



O CEPEL e as energias solar e eólica

Ary Vaz Pinto Junior
Departamento de Tecnologias Especiais



Ministério de
Minas e Energia



Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Cepel



- Centro de P&D do Sistema Eletrobrás
- Maior centro do Brasil em P&D de energia elétrica
- Maiores laboratórios de alta tensão e potência na América Latina
- Associação sem fins lucrativos fundada em 1974
- Mais de 500 funcionários e 100 parceiros de Universidades
- Infra-estrutura de P&D de US\$ 300 milhões
- Orçamento anual de cerca de R\$ 135 milhões
- Apoio Técnico para o Sistema Eletrobrás, Governo (MME), Entidades Setoriais (ONS, CCEE, EPE e ANEEL), concessionárias e indústria

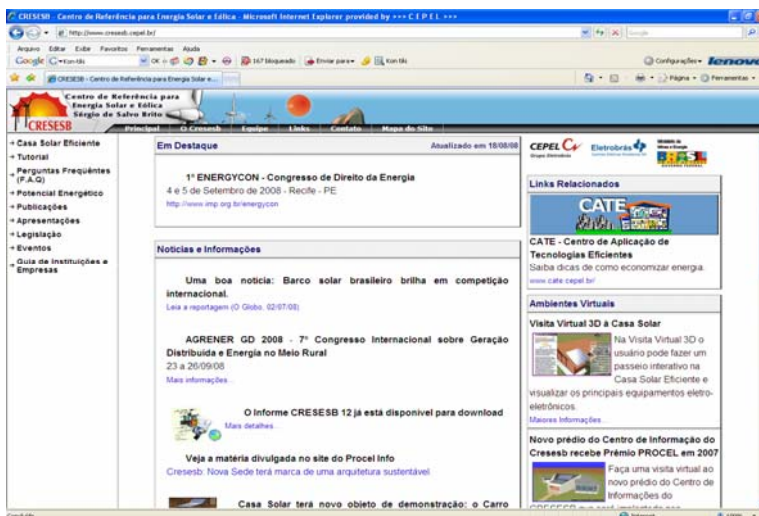


Unidade Ilha do Fundão



Unidade Adrianópolis

Promover o desenvolvimento das energias solar e eólica através da difusão de conhecimentos, da ampliação do diálogo entre as entidades envolvidas e do estímulo à implementação de estudos e projetos.





CASA SOLAR EFICIENTE



5

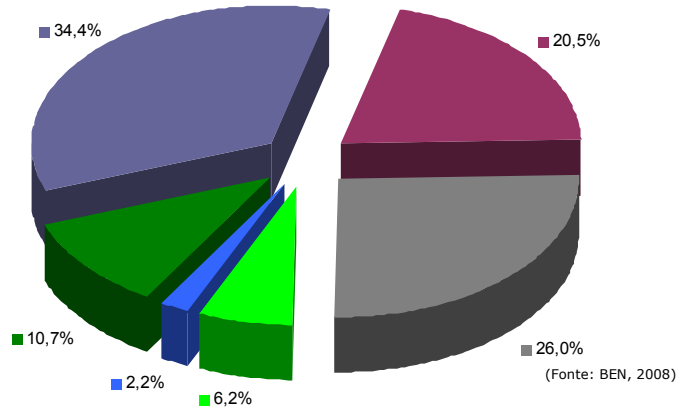
Sumário

- **Introdução**
- **Contexto Nacional e Internacional da Energia Eólica**
- **Contexto Nacional e Internacional da Energia Solar**
- **Projetos do CEPEL em energias Solar e Eólica**

6

Matriz Energética Mundial (2006)

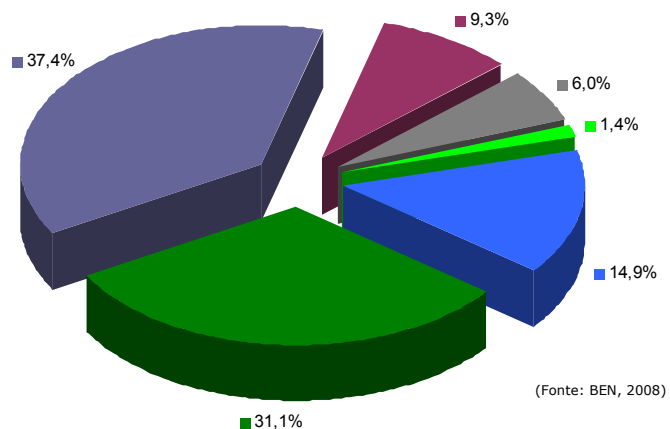
- PETRÓLEO e DERIVADOS
- GÁS NATURAL
- CARVÃO MINERAL
- URÂNIO
- RENOVÁVEIS*
- BIOMASSA



* Utilização das fontes renováveis para geração de energia elétrica tais como hidráulica e eólica

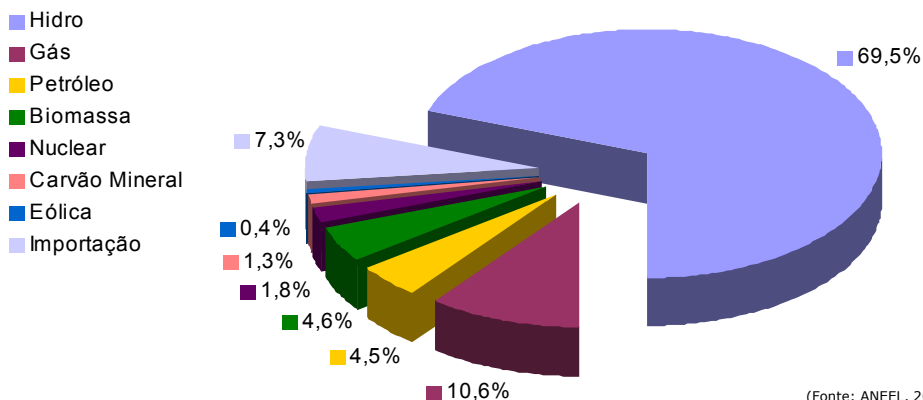
Matriz Energética Brasileira (2007)

- PETRÓLEO e DERIVADOS
- GÁS NATURAL
- CARVÃO MINERAL
- URÂNIO
- RENOVÁVEIS*
- BIOMASSA



* Utilização das fontes renováveis para geração de energia elétrica tais como hidráulica e eólica

Capacidade de Geração Elétrica no Brasil Total: 111,76 GW



(Fonte: ANEEL, 2009)

Maturidade e custos das tecnologias

| TECNOLOGIA | POTENCIAL (GW) | TAMANHO TÍPICO (kW) | APLICAÇÃO | MATURIDADE DA TECNOLOGIA | VIABILIDADE TÉCNICA | CUSTO INVESTIMENTO (US\$/kW) | CUSTO O&M (US\$/MWh) | CUSTO COMBUSTÍVEL (US\$/MWh) | CUSTO GERAÇÃO (US\$/MWh) | EFICIÊNCIA |
|--------------------|----------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|------------|
| SOLAR FOTOVOLTÁICA | - | 0,05 a 10 | - INTERMITENTE - GRID E OFF-GRID | COMERCIAL (GRID) | ALTA (GRID) | 4.000 a 9.000 | 4 a 20 | 0. | 250 a 500 | 10 a 18 |
| | | | | COMERCIAL (OFF-GRID) | ALTA (OFF-GRID) | | | | | |
| HELIOTÉRMICA | - | 30.000 a 200.000 | - BASE - GRID | PRÉ-COMERCIAL | ALTA | 5000 a 8500 | 4 a 23 | 0. | 220 a 310 | 15 a 30 |
| | | | | COMERCIAL | ALTA | .1700 a 5.500 | 4 a 23 | 0. | 80 a 150 | 15 a 30 |
| | | 20 a 50 | - BASE - GRID E OFF-GRID | DEMONSTRADA | MÉDIA | 10000 a 22000 | 15 a 23 | 0. | 200 a 500 | 15 a 30 |
| | | | | COMERCIAL | ALTA | 1500 a 2000 | 4 a 12 | 0. | 110 a 150 | 25 a 45 |
| EÓLICA | 30 | 300 a 2000 | -INTERMITENTE -GRID E OFF-GRID | COMERCIAL | ALTA | 500 a 2.500 | 6 a 12 | 20 a 100 | 38 a 78 | 25 a 35 |
| BIOMASSA | 27,7 | 50 a 50.000 | -BASE -GRID E OFF-GRID | COMERCIAL | ALTA | 1.000 a 3.000 | 6 a 15 | 0. | 35 a 102 | 60 a 85 |
| | | | | COMERCIAL | ALTA | | | | | |
| PCHs | | 50 a 1.000 | -VARIÁVEL -GRID E OFF-GRID | COMERCIAL | ALTA | | | | | |

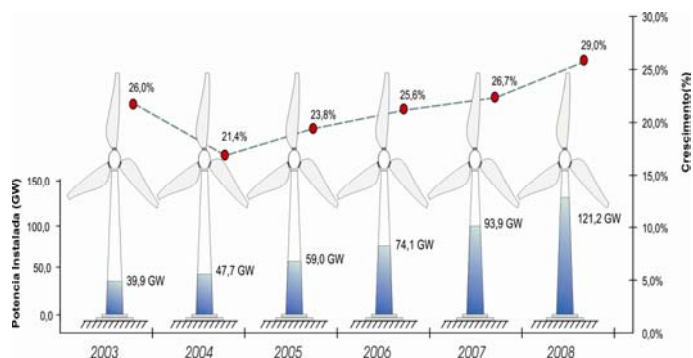
(Fonte: CEPEL/CRESESB)

→ Eólica

Solar fotovoltaica

Solar térmica

Potência Eólica Instalada no Mundo



121,2 GW instalados no mundo em 2008

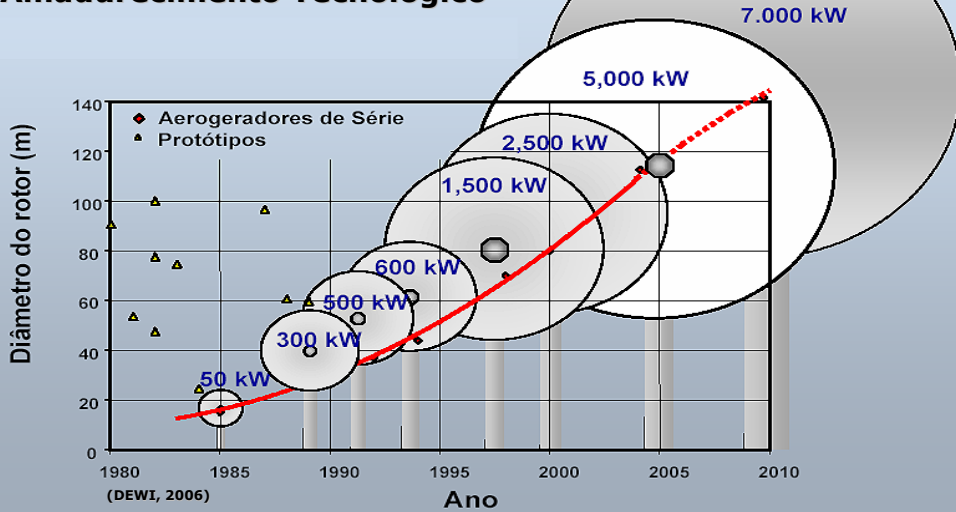
10 mercados mais importantes em 2008

| # | País | MW |
|----|-------------|-------|
| 1 | USA | 25170 |
| 2 | Alemanha | 23093 |
| 3 | Espanha | 16740 |
| 4 | China | 21210 |
| 5 | Índia | 9587 |
| 6 | Italia | 3736 |
| 7 | França | 3404 |
| 8 | Reino Unido | 3298 |
| 9 | Dinamarca | 3160 |
| 10 | Portugal | 2862 |

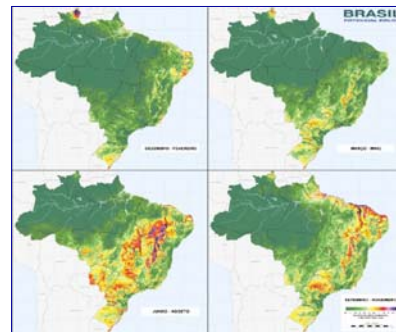
(Fonte: WWEA 2009)

Evolução da potência dos aerogeradores

Amadurecimento Tecnológico



Potencial Eólico Brasileiro



Potencial Bruto: 143 GW
Altura de Referência: 50m.

Usinas eólicas em operação no Brasil

| USINAS do tipo EOL, em Operação | | | |
|---|-------------------------|---|------------------------------|
| Usina | Potência Outorgada (MW) | Proprietário | Município |
| Eólica de Praiaha | 10.000 | 100% para Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda | Aquiraz - CE |
| Eólica de Talha | 5.000 | 100% para Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda | São Gonçalo do Amarante - CE |
| Eólica Elétrica Experimental do Bairro do Carmelito | 1.000 | 100% para CEMIG Geração e Transmissão S/A | Gouveia - MG |
| Edão - Elétrica de Palmas | 2.100 | 100% para Central Eólicas do Paraná Ltda. | Palmas - PI |
| Eólica de Fernando de Noronha | 225 | 100% para Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADEURPE Ltda | Fernando de Noronha - PE |
| Parque Eólico de Beberibe | 25.000 | 100% para Usina Eólica Economy Beberibe S.A. | Beberibe - CE |
| Mucuripe | 2.400 | 100% para Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda | Fortaleza - CE |
| RN 15 - Rio do Fogo | 49.200 | 100% para Energias Renováveis do Brasil S.A. | Rio do Fogo - RN |
| Eólica de Bom Jardim | 600 | 100% para Parque Eólico de Santa Catarina Ltda | Bom Jardim da Serra - SC |
| Faz de Rio Chão | 20.200 | 100% para SBF Cincos Geração e Comercialização de Energia S.A. | Beberibe - CE |
| Eólica Olinda | 225 | 100% para Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADEURPE | Olinda - PE |
| Eólica Canoa Quebrada | 10.500 | 100% para Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A. | Aracati - CE |
| Lagoa do Mato | 3.230 | 100% para Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A. | Aracati - CE |
| Parque Eólico do Horizonte | 4.800 | 100% para Central Nacional de Energia Eólica Ltda | Água Doce - SC |
| Eólica Paracuru | 23.400 | 100% para Eólica Paracuru Geração e Comercialização de Energia S.A. | Paracuru - CE |
| Peixe do Sal | 18.000 | 100% para Eonergy Peixe do Sal S.A. | Paraná - PA |
| Macau | 1.800 | 100% para Petróleo Brasileiro S/A | Macau - RN |
| Eólica Água Doce | 9.000 | 100% para Central Nacional de Energia Eólica Ltda | Água Doce - SC |
| Parque Eólico de Osório | 50.000 | 100% para Ventos do Sul Energia S/A | Osório - RS |
| Parque Eólico Sangradouro | 50.000 | 100% para Ventos do Sul Energia S/A | Osório - RS |
| Taliba Albatroz | 16.500 | 100% para Bona Ventos Geradora de Energia S.A. | São Gonçalo do Amarante - CE |
| Parque Eólico dos Índios | 50.000 | 100% para Ventos do Sul Energia S/A | Osório - RS |
| Millennium | 10.200 | 100% para SPE Millennium Central Geradora Eólica S/A | Mataracá - PB |
| Presidente | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Camurim | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Albatroz | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Coelhas I | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Coelhas III | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Atlântica | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Caravela | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Coelhas II | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Coelhas IV | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Mataracá | 4.500 | 100% para Vales dos Ventos Geradora Eólica S.A. | Mataracá - PB |
| Total: 33 Usinas | | | Potência Total: 414.800 kW |

(Fonte: ANEEL, 2009)

PROINFA – Eólica (Potência)

| | |
|-------------|-------------|
| Contratado | 1.422,96 MW |
| Em Operação | 386,63 MW |
| Em Obras | 369,50 MW |

PROINFA – Eólica (nº de empreendimentos)

| | |
|-------------|----|
| Contratado | 54 |
| Em Operação | 24 |
| Em Obras | 8 |

(Fonte: ANEEL, 2009)

414,5 MW Instalados (0,37%)
33 Usinas em Operação

15

Energia eólica - perspectivas

- **Perspectivas de crescimento e de ser alternativa a uma expansão de geração térmica contribuindo para evitar aumento de emissões.**
- **O grande potencial eólico brasileiro e a evolução tecnológica dos aerogeradores apontam a energia eólica como uma alternativa viável econômica e ambientalmente.**
- **O PNE 2030 indica uma inserção, até 2030, de aproximadamente 5.000 MW da tecnologia eólica.**
- **Os Valores Econômicos da geração eólica variam de 210 a 240 R\$/MWh, para fatores de capacidade entre 0,42 e 0,32, respectivamente, sendo superiores à média de preços dos leilões de energia nova.**
- **Necessidade de continuidade – Leilões anuais para contratação de 1GW de eólica ao longo de 10 anos (proposta ABEEÓLICA, 2009).**

Energia Eólica
X
Energia de Fonte Hídrica



Complementares

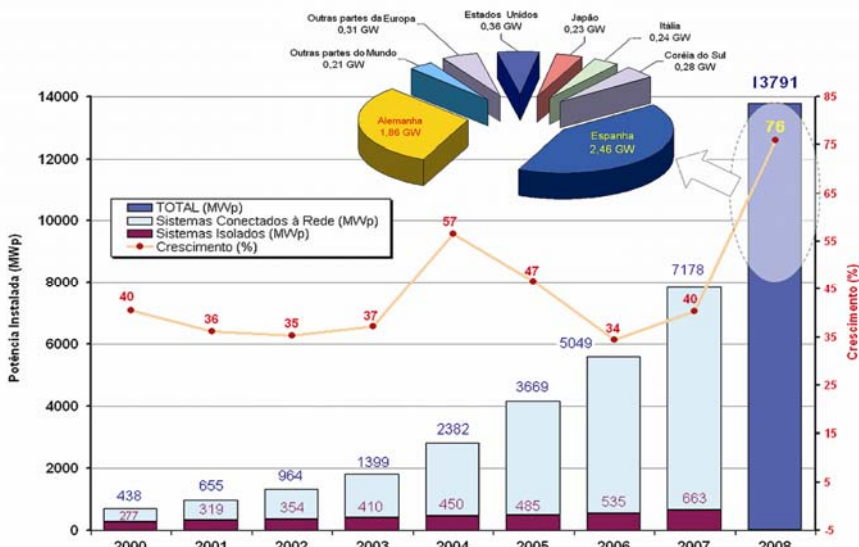
16

Eólica

→ Solar fotovoltaica

Solar térmica

Painéis fotovoltaicos – Potência instalada em nível mundial



(Fonte: SOLARBUZZ, 2009/ PHOTON INTERNATIONAL, 2008)

Mercado mundial de painéis fotovoltaicos

- Incentivos governamentais expressivos têm sido utilizados para o desenvolvimento deste mercado (*feed-in*, incentivos fiscais, linhas de financiamento especiais, etc.)
- Centenas de fabricantes de painéis fotovoltaicos no mundo
- Predominância de aplicações conectadas na rede elétrica
- Custos: US\$ 2,00/W (célula); US\$ 5,00/W (módulo completo)
- Evolução tecnológica: Si amorfo com eficiência de 11,3%
- Brasil: Maior exportador de Si grau metalúrgico do mundo

(Fonte: PHOTON INTERNATIONAL, 2009)

19

Energia solar fotovoltaica

- Tem sido utilizada, no Brasil, em aplicações distantes da rede, em particular na região amazônica e no interior da região nordeste (exemplo: PRODEEM / Luz para Todos).
- No Brasil, se houver uma redução de custos ainda mais significativa do que a que já está se verificando, aplicações interligadas podem contribuir num cenário distante de substituição de fontes térmicas.
- Produção de equipamentos no Brasil tem vantagem de utilizar a base hidráulica (menor emissão na produção de equipamentos).

20

Eólica

Solar fotovoltaica

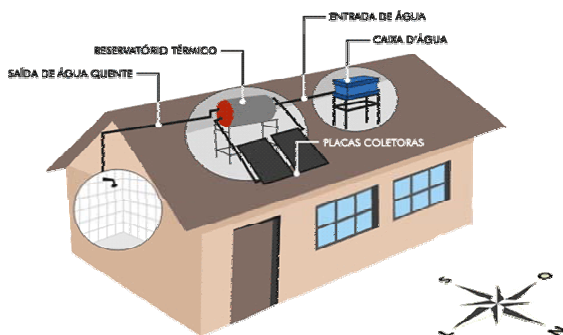
→ Solar térmica

21

Solar Térmico Aquecimento solar residencial

Grande oportunidade de crescimento da utilização de coletores solares planos para aquecimento de água.

É desejável que uma legislação adequada e a disponibilidade de financiamento estimulem sua utilização.



22

Solar Térmico Geração de Energia Elétrica - Heliotermia



Torre Central

Potência Instalada (MW)

| | |
|-------------------------|--------|
| Concentrador Parabólico | 468 MW |
| Torre Central | 11 MW |

(Fonte: Wikipedia, 2008)



Concentrador parabólico



Disco parabólico

24

Solar Térmico Geração de Energia Elétrica - Heliotermia

Custos de Instalação:

- Plantas sem armazenamento térmico : 5000 Euros/kW
- Plantas com armazenamento térmico : 6000 - 7000 Euros/kW

Custos da Energia Gerada:

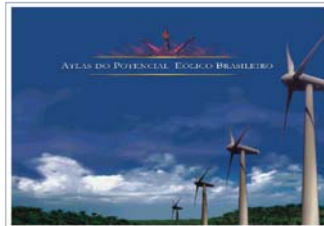
- Plantas comerciais : 0,22 Euros/kWh (2007)

Desde que haja uma diminuição de custos muito significativa, a geração heliotérmica poderá ser empregada, em particular na Região Nordeste.

Iniciativa governamental de criação de grupos para estabelecimento de uma agenda de P&D

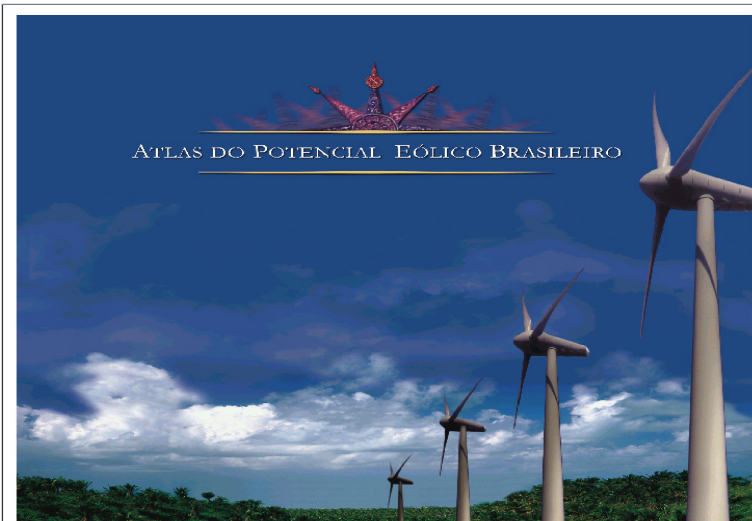
25

Projetos do CEPEL na área de fontes renováveis de energia

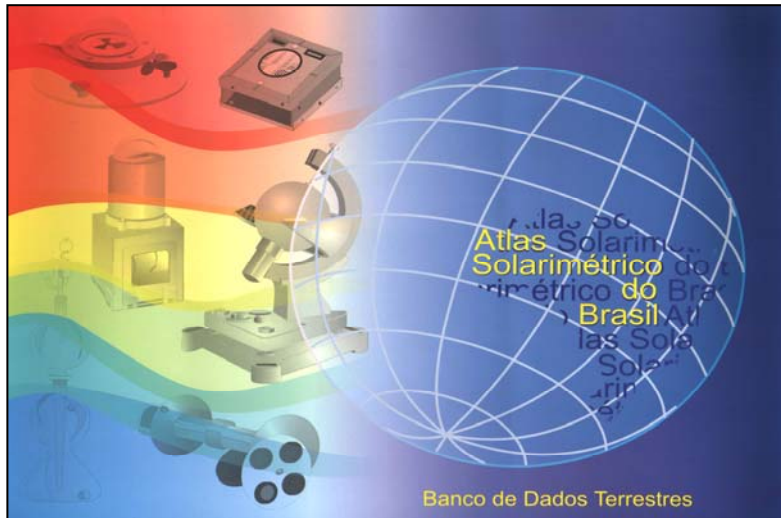


26

Potencial eólico *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*



27



Telhado solar fotovoltaico

- Avaliação do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede
- Painel fotovoltaico de 16 kWp em operação desde 2002



- Prospecção de sítios eólicos (PETROBRAS e FURNAS)
- Certificação de empreendimentos eólicos
- Atualização do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (encomenda do MME e do MCT)
- Sistema webGIS Renováveis
- Ferramentas para planejamento energético – CHESF
- Sistema híbrido de geração de energia elétrica para a Ilha da Trindade (ELETROBRÁS – Marinha)
- Sistema híbrido de geração de energia elétrica para o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Marinha)
- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB
- Apoio ao PRODEEM

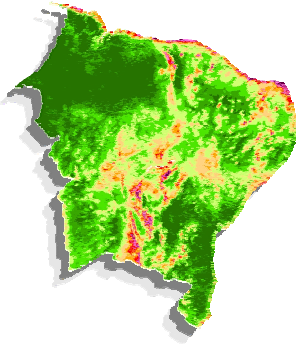
30

- Áreas promissoras (Atlas, SIG)
- Avaliação do local
- Acesso
- Subestações
- Disponibilidade das áreas (restrições técnicas)
- Interferência acústica
- Flexibilidade de negociação das áreas promissoras
- Campanha de medição - análise dos resultados
- Restrições para o transporte do material do porto até o local

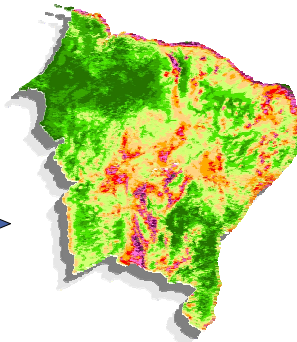
31

Atualização do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro

Desenvolvimento de uma plataforma que permita a atualização permanente do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro e disponibilize previsões de vento para a sociedade, visando principalmente o desenvolvimento da energia eólica no país.

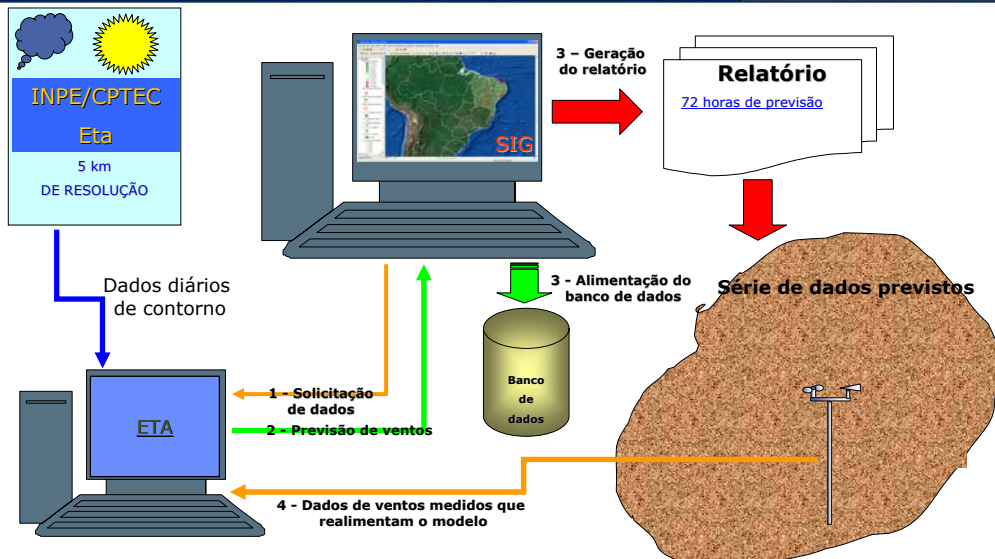


Dados de Vento a 50 m de altura

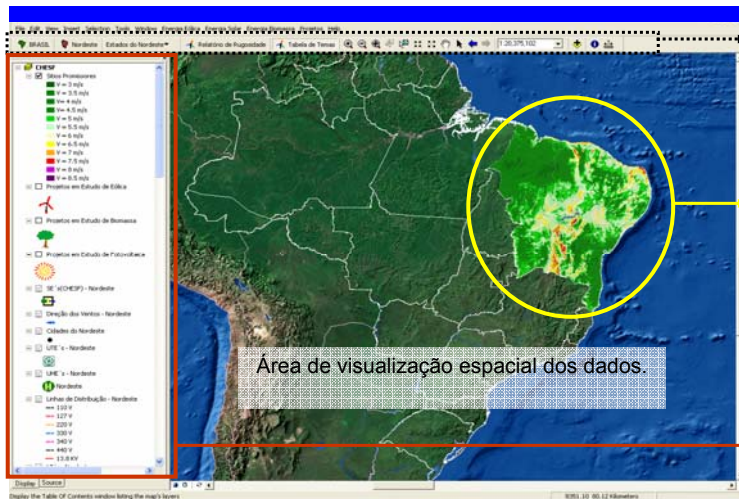


Dados de Vento a 100 m de altura

Arquitetura do Atlas Dinâmico do Potencial Eólico Brasileiro



Ferramenta GIS para identificação de áreas promissoras para empreendimentos de energias renováveis - CHESF



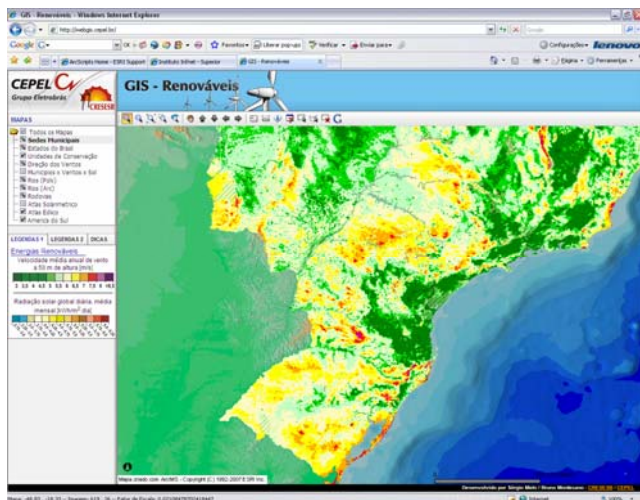
Ferramentas de Navegação.

Visualização do potencial de ventos da Região Nordeste.

Temas disponíveis no Banco GIS do Sistema.

35

webGIS Renováveis



Ferramenta web que disponibilizará consultas aos dados de energia eólica e solar de maneira fácil e dinâmica em um *browser* (Internet Explorer, por exemplo) de qualquer computador conectado à Internet.

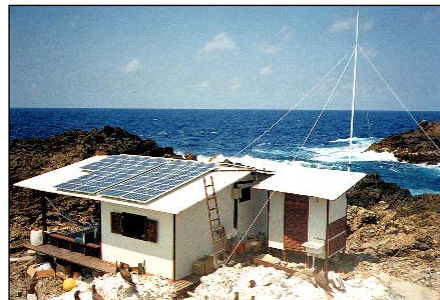
36

- Arquipélago São Pedro e São Paulo
- Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade



Arquipélago de São Pedro e São Paulo

- Localizado a cerca de 1.010 km do ponto mais extremo do RN.
- Parceria entre o MME, o CEPEL e a Marinha do Brasil.
- Sistema fotovoltaico instalado em jun/1998.
- Painel fotovoltaico de 3,6 kWp.
- Dessalinização de água.



Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo

- Nova ECASPSP inaugurada em junho de 2008.
- Painel fotovoltaico de 7,8 kWp.
- Equipamentos mais modernos.
- Dessalinização de água.



Nova Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo

39



40

Apoio técnico ao PRODEEM desde 1995.

Atividades concluídas:

- instalação de sistemas fotovoltaicos durante a primeira fase;
- apoio técnico para confecção dos editais de licitação de compra de equipamentos;
- apoio na elaboração do Plano de Revitalização e Capacitação do PRODEEM.

Atividades atuais:

- desenvolvimento do Sistema Gerencial do PRODEEM;
- apoio na análise dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento instalados no campo.

Obrigado!

ary@cepel.br

Telefone: (21)2598-6282