui em torno de 97 GW de potência instalada**
- **240 MW de potência eólica**
- **O primeiro aerogerador do Brasil foi instalado em 1992 em F. de Noronha**

Estudos sobre o potencial eólico brasileiro mostram:

- **A maioria dos locais aprovados pelo PROINFA apresentam estimativas de FC superiores a 0,30**
- **No Nordeste brasileiro, o valor de FC chega a 0,40**
- **Os valores médios de FC encontrados na Alemanha são de 0,23**

PROINFA

- **Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica**
- **Criado em 26 abril de 2002**
- **Revisado em novembro de 2003**
- **Regulamentado em março de 2004**

- **Visa ao desenvolvimento de fontes alternativas de geração de energia elétrica**
- **PCH (≤ 30 MW)**
- **Biomassa**
- **Energia Eólica**

- **Compra da energia é assegurada por um contrato de longo prazo (20 anos)**
- **É garantida uma receita mínima de 70% da energia contratada durante o período do financiamento**

BRASIL – 15 parques eólicos instalados



Usina	Potência	Potência	Localização
	Outorgada (MW)	Fiscalizada (MW)	
Eólica da Prainha	10	10	Aquiraz - CE
Eólica de Taíba	6,2	5	São Gonçalo do Amarante - CE
Eólio-elétrica experimental do Morro do Camelinho	1	1	Golvea - MG
Eólio-elétrica de Palmas	2,5	2,5	Palmas - PR
Eólica de Fernando de Noronha	0,225	0,225	Fernando de Noronha - PE
Macuripe	2,4	2,4	Fortaleza - CE
Eólica de Bom Jardim da Serra	0,6	0,6	Bom Jardim da Serra - SC
Eólica de Olinda	0,225	0,225	Olinda - PE
Parque Eólico do Horizonte	4,8	4,8	Água Doce - SC
Macau	3	1,8	Macau - RN
Parque Eólico de Osório	50	50	Osório - RS
RN 15 - Rio do Fogo	49,3	42,1	Rio do Fogo - RN
Eólica de Água Doce	9	9	Água Doce - SC
Parque Eólico do Sangradouro	50	50	Osório - RS
Parque Eólico dos Índios	50	50	Osório - RS

Fonte: Aneel 13/09/2006



SANTA CATARINA

Possui 3 Parques Eólicos em operação

- **Usina Eólica de Bom Jardim da Serra**
1 aerogerador 600 kW
- **Parque Eólico do Horizonte**
8 aerogeradores de 600 kW (4.800 kW)
- **Usina Eólica de Água Doce**
15 aerogeradores de 600 kW (9.000 kW)

14 Projetos aprovados

- 2 em Laguna (3 MW e 46,5 MW)
- 4 em Bom Jardim da Serra (1,93 MW e 3 com 30 MW)
- 8 em Água Doce (4,8 MW, 9,6 MW, 21,44 MW e 5 com 30 MW)

CUSTOS DA ENERGIA EÓLICA

- Os custos de geração e instalação vem caindo continuamente
- Os custos são influenciados por fatores tecnológicos e de projeto dos parques eólicos, que fazem cair os custos relativos do investimento e custos de geração
- Melhora no desempenho dos aerogeradores: eficiência, mais potência por unidade de área varrida
- Melhor controle da turbina, movimentação
- Desenho das pás
- Sítios com velocidades médias do vento maiores
- Maior número de aerogeradores instalados por parque eólico

CUSTOS DA ENERGIA EÓLICA

Custos de instalação

- **Europa em 2002: US\$ 1070 / kW**
 - **No Brasil:**
 - **Osório (150 MW): R\$ 4.400,00 / kW**
 - **Rio do Fogo (49,3 MW): R\$ 4.200,00 / kW**
 - **Água Doce (9 MW): R\$ 3.200,00 / kW**
 - **Remuneração PROINFA: R\$ 180-204 / MWh (45% e 37% < Alemanha)**
 - **Remuneração Parque Eólico de Osório: R\$ 231 / MWh**
- Fonte hídrica: R\$ 110-114 / MWh (para o mesmo leilão de energia)**

POTÊNCIA DO VENTO

- A energia eólica é a energia cinética do vento

$$E_v = \frac{1}{2} mV^2$$

- A potência instantânea do vento é definida por:

$$P_v = \frac{dE_v}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{dm}{dt} \right) V^2$$

- Para uma seção transversal de área A, a vazão mássica do ar é:

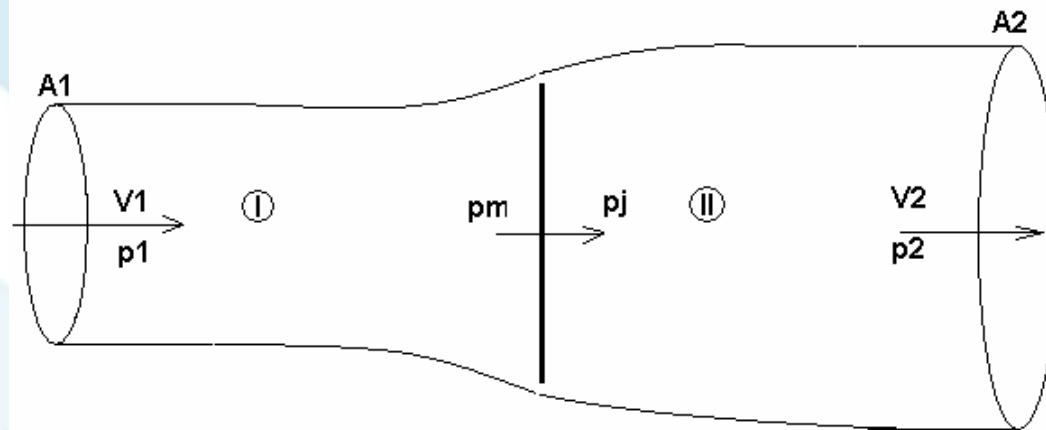
$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho AV$$

- O que resulta na equação para a Potência do Vento:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

RENDIMENTO DE BETZ

- O Rendimento de Betz, ou o Coeficiente de Potência Máximo, é a razão entre a potência máxima extraída e a potência disponível em um escoamento de ar.



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$p_1 = p_2$$

- A potência que a turbina poderá extrair do vento é: $P_{Ex} = FV_T$
- A força exercida pelo vento pode ser igualado a: $F = (p_M - p_J)A_T$

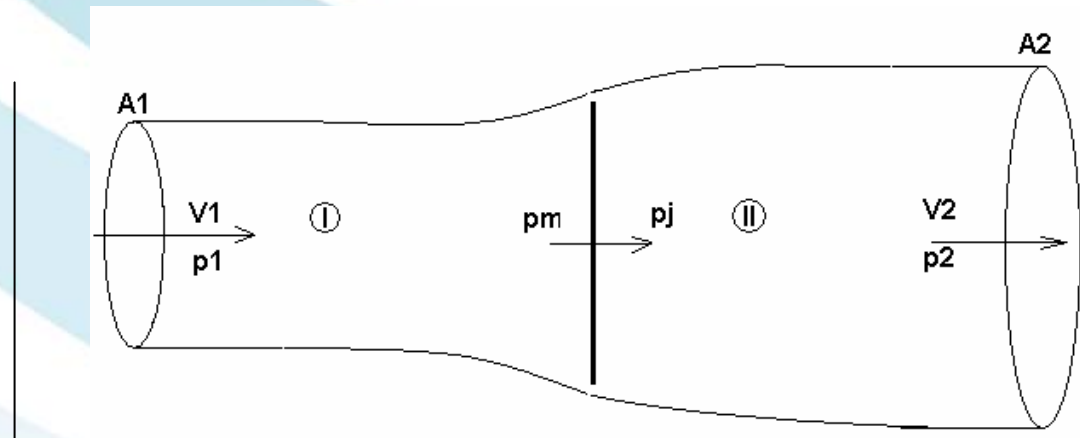
- Para calcular o valor da diferença de pressão antes e depois da turbina, aplica-se a equação de Bernoulli

- Sabendo que:

$$V_M = V_J = V_T$$

- Tem-se:

$$(p_M - p_J) = \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2)$$



$$p_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = p_M + \frac{\rho V_M^2}{2}$$

$$p_J + \frac{\rho V_J^2}{2} = p_2 + \frac{\rho V_2^2}{2}$$

- Ao substituírmos na equação da Força exercida pelo vento e, posteriormente, na da Potência extraída, chega-se a:

$$P_{EX} = \frac{1}{2} \rho A_T V_T (V_1^2 - V_2^2)$$

- A velocidade do vento na turbina é diferente da velocidade do vento incidente

$$a = \frac{V_1 - V_T}{V_1}$$

$$V_T = V_1(1 - a)$$

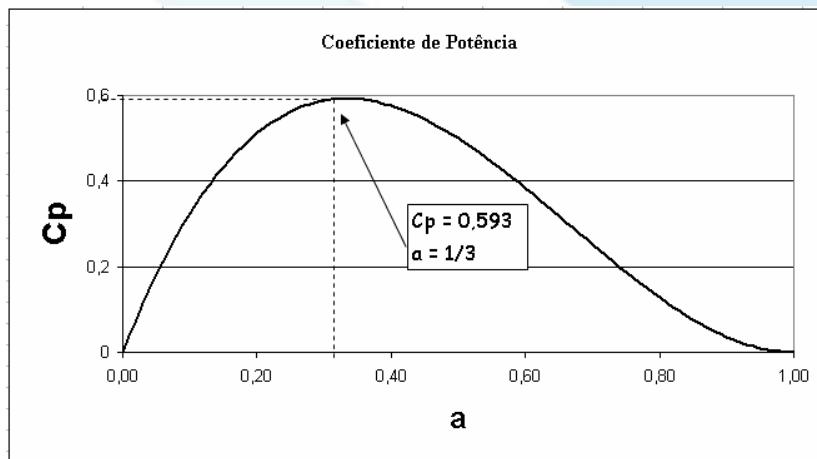
- E pode-se demonstrar que:

$$V_T = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$V_2 = V_1(1 - 2a)$$

- O coef. de potência é calculado como sendo: $c_p = \frac{P_{EX}}{P_V}$
- Substituindo a Potência extraída e a Potência do vento na equação acima, e posteriormente, V_T e V_2 , chega-se a:

$$c_p = 4a(1-a)^2$$



$$c_p = \frac{16}{27} = 0,593$$

DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL

- **Função de Acumulação de Weibull:** $F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{c}\right)^k\right]$
- **F(V) – fração do total de dados que se encontra entre os valores 0 e V**

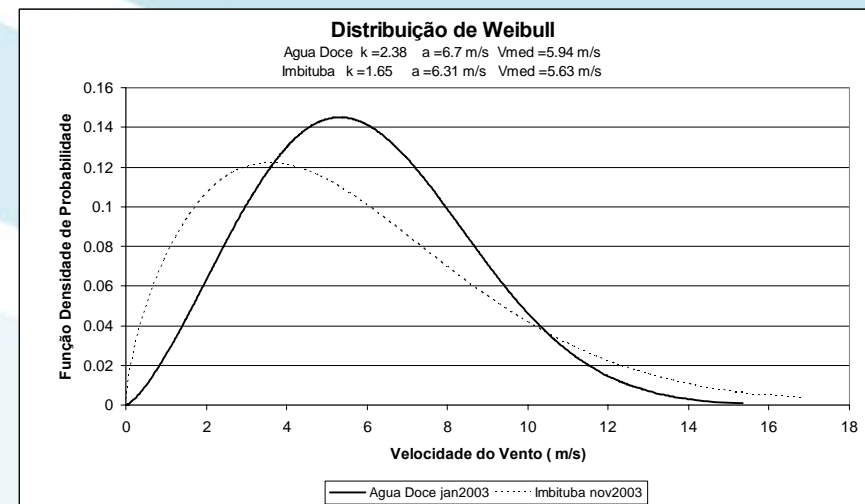
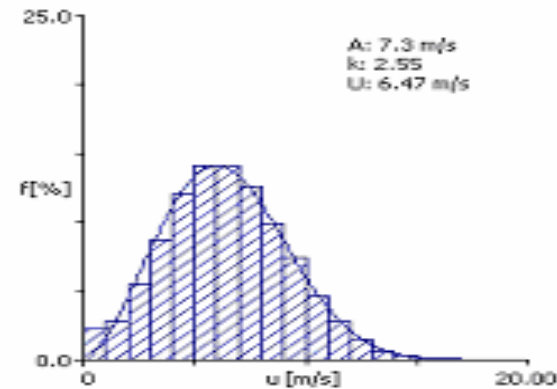
$$F(V) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right]$$

- **Função Densidade de Probabilidade de Weibull:**

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right)\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right]$$

DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL

- k - representa a forma da curva. Expressa a regularidade da velocidade do vento
- c - representa o valor de V abaixo do qual encontra-se 63,2% dos dados



CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL

- **V média do vento através da função densidade de probabilidade:**

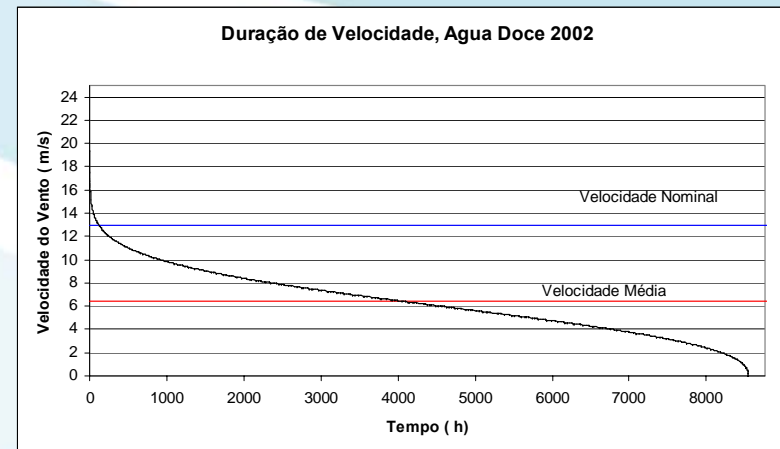
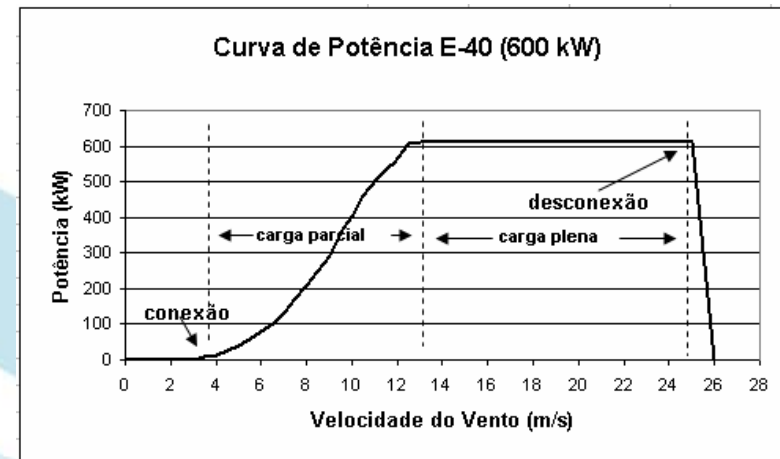
$$\bar{V} = \int_0^{\infty} V f(V) dV$$

- **V média em termos dos parâmetros de Weibull:** $\bar{V} = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$

$$\frac{\bar{V}^3 = c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\bar{V}^3 = \left[c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^3} \longrightarrow \frac{\bar{V}^3}{\bar{V}^3} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right]^3}$$

ENERGIA PRODUZIDA POR UM AEROGERADOR

- Curva de potência de um aerogerador (dados técnicos do fabricante)
- Curva de duração de velocidade de uma localidade (a partir da função de acumulação de Weibull)
- A partir destas duas curvas consegue-se a Curva de duração de potência



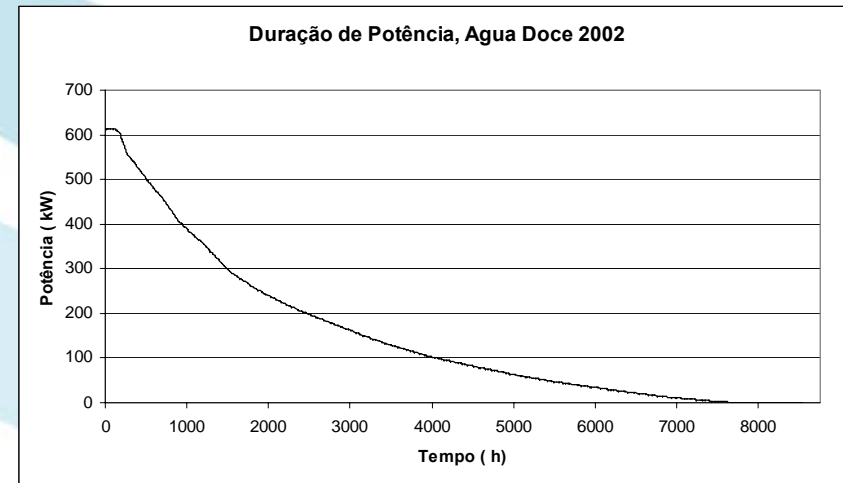
ENERGIA PRODUZIDA POR UM AEROGERADOR



- Curva de duração de potência
- Área abaixo da curva representa a quantidade de Energia que se espera ser gerada pelo aerogerador

$$E_a = \int_0^T P(V) dt$$

$$E_a = T \int_{V_P}^{V_C} P(V) dF(V)$$



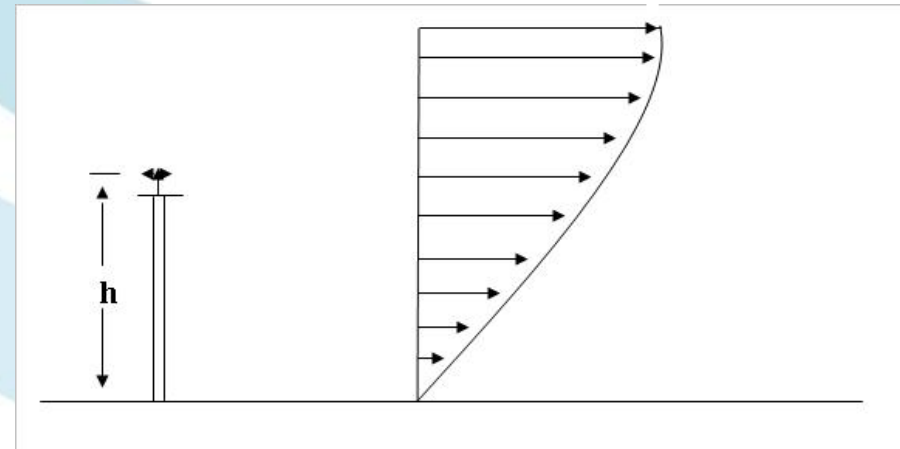
FATOR DE CAPACIDADE

- o FC é definido como:
$$FC = \frac{E_a}{P_N \cdot T}$$

- Pode ser interpretado como o aproveitamento do potencial instalado em um parque ou de um aerogerador
- Para Energia Eólica valores de $FC = 0,30$ são considerados bons

PERFIL DE VELOCIDADES

- Importante para projetos de geração eólica o conhecimento das velocidades em várias alturas diferentes
- Geralmente as medições de velocidades de vento são feitas em apenas uma altura h
- Características do terreno alteram o perfil de velocidades de um local



PERFIL DE VELOCIDADES

- Perfil Logarítmico

$$\frac{V(z)}{V(z_r)} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}$$

- Lei de Potência

$$\frac{V(z)}{V(z_r)} = \left[\frac{z}{z_r}\right]^\alpha$$

$$\alpha = \frac{0,37 - 0,088 \ln V(z_r)}{1 - 0,088 \ln\left(\frac{z_r}{10}\right)}$$

$$\alpha = 0,096 \log(z_0) + 0,016 [\log(z_0)]^2 + 0,24$$

PERFIL DE VELOCIDADES

Rugosidade Superficial, Z_0

- **Diferenças na constituição da superfície do terreno**
- **Z_0 – altura em relação ao solo onde $V_{vento} = 0$**

Tipo de Terreno	Rugosidade (mm)
Gelo	0,01
Mar calmo	0,2
Mar agitado	0,5
Neve	3
Gramma baixa	8
Pasto	10
Campo	30
Plantações	50
Poucas árvores	100
Muitas árvores; Algumas construções	250
Florestas	500
Suburbios	1500
Cidades	3000

Manwell et al (2002)

TURBULÊNCIA

- **Variações no tempo, aleatórias**
- **Período das variações: de segundos até vários anos**
- **Período:**
 - **Anos: Estações do ano**
 - **Dias: movimentação de massas de ar**
 - **Diárias: brisas**
 - **Segundos a alguns minutos: rajadas e turbulência**

TURBULÊNCIA

- **Instabilidades atmosféricas**
- **Obstáculos**
- **Esteiras**
- **Rugosidade superficial**
- **topografia**

INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA

- A turbulência é medida através do valor da Intensidade de Turbulência

$$I_T = \frac{\sigma}{V}$$

- Dados coletados em uma frequência maior que a do fenômeno
Dados coletados na ordem de segundos e médias de no máximo 10 min.

AEROGERADORES

Constituídos basicamente de:

- Turbina ou rotor eólico
- Gerador elétrico
- Sistemas integrados e auxiliares: caixa de engrenagens e sistemas de orientação (pás e nacele)

Tipos de Aero geradores

- Eixo vertical
- Eixo horizontal

AEROGERADORES

Rotor com Eixo Vertical

Vantagens:

- Montagem dos componentes de grande massa – montados no solo
- Não é necessário controle da orientação em relação a V vento

Dois modelos principais:

- Darrieus
- Savonius

AEROGERADORES

ENERGIA EÓLICA

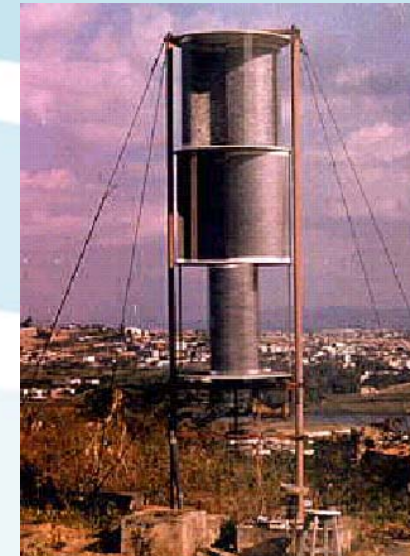
Darrieus – 1931

- Não apresenta torque de partida
- Efeitos de sombra elevados
- Montados próximos ao solo
 - melhor para montagem dos componentes
 - expõe o rotor a baixas V de vento
- Comercialmente: $D = 17\text{ m}$ e $P = 170\text{ kW}$
O maior Darrieus: $D = 64\text{ m}$ e $P = 4,2\text{ MW}$



Savonius – 1922

- Baixo rendimento e rotação reduzida
- Maior uso para bombeamento de água
- Para geração de eletricidade, protótipos de 5 kW para sistemas isolados



AEROGERADORES

Rotor de Eixo Horizontal

- Rotor Multipás
- Rotor Tipo Hélice

Multipás

- Ainda muito utilizados para bombeamento de água
- Solidez elevada (área das pás / área varrida)
- Elevado torque de partida
- N.º pás entre 6 e 24, geralmente
- Rotação baixa
- Pouco utilizado para geração de eletricidade



AEROGERADORES

ENERGIA EÓLICA

Tipo Hélice

- **Consenso entre fabricantes para geração de eletricidade**
- **Considerados rotores rápidos**
- **Dois modelos:**
 - **Rotor a Barlavento (mais usados)**
 - **Rotor a Sotavento**

- **geralmente com 3 pás**
 - **maior estabilidade**
 - **maior rendimento**
 - **menor ruído**



AEROGERADORES

Controle de Potência

- Melhorar o desempenho
- Não exceder a potência do gerador
- Aliviar esforços na estrutura e componentes devido a V vento elevadas

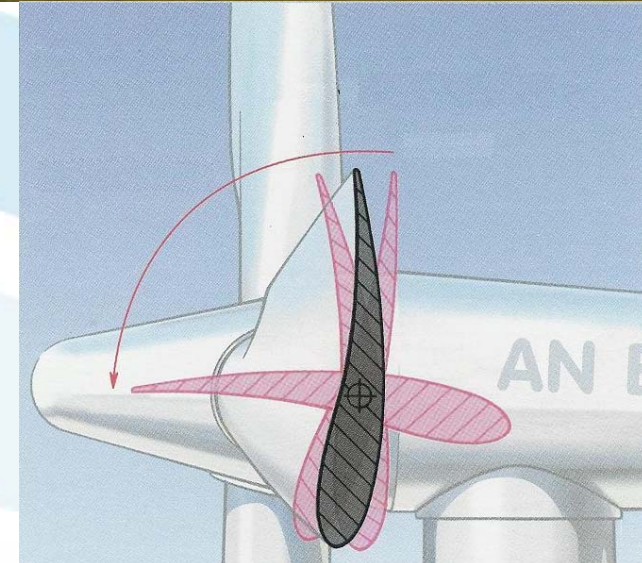
Tipo de controle

- Passivo (stall)
- Ativo (pitch)

Sistema de Orientação

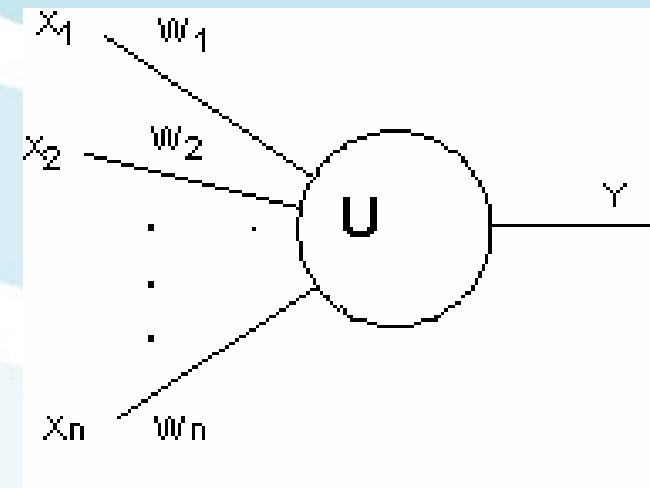
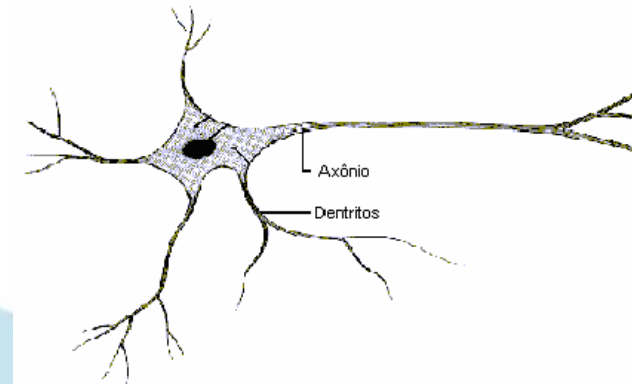
- Rotação da ordem de $0,5^\circ / s$

ENERGIA EÓLICA



REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

- As RNAs foram desenvolvidas baseadas nas estruturas neurais biológicas
- Tem a capacidade de aprender através de exemplos (treinamento das RNAs)
- Camadas de Entrada: recebe os padrões de entrada, x
- Pesos: parâmetros ajustáveis a fim de melhorar a resposta, w
- Backpropagation
- forma de aprendizado supervisionada



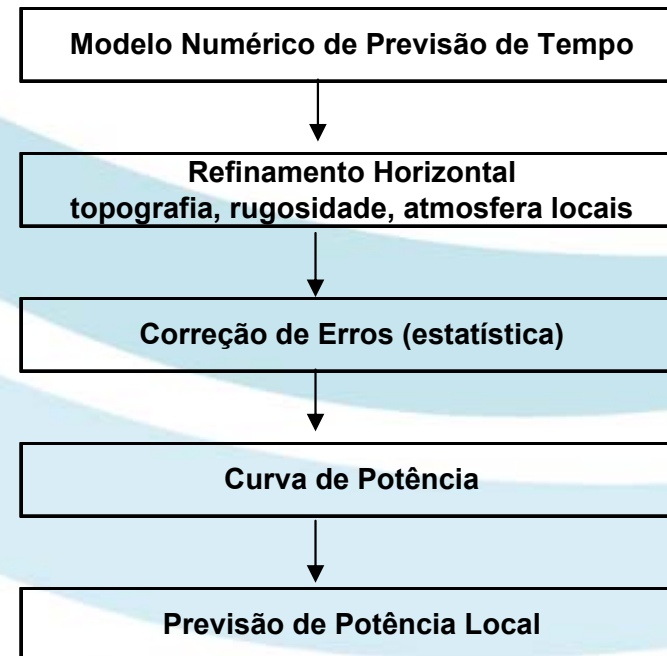
PREVISÃO EÓLICA

Problema da geração eólica:

- Inconstância da produção
- Incerteza da produção
- Com o aumento da contribuição da energia eólica na rede elétrica torna-se fundamental um melhor conhecimento da oferta de energia (Previsão de Geração)
- Geração eólica < Valor estimado = outra fonte deve suprir a falta de energia
- Geração eólica > Valor estimado
 - Vento não pode ser controlado nem armazenado
 - Reduz a demanda de fontes convencionais, já contratadas

PREVISÃO EÓLICA

- **Sistemas de previsão eólica – baseiam-se em resultados de um Sistema Numérico de Previsão de Tempo (NWP).**
- **Os NWP baseiam-se nas equações da mecânica dos fluidos e condições iniciais fornecidas, baseadas nas características da atmosfera**
- **A principal parcela do erro de uma previsão eólica de curto prazo vem do erro do modelo NWP adotado**



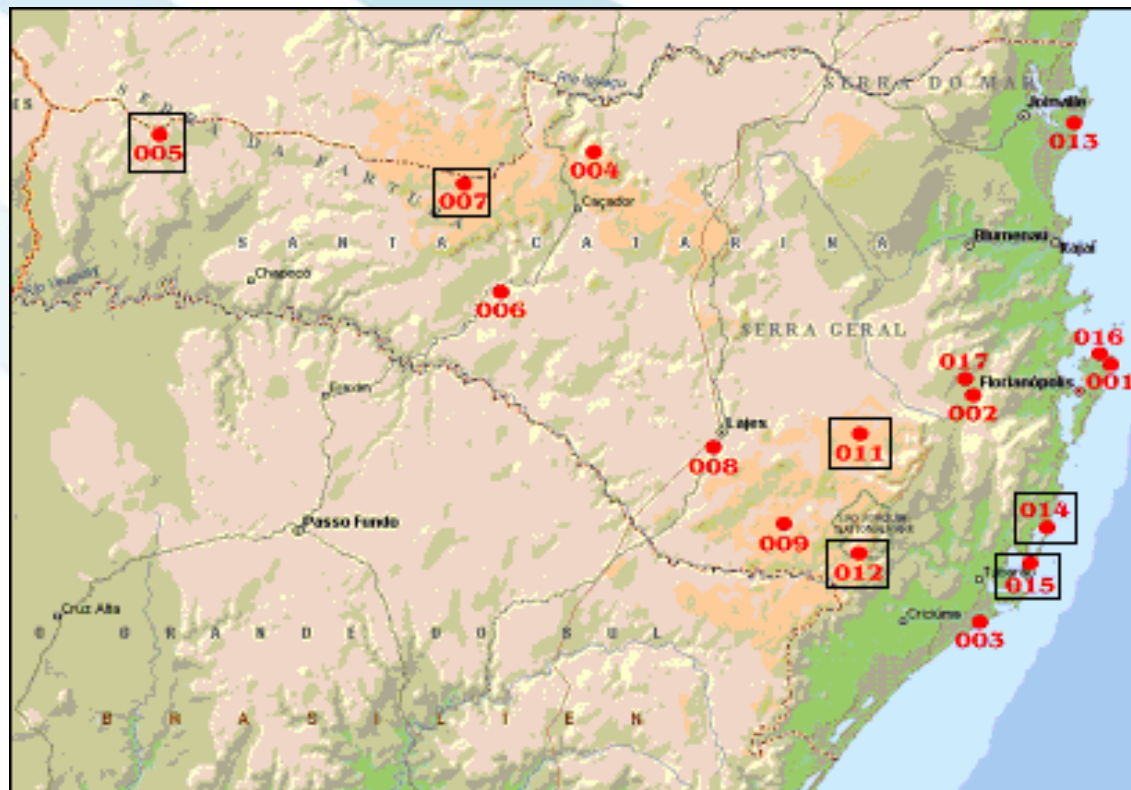
MODELO ETA – CPTEC / INPE

- **Modelo de mesoescala**
- **Resolução 40 km x 40 km**
- **38 camadas verticais**
- **Cobre a maior parte da América do Sul**
- **Condição inicial: previsão de 12h do modelo global do CPTEC (100 km x 100 km)**

- **O modelo Eta é rodado 2 vezes ao dia, as 00h e 12h (GMT)**
- **Gera previsões para 6 até 72h**
- **Intervalo de 6h entre as previsões**

DADOS EÓLICOS DE SANTA CATARINA

- Labsolar – Celesc coletaram dados em 16 estações anemométricas no Estado



DADOS EÓLICOS DE SANTA CATARINA

Foram instalados:

- 2 anemômetros da marca / modelo NRG 40, 3 conchas
- Sistema de aquisição Data Logger NRG 9200-plus, que armazenava dados de:
 - velocidade média
 - ângulo da direção média
 - respectivos desvios padrão
- Eram armazenados valores médios de um período de 10 min, calculados a partir de dados coletados a cada 2s. Períodos adequados ao estudo do potencial eólico
- Os anemômetros foram instalados a 30 m e 48 m acima do solo, com algumas exceções (Campo Erê: 20 e 30m, Rancho Queimado: 36m, Florianópolis: 25m)
- Verificara-se falhas na coleta dos dados, caracterizadas por seqüências de dados com valores 0 ou 97,3 m. Estas séries foram retiradas, o que explica em parte não haver séries completas de dados para alguns anos e localidades

DIREÇÃO DOS VENTOS

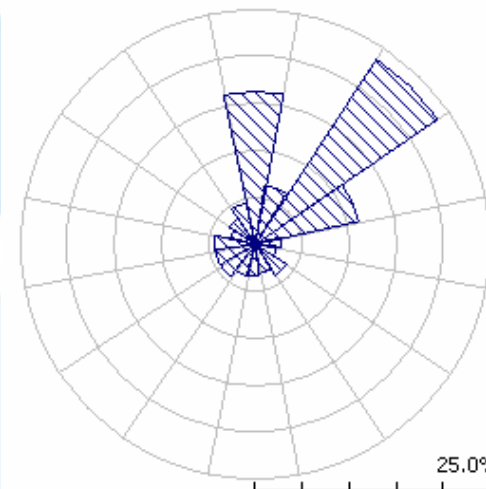
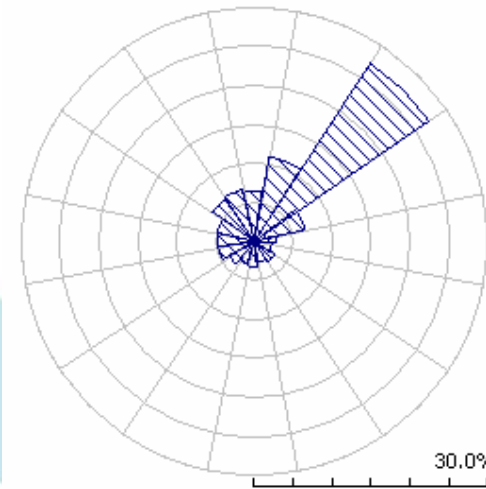
Água Doce

- Predomina ventos de NE
- 25 – 30%

Exemplos:

- 2002 (97% de dados)
- 1999 (72% de dados)

Em 1999, verifica-se 15% de dados na direção N, o que não se repete nos outros anos

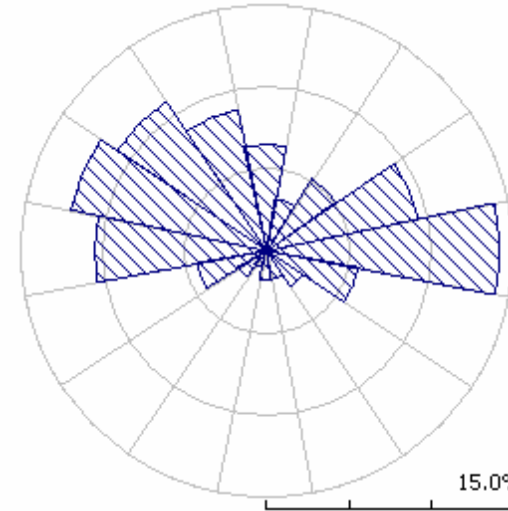


DIREÇÃO DOS VENTOS

Bom Jardim da Serra

- Direções de incidência dos ventos bastante variadas

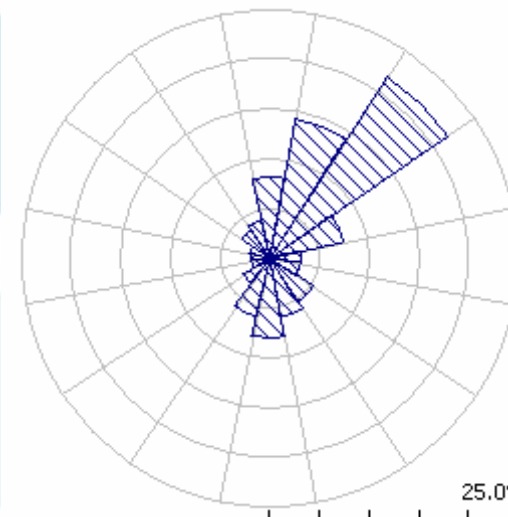
Exemplo: 2001 (98% de dados)



Campo Erê

- Direção predominante: NE
- 20 – 25%

Exemplo: 2000 (100% de dados)



DIREÇÃO DOS VENTOS

Imbituba

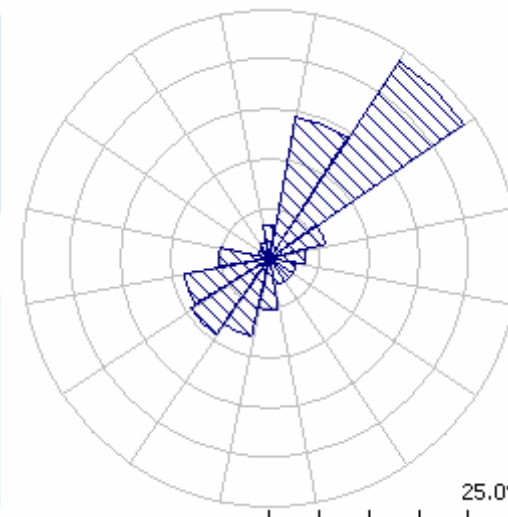
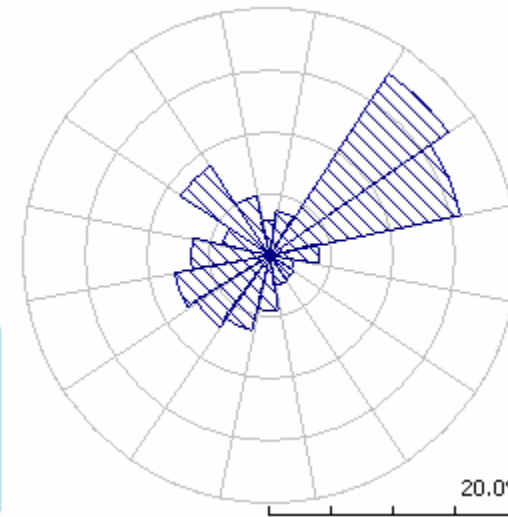
- **Direção preferencial: NE – ENE**
- **Em torno de 30%**

Exemplo: 2000 (100% de dados)

Laguna

- **Direção preferencial: NE**
- **25%**

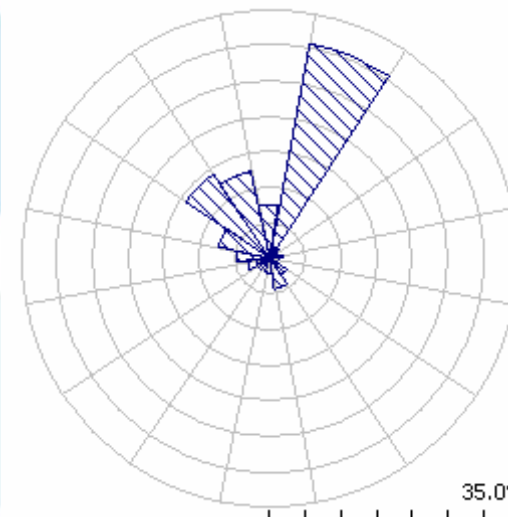
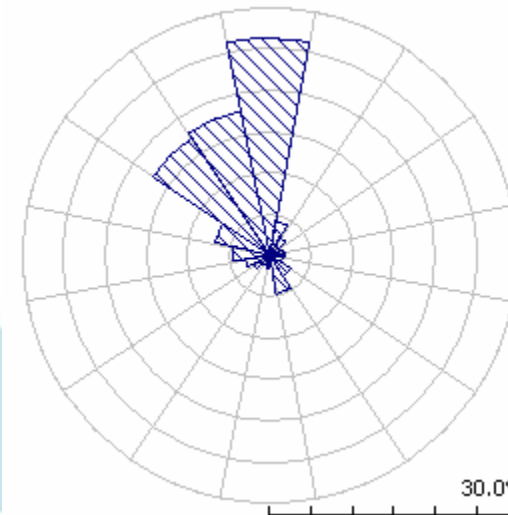
Exemplo: 2000 (100% de dados)



DIREÇÃO DOS VENTOS

Urubici

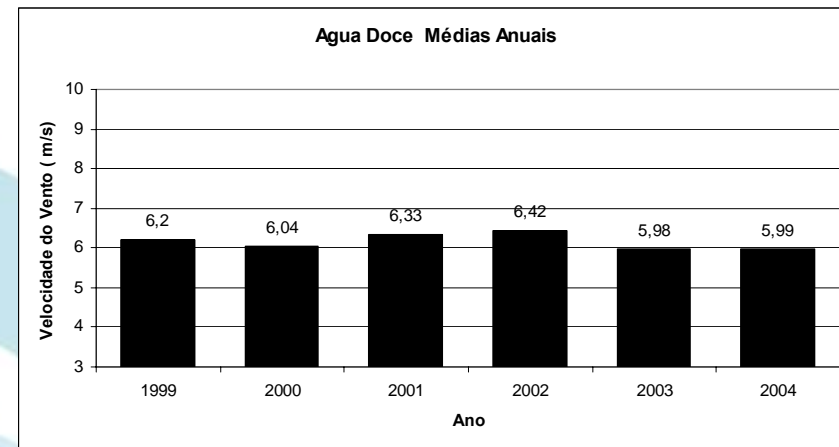
- **Direção preferencial:**
- **2002 (97% de dados) – N**
- **Mais de 25%**
- **2003 (95% de dados) – NNE**
- **30%**



VELOCIDADE DO VENTO

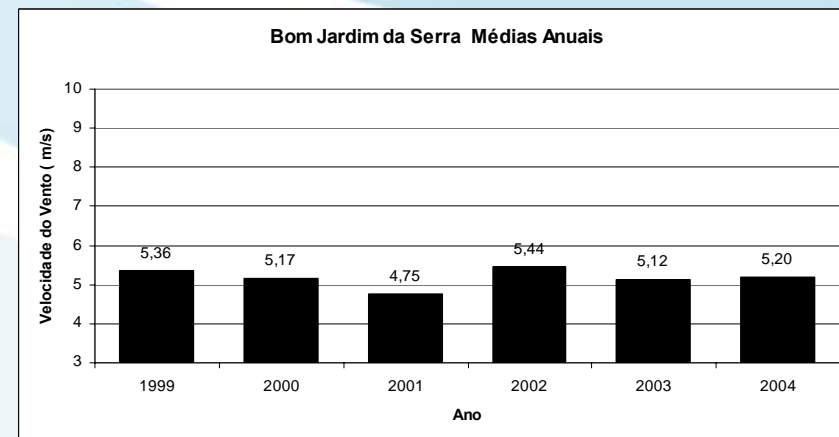
Água Doce

- Média no período: 6,24 m/s
(anos com mais de 80% dos dados)



Bom Jardim da Serra

- Média no período: 4,96 m/s



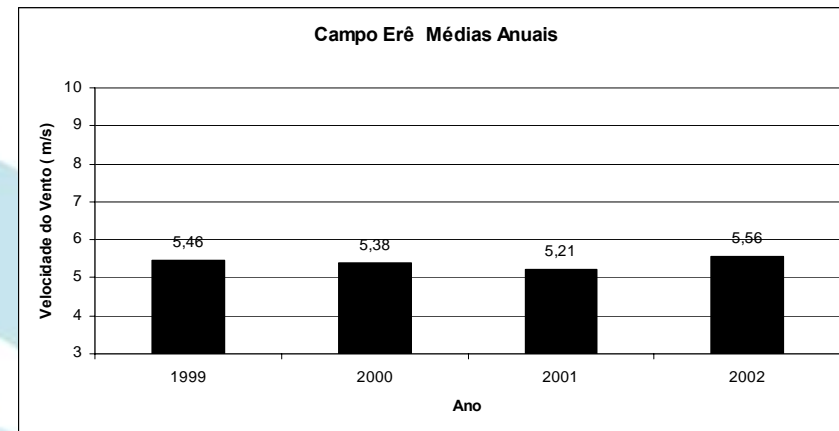
VELOCIDADE DO VENTO

Campo Erê

- Média no período: 5,4 m/s*

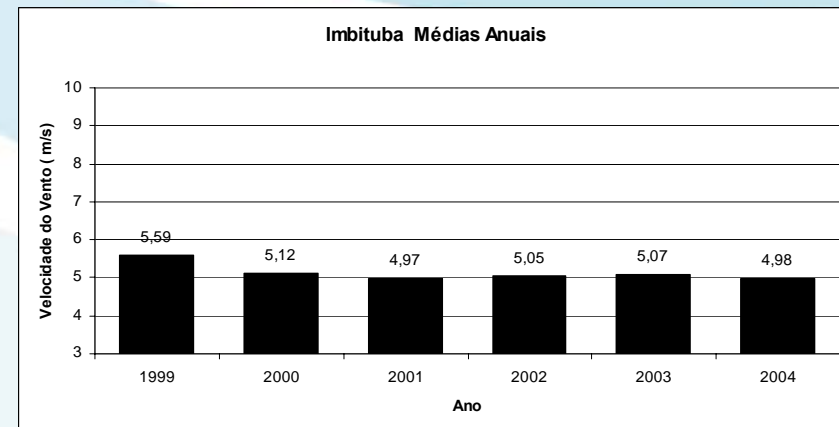
*Dados para h = 30 m.

Comparando as V vento a 30 m e 48 m para Água Doce, Imbituba e Urubici, verifica-se diferenças de 4 – 9 %. Resultando em V vento para Campo Erê a 48 m de 5,62 – 5,87 m/s



Imbituba

- Média no período: 5,05 m/s



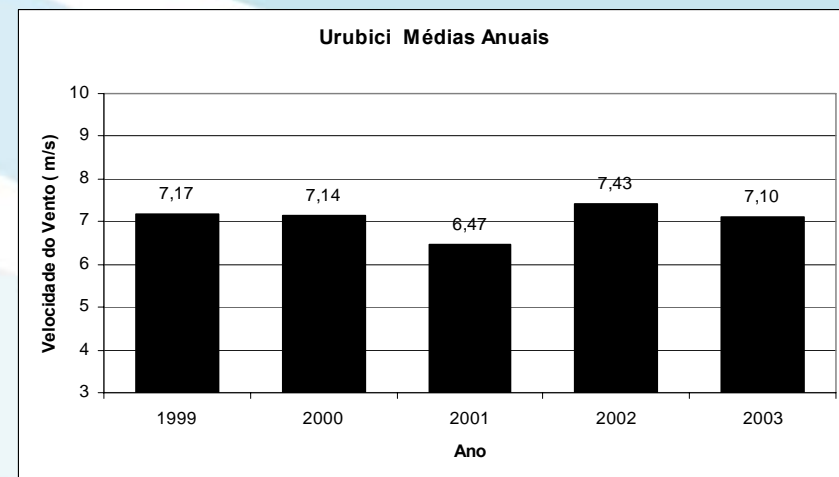
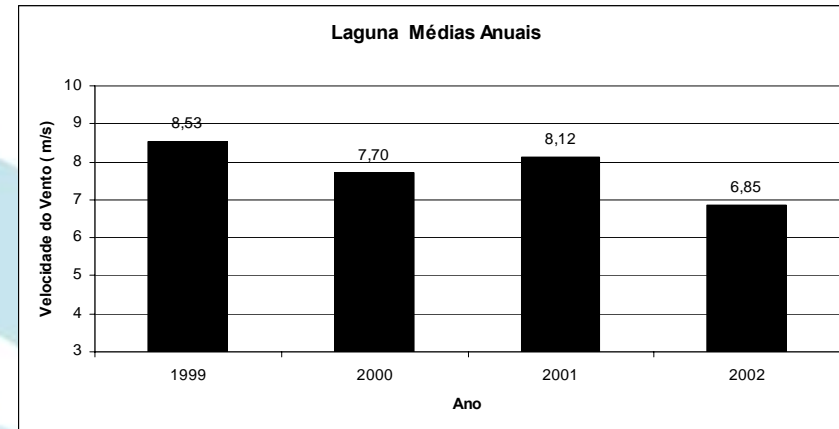
VELOCIDADE DO VENTO

Laguna

- Média no período: 7,91 m/s

Urubici

- Média no período: 7,22 m/s



INTENSIDADE DE TURBULÊNCIA

- Maiores valores em Bom Jardim da Serra (média = 0,22) e Imbituba (média = 0,20)
- Menor valor para Laguna (média 0,12)
- Resultado fora do padrão da localidade em Água Doce no ano de 1999
- Os valores encontrados em B. J. da Serra e Imbituba, são considerados altos

Intensidade de Turbulência - Médias Anuais						
	Água Doce	B.J.da Serra	Imbituba	Laguna	Campo Erê	Urubici
1999 (σ [τ])	0,48 (1,60)	0,23 (0,43)	0,19 (0,36)	0,10 (0,25)	0,15 (0,22)	0,15 (0,25)
2000 (σ [τ])	0,18 (0,92)	0,21 (0,38)	0,20 (0,38)	0,12 (0,31)	0,16 (0,27)	0,16 (0,29)
2001 (σ [τ])	0,15 (0,32)	0,23 (0,44)	0,21 (0,37)	0,12 (0,27)	0,17 (0,28)	0,17 (0,28)
2002 (σ [τ])	0,14 (0,27)	0,23 (0,41)	0,21 (0,36)	0,15 (0,35)	0,17 (0,29)	0,15 (0,26)
2003 (σ [τ])	0,14 (0,23)	0,19 (0,34)	0,19 (0,30)	-	-	-
2004 (σ [τ])	0,14 (0,22)	-	-	-	-	-

PARÂMETROS DE WEIBULL

- Os valores de k para SC não indicam boa regularidade.
- Os maiores valores são inferiores a 2,5
- No litoral do Ceará são encontrados valores superiores a 4

Localidade	V (m/s)	k	c (m/s)
Água Doce	6,24	2,44	7,04
Bom Jardim da Serra	4,96	1,66	5,54
Imbituba	5,05	1,74	5,67
Laguna	7,91	1,78	8,89
Campo Erê	5,4	2,34	6,09
Urubici	7,22	1,84	8,13

Valores médios para os anos com mais de 80% de dados disponíveis

DENSIDADE DE POTÊNCIA

- Calculada através de: $\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^3 K_c$
- Ruim se $< 100 \text{ W / m}^2$
- Bom se $100 < P/A < 400 \text{ W / m}^2$
- Ótimo se $> 400 \text{ W / m}^2$

Densidade de Potência (W / m ²)						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Água Doce (1,08)*	228,60	187,30	220,70	226,00	185,70	193,50
Bom Jardim da Serra (1,06)*	180,80	177,00	130,00	196,50	164,70	180,10
Campo Erê (1,11)*	147,00	142,20	131,70	161,80	-	-
Imbituba (1,2)*	214,60	174,40	167,00	174,00	173,30	
Laguna (1,2)*	694,60	579,80	716,90	437,20	-	-
Urubici (1,03)*	375,40	410,70	292,20	426,50	375,40	-

* massa específica do ar, (kg / m³)

FATOR DE CAPACIDADE

- $FC \geq 0,25$ aceitável
- $FC \geq 0,30$ bom
- FC médio na Alemanha = 0,23
- FC médio em SC a partir dos sítios estudados = 0,24
- No litoral dos estados do CE e RN são encontrados valores de FC em torno de 0,40

Sítio	FC
Água Doce	0,23
Bom Jardim da Serra	0,16
Imbituba	0,16
Laguna	0,4
Campo Erê	0,16
Urubici	0,34

*calculados a partir da curva de potência de um aerogerador Wobben E-40 de 600 kW

MÉDIAS PARA SANTA CATARINA

Localidade	V (m/s)	Dens. Pot. (W/m ²)	k	FC	Potência (kW)
Água Doce	6,24	210,80	2,44	0,24	141,20
Bom Jardim da Serra	4,96	153,50	1,67	0,16	94,75
Imbituba	5,05	172,18	1,74	0,16	96,77
Campo Erê	5,40	145,68	2,34	0,16	96,27
Laguna	7,91	648,35	1,78	0,40	237,53
Urubici	7,22	404,20	1,84	0,34	205,96

Valores para anos com mais de 80% dos dados disponíveis

Velocidade	6 m/s
Densidade de potência	262 W / m ²
Fator de forma, k	2
Fator de Capacidade, FC	0,23
Potência	137,7 kW

- Curva de potência do E-40 / 600 kW
- Médias para cada localidade a partir dos anos com mais de 80% de dados
- Médias para SC a partir das médias de cada localidade

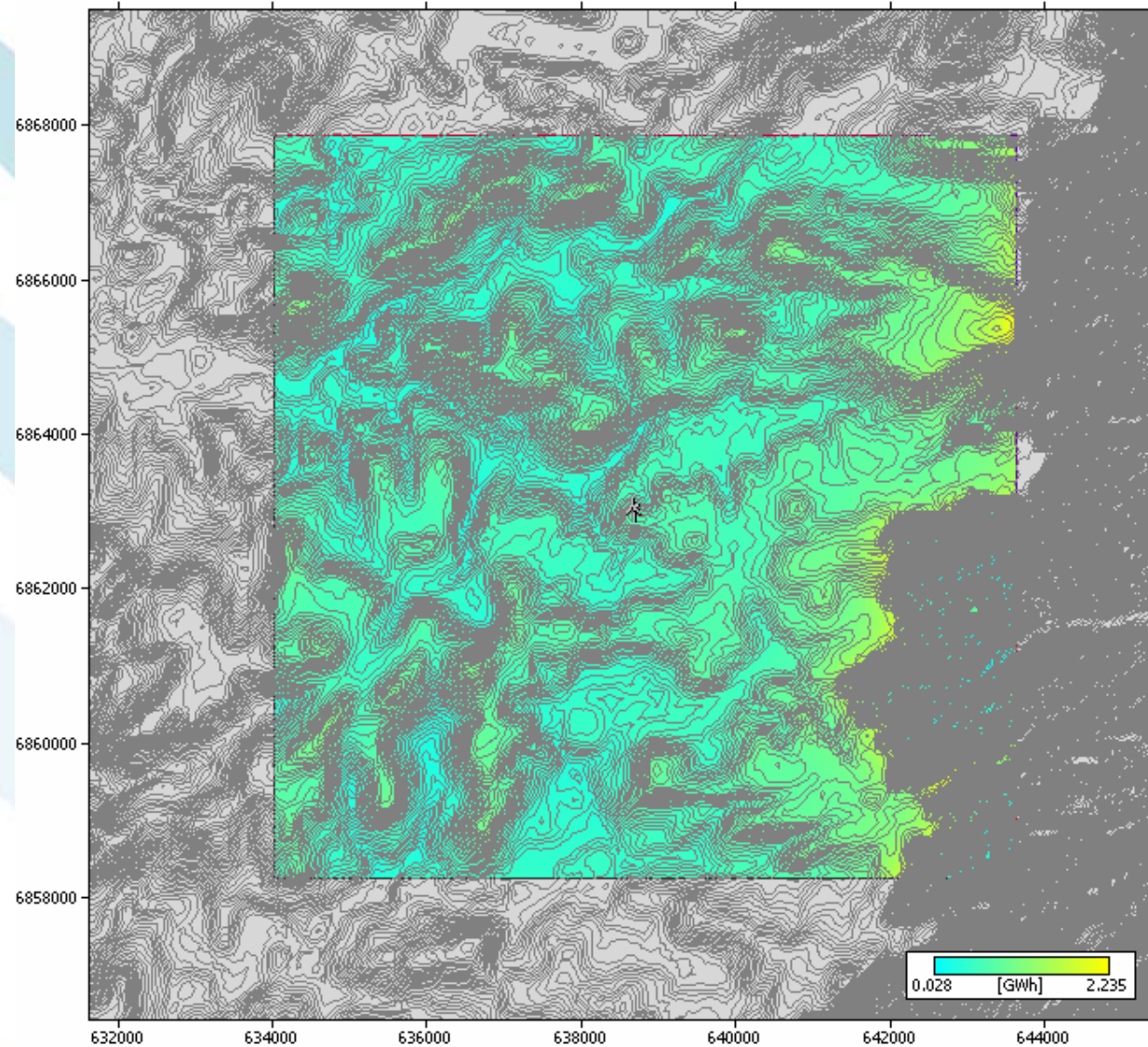
POTENCIAL EÓLICO PARA SANTA CATARINA

- Resultados do estudo feito através do programa WAsP para seis localidades de Estado de SC
- Com o WAsP é possível que se façam extrapolações, tanto verticais quanto horizontais dos dados sobre um mapa topográfico da região
- Não foram feitos os estudos necessários para caracterização da rugosidade superficial e obstáculos
- Para cada sítio foram feitas estimativas para três tamanhos de aerogeradores:
 - 600 kW
 - 800 kW
 - 2000 kW
- São apresentados mapas do potencial eólico, estimados a partir da posição da torre anemométrica, para uma área de 10 x 10 km

MAPA DE RECURSOS EÓLICOS: BOM JARDIM DA SERRA

ENERGIA EÓLICA

- Resultados para aerogerador com potência de 600 kW
- Mapa 20 x 20 km
- Simulação 10 x 10 km
- FC max = 0,42
- FC na torre = 0,14 – 0,17



RECURSOS EÓLICOS

• Água Doce

	Altitude (m)	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
Média	1202,3	5,81	2,48	6,5	193	1018	0,194
Mínimo	1064,5	4,78	2,25	5,4	107	559	0,106
Máximo	1300	7,01	2,51	7,9	334	1650	0,314

• Bom Jardim da Serra

	Altitude (m)	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
Média	1349,3	4,54	1,7	5,1	142	664	0,126
Mínimo	582	1,76	1,25	1,9	10	28	0,005
Máximo	1563,5	8,57	1,8	9,5	978	2235	0,425

• Imbituba

	Altitude (m)	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
Média	20,5	5,34	1,86	6	193	945	0,180
Mínimo	0	4,73	1,73	5,3	125	644	0,123
Máximo	139,6	7,28	2,06	8,2	482	1835	0,349

• Campo Erê

	Altitude (m)	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
Média	888,1	5,69	2,51	6,4	178	950	0,181
Mínimo	780,3	4,19	2,22	4,7	69	336	0,064
Máximo	945	7,02	2,63	7,9	339	1660	0,316

• Laguna

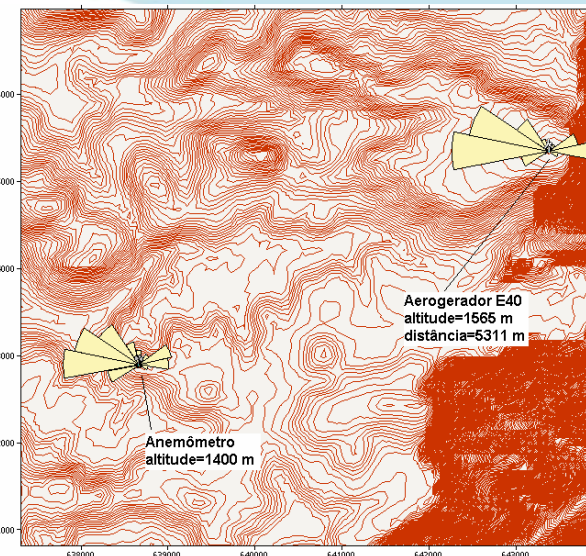
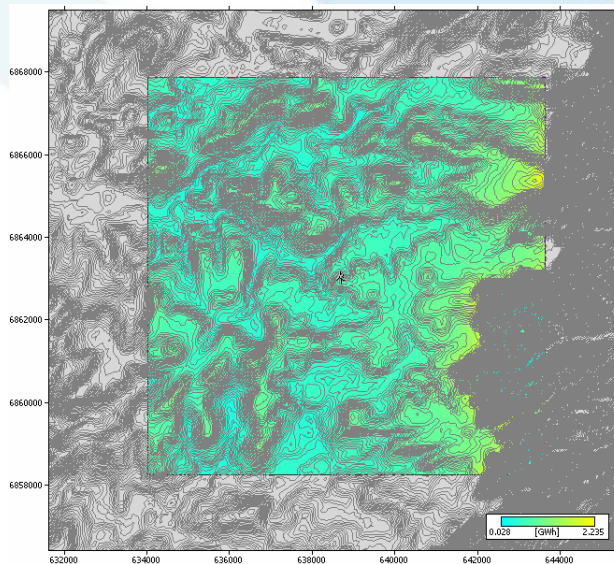
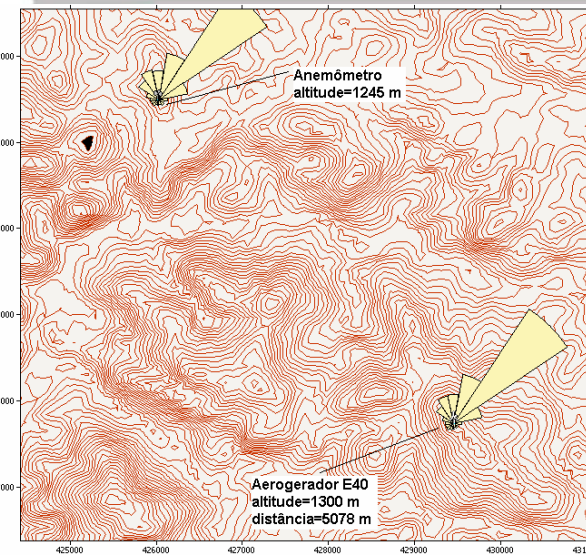
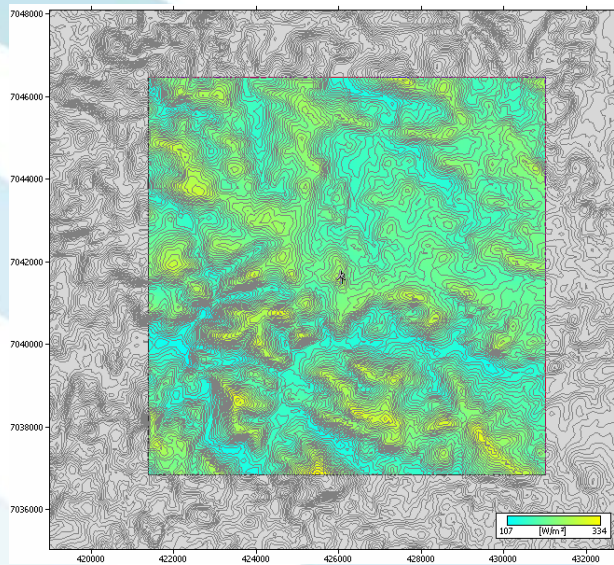
	Altitude (m)	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
Média	6	7,3	1,92	8,2	476	1842	0,350
Mínimo	-0,9	6,34	1,81	7,2	290	1373	0,261
Máximo	120	9,53	2,08	10,8	1035	2725	0,518

• Urubici

	Altitude (m)	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
Média	1545,4	5,84	1,76	6,6	316	1204	0,229
Mínimo	684,5	0,38	1,06	0,4	0	0	0,000
Máximo	1800,4	11,74	1,89	13,1	2440	2868	0,546

AEROGERADOR INSTALADO EM LOCAL DE MELHOR RECURSO EÓLICO

ENERGIA EÓLICA



AEROGERADOR INSTALADO EM LOCAL DE MELHOR RECURSO EÓLICO

- Estimativas de:
- Aprox. 15% de aumento de geração

Água Doce 2002						
	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
1	6,45	2,49	7,3	261	1359	0,259
2	6,82	2,47	7,7	310	1568	0,298

1 - Aerogerador posicionado junto ao anemômetro altitude = 1245 m
2 - Aerogerador posicionado 5078 m de distância do anemômetro altitude = 1300 m

- Aprox. 130% de aumento de geração

Bom Jardim da Serra 2001						
	V médio (m/s)	k	c (m/s)	P/A (W/m ²)	Ea (MWh)	FC
1	4,85	1,76	5,5	153	721,12	0,137
2	7,04	1,7	7,9	492	1667	0,317

1 - Aerogerador posicionado junto ao anemômetro altitude = 1400 m
2 - Aerogerador posicionado 5311 m de distância do anemômetro altitude = 1565 m

ESTIMATIVAS COM AEROGERADORES DE MAIOR POTÊNCIA NOMINAL

- Estimativas com tamanhos diferentes de AGs,
- Posição = torre anemométrica

Localidade	P _N (kW), h (m)	FC	E _a (MWh)
Água Doce	600, 48	0,23	1202
	800, 70	0,28	1991
	2000, 113	0,32	5615
Bom Jardim da Serra	600, 48	0,16	867
	800, 70	0,2	1414
	2000, 113	0,22	3853
Imbituba	600, 48	0,17	914
	800, 70	0,23	1617
	2000, 113	0,28	4824
Laguna	600, 48	0,4	2107
	800, 70	0,45	3151
	2000, 113	0,48	8433
Campo Erê	600, 48	0,2	1075
	800, 70	0,27	1879
	2000, 113	0,32	5537
Urubici	600, 48	0,32	1685
	800, 70	0,36	2519
	2000, 113	0,38	6623

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM O WASP COM OS CALCULADOS

Velocidade média

- 0,31 – 2,75 %
- Maior média: Urubici, 1,43%

Fator de forma, k

- 0,49 – 8,05 %
- Maior média: Urubici 3,98%

Fator de escala, c

- 0,15 – 2,56 %
- Maior média: B. J. da Serra 1,44%

Densidade de Potência

- Maior média: B. J. da Serra 3,8%

Energia anual estimada

- Maior média: Imbituba 7%

Porém, Laguna em segundo lugar com 3,5%

DADOS DE GERAÇÃO DAS USINAS EÓLICAS DE SANTA CATARINA

ENERGIA EÓLICA

- Usina Eólica de Bom Jardim da Serra
- Usina Eólica do Horizonte
- Dados de Potência, em intervalos de 5 min

Foram calculados:

- Energia
- Potência média
- FC

- Os valores de geração foram comparados as estimativas apresentadas anteriormente

- Os valores para Água Doce são referentes aos 8 aerogeradores. O valor da produção individual não está disponível

- Pode ser de grande influência nos resultados a pequena quantidade de dados para comparação

DADOS DE GERAÇÃO DAS USINAS EÓLICAS DE SANTA CATARINA

- Valores relativamente coerentes
- Dados de geração comprovam as estimativas
- Pmédia calculada = aprox. 140 kW
- Pmédio medido = aprox. 140 – 150 kW
- FC médio calculado = 0,23
- FC dados medidos = 0,23 – 0,25
- valores aceitáveis para a Usina Eólica do Horizonte

Valores calculados a partir dos dados anemométricos CELESC			
	Potência Média (kW)	FC	Qtde de Dados *
2000	128,93	0,21	0,64
2001	146,64	0,24	0,86
2002	151,07	0,25	0,97
2003	125,9	0,21	0,85
2004	119,7	0,2	0,47
Valores calculados a partir dos dados de geração da Usina Eólica do Horizonte			
	Potência Média (kW)	FC	Qtde de Dados *
2004	1213,4 **	0,25	0,72
	151,7 ***		
2005	1119,7 **	0,23	0,49
	139,9 ***		
* fração do ano com dados disponíveis			
** potência para 8 aerogeradores *** valor médio por aerogerador			

DADOS DE GERAÇÃO DAS USINAS EÓLICAS DE SANTA CATARINA

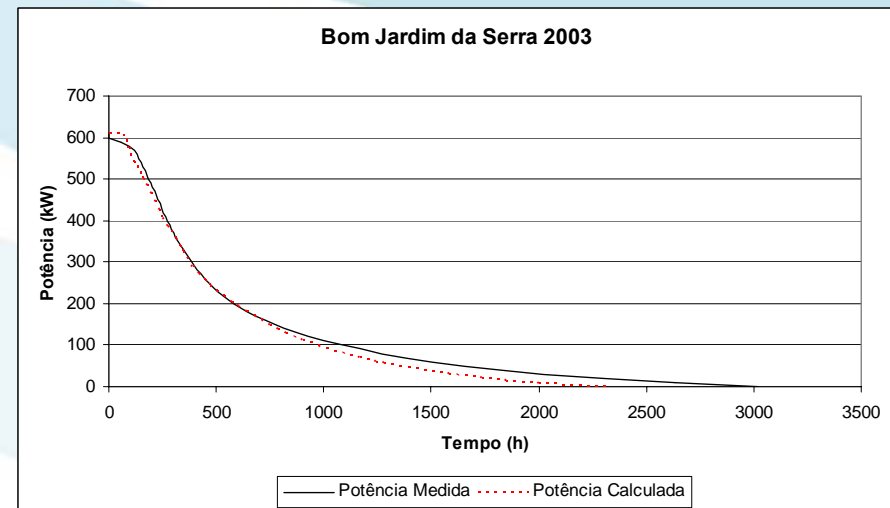
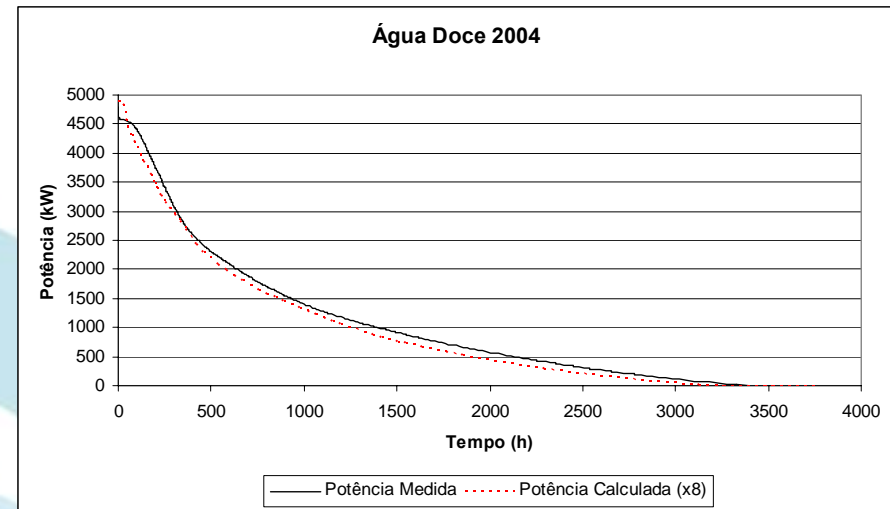
- Valores relativamente coerentes
- Dados de geração comprovam as estimativas
- Pmédia calculada = aprox. 102 kW
- Pmédio medido = aprox. 74 – 135 kW
- FC médio calculado = 0,16 – 0,17
- FC dados medidos = 0,17 – 0,18
- Baixo desempenho da Usina Eólica de B. J. da Serra

Valores calculados a partir dos dados anemométricos CELESC			
	Potência Média (kW)	FC	Qtde de Dados *
2000	106,01	0,18	0,84
2001	83,49	0,14	0,98
2002	118,13	0,2	0,63
2003	101,56	0,17	0,69
Valores calculados a partir dos dados de geração da Usina Eólica de B. J. da Serra			
	Potência Média (kW)	FC	Qtde de Dados *
2002	135,1	0,22	0,47
2003	108,6	0,18	0,84
2004	85,2	0,14	0,67
2005	74,8	0,12	0,33

* fração do ano com dados disponíveis

DADOS DE GERAÇÃO DAS USINAS EÓLICAS DE SANTA CATARINA

- Curvas de duração de potência para dados calculados e medidos
- Foram separados os dados para os períodos coincidentes
- Água Doce 2004
 - 3700 h de dados coincidentes
- Bom Jardim da Serra 2003
 - 3300 h de dados coincidentes



PREVISÃO DE VENTOS PARA GERAÇÃO EÓLICA

ENERGIA EÓLICA

Dados utilizados: Modelo Eta

- Velocidade do vento (componentes)
- Rugosidade superficial
- Pressão

- Dados Eta: 40 x 40 km, resolução >> área ocupada por um parque eólico
- Alturas das camadas Eta

- Foram utilizados os dados medidos Celesc (30 e 48 m) para validar as correlações para o perfil de velocidades

Desta forma:

- A partir dos dados medidos a 30 m, e cada uma das correlações, foram calculados os valores correspondentes a 48 m, e estes comparados com os medidos a 48 m

- Para as equações onde é necessário o valor da rugosidade superficial, foi adotado o valor de 0,03 m

PREVISÃO DE VENTOS PARA GERAÇÃO EÓLICA

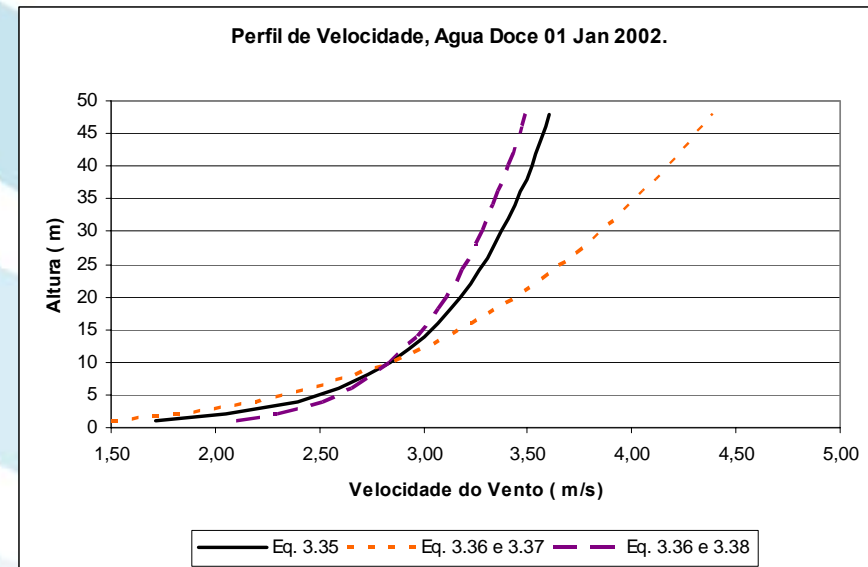


Perfil Logarítmico e Lei de Potência (quando o expoente depende da rugosidade)

- Melhores resultados. RMSE médio em torno de 0,06
- Resultados semelhantes entre os dois perfis

Lei de Potência (quando o expoente não leva em consideração a rugosidade)

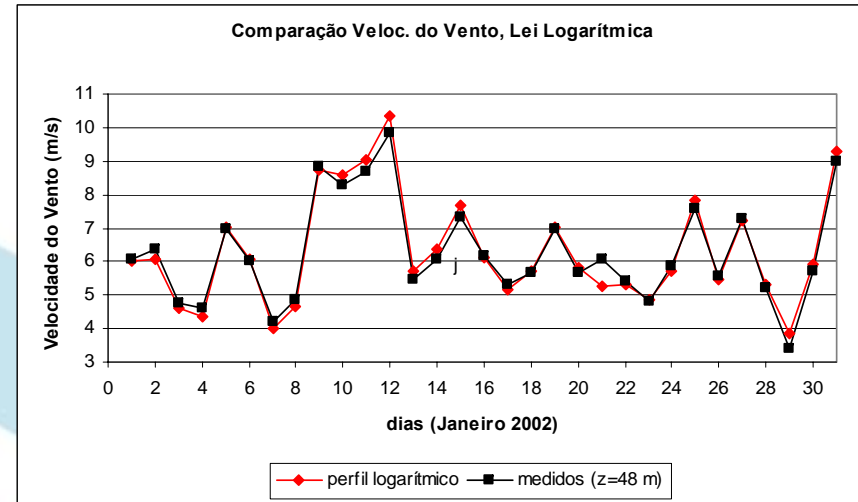
- RMSE bem maior que nos casos anteriores. RMSE em torno de 0,16



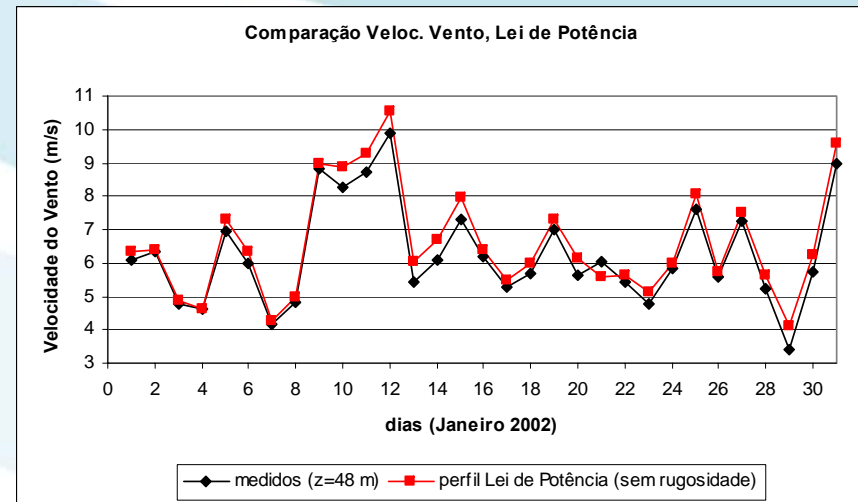
PREVISÃO DE VENTOS PARA GERAÇÃO EÓLICA



- Perfil Logarítmico

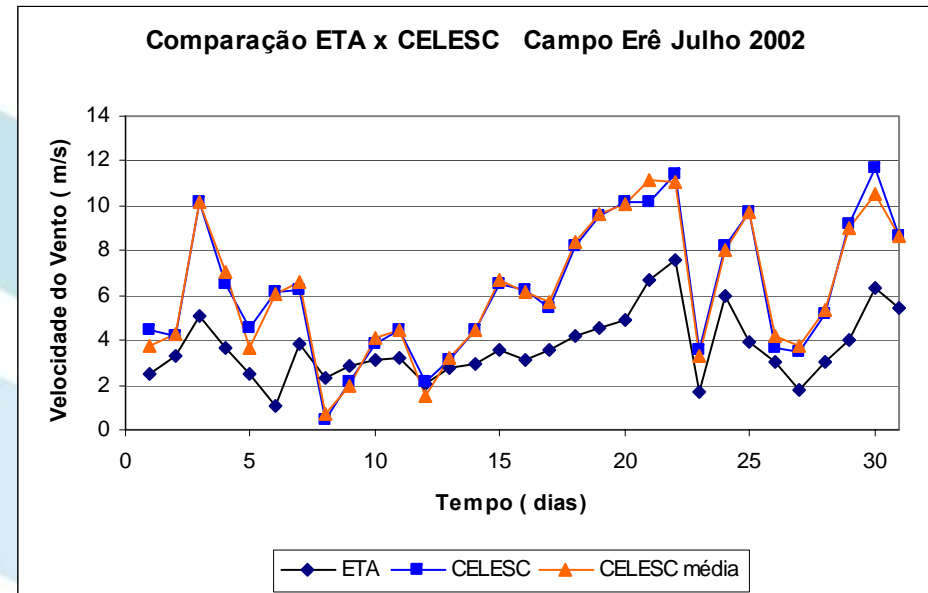


- Lei de Potência
- Expoente não dependente da rugosidade superficial



COMPARAÇÃO ENTRE DADOS ETA E CELESC

- Água Doce, Imbituba e Campo Erê
- Eta 1.º camada (10 m), 1.º rodada
previsão de 6h (3h Hor. Brasília)
- Celesc: h = 48 m, Campo Erê 30 m
- dado Celesc e Eta mesmo horário
- dado Celesc média de 1h
- Previsão Eta acompanha bem a tendência das
medições
- Dado Celesc x Celesc média 1h: Diminuição no
RMSE anual de no máx. 6%.
Valores muito próximos (ver gráfico)
- Dados Celesc x Eta: grandes diferenças
RMSE médio anual bastante elevado
Diferença em relação ao dado medido:
Água Doce: 46%
Campo Erê: 36%
Imbituba: 17%



DADOS ETA CORRIGIDOS

- Correção feita a partir do perfil de velocidades. Calculando valor Eta para 48 m
- Perfil escolhido: Perfil Logarítmico, em função dos resultados apresentados
- Rugosidade Superficial:
 - Zo valor Eta (A. Doce, C. Erê e Imbituba)
 - Zo = 0,03 m (A. Doce e C. Erê)
 - Zo = valor Eta e Zo = 0,03 m (A. Doce e C. Erê)

Localidade	Zo (m)
Água Doce	0,2179
Campo Erê	0,1700
Imbituba	0,0175

Não foram feitos os demais testes para Imbituba por ser a rugosidade Eta próxima ao valor esperado para o tipo de terreno. Já os valores para Água Doce e Campo Erê são bem acima do esperado.

DADOS ETA CORRIGIDOS

Com Rugosidade Eta:

- Significativa aproximação dos valores de V média anual
- Água Doce: 23% (46%)
- Campo Erê: 18% (36%)
- Imbituba: 5% para 2002, porém, para o ano de 2003 quase 50% (17%)
- Em termos de RMSE, este foi o procedimento que apresentou os menores valores (exceto Imbituba)
- Os valores de RMSE ainda são bem altos: em torno de 2,5 m/s

Rugosidade = 0,03 m

- Resultados piores que no caso anterior
- Água Doce: 31%
- Campo Erê: 23%

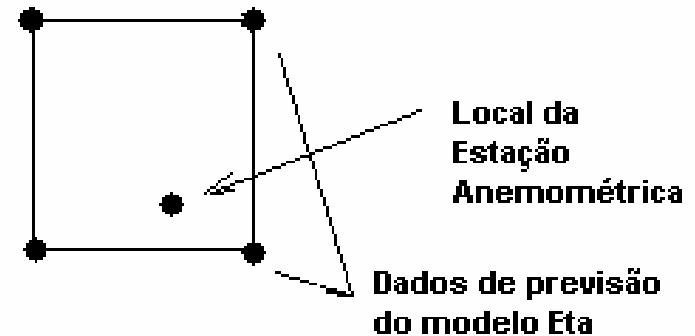
Rugosidade Eta em conjunto com $Z_0 = 0,03$ m

- onde se conseguiu as menores diferenças entre o valor Eta corrigido e as medições
- Água Doce: 10%
- Campo Erê: 9%

PREVISÃO EÓLICA COM USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS

ENERGIA EÓLICA

- Dados Eta: 40 x 40 km
- Posição do anemômetro diferente da localização dos pontos Eta
- Dados Celesc utilizados para treinamento das redes neurais
- Variações na arquitetura da RNA
- forma de se fornecer os dados a RNA



PREVISÃO EÓLICA COM USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

- Valores de RMSE altos em todos os casos
- Para a massa de dados, RNA com 3n e 5n mostraram-se equivalentes em termos de RMSE
- Com a utilização dos 4 pts ETA: melhora em alguns casos – AD 2003 e BJS 2004
resultados muito ruins em AD 2004
piores resultados que com 1 pt para BJS 2003

Valores de RMSE para previsões anos 2003 e 2004 Água Doce e Bom Jardim da Serra											
Treino 2002 - Previsão 2003											
Água Doce						Bom Jardim da Serra					
1 Neurônio		3 Neurônios		5 Neurônios		1 Neurônio		3 Neurônios		5 Neurônios	
1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto
2,31	2,12	1,92	1,87	1,87	1,83	2,48	2,51	2,19	2,31	2,18	2,25
Treino 2002 e 2003 - Previsão 2004											
Água Doce						Bom Jardim da Serra					
1 Neurônio		3 Neurônios		5 Neurônios		1 Neurônio		3 Neurônios		5 Neurônios	
1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto	1 pto	4 pto
2,38	2,91	1,96	4,27	1,95	4,38	4,05	3,01	3,68	2,52	3,57	2,41

PREVISÃO EÓLICA COM USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS



Velocidades Médias Anuais

- **Melhora bastante significativa**

Água Doce: 3n e 5n

- 2003	2% para pt mais próximo	1% para 4 pts
- 2004	8%	50%

Bom Jardim da Serra:

- 2004	melhores resultados para 4 pts		
	1,6% 1n	1,2% 3n	2,2% 5n
	- para pt mais próximo mín. 36%		
- 2003	melhores resultados para pt mais próximo		
	5% 1n	8,2% 3n	6,1% 5n
	- para 4 pts mín. 12%		

PREVISÃO EÓLICA COM USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS



Comparação entre Treino Mês a Mês com Treino Ano completo

- Tentativa para melhorar as previsões mensais
- RMSE menor para Treino Ano completo
- V média anual

Água Doce

- Melhores resultados para Treino Mês a Mês 4,8% contra 9,1%

Imbituba

- Melhores resultados para Treino Ano completo 11,4% contra 14,1%

Valores de RMSE (m/s)						
Mês	Água Doce			Imbituba		
	2003			2003		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Janeiro	4,65	2,11	2,24	1,9	2,8	1,83
Fevereiro	3,52	2,09	2,1	1,9	2,04	1,76
Março	3,77	2,18	1,9	1,94	2,55	1,63
Abril	3,46	2,69	1,67	1,68	1,55	1,3
Mai	3,84	2,31	1,95	2,07	4,78	1,53
Junho	3,63	2,33	2,08	3,28	3,29	3,09
Julho	4,32	2,06	2,32	4	2,41	2,38
Agosto	3,38	1,9	1,84	3,58	3	2,45
Setembro	2,86	2,85	1,78	3,36	2,37	2,23
Outubro	3,36	3,31	2,26	3,3	2,09	2,08
Novembro	3,48	1,46	1,62	2,51	2,05	1,62
Dezembro	3,65	3,2	1,95	3,52	2,99	2,09
Média	3,66	2,37	1,98	2,75	2,66	2,00

P1= ETA x CELESC P2= ETA x CELESC Redes Neurais mês a mes
P3=ETA x CELESC Redes Neurais ano

PREVISÃO EÓLICA COM USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS

RNA Alimentada

- Alimenta-se a rede neural a medida que novas previsões vão sendo feitas
- RMSE para 2003 pouco menor que casos anteriores
- V média anual: diferença de 3,5%
- Para 2004, valor alto de RMSE, e diferença na V média anual de 14%

Água Doce. Previsão mensal. RNA alimentada		
Mês	2003	2004
Jan	1,46	1,94
Fev	1,66	1,40
Mar	2,21	1,97
Abr	2,11	2,50
Mai	1,96	3,52
Jun	1,85	1,68
Jul	2,49	2,31
Ago	1,76	x
Set	1,27	x
Out	1,81	x
Nov	0,96	x
Dez	2,10	x
Média	1,80	2,19

Rede treinada com dados 2002, alimentada mês a mês.

PREVISÃO EÓLICA COM USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Perfil de Velocidade

- **3 camadas Eta, onde em cada camada:**
 - Componentes da velocidade
 - Temperatura
 - Pressão
- **RMSEs melhores que casos anteriores**
- **Melhor resultado para 4n**
- **Pouca diferença entre 16n e 4n, alimentada ou não**
- **Diferenças entre V média anual**
 - **4n alimentada 1,4%**
 - **16n e 4n 1,8%**

Previsão para Água Doce 2003. Dados perfil de velocidades ETA

Mês	RMSE (m/s)		
	16 n	4 n	
		1	2 Alimentada
Janeiro	2,23	1,72	1,85
Fevereiro	1,88	1,75	1,73
Março	1,51	1,56	1,63
Abril	1,80	1,94	1,82
Mai	1,70	1,69	2,12
Junho	1,90	1,80	1,90
Julho	2,10	2,05	1,91
Agosto	1,64	1,67	1,59
Setembro	1,40	1,45	1,55
Outubro	1,92	1,92	1,91
Novembro	0,80	1,17	0,73
Dezembro	1,75	1,71	1,66
Anual	1,79	1,74	1,77

Rede treinada com dados ano 2002.

PREVISÃO DE POTÊNCIA COM USO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

- Poucos testes devido a pequena quantidade de dados coincidentes
- Dados Eta 3 camadas; Eta 2.º camada; GFS 7 camadas
- Valores médios de Potência: Água Doce (GFS) 3,6%
 - Bom Jardim da Serra: 22,5% e 19% (2.º cam)
 - Bom Jardim da Serra (GFS): 9,9%
- Valor do RMSE muito alto para todos os casos

	Pot média CELESC (kW)	Pot ETA (kW)	Pot ETA 2ºcam (kW)	Pot GFS (kW)
Água Doce				
2005	1509,19	x	x	1454,68
RMSE* (kW)				933,83 (64,2%)
Bom Jardim da Serra				
2003	92,4	113,16	109,95	
RMSE* (kW)		107,48 (95%)	113,5 (103,2%)	
2005	87,86	x	x	96,54
RMSE* (kW)				87,2 (90,3%)
* % em relação a Pot. Média				
RNA treinadas com anos de 2002 - prev 2003 e 2004 - prev 2005.				

CONCLUSÕES

- Destacam-se Laguna e Urubici
 - V média anual > 7 m/s
 - FC Laguna = 0,4 FC Urubici = 0,34
 - Água Doce: características básicas para aproveitamento eólico
V médio > 6 m/s; regularidade; FC = 0,24 (AG 600 kW)
- As 6 localidades apresentam regiões com possibilidades de bom aproveitamento eólico (FC > 0,30)
- Apenas Bom Jardim da Serra apresenta grandes variações direcionais
- Intensidade de Turbulência deve ser levada em consideração, principalmente B. J. da Serra e Imbituba (> 0,2)

CONCLUSÕES

- Valores estimados de geração de energia compatíveis com a geração
- Energia Gerada: Água Doce – aceitável Bom Jardim da Serra – fraco desempenho
- Previsão Eólica: Boa representação da tendência do comportamento dos dados
- Boa aproximação dos valores médios anuais de Velocidade e Potência
- Grande variação dos resultados, com RMSE de no mínimo 1,74 m/s (anual)

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- **Avaliação do potencial das demais localidades em SC**
- **Caracterização das classes de rugosidade superficial para SC, e avaliação da influência na quantidade de energia estimada**
- **Identificação e caracterização dos obstáculos próximos às torres anemométricas e avaliação do impacto destes na geração de energia**
- **Estudo de viabilidade econômica de projetos eólicos para as estações eólicas de SC**

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- **Análise econômica para determinar os tamanhos de AGs mais adequados a cada localidade**
- **Estudo do rendimento dos AGs em diferentes alturas em comparação com AGs de maior potência, análise técnica e econômica**
- **Estudo de previsão de ventos através de RNA utilizando como dados de referência para o treinamento um perfil de velocidades local.**
- **Aplicações da técnica de RNA para sítios eólicos de outras regiões brasileiras**