

Energias Alternativas na Matriz Energética

Os Desafios Enfrentados com as Energias Eólica e Solar

Rafael Ferreira

Semana do Meio Ambiente - UFSC

Junho/2017

Sumário

- 1 Consumo e Matriz Brasileira
- 2 Produção e Energia de Base
- 3 Geração Eólica
- 4 Evolução do Grid
- 5 Emissão de CO2
- 6 Energia Solar
- 7 Consumo de Área
- 8 Reserva de Energia
- 9 Conclusões

Consumo Energético Brasileiro - 2015 ^[2]

Renováveis

41,2%

Biomassa de
Cana 16,9%



Hidráulica
11,3%



Lenha e Carvão
Vegetal 8,2%



Lixívia e outras
4,7%



Não Renováveis

58,8%

Petróleo e Derivados
37,3%



Gás Natural
13,7%



Carvão mineral
5,9%



Urânio e Outros
1,9%

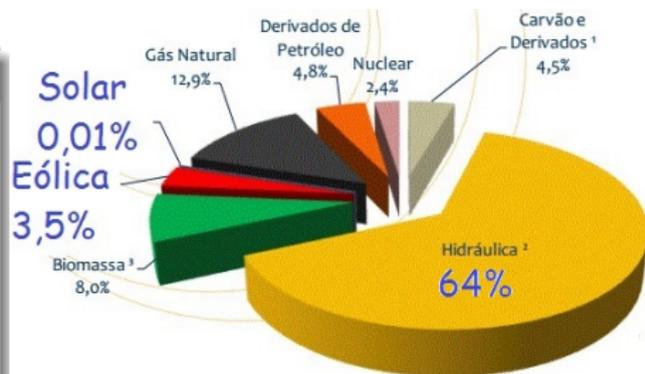


Matriz Elétrica Brasileira 2015-2017

Mix 2017

| Tipo | Plantas | P[GW] | % |
|---------|---------|-------|-------|
| Hidro | 1262 | 98,08 | 64,71 |
| Térmica | 2949 | 41,10 | 27,12 |
| Eólica | 424 | 10,39 | 6,86 |
| Nuclear | 2 | 1,99 | 1,31 |
| Solar | 44 | 0,23 | 0,02 |

Fonte: [3]



Oferta Hidráulica: 394,2 TWh

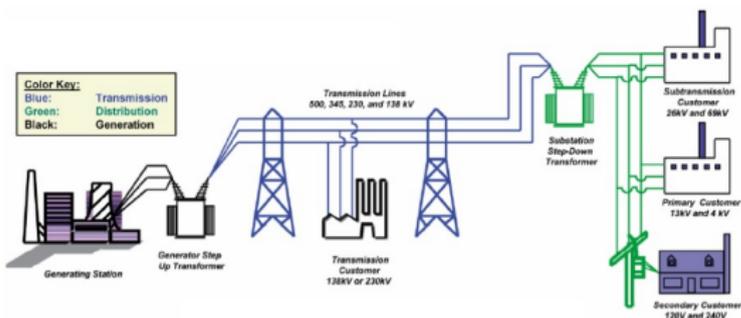
Oferta Total: 614,9 TWh

Fonte: [2]

As fontes eólicas e a solares duplicaram a representatividade na matriz elétrica brasileira.

Produção de Energia

Plantas de geração distantes dos grande centros.



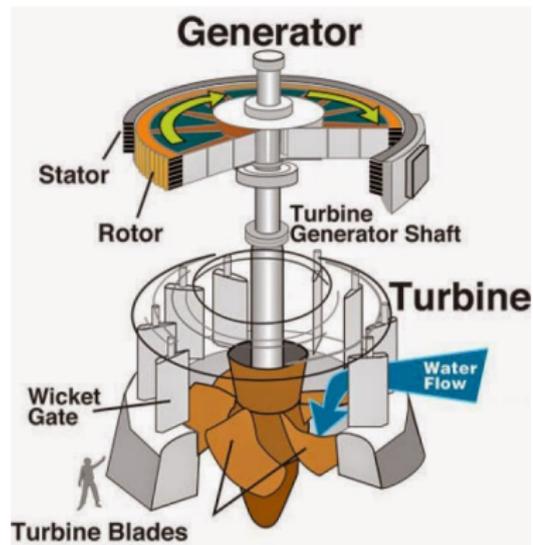
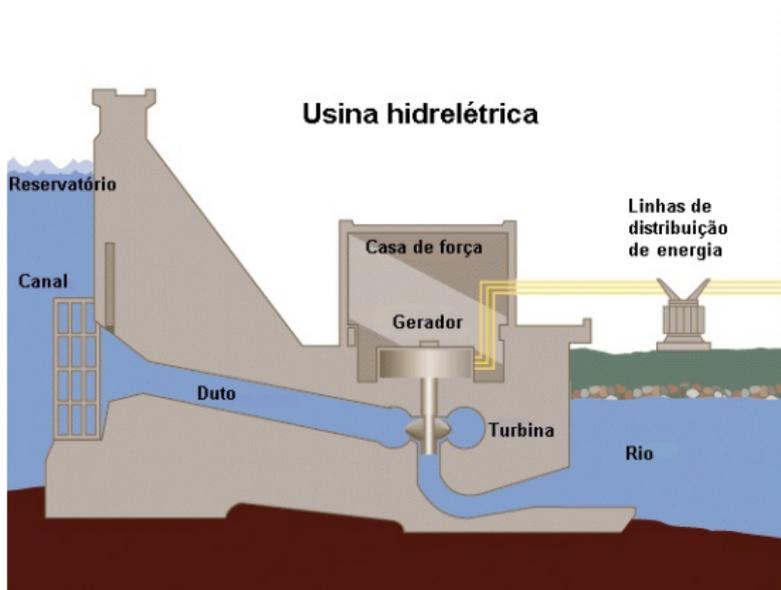
- Geração em larga escala;
- Baixo custo;
- Tecnologia conhecida.
- Perdas de transmissão;
- Impacto ambiental;
- Impacto social.

Fonte: [1]

Geração = Carga;
Capacidade de atendimento a variação da demanda;
Robustez.

Energia de Base - Hidrelétricas

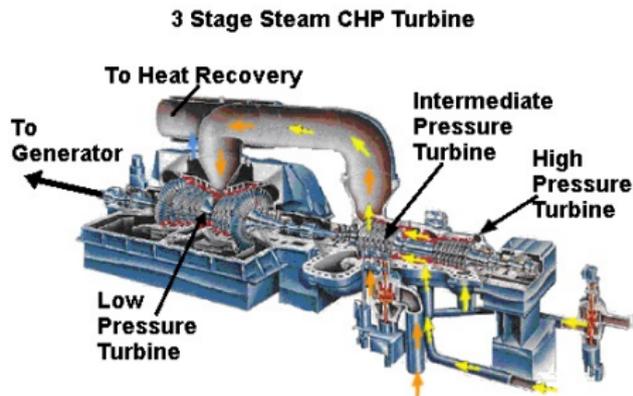
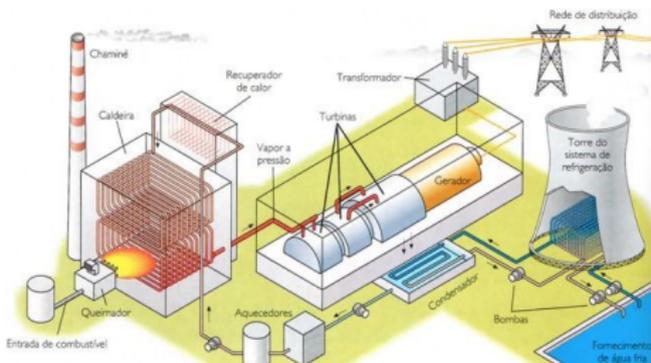
Energias que acompanham a carga: hidráulica.



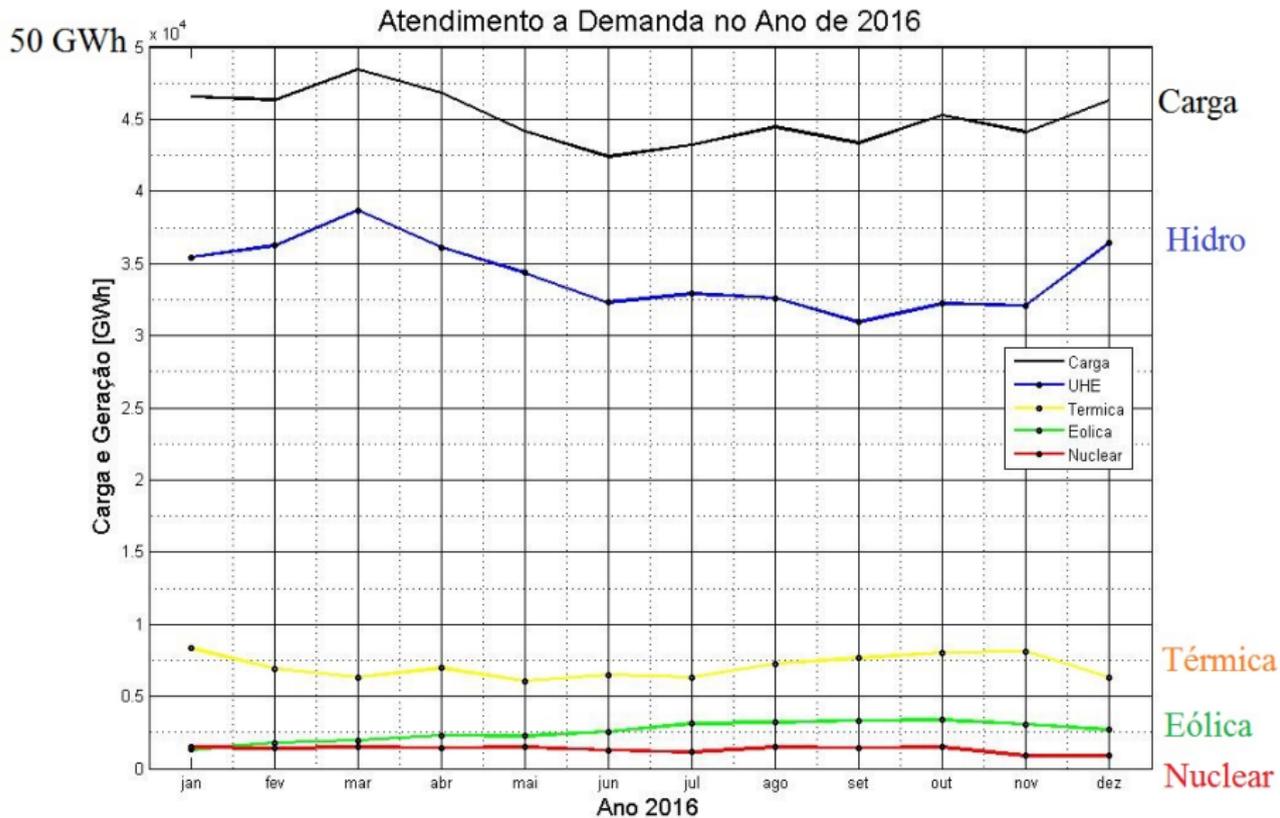
Acumula-se energia na forma de "altura de coluna d'água."

Energia de Base - Térmicas

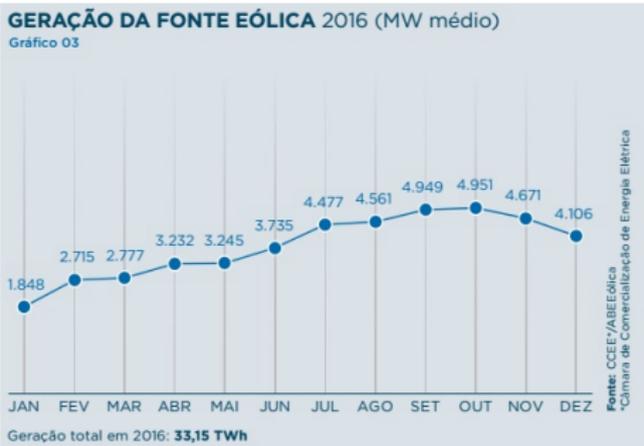
Energias que acompanham a carga: Térmica.



Acumula-se energia na forma de combustível e pressão de vapor.



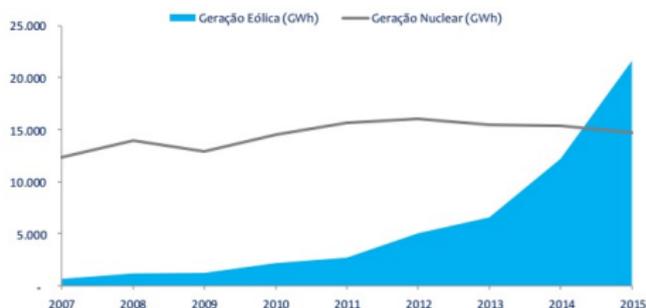
Geração Eólica



Fonte: [4]

- Maior geração nos meses de menor geração hídrica (Complementariedade de fontes).
- Menor geração nos meses de maior consumo.

Geração Eólica já é a terceira fonte de maior capacidade instalada no país.

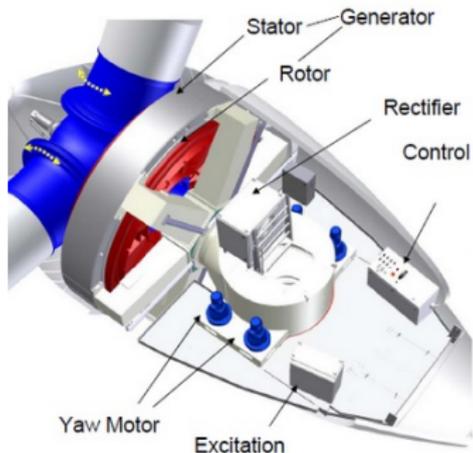


Fonte: [2] [4]

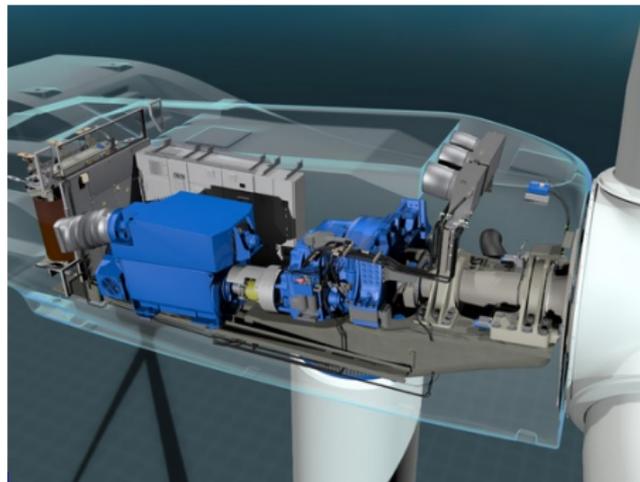
- $\Delta 15/14 = 77,11\%$;
- $\Delta 16/15 = 21,35\%$.

Geração Eólica - Tecnologia

Sem caixa de engrenagem;
Gerador síncrono.



Com caixa de engrenagem;
Gerador de indução.



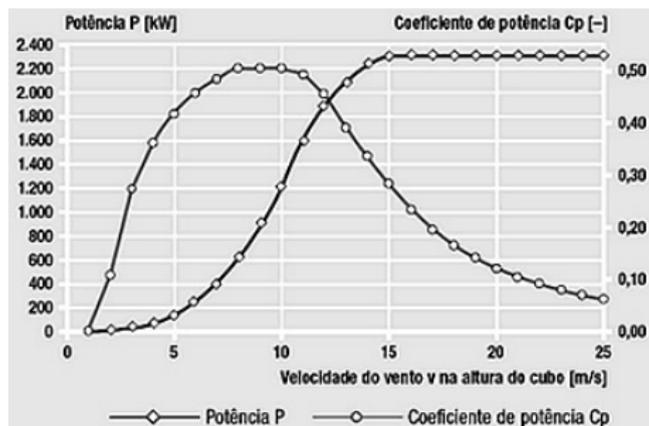
Geração Eólica - Tecnologia



Eólica Cerro Chato

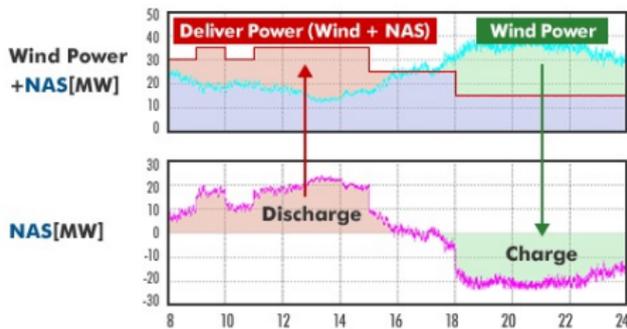


Complexo Eólico Campos Neutrais



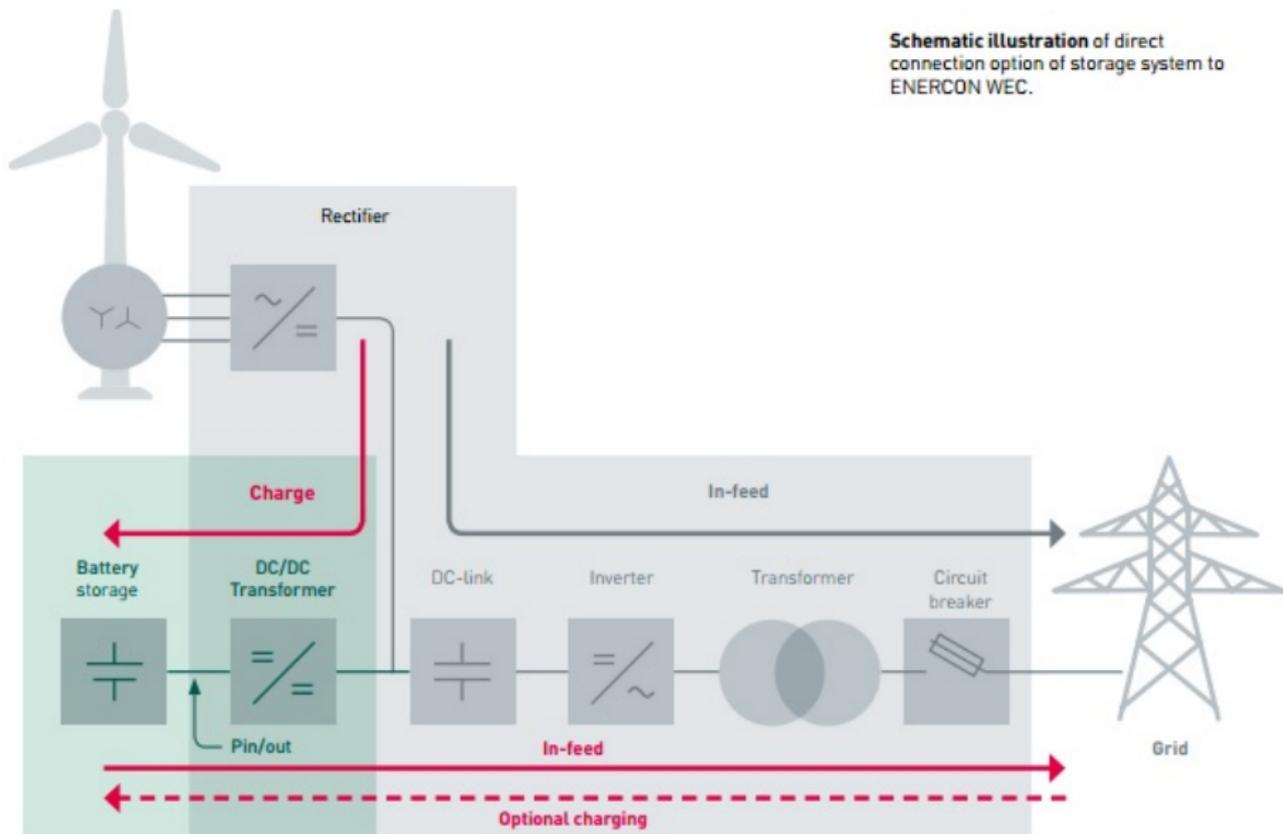
Geração Eólica e Acumulo de Energia

Como acumular a energia eólica?



Geração Eólica e Acumulo de Energia

Schematic illustration of direct connection option of storage system to ENERCON WEC.



Uma vez resolvido a questão da intermitência, como resolver o problema da inercia e estabilidade?

2006 International Conference on Power System Technology

Use of Battery Energy Storage System to Improve the Power Quality and Stability of Wind Farms

Jie Zeng, Buhan Zhang, Chengxiong Mao, *Member, IEEE*, and Yunling Wang

2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power

Use of Turbine Inertia for Power Smoothing of Wind Turbines with a DFIG

L. Ran, *Member IEEE* J.R. Bumby P.J. Tavner

254

IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 16, NO. 2, MAY 2001

Integration of a StatCom and Battery Energy Storage

Z. Yang, *Student Member, IEEE*, C. Shen, *Member, IEEE*, L. Zhang, *Student Member, IEEE*, M. L. Crow, *Senior Member, IEEE*, and S. Atcitty, *Member, IEEE*

IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 24, NO. 3, AUGUST 2009

1469

Optimizing a Battery Energy Storage System for Frequency Control Application in an Isolated Power System

Pascal Mercier, Rachid Cherkaoui, *Senior Member, IEEE*, and Alexandre Oudalov

882

IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 29, NO. 4, DECEMBER 2014

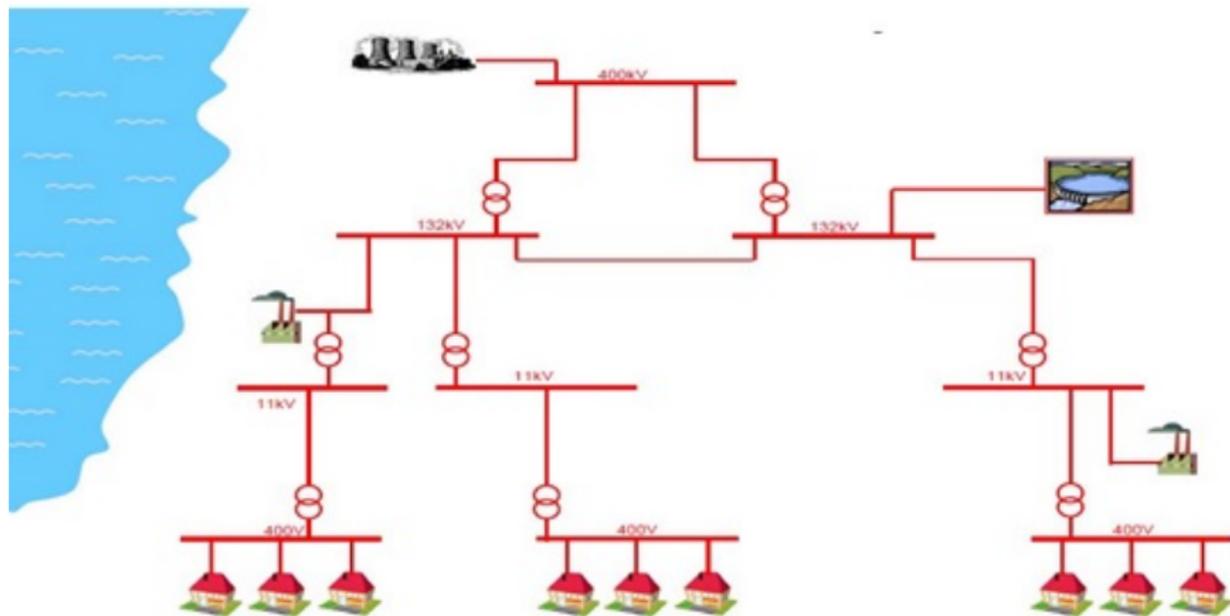
Autonomous Active Power Control for Isolated AC Microgrids With Photovoltaic Generation and Energy Storage System

Dan Wu, Fen Tang, Tomislav Dragicevic, *Member, IEEE*, Juan C. Vasquez, *Member, IEEE*, and Josep M. Guerrero, *Senior Member, IEEE*

Grid Inertial Response with Lithium-ion Battery Energy Storage Systems

Vaclav Knap, Rakesh Sinha, Maciej Swierczynski, Daniel-Ioan Stroe and Sanjay Chaudhary
Department of Energy Technology, Aalborg University, Denmark
Email: vkn@et.aau.dk

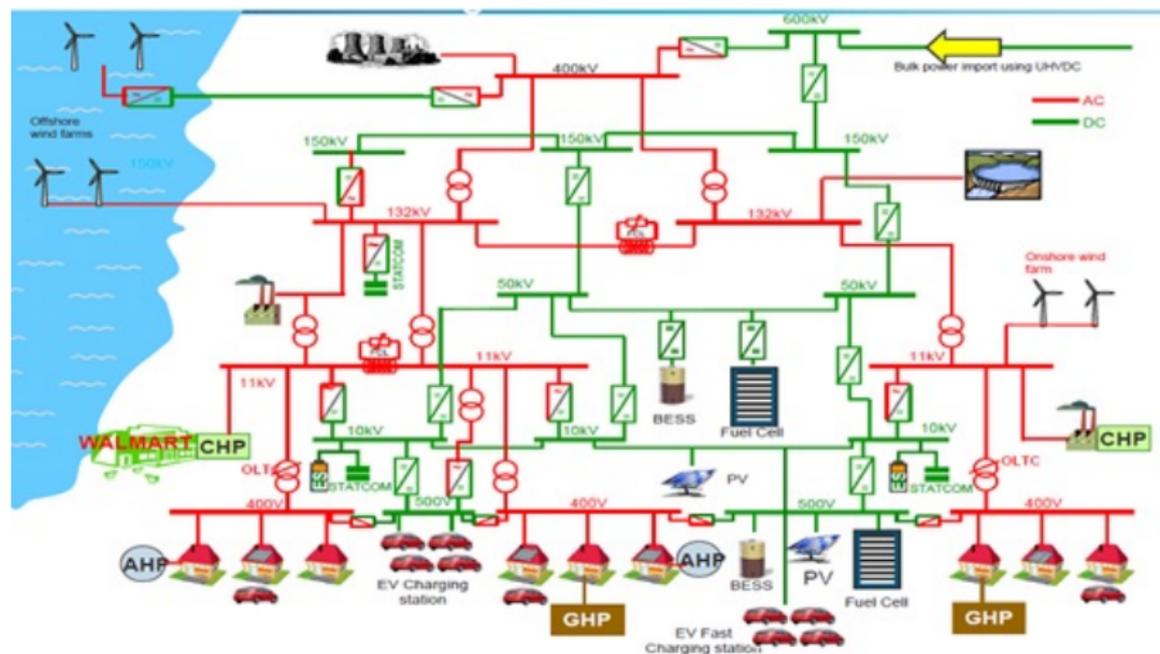
O Grid do Passado



Fonte: [5]

Geração centralizada através de máquinas síncronas.

O Grid do Futuro



Geração descentralizada através de fontes intermitentes;
Baterias vão mitigar questões de intermitência;
Papel de protagonismo das distribuidoras;
Promoção da estabilidade através de máquinas síncronas.

Emissão de CO₂ de Baterias

Capacidade Instalada: 51 MW
Banco de Baterias: 245 MWh



- No Brasil uma usina de 51 MW gera 3600 GWh em 20 anos (FC=0.40 [4]);
- Emite 50.000 tonCO₂ em 20 anos;
- A produção de um banco novo de 245 MWh produz 28.000 tonCO₂;
- Em 20 anos a emissão de CO₂ mais do que dobra (1 troca a cada dez anos);

[6]

Emissão de CO₂ de Baterias

Key properties of various battery technologies.

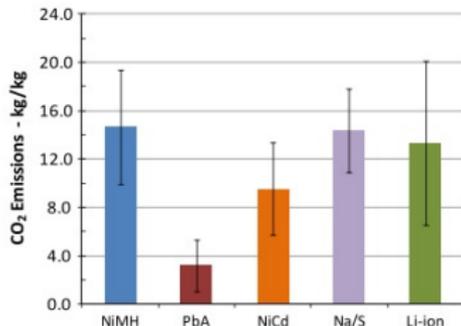
| Technology | Application ^a | Specific energy (Wh/kg) | Cycle life | % Energy efficiency |
|------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| PbA | EV [1] | 35–50 | 500–1000 | 80+ |
| | PV [9] | 20–32 | 700 ^b –1500 ^c | 70–84 |
| NiCd | EV [1] | 40–60 | 800 | 75 |
| | PV [9] | 22–30 | 1200 ^b –5500 ^c | 65–85 |
| NiMH | EV [1] | 75–95 | 750–1200 | 70 |
| | PV [9] | 35–55 | 1,000 ^b –2900 ^c | 65–85 |
| Li-ion | EV [16] | 114 | >800 | |
| | PV [9] | 80–120 | 6000 ^b –8500 ^c | 85–95 |
| Na/S | EV [2] | 100 | | |
| | PV [9] | 103–116 | 4700 ^b –7200 ^c | 75–83 |

^a EV = electric vehicle; PV = fotovoltaic energy.

^b Cycle life at 80% depth of discharge.

^c Cycle life at 33% depth of discharge.

Baterias de Lítio concentram mais energia por quilo;
Emite 14 kg de CO₂ para cada 1 Kg de Bateria.



Desenvolvimento de Baterias

Elon Musk and Malcolm Turnbull talk battery solutions for energy problems

Tesla boss speaks to South Australian premier and then Australian prime minister about issues with state and national supply



The chief executive of Tesla, Elon Musk, pledged to install the batteries needed to prevent blackouts in South Australia and have the situation fixed within 100 days. Photograph: Ringo HW Chu/AP

Lithium-Ion Battery Inventor Introduces New Technology for Fast-Charging, Noncombustible Batteries

Feb. 28, 2017

ECONOMIA

Custo de armazenar energia em baterias cairá 70% até 2030

Os altos custos de sistemas de bateria hoje impedem que operadores de usinas os utilizem em escala comercial

Engie launches energy storage pilot in Brazil

French multinational electric utility company Engie partnered with Eos Aurora and Northern Power to implement a utility-scale battery energy storage pilot in Brazil. Under the energy storage pilot, Eos Aurora and Northern Power will construct a 1MW/4MWh energy storage system in Engie's service territory in the Brazilian municipality of Tubarão.

AES trará ao país baterias que armazenam energia

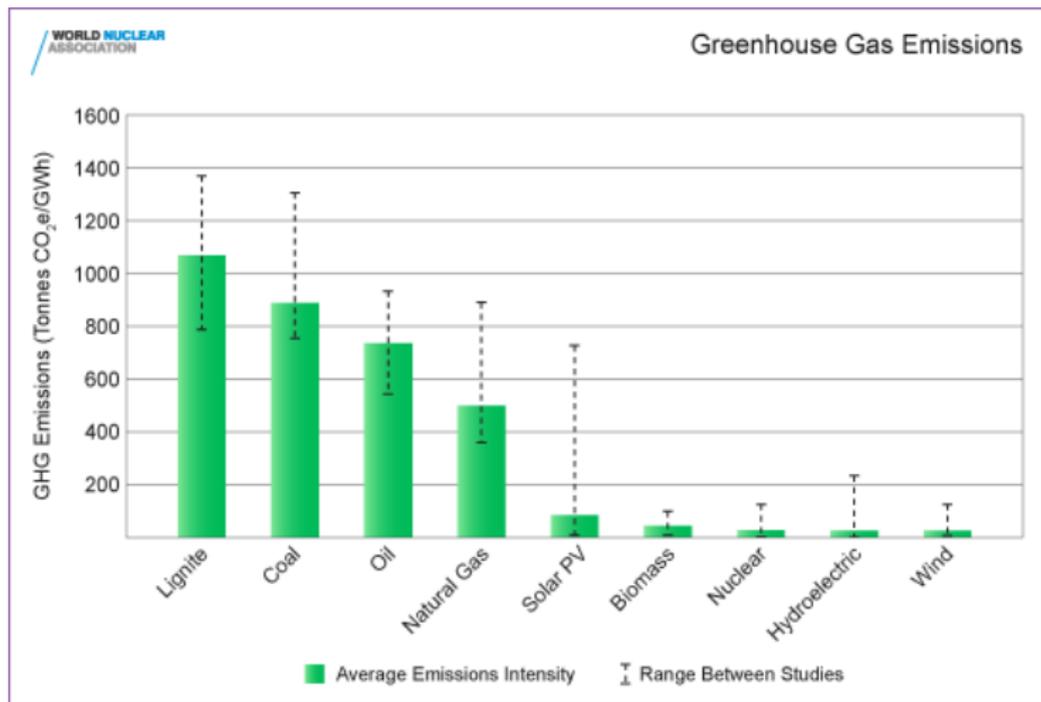
Opção está em fase inicial de expansão

24/11/2015

Líder mundial no armazenamento de energia em baterias, a AES planeja investir no setor no Brasil a partir do ano que vem, com uma unidade de 10 MW, em local ainda a ser definido. A aplicação mais importante no país

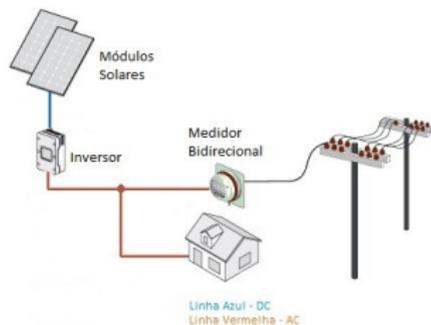


Emissão de CO₂ por Fonte de Energia



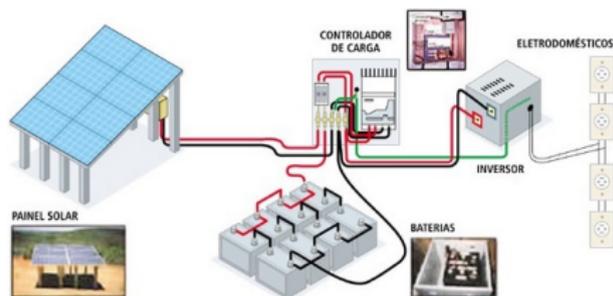
Os bancos de baterias podem tornar a energia eólica mais emissora de gases de efeito estufa que a biomassa.

Dependente do grid.



- Mais barato, não usa baterias;
- Não há autonomia, depende da rede;

Autônomo.



- Funciona sem luz do sol;
- Trata-se de um sistema mais caro;

Energia Solar



- Xapuri/AC - Eletrobras.
- 103 sistemas autônomos de 255 Wp;
- Autonomia para refrigerador de 50 litros;
- Vida útil limitada devido a ausência de manutenção.

Fonte: [11]

Energia Solar

- Energia solar representa apenas 0,02% do mercado de energia - 23.761 MW;
- Já tem-se 3000 MW licitados;
- O plano de expansão decenal prevê 8300 MW até 2024;
- Geração distribuída será responsável por 1300 MW.
- Em 2024 a energia solar representará 1% da matriz energética.

Fonte: [12]



Feed-in

- Valor da tarifa baseada no custo da geração;
- A energia injetada pela unidade tem maior valor que a consumida;
- Compra obrigatória pela concessionária;
- Crescimento da GD acima da expectativa - "limitação" da geração da U.C;
- Países que adotaram este sistema estão reformulando o modelo.

Net Metering

- O excedente retorna como crédito e o preço de venda, usualmente, é o mesmo preço de compra;
- Manutenção da modicidade tarifária;
- Não traz problemas de instabilidade na rede;
- "Limita" o crescimento da GD;
- No Brasil, o entrave ao aumento da GD por fonte solar é custo de equipamentos.

Energia Solar e Custo de Instalação

Weighted average efficiency and analysis of investment of photovoltaic systems in the Brazilian state of Santa Catarina

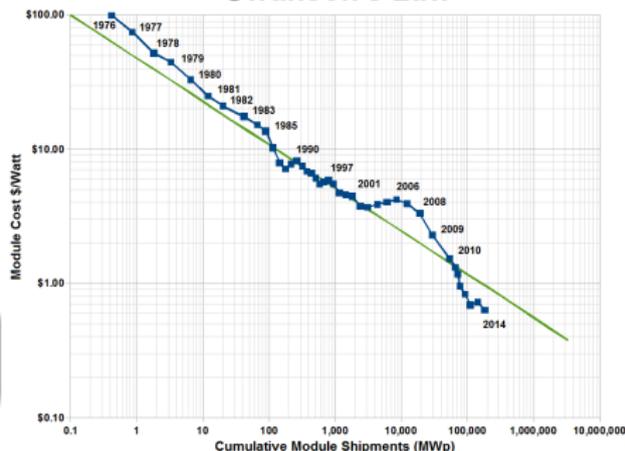
Adriano Péres, Alexandre Kellermann, René Alfonso Reiter, Tiago Davi Curi Busarello
Departamento de Engenharias
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC Blumenau
Blumenau, Brazil
aperes.ufsc@gmail.com

Fonte: [14]

TMR=10,85% - o investimento não é indicado.

- Redução do custo de componentes;
- Isenção fiscal (ICMS);
- Em SC, para cada 1 kWh produzido, 0,75 kWh é convertido em crédito.

Swanson's Law



Com uma redução de valor dos módulos tão significativa, em breve a energia solar será viável, sem necessidade de incentivos.

Eólica

- Consumo de terra - afastamento de 5 a 10 vezes o tamanho do rotor; A área pode ser aproveitada para produção agrícola, lazer, etc. Residências já não são viáveis devido ao efeito de sombra;
- Ruído, seja do fluxo do ar, chaveamento dos inversores e caixa de engrenagens;
- Visual;
- Mortalidade de aves e morcegos;
- Interferência eletromagnética;
- Em Geração distribuída, tem-se problemas de vibração.

Solar

- Consumo de terra - degradação da terra e anulação do habitat para viabilidade de vida animal ou vegetal;
- Emissão de CO₂ no processo de fabricação dos lingotes de silício;
- Materiais perigosos (ácidos, nitratos, acetona) são utilizados no processo de fabricação;
- Grandes usinas solares apresentam bolhas de calor causando alteração climática local.

Energia Solar e Eólica - Impactos



Consumo de Área - Energia Alternativa



One lane of cars

Qual a área necessária para "mover" a rodovia?

Carros a 100 km/h. Consumindo 12,8 km/l. Separados por 80 m. Produção de 120000 l/km².

R - 8 km [17]

Biocombustível

Álcool 0,5 W/m² [17]

Solar

MWSolar 1 MWp 1079 MWh/ano
15 W/m²

Noronha II 0,5 MWp 777 MWh/ano
11 W/m²

Imperial S.E 130 MWp 293 GWh/ano
8 W//m² [25]

Solar Star 597 MWp 679 GWh/ano
6 W/m² [25]

Eólica

ECCI,II,III 90 MW 300 GWh/ano 0,42
W/m²

Geribatu 258 MW 680 GWh/ano 1,63
W/m²

Área de UFV's e UHE's não podem ser utilizadas para outros fins.

Consumo de Área - UHE's e UTE's

UHE's - Fio d'água

Itaipu 14000 MW Área 1350 km²
8,7 W/m²

Belo Monte 11233 MW Área
4571 km² 8,8 W/m²

UHJB 19 MW Área 3,4 km² 3,0 W/m²

UHE's Com Reservatório

Tucuruí 8370 MW Área 2850 km²
3,0 W/m²

Sobradinho 1050 MW Área 4214 km²
0,13 W/m²

Balbina 250 MW Área 2360 km²
0,0561 W/m².

Nuclear

Angra 1990 MW.

Área 0,12 km² 15000 W/m² [21]

UTE's

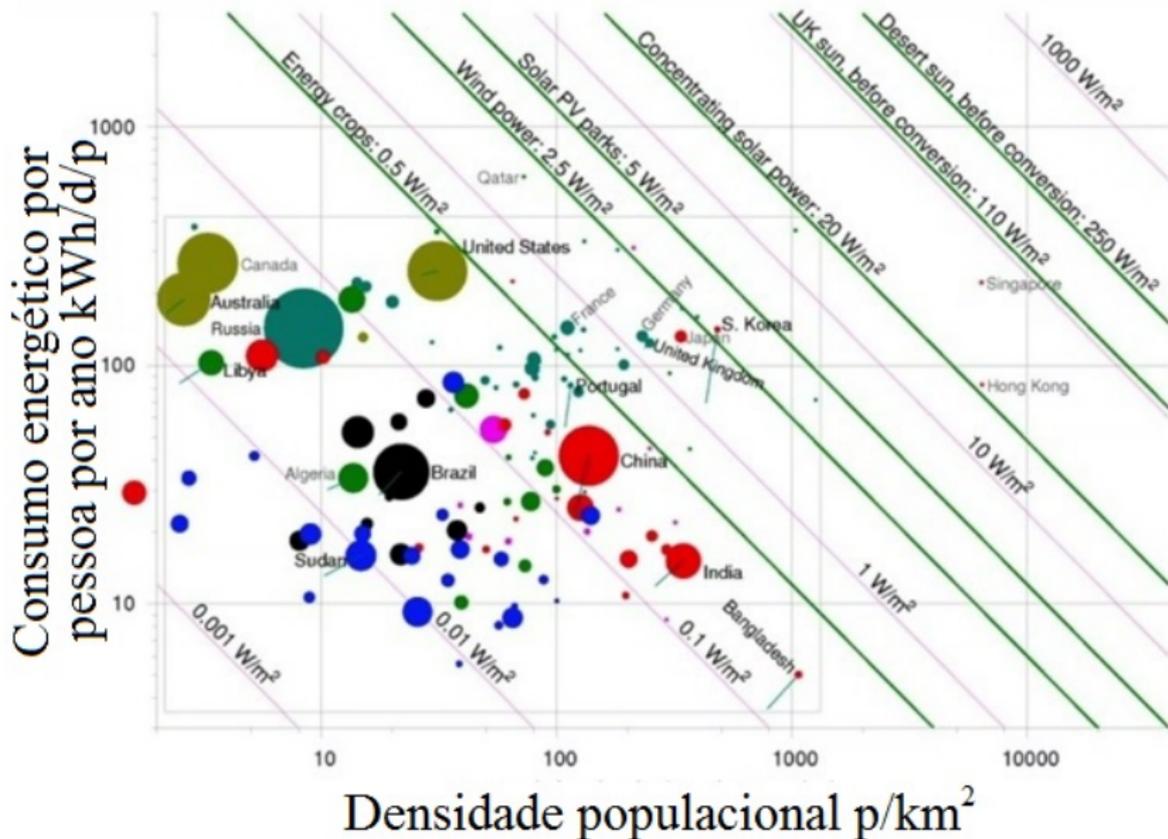
UEGA 469 MW. Área 0,25 km²
1876 W/m² [20]

Suape II 381,2 MW Área 0,036km²
10500 W/m² [22]

Reservatórios podem ser muito invasivos.

- UHE's fio d'água apresentam densidade de energia equivalente a UFV;
- Apresentam maior impacto ambiental;
- UHE's contribuem com a estabilidade e continuidade;
- UHE com reservatório contribui para o planejamento e segurança energética.

Consumo de Área - Europa



Consumo de Área - Brasil

Consumo Brasileiro: $0,05 \text{ W/m}^2$
Área do Brasil: $8.516.000 \text{ km}^2$.

Eólica

- 2% do território Brasileiro;
- Área necessária: 170320 km^2 ;
- 1,78 vezes o estado de Santa Catarina;

Solar

- 1% do território Brasileiro;
- Área necessária: 85160 km^2 ;
- 0,89 vezes o estado de Santa Catarina;

Consumo de Área - Brasil

Muitas áreas do território não apresentam viabilidade.

Eólica



[27]

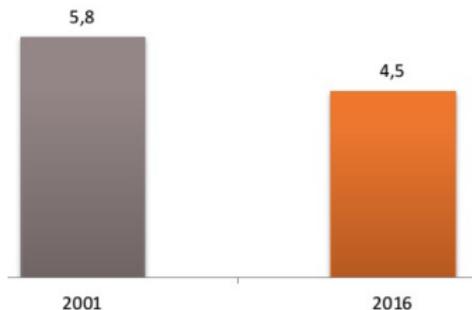
Solar



[26]

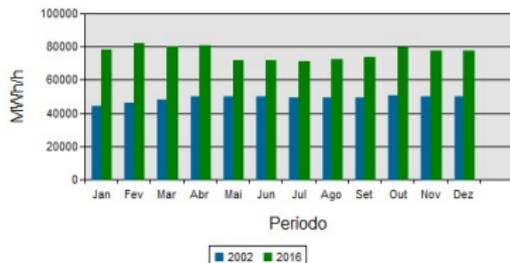
Reserva de Energia

Capacidade de Armazenamento / Carga (meses)



Fonte: [23]

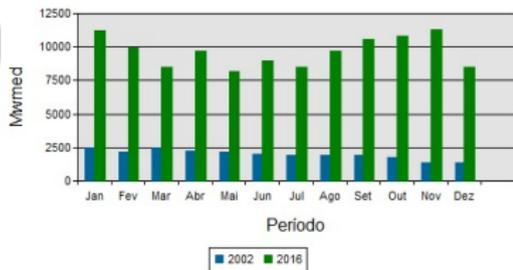
Carga de Demanda - SIN



Aversão ao risco de 5%.

- 76% das UHE's construídas no período são fio d'água. [24]
- 56% de aumento na demanda [10];
- 384% de aumento no despacho térmico [10].

Geração de Energia - Térmica Convencional -



Conclusões

- O consumo energético brasileiro não é predominantemente renovável. Mas a produção de eletricidade brasileira é limpa;
- As máquinas síncronas de UHE's e UTE's são importantes para segurança energética, estabilidade e continuidade do suprimento energético;
- As baterias podem mitigar o problema da continuidade de suprimento de fontes intermitentes como eólica e solar; Teremos um custo na emissão de CO₂.
- Muitos estudos procuram mitigar o problema da estabilidade, também utilizando baterias;
- Em Santa Catarina teremos que esperar o barateamento dos componentes para o sistema ser rentável - instalação de GD;
- As UHE's a fio d'água possuem um bom aproveitamento do recurso. As UTE's são menos invasivas - analisando pela métrica da densidade de energia;
- A renúncia aos reservatórios implicou no aumento do despacho térmico - aumentando a emissão de gases de efeito estufa.

Ruth Leão. GTD - Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. Universidade Federal do Ceará, 2009.

Balanço Energético Nacional 2016 - Relatório Síntese Ano Base 2015. EPE - Empresa de Pesquisa Energética, RJ, Junho, 2016.

Agência Nacional de Energia Elétrica. (2017, March 03). BIG - Banco de Informações da Geração [Online]. Available: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>

Boletim Anual de Geração Eólica 2016. ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica, SP, 2016.

Prasad Enjeti. Advance Converters for Utility Interface of Distributed Generation Systems. PEDG 2017- 8th Internacional Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems. Florianópolis, BR, 2017.

<http://www.ngk.co.jp/nas/casestudies/rokkasho/> Acessado em Maio de 2017.

J.L. Sullivan, L. Gaines, "Status of life cycle inventories for batteries", *Energy Conversion and Management*, vol 58, pp 134–148, 2012.

Enercon GmbH. Storage Solutions foa Renwable energy Sustum. *Windblatt - the Enercon Magazine*. vol 03, pp 10-15, 2015.

<http://www.ons.org.br/resultadosoperacao/SDRO/Diario/index.htm> Boletim diário da operação. Acessado em Maio de 2017.

<http://www.ons.org.br/historico/>

Eletrobras. Eficiência energética em sistemas fotovoltaicos para eletrificação rural e isolada. II congresso latino americano de distribuición eléctrica, Rosário, 2012.

Plano Decenal de Expansão de Energia 2024, Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2015.

Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos, EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2014.

Adriano Péres, Alexandre Kellermann, Renê Alfonso Reiter, Tiago Davi Curi Busarello. Weighted average efficiency and analysis of investment of photovoltaic systems in the Brazilian state of Santa Catarina. PEDG 2017- 8th Internacional Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems. Florianópolis, BR, 2017.

Bibliografia

Landeira, Juan L. F. Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica do Brasil. ABDI - Agência brasileira de desenvolvimento industrial, 2014.

<http://www.ted.com/speakers/davidmackay>

<https://www.enel.com.br/pr/midia/news/d201703-nova-olinda-primeiro-painel-est-instalado.html>

<http://americadosol.org/megawatt-solar/>

<http://www.uega.com.br/informacoes-tecnicas/>

Guia Eletronuclear de Pronto Resposta. 2009.

<http://www.suapeenergia.com.br/quem-somos.html>

Prandini T. M., Mello J. C., Ramos L. G., Leonordes R. M., O futuro das térmicas na matriz brasileira. *XVII ERIAC Encontro Regional Iberoamericano do Cigré*, Maio de 2017.

<http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/2014-03-10/pais-constroi-hidreletricas-sem-reservatorio-e-pode-precisar-da-energia-nuclear.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_photovoltaic_power_stations

Chigeru Tiba. Atlas solarimétrico do Brasil: Banco de dados solarimétricos. UFPE, 2000.

Cepel, Camargo Schubert e TrueWind. Atlas do potencial eólico brasileiro . Cepel, 2001.

Rafael Ferreira
rafael.ferreira@eletrosul.gov.br
+55 48 32317826