

Energia Eólica no Saneamento



Pedro Alvim de Azevedo Santos, Eng. M.Sc.

Professor – Engenharia Mecânica

Centro Universitário Católica de Santa Catarina

pedro.santos@catolicasc.org.br



Jaraguá do Sul, 18 de maio de 2016

Agenda



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae

Saneamento Básico:
um direito de todos

- 1. Panorama de Energia Elétrica**
- 2. Eficiência Energética aplicada ao Saneamento**
- 3. Micro e Mini Geração Distribuída**
- 4. Fundamentos da Energia Eólica**
- 5. Estudos de Caso**
- 6. Considerações Finais**



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae

Saneamento Básico:
um direito de todos

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=usCct28JYCw>

Agenda

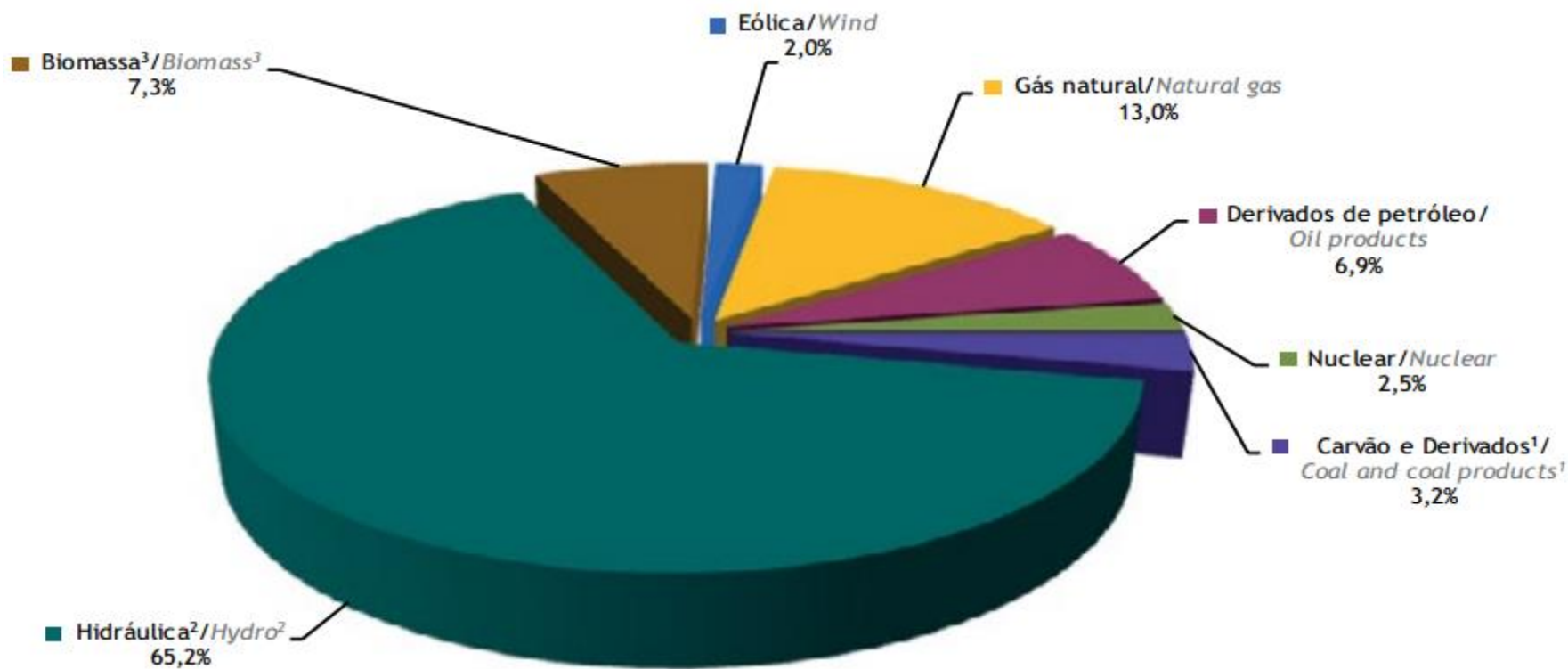


- 1. Panorama de Energia Elétrica**
2. Eficiência Energética aplicada ao Saneamento
3. Micro e Mini Geração Distribuída
4. Fundamentos da Energia Eólica
5. Estudos de Caso
6. Considerações Finais



Panorama da Energia Elétrica

Matriz de Energia Elétrica no Brasil (2014)



Fonte: BEN 2015 (EPE, 2015)



Panorama da Energia Elétrica

Matriz de Energia Elétrica no Brasil (2016)

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	558	431.503	433.406	0,3
EOL	357	8.728.468	8.669.390	6,07
PCH	458	4.881.227	4.852.945	3,4
UFV	39	26.952	22.952	0,02
UHE	206	100.943.441	87.310.008	61,09
UTE	2.891	41.326.430	39.637.657	27,73
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,39
Total	4.511	158.328.021	142.916.358	100

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	1	848	0,01
EOL	145	3.370.874	35,31
PCH	35	471.446	4,94
UHE	8	2.004.142	20,99
UTE	23	2.349.429	24,61
UTN	1	1.350.000	14,14
Total	213	9.546.739	100

248% de crescimento
na capacidade instalada
nos últimos 4 anos
(Abeeólica, 2016)

Fonte: SIGEL (ANEEL)



Panorama da Energia Elétrica

Venda de Energia Elétrica no Brasil:

• **Ambiente de Contratação Regulada (ACR) – Mercado Regulado de Energia:**

Empreendedor vende a energia para o Governo e as Concessionárias vendem a energia aos consumidores

*Sistema tarifário complexo!

• **Ambiente de Contratação Livre (ACL) – Mercado Livre de Energia:** Empreendedor vende energia diretamente para o consumidor final (exclusivo para uma gama específica de indústrias)



Economia com Migração para o ACL:

SAPESB (acumulado de 2004 a 2008):

R\$ 124,6 milhões

Fonte: SABESP, Ambiental Expo 2009

Agenda



1. Panorama de Energia Elétrica
- 2. Eficiência Energética aplicada ao Saneamento**
3. Micro e Mini Geração Distribuída
4. Fundamentos da Energia Eólica
5. Estudos de Caso
6. Considerações Finais



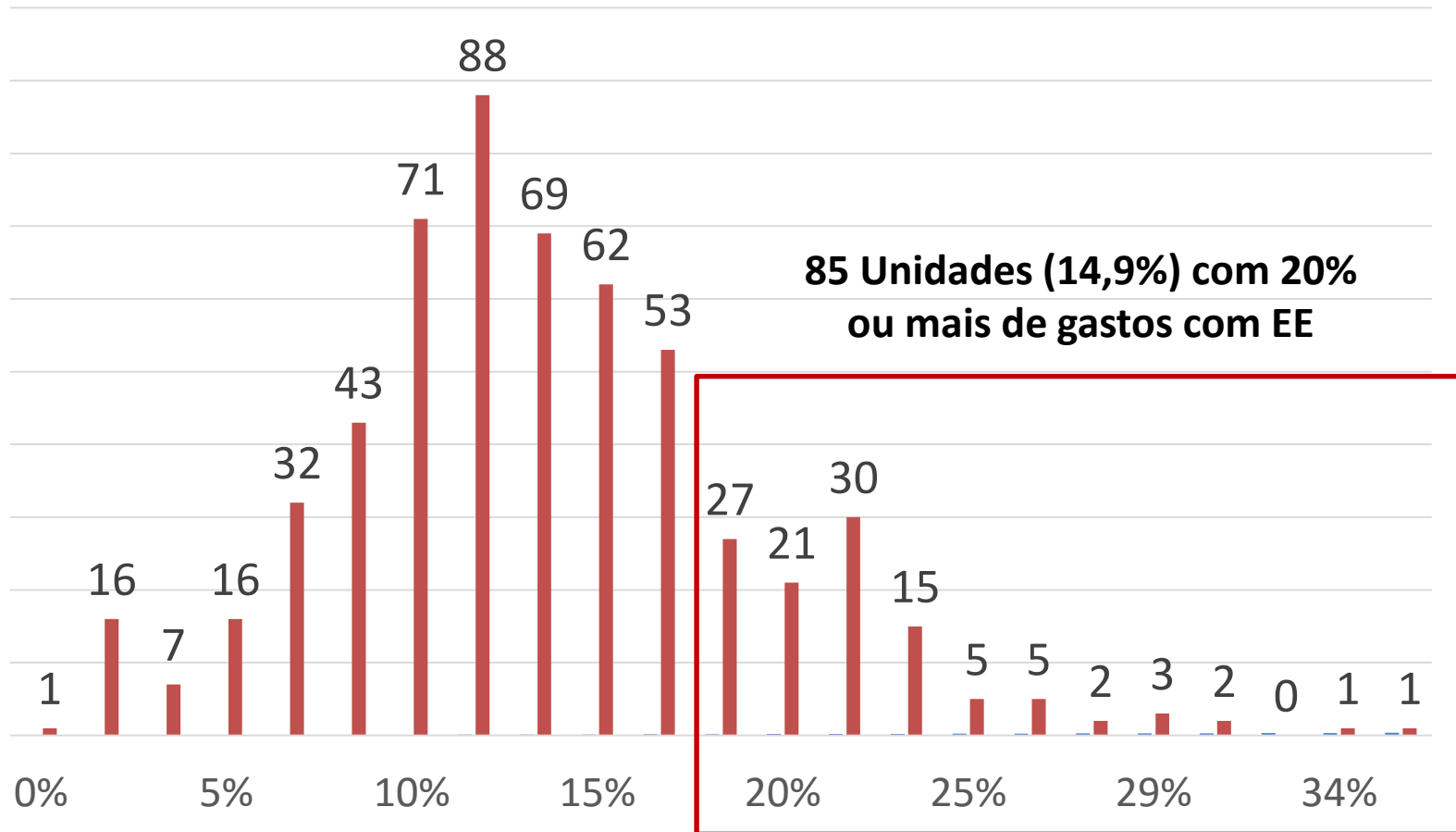
Eficiência Energética no Saneamento

- **Consumo Total de Energia Elétrica (EE):**
 - **12.740,2 GWh em 2014 (SNIS, 2014)**
 - **29,9%** do consumo de eletricidade **do Setor Público (BEN, 2014)**
- **Despesas com Energia Elétrica (EE):**
 - **R\$ 3,4 bi em 2014 (SNIS, 2014)**
 - **11,2% das despesas de exploração (DEX) (SNIS, 2014)**
 - **Na média é a 3^a maior despesa (DEX)**
- **Vamos estimar entre 80% e 90% do consumo por tanques de aeração e motobombas (NREL, 2012)**



Eficiência Energética no Saneamento

- Representatividade da EE nas DEX: COPASA (SNIS, 2014)

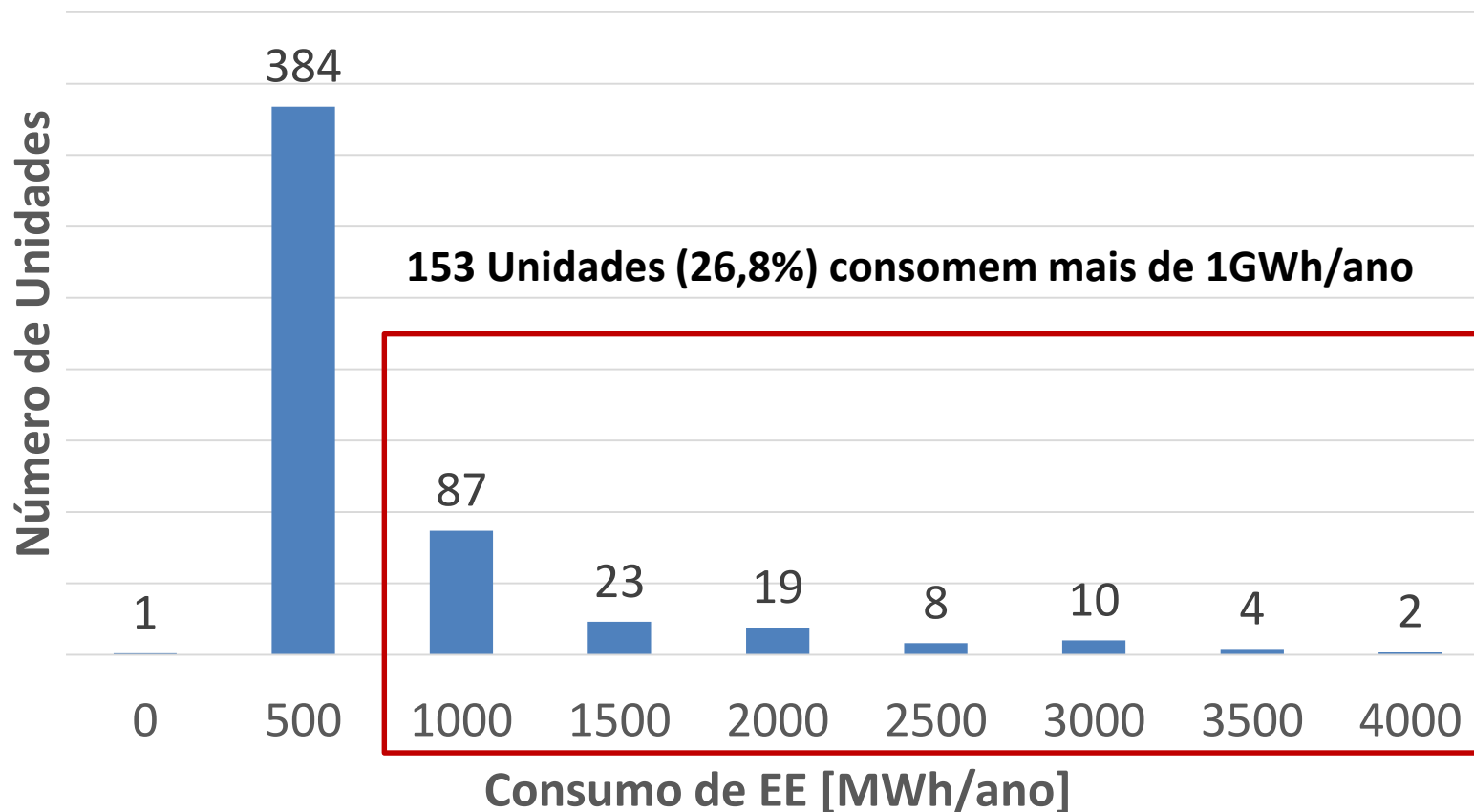


Fonte: SNIS (2014)



Eficiência Energética no Saneamento

- Consumo de Energia Elétrica (EE): COPASA (SNIS, 2014), em MWh/ano





Eficiência Energética no Saneamento

1ª Fase

- Regime de contratação (ACR, ACL)
- Ajustes na estrutura tarifária
- ...

2ª Fase

- Ajuste/Modernização dos equipamentos
- Redução dos índices de perda de água
- Recuperação dos tanques de aeração

3ª Fase

- Alternativas para auto geração de energia elétrica
(**Geração Distribuída**)

Fonte: TSUTIYA (2001)

Agenda



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae

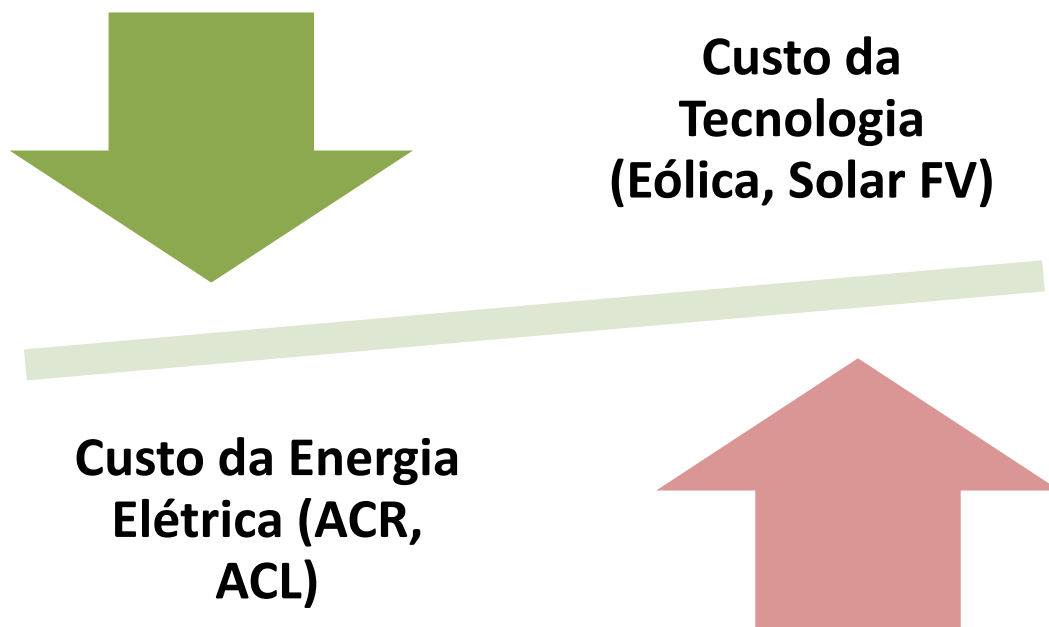
Saneamento Básico:
um direito de todos

1. Panorama de Energia Elétrica
2. Eficiência Energética aplicada ao Saneamento
- 3. Micro e Mini Geração Distribuída**
4. Fundamentos da Energia Eólica
5. Estudos de Caso
6. Considerações Finais



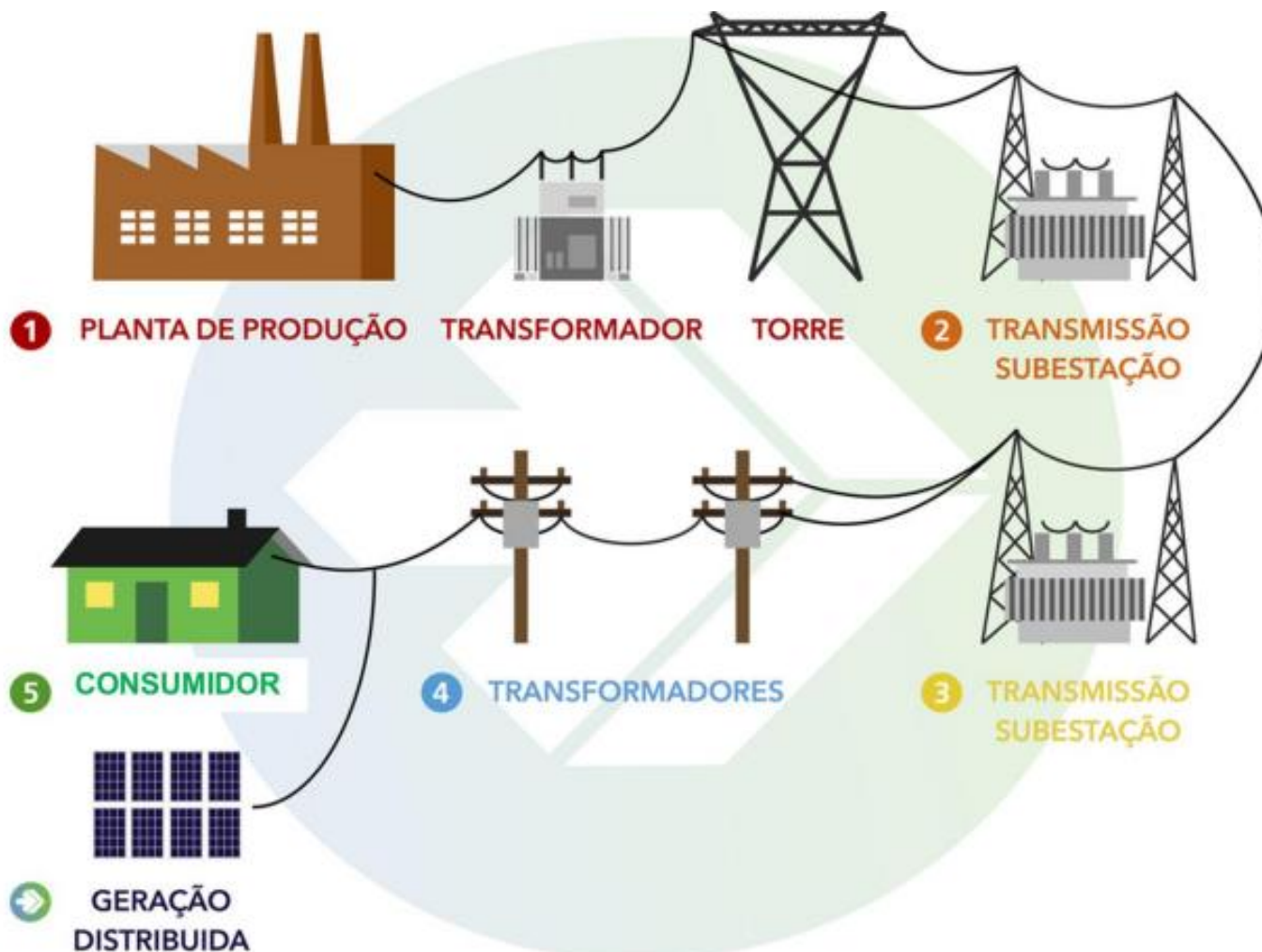
Geração Distribuída

- Instalação de sistemas de geração isolados ou **conectados à rede (*grid-tie*)**
- **Motivação para análise de viabilidade deste tipo de solução:**





Geração Distribuída



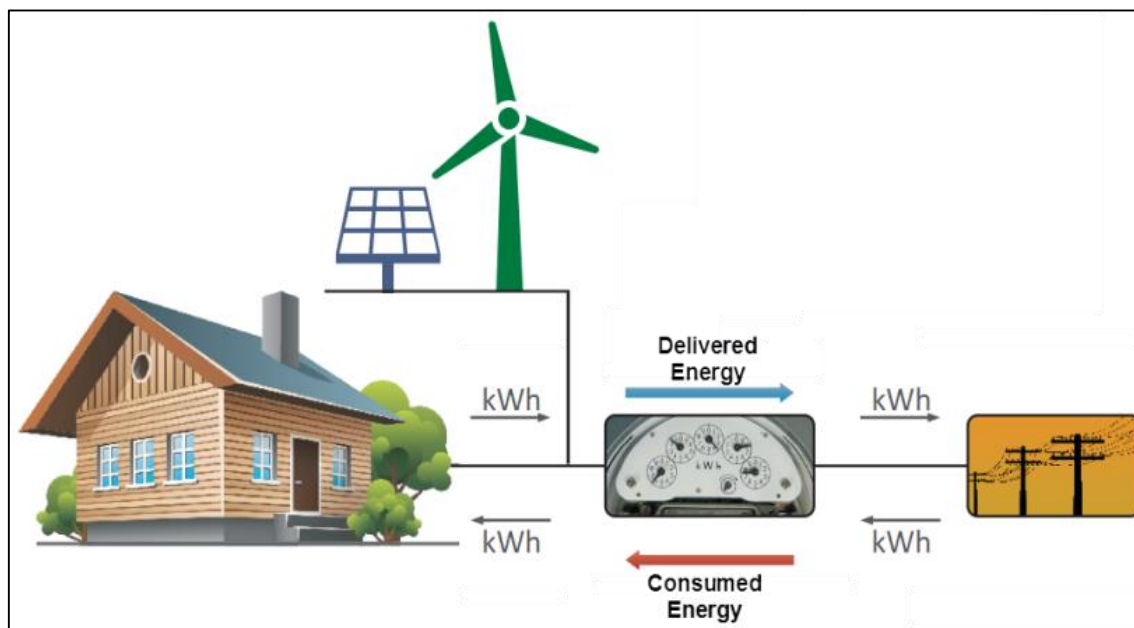


Geração Distribuída

➤ Panorama Nacional: Regulamentação da Micro e Mini Geração

Resolução Normativa ANEEL no. 482
17 de abril de 2012

Até
5MW



Importância do incentivo governamental neste tipo de aplicação

Sistema de compensação: Net metering



Geração Distribuída

Resolução Normativa no. 482/2012 ANEEL:

Novas regras a partir de
1º de março de 2016!

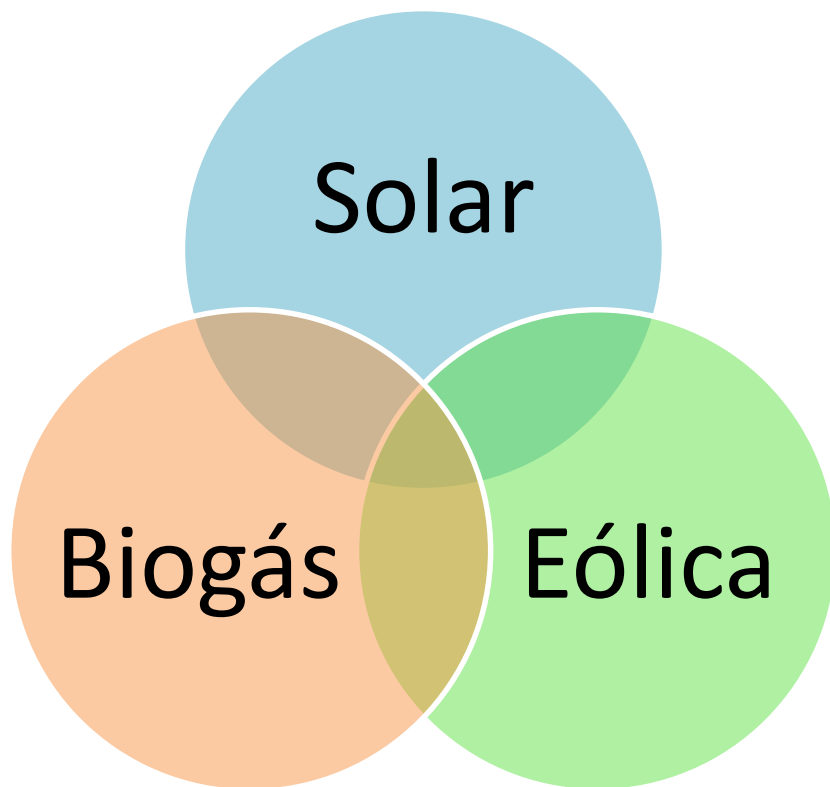
- **Expectativa de 4,5GW até 2024;**
- **Micro-geração até 75kW;**
- **Mini-geração até 5MW** (sendo 3MW para hídrica);
- **Incentivo: desconto na TUSD** (Tarifa de Uso do Sist. De Distribuição);
- **Sistema de compensação por crédito sem subsídio (*net metering*);**
- **Crédito válido por 60 meses;**
- **Instalação em múltiplas unidades consumidoras (condomínios);**
- **Geração compartilhada:** possibilidade de cooperativa de geração;
- **Formulários-padrão para todo Brasil;**
- **Redução dos prazos de conexão pela distribuidora.**

Fonte: ANEEL, 2016



Geração Distribuída

- **Proposta de solução de auto geração **híbrida**;**
- **Contratos **turn-key** (parceria PP) com **compra de energia**.**





Geração Distribuída

- Protótipo **WEG AGW-110 2,1MW** e **Usina Solar Cidade Azul (3MWp)**



Fonte: WEG, 2015

Agenda



1. Panorama de Energia Elétrica
2. Eficiência Energética aplicada ao Saneamento
3. Micro e Mini Geração Distribuída
- 4. Fundamentos da Energia Eólica**
5. Estudos de Caso
6. Considerações Finais



Energia Eólica

O que é: energia eólica, aerogerador e parque eólico?

Energia Eólica:
Energia Cinética do Vento

Aerogerador

Energia Elétrica

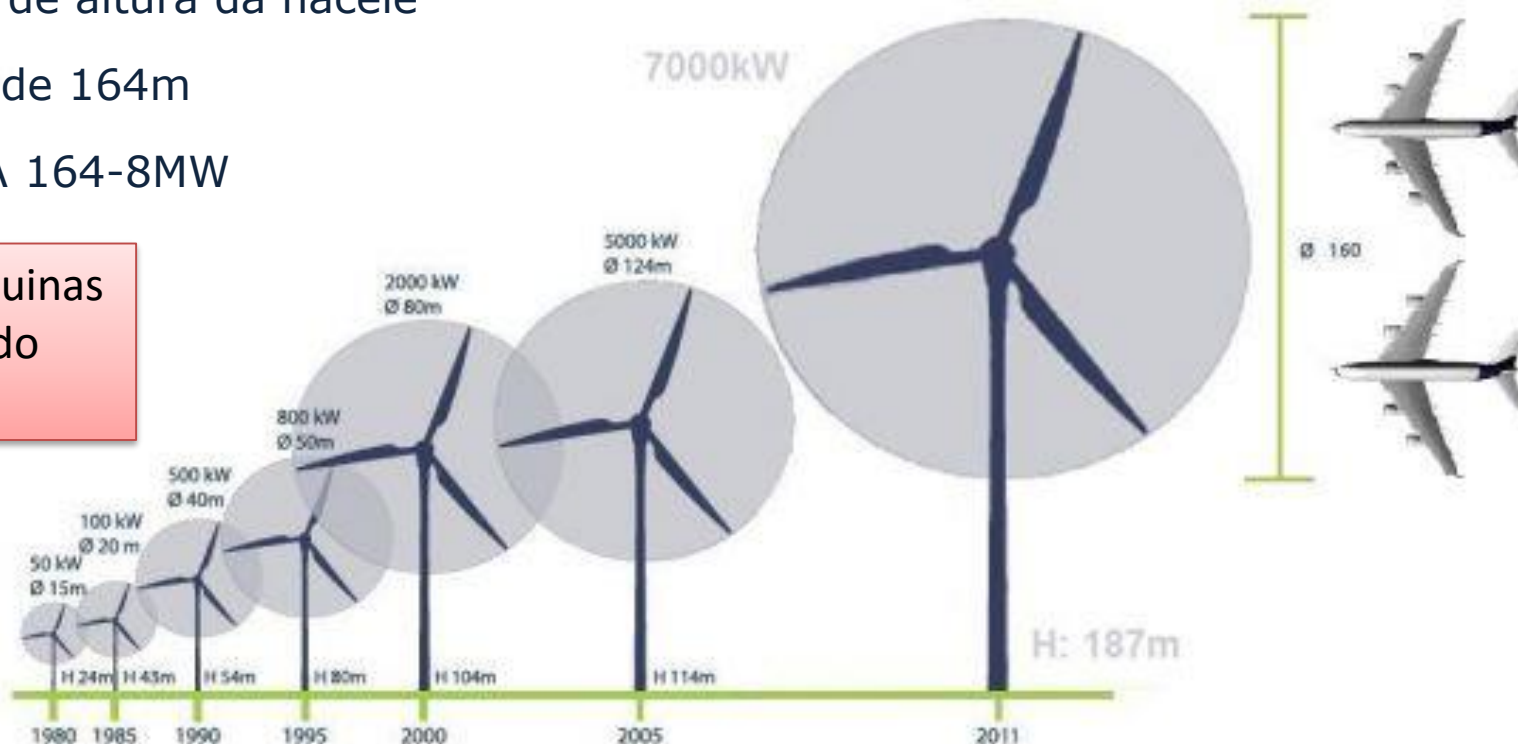




Energia Eólica

- Possui **432,9GW instalados no mundo** em 2015 (**Brasil é o 10º lugar em capacidade instalada**) (GWEC, 2015)
- **Próxima Geração de Aerogeradores**
 - 140m de altura da nacele
 - Rotor de 164m
 - VESTA 164-8MW

Maiores máquinas rotativas do mundo!







Energia Eólica

Prospecção de Potencial Eólico:

- Atlas Eólico;
- Empreendimentos próximos;
- Medições anemométricas;
- Dados de modelos numéricos (meso-escala).





Energia Eólica

Prospecção de Potencial Eólico:

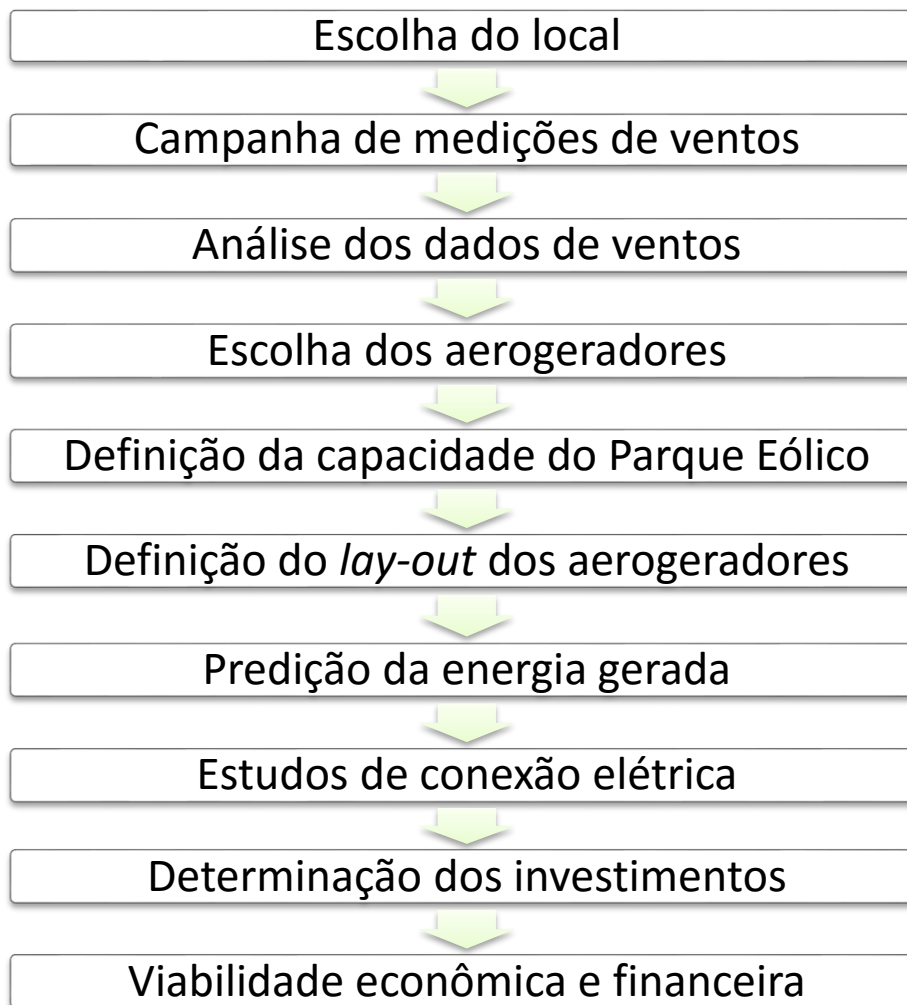
- Atlas Eólico;
- Empreendimentos próximos;
- Medições anemométricas;
- Dados de modelos numéricos (meso-escala).





Energia Eólica

Estudos Técnicos





Energia Eólica

➤ O que é Microgeração eólica?

IEC 61400-2:

Área Rotor menor que 200m²
Potência equivalente = 50kW

Alemanha (BWE):

Equipamentos com até 75kW

EUA (AWEA) e outros:

Equipamentos com até 100kW



Fonte: AWEA, 2012





Energia Eólica

➤ Tecnologias Disponíveis:





Energia Eólica

➤ Energia Eólica Distribuída:

Cada equipamento tem sua vocação

160 W

100 kW

Fonte: Nothern Power Systems



$D = 1,17m$



$D = 24,4m$

Fonte: Energia Pura

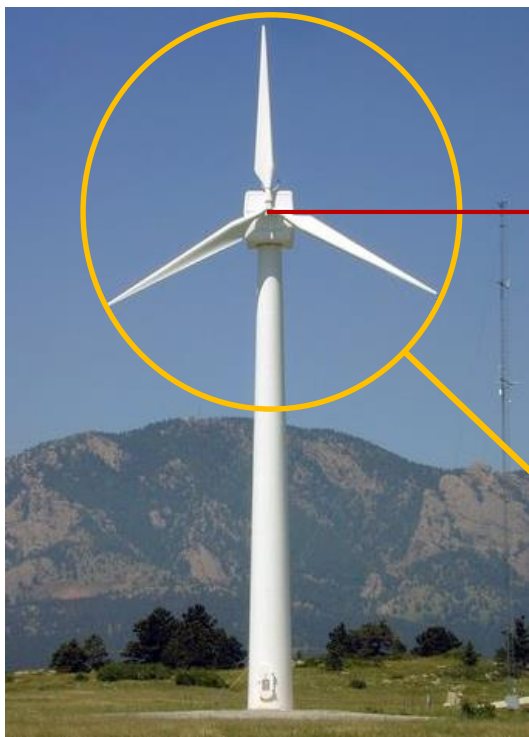


Energia Eólica

Small Wind World Report (WWEA) para catálogo com fabricantes

Cada equipamento tem sua vocação

100 kW



$H = 37m$

$D = 24,4m$

Fonte: Northern Power

2100 kW



$H = 120m$

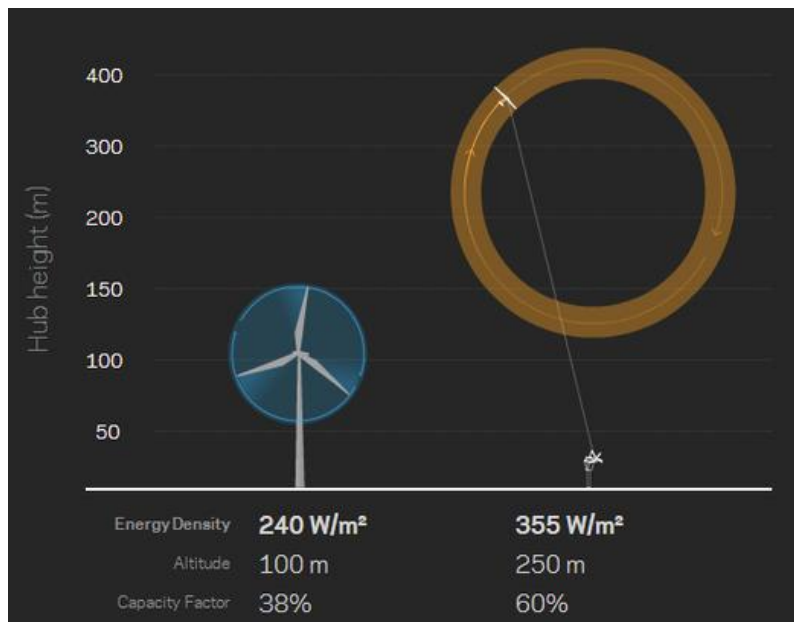
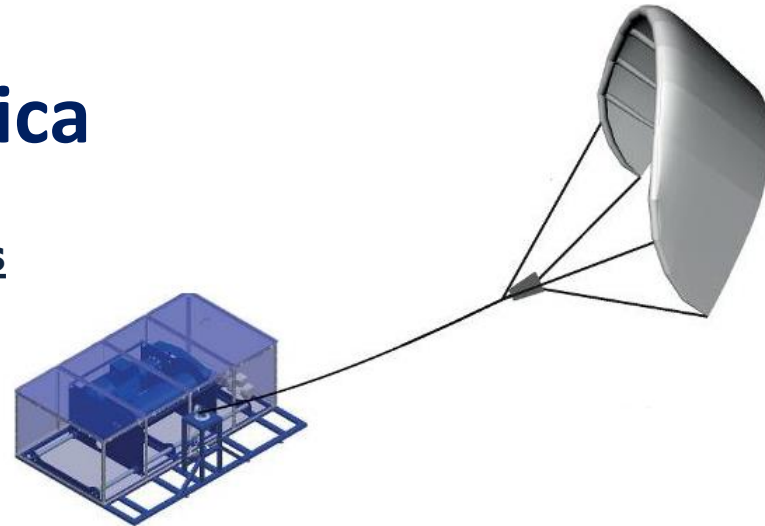
$D = 110m$

Fonte: WEG



Energia Eólica

➤ Novas tecnologias: Kite Wind Turbines





Energia Eólica

➤ Custos do equipamento:

➤ Expresso em R\$/kW instalado (estimativas de mercado):

Pequenos AGs (2kW – 50kW)

- Entre R\$15.000,00/kW e R\$35.000,00/kW

AGs de Médio Porte (100kW – 1MW)

- \approx R\$8.000,00/kW

Grandes AGs (1MW – 3MW)

- \approx R\$5.000,00/kW

Fonte: WWEA (2015)

Possibilidade de aquisição de AGs “usados” (Repotenciamento de parques)

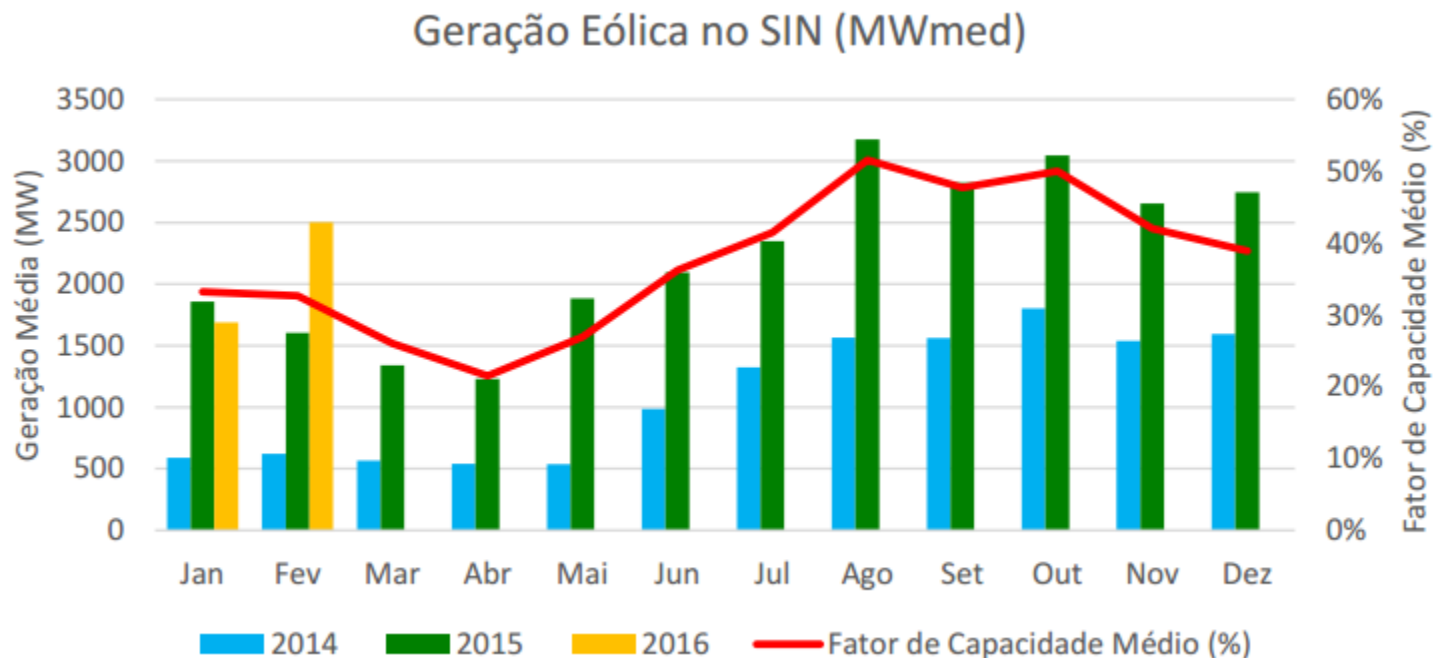


Energia Eólica

➤ **Conceitos:**

$$PAE = \text{Produção Anual Gerada} \left[\frac{MWh}{ano} \right]$$

$$FC = \text{Fator de Capacidade} = \frac{PAE}{Potência * 8760} * 100 \text{ [%]}$$



Fonte: ONS, 2016

Agenda



1. Panorama de Energia Elétrica
2. Eficiência Energética aplicada ao Saneamento
3. Micro e Mini Geração Distribuída
4. Fundamentos da Energia Eólica
- 5. Estudos de Caso**
6. Considerações Finais



Estudos de Caso

➤ Desempenho de instalações de microgeração:

26 Pequenos Aerogeradores estudados pelo Warwick Wind Trials (UK)
Fator de Capacidade Médio = 4,15%

➤ Estudo de Caso: Câmara Municipal de São José/SC





Estudos de Caso

➤ Estudo de Caso: Câmara Municipal de São José/SC

Estudo de Caso	
PAE = 2024,9 kWh	FC = 9,53%

Viabilidade Econômica	
VPL = -R\$ 16.671,17	TIR = 1,5%

Validação dos Resultados (2 anos de operação)		
	2011	2012
PAE	2200,6	2160,8
Desvio do Previsto	+8,68%	+6,71%

Fonte: SANTOS, P. A. A. *et. al.* (2011)



Estudos de Caso

➤ Bancada Experimental em Energia Eólica - UFSC

Fonte: SANTOS, P. A. A. (2014)



LEPTEN

*Laboratórios de Engenharia de Processos
de Conversão e Tecnologia de Energia*



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA**



Estudos de Caso

- **Energia Eólica + Solar instalada em ETE:**
 - **Atlantic County Utilities Wastewater Treatment Facility, Atlantic City, NJ;**
 - **Jersey-Atlantic Wind Farm, LCC.**





- **Energia Eólica + Solar instalada em ETE:**
 - **Atlantic County Utilities Wastewater Treatment Facility, Atlantic City, NJ;**
 - **Jersey-Atlantic Wind Farm, LCC.**

- **3x AGs marca GE com 1,5MW = 7,5MW de potência eólica instalada;**
- **Contrato turn-key com preço da energia fixado (\$0,0795/kWh)**
- **500kWp de energia solar fotovoltaica (2700 painéis);**

- **Energia Eólica** supre aproximadamente **60% da demanda anual** de EE;

- **Sistema supervisório** em tempo real:
<http://noveda.com/resources/media/acuasf.htm>

- **Web-cam** em tempo real: <http://www.acua.com/windcam/>



Estudos de Caso

- **ETE Fictícia (com base em dados reais):**
 - **Capacidade: 500 L/s**
 - **Vazão tratada: 50L/s**
 - **Consumo anual: 1648,6 MWh/ano**

Discussão de cenários
para Energia Eólica/
Energia Solar FV

UNIDADE	POT. INSTALADA	UNID	KWh/Mês
ETE	782	CV	90.661
EE	2	CV	195
EE	4	CV	1.512
EE	5	CV	3.350
EE	7	CV	3.101
EE	20	CV	3.711
EE	2,5	CV	321
EE	24,5	CV	5.026
EE	28,5	CV	4.388
EE	50	CV	5.292
EE	120	CV	5.361
EE	1	CV	175
EE	1	CV	100
EE	3	CV	255
EE	20	CV	1.144
EE	20	CV	2.216
EE	40	CV	3.391
EE	2	CV	700
EE	2	CV	650
EE	30	CV	4.679
EE	2	CV	1.156
TOTAL	1166,5	CV	137.384

Agenda



1. Panorama de Energia Elétrica
2. Eficiência Energética aplicada ao Saneamento
3. Micro e Mini Geração Distribuída
4. Fundamentos da Energia Eólica
5. Estudos de Caso
- 6. Considerações Finais**



Considerações Finais

- ❑ **Setor de água e esgoto como consumidores eletro-intensivos;**
- ❑ **Carteira de energia entre ACR e ACL pode reduzir custos;**
- ❑ **Ações no sentido de melhorar a eficiência energética precedem uma solução de geração distribuída;**
- ❑ **Resolução ANEEL 482/2012 como incentivo;**
- ❑ **Estudo técnico de viabilidade eólica é essencial para o sucesso da solução;**
- ❑ **Cada Aerogerador tem sua vocação e aplicação de sucesso;**
- ❑ **Projeto eólico corretamente projetado e dimensionado trará econômica e rentabilidade à ETE/ETA.**



46^a Assembleia
Nacional da
Assemblae

Saneamento Básico:
um direito de todos



Pedro Alvim de Azevedo Santos, Eng. M.Sc.

Professor – Engenharia Mecânica

Centro Universitário Católica de Santa Catarina

pedro.santos@catolicasc.org.br



<http://lattes.cnpq.br/9037941436251017>



<https://www.linkedin.com/in/pedroazevedosantos>