ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Fontes Alternativas de Energia: Energia Eólica e Energia Solar

Francisco José Arteiro de Oliveira
Diretoria de Planejamento e Programação da Operação

Aumento da Expansão de Energia Eólica na Matriz Energética Brasileira

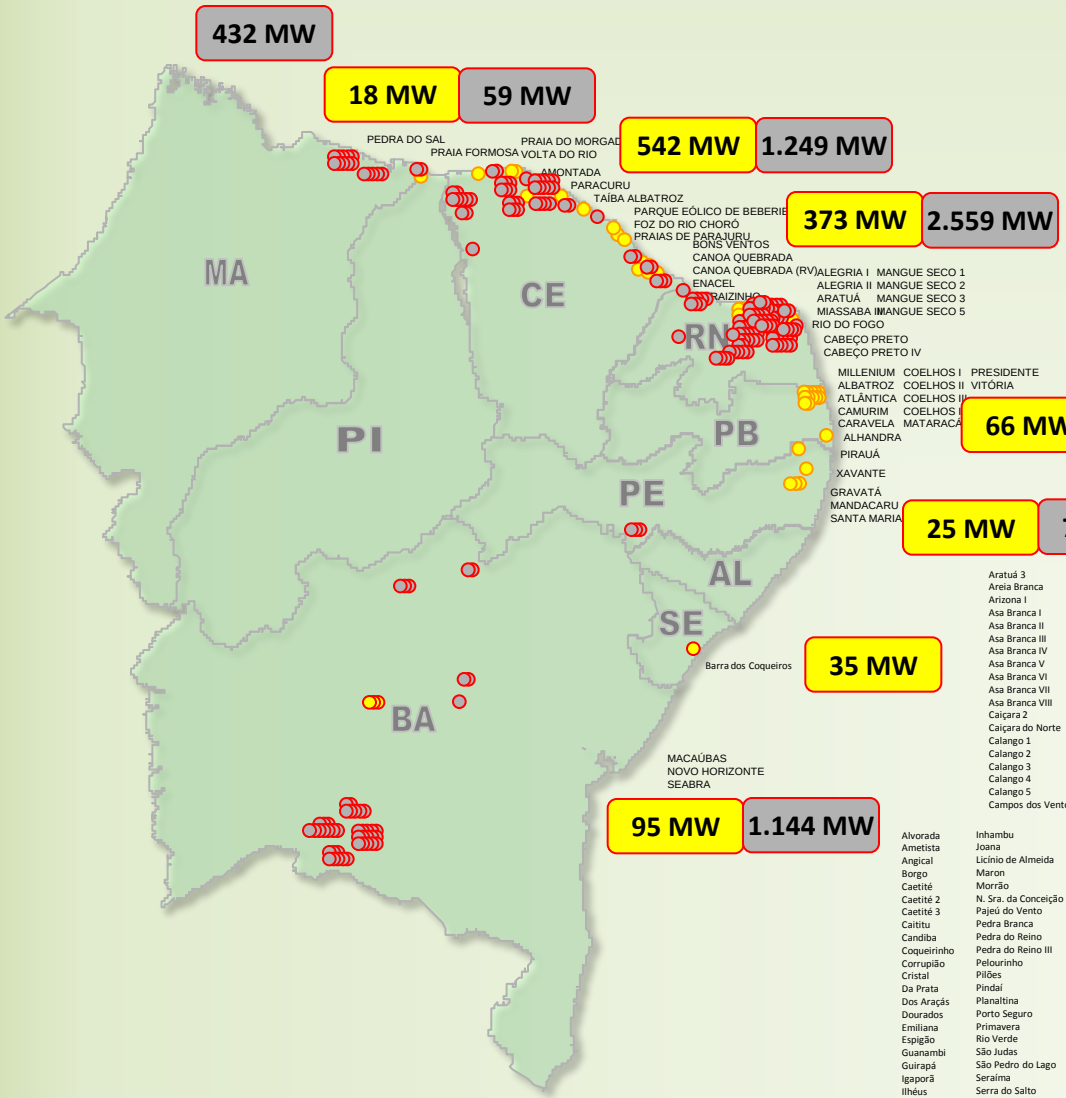
A Matriz de Energia Elétrica de 2014 a 2019

Tipo	2014		2019		Crescimento 2014-2019	
	MW	%	MW	%	MW	%
Hidráulica [1]	95.107	73,5	113.910	67,7	18.803	19,8
Nuclear	1.990	1,5	3.395	2,0	1.405	70,6
Gás / GNL	11.625	9,0	15.479	9,2	3.854	33,2
Carvão	3.210	2,5	3.550	2,1	340	10,6
Biomassa [2]	7.204	5,6	8.668	5,2	1.464	20,3
Outras [3]	1.021	0,8	1.649	1,0	628	61,5
Óleo / Diesel	4.628	3,6	4.736	2,8	108	2,3
Eólica	4.578	3,5	15.946	9,5	11.368	248,3
Solar	5	0,0	895	0,5	890	-
Total	**129.368**	**100,0**	**168.228**	**100**	**38.860**	**30,0**

[1] Considera a participação da UHE Itaipu e PCHs
[2] Inclui PCTs
[3] A parcela "Outros" se refere a outras usinas térmicas com CVU

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Expansão da Geração Eólica na Região Nordeste



Araras
Boca do Córrego
Buriti
Cajucoco
Cataventos Paracuru 1
Colônia
Coqueiro
Dunas de Paracuru
Embuaca
Faisa I
Faisa II
Faisa III
Faisa IV
Faisa V
Fleixeiras I
Garças
Guajirú
Icaraí
Icaraí I
Icaraí II
Ilha Grande
Jandaia
Jandaia I
Junco I
Junco II
Lagoa Seca
Malhadinha I
Mundaú
Pau Brasil
Pau Ferro
Pedra do Gerônimo
Planalto da Taíba
Porto Salgado
Potengi
Quixaba
Ribeirão
São Paulo
Tacaicó
Taíba Águia
Taíba Andorinha
Trairi
Vento do Oeste
Vento Formoso
Ventos de Horizonte
Ventos de Santa Rosa
Ventos de Santo Inácio
Ventos de São Geraldo
Ventos de Sebastião
Ventos de Tianguá
Ventos de Tianguá Norte
Ventos do Morro do Chapéu
Ventos do Parazinho
Marco dos Ventos 1
Marco dos Ventos 2
Marco dos Ventos 3
Marco dos Ventos 4
Marco dos Ventos 5
Ventos do Norte 1
Ventos do Norte 10
Ventos do Norte 2
Ventos do Norte 3
Ventos do Norte 4
Ventos do Norte 5
Ventos do Norte 6
Ventos do Norte 7
Ventos do Norte 8
Ventos do Norte 9

CAPACIDADE INSTALADA DEZEMBRO DE 2015

7.738 MW

1.154 MW (50 CGE) | **6.584 MW (210 CGE)**

Aratuá 3
Areia Branca
Arizona I
Asa Branca I
Asa Branca II
Asa Branca III
Asa Branca IV
Asa Branca V
Asa Branca VI
Asa Branca VII
Asa Branca VIII
Caiçara 2
Caiçara do Norte
Calango 1
Calango 2
Calango 3
Calango 4
Calango 5
Campos dos Ventos II
Carcará I
Carcará II
Carnaúbas
Costa Branca
Dreen Boa Vista
Dreen Cutia
Dreen Guajiru
Dreen Olho d'Água
Dreen São Bento do Norte
Eurus I
Eurus II
Eurus III
Eurus IV
Eurus VI
Famosa I
Farol
GE Jangada
GE Maria Helena
Juremas
Lanchinha
Macacos
Mar e Terra
Mel 02
Miassaba 3
Miassaba 4
Modelo I
Modelo II
Morro dos Ventos I
Morro dos Ventos II
Morro dos Ventos III
Morro dos Ventos IV
Morro dos Ventos IX
Morro dos Ventos VI
Pelado
Pedra Preta
Reduto
Rei dos Ventos 1
Rei dos Ventos 3
Rei dos Ventos 4
Renascença I
Renascença II
Renascença III
Renascença IV
Renascença V
Riachão I
Riachão II
Riachão IV
Riachão VI
Riachão VII
Santa Clara I
Santa Clara II
Santa Clara III
Santa Clara IV
Santa Clara V
Santa Clara VI
Santa Helena
Santo Cristo
São João
Serra de Santana I
Serra de Santana II
Serra de Santana III
SM
União dos Ventos 1
União dos Ventos 10
União dos Ventos 2
União dos Ventos 3
União dos Ventos 4
União dos Ventos 5
União dos Ventos 6
União dos Ventos 7
União dos Ventos 8
União dos Ventos 9
Ventos de Santo Uriel
Ventos de São Miguel

Alvorada
Ametista
Angical
Borgo
Caetité
Caetité 2
Caetité 3
Caititu
Candiba
Coqueirinho
Corrupião
Cristal
Da Prata
Dos Araçás
Dourados
Emiliana
Espigão
Guanambi
Guirapá
Igaporã
Ilhéus
Inhambu
Joana
Licínio de Almeida
Maron
Morrão
N. Sra. da Conceição
Pajeú do Vento
Pedra Branca
Pedra do Reino
Pedra do Reino III
Pelourinho
Pilões
Pindaí
Planaltina
Porto Seguro
Primavera
Rio Verde
São Judas
São Pedro do Lago
Seraíma
Serra do Salto
Serra do Espinhaço
Sete Gameleiras
Tamanduá Mirim
Tanque
Teiu
Ventos do Nordeste

SOMENTE EMPREENDIMENTOS COM OUTORGA

Source: ANEEL

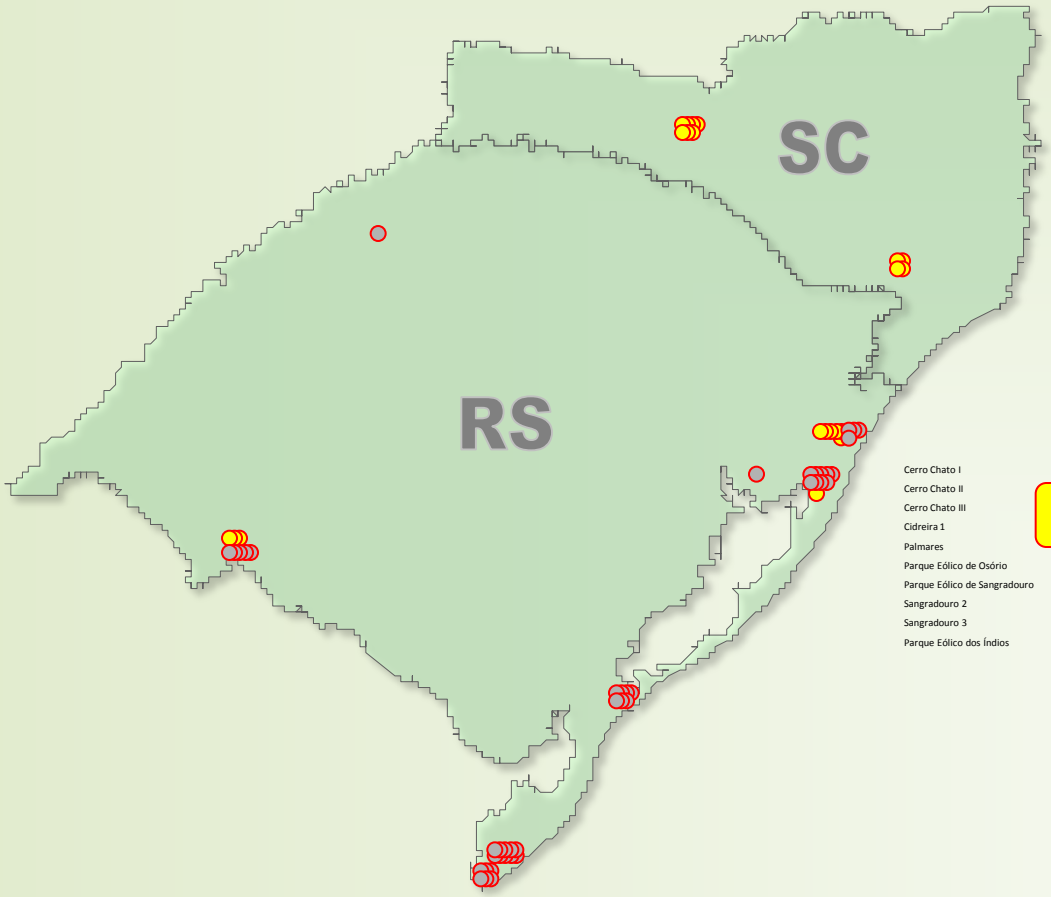
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Expansão da Geração Eólica na Região Sul

CAPACIDADE INSTALADA DEZEMBRO DE 2015

1.648 MW

621 MW (21 CGE)	1.027 MW (43 CGE)



Água Doce
Amparo
Aquibatã
Bom Jardim
Campo Belo
Cascata
Cruz Alta
Púlpito
Rio do Ouro
Salto
Santo Antônio

231 MW

Cerro Chato I
Cerro Chato II
Cerro Chato III
Cidreira 1
Palmares
Parque Eólico de Osório
Parque Eólico de Sangradouro
Sangradouro 2
Sangradouro 3
Parque Eólico dos Índios

390 MW | **1.027 MW**

SOMENTE EMPREENDIMENTOS COM OUTORGA

Atlântica I
Atlântica II
Atlântica IV
Atlântica V
Cerro Chato IV
Cerro Chato V
Cerro Chato VI
Cerro dos Trindade
Chuí I
Chuí II
Chuí IV
Chuí V
Corredor do Senandes II
Corredor do Senandes III
Corredor do Senandes IV
Dos Índios 2
Dos Índios 3
Fazenda Rosário 2
Força 1
Força 2
Força 3
Giruá
Ibirapuitã I
Minuano I
Minuano II
Osório 2
Osório 3
Pinhal
Pontal 2B
REB Cassino I
REB Cassino II
REB Cassino III
Vento Aragano I
Verace I
Verace II
Verace III
Verace IV
Verace V
Verace IX
Verace VI
Verace VII
Verace VIII
Verace X

Source: ANEEL

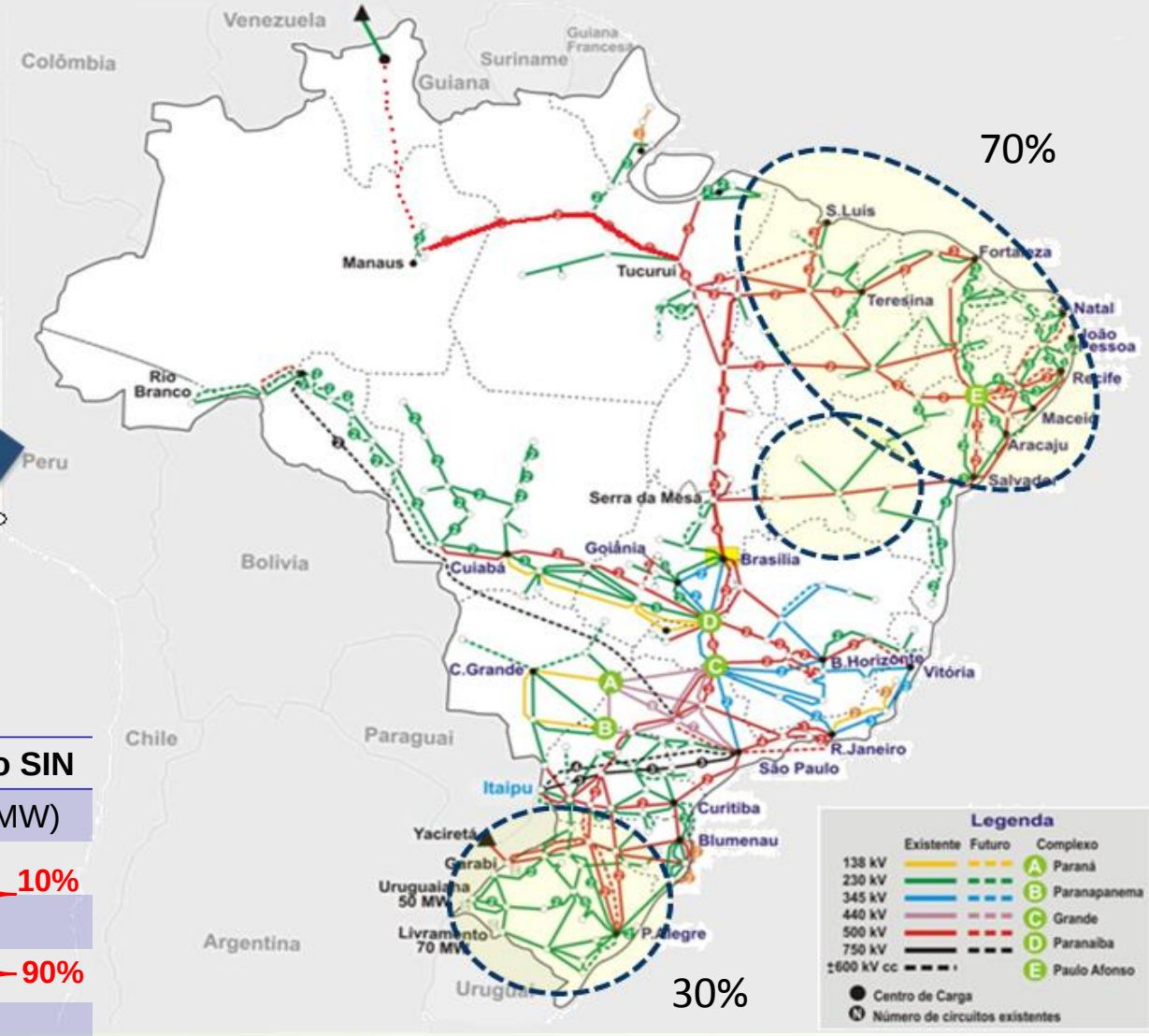
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Evolução da Expansão Eólica - Horizonte 2021

Geração Eólica no SIN

Usinas Eólicas em Operação no SIN

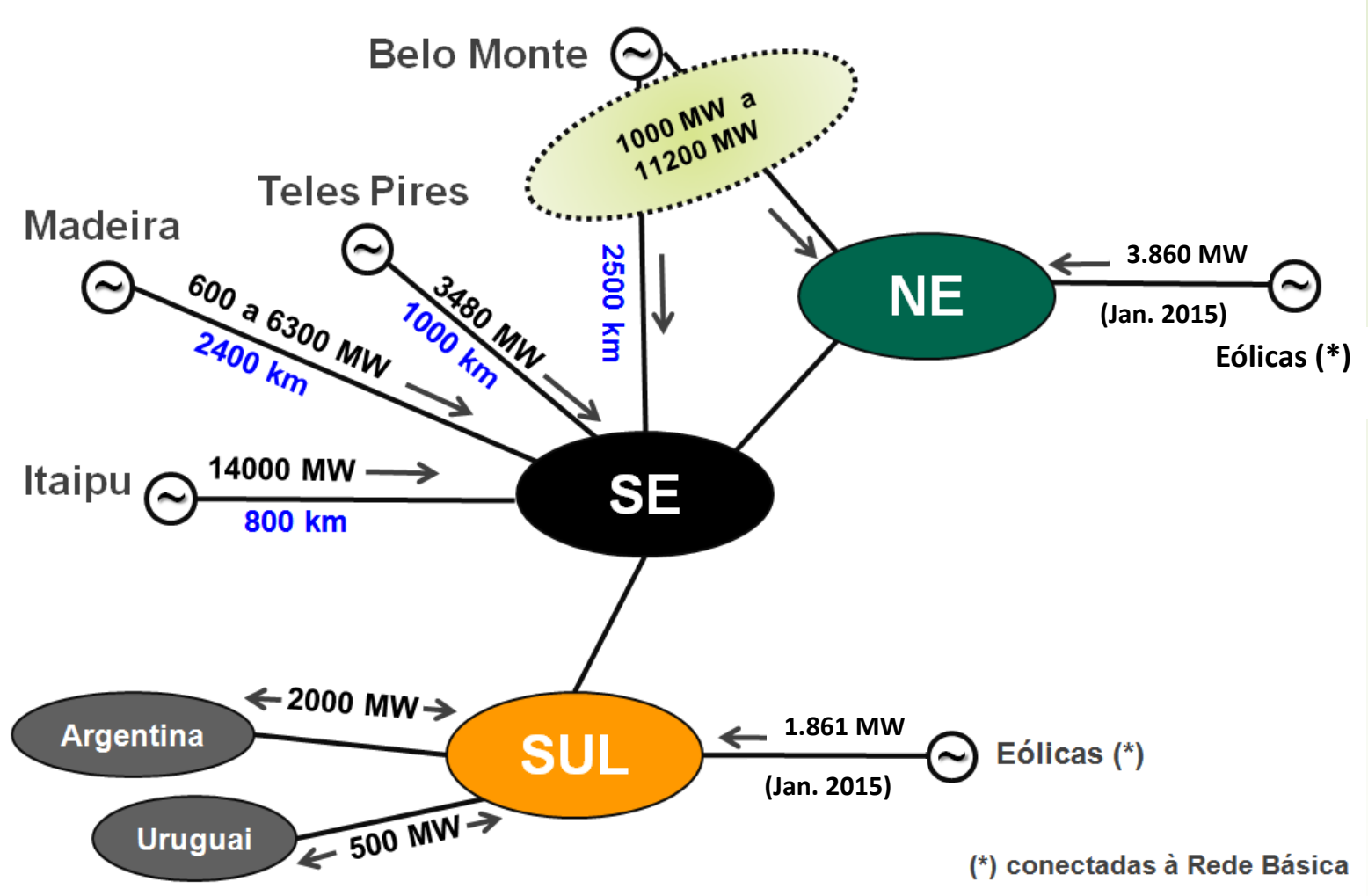
Subsistema	Potência Inst. (MW)	
Sul	1.324	10%
Sudeste	29	
Nordeste	4.420	90%
Total	5.773	



ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

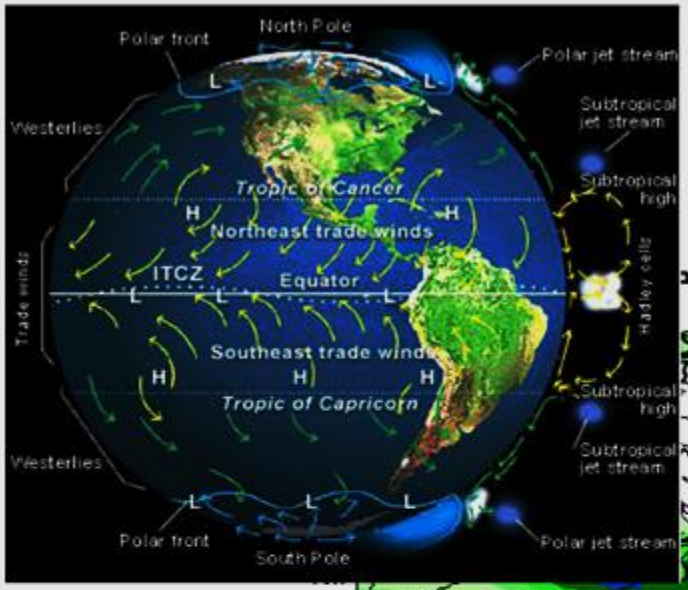
Os Grandes Desafios

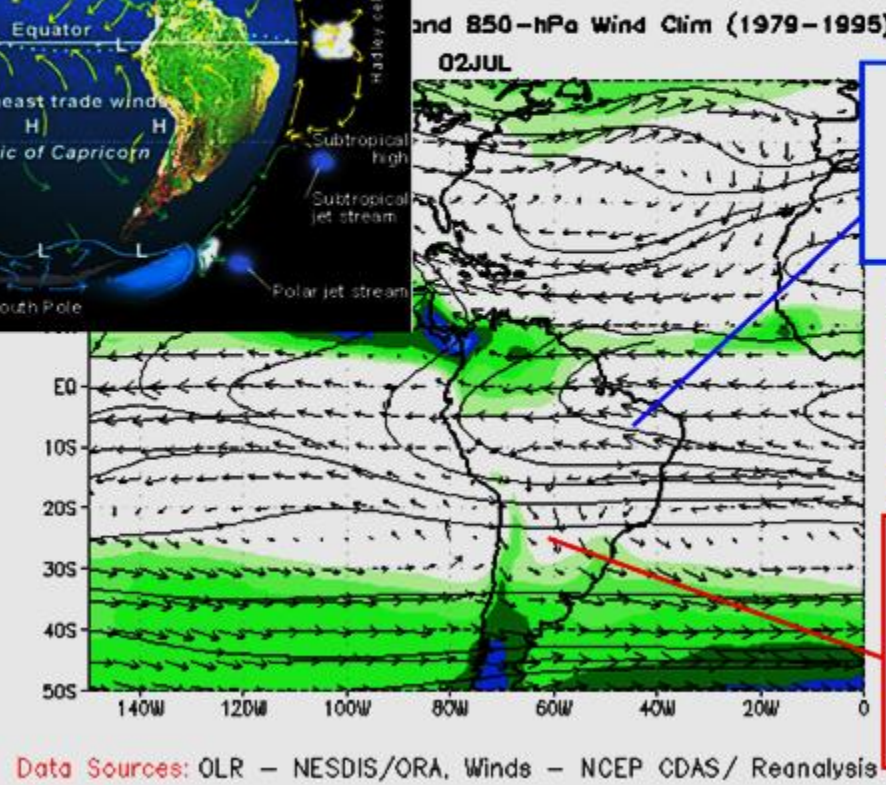
Grandes usinas, Interligações internacionais e Penetração de Eólicas



Características da Geração Eólica no Brasil

Características do Vento nas Regiões Nordeste e Sul





Nordeste
- **Ventos alísios**
- **Direção predominante sudeste**
- **Constante ao longo do ano**

240
230
220
210
200
190

Sul
- **São afetados por diferentes sistemas meteorológicos**
- **Sofrem significativa modificação ao longo do dia**

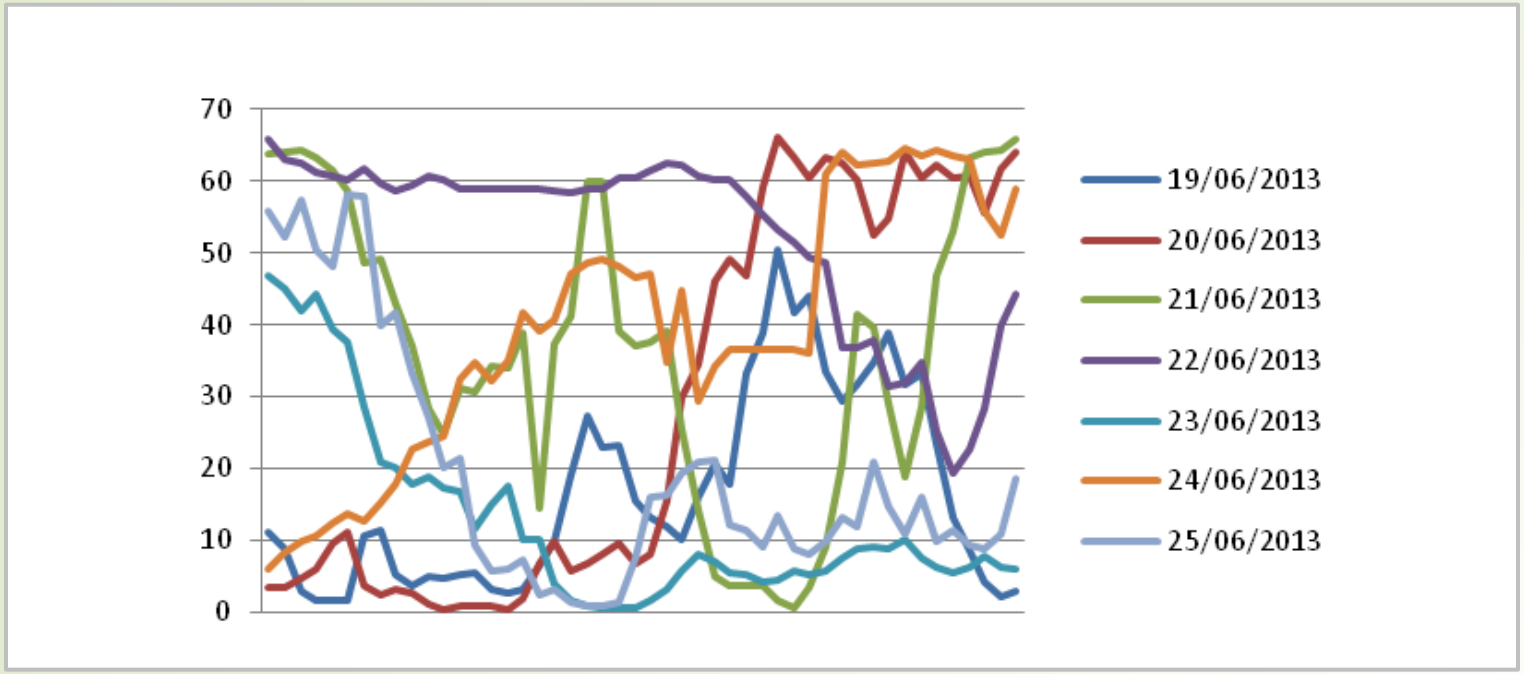
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características Intrínsecas à Geração Eólica

- Previsibilidade intrinsicamente dependente das condições meteorológicas, conduzindo a investimentos no desenvolvimento de modelos e ferramentas de previsão de ventos.
- A possibilidade de desconexão de grandes blocos de geração em razão de adversidades meteorológicas:

  - ventos de rajada (> 25 m/s ~ 90 km/h) - típicas da Região Sul

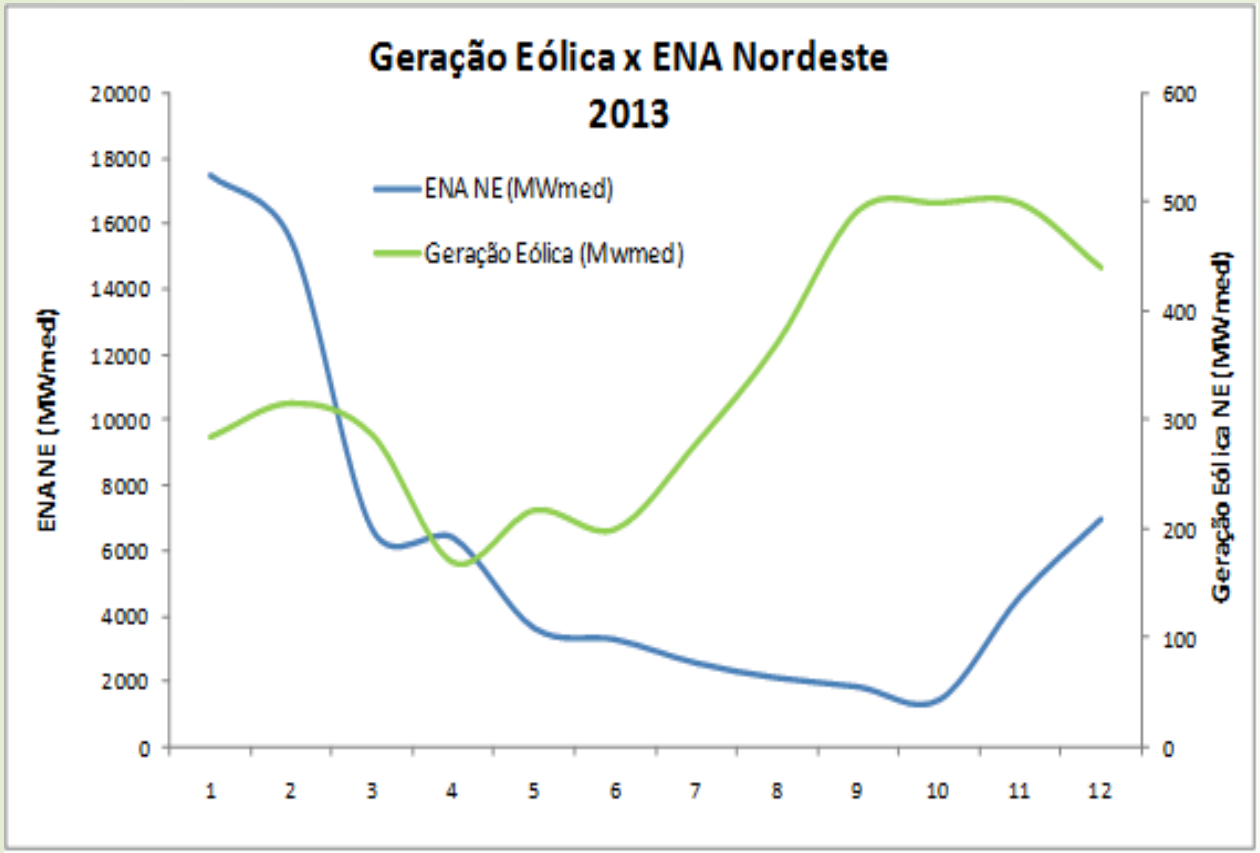
  - calmarias (< 3 m/s ~ 10 km/h) - típicas da Região Nordeste



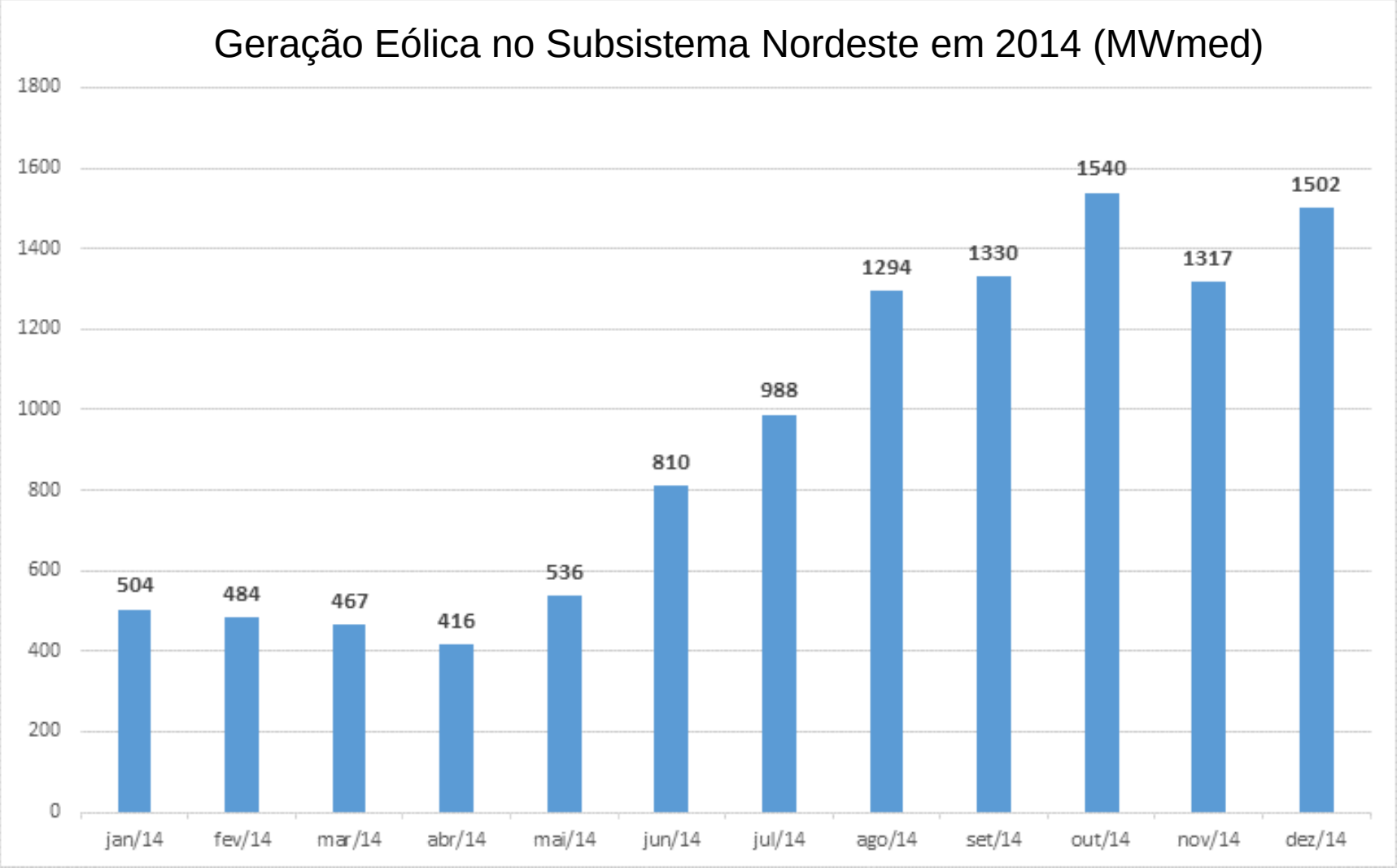
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características Intrínsecas à Geração Eólica

- No regime de ventos da Região Nordeste há uma complementaridade de seu comportamento sazonal com o regime hidrológico das bacias hidrográficas.

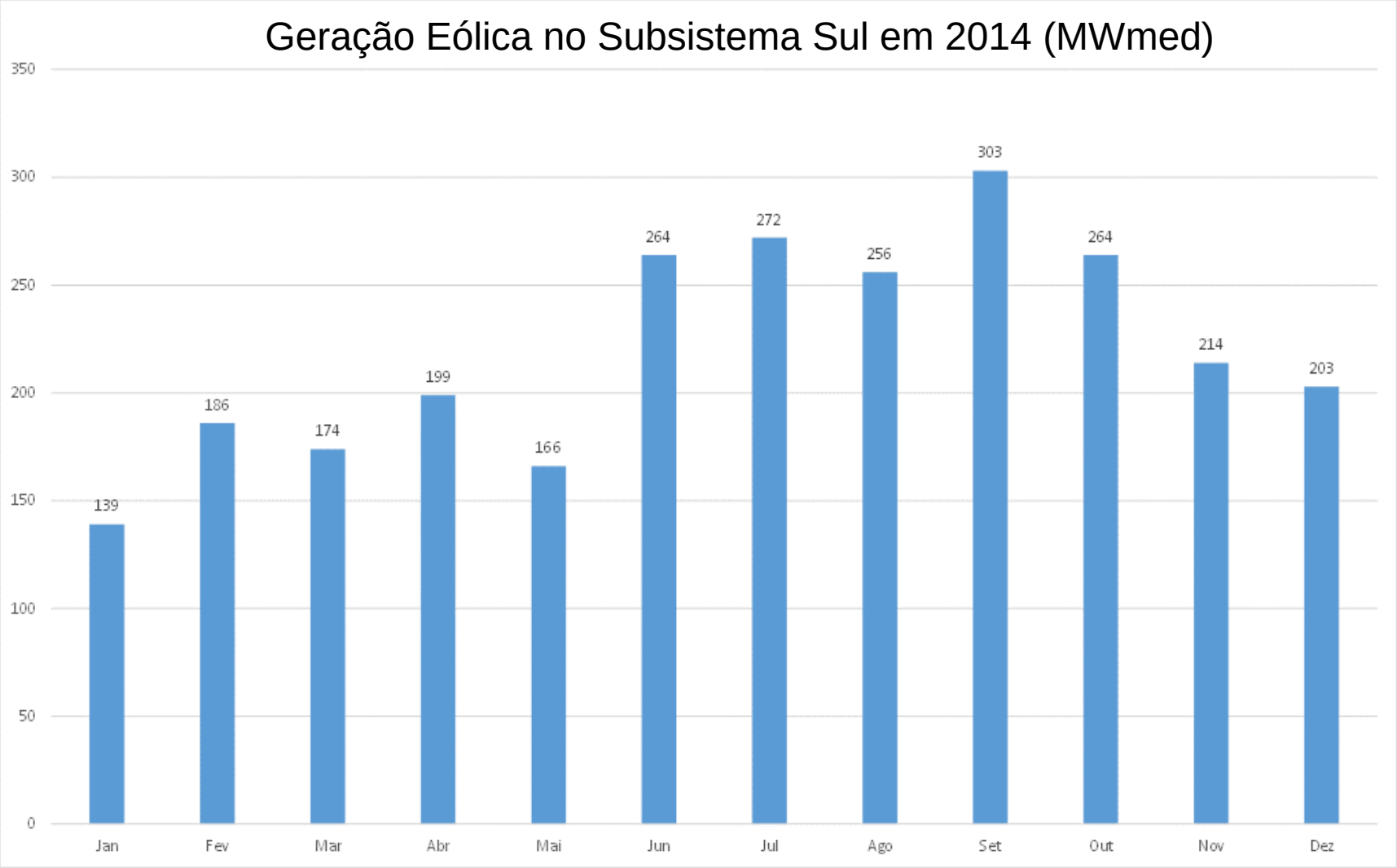


Características Intrínsecas à Geração Eólica



ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

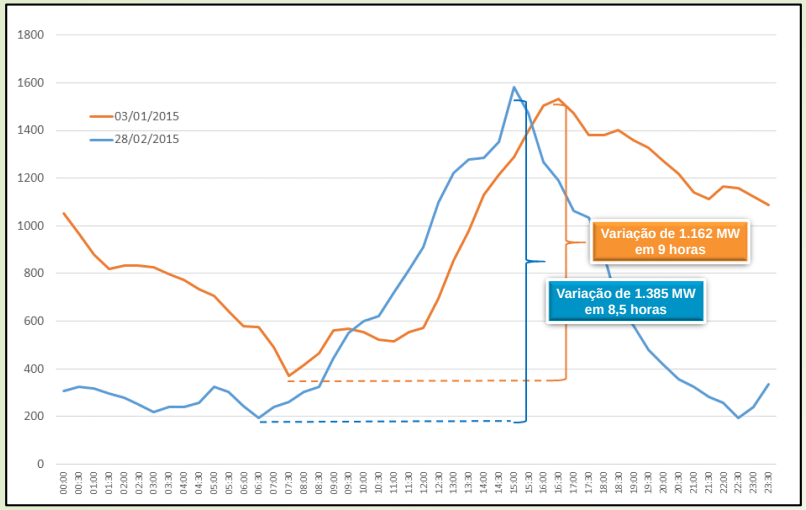
Características Intrínsecas à Geração Eólica

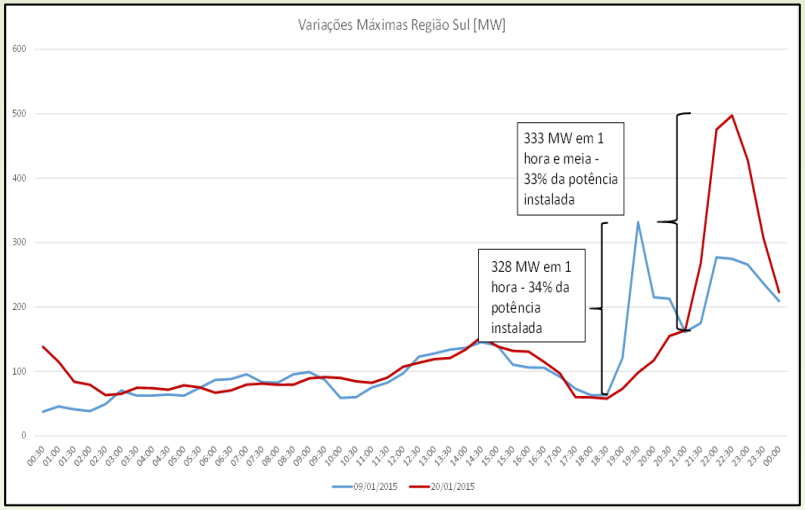


ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

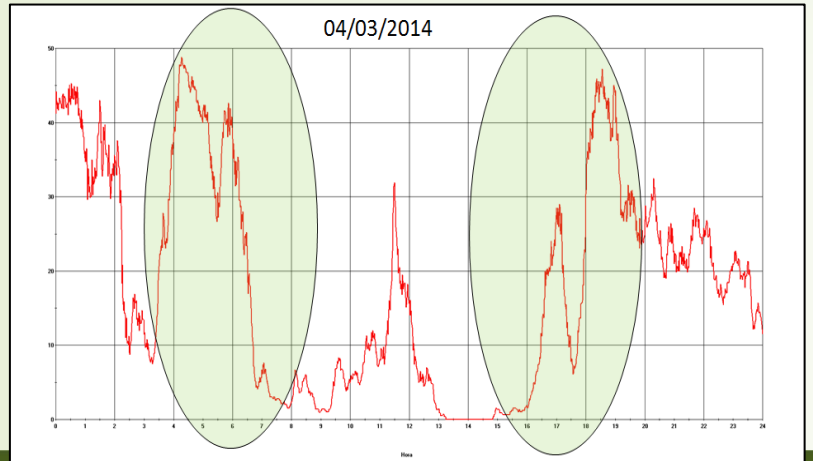
Características Intrínsecas à Geração Eólica

- A geração eólica tem características intermitentes, o que conduz a:
  - A geração máxima e a mínima podem ocorrer a qualquer momento do dia.





  - Variações de geração rápidas e significativas que dependem das condições meteorológicas.



Geração diária de um parque eólico da Região Sul

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características Intrínsecas à Geração Eólica

Estas características conduzem aos seguintes desafios:

1. Aprimoramento dos métodos e ferramentas utilizados no Planejamento e na Programação Eletroenergética

   - Nos Planejamentos Energéticos Anual – PEN e Mensal – PMO

     Em atendimento Resolução Normativa nº 476/2012, de 13 de março de 2012 (complementar à RN 440/2011 e Ofício SRG/ANEEL nº 068/2012), o montante mensal de geração eólica considera a média histórica em janela móvel 5 anos.

     Obs.: Para usinas em expansão, considera-se um fator de capacidade, calculado a partir da média histórica das usinas eólica da região.

   - Na Programação Diária da Operação Eletroenergética

     É feita a consolidação dos programas de geração dos Agentes com base nos valores verificados, nas previsões meteorológicas e modelos de previsão de geração eólica.

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características Intrínsecas à Geração Eólica

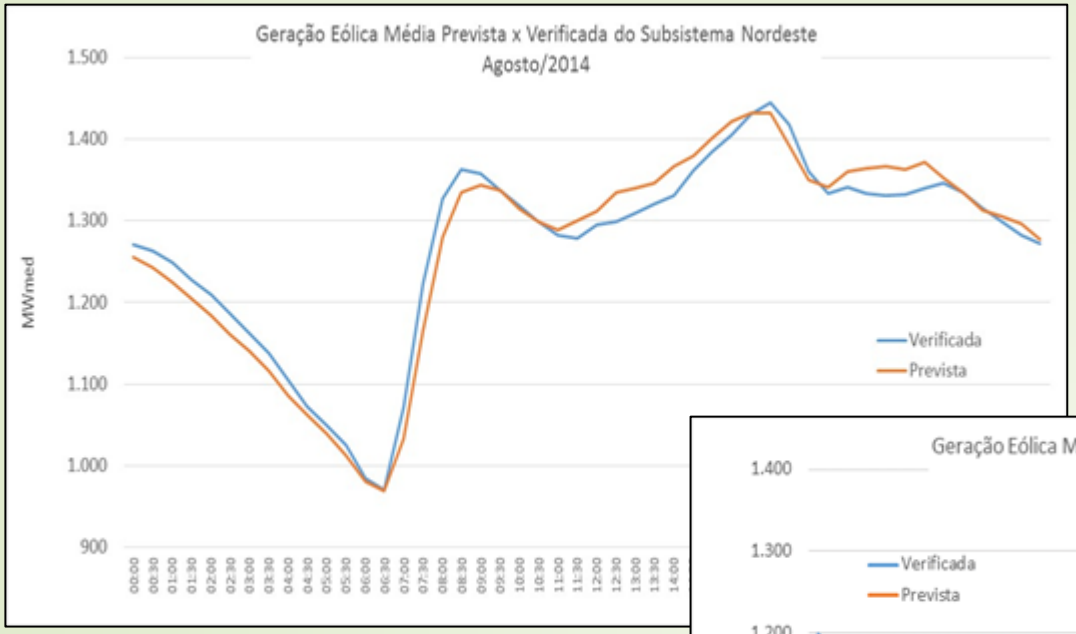
1. Aprimoramento dos métodos e ferramentas utilizados no Planejamento e na Programação Eletroenergética (cont.)

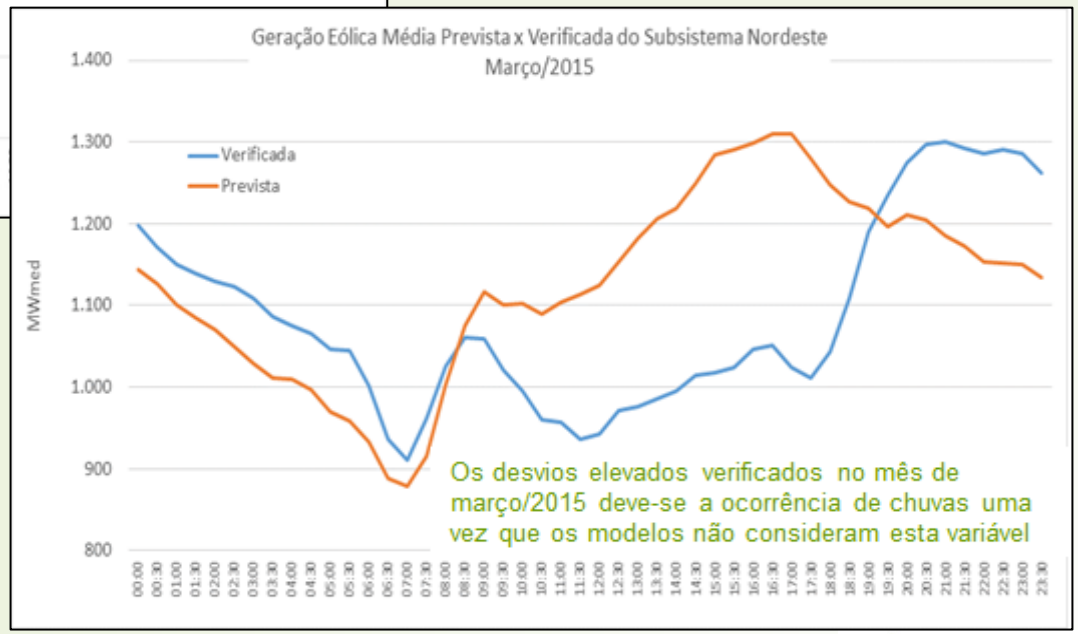
- 2010-2011: Desenvolvimento do Sistema de Geração Eólica – SGE: plataforma de dados eólicos observados e previstos que subsidia a programação diária de geração eólica;
- 2011-2012: Desenvolvimento do Modelo de Previsão de Geração de Energia de Parques Eólicos da Região Nordeste - PrevEOL (UFPE/FADE);
- 2011-2012: Consultoria Técnica do INESC/Porto, Portugal para avaliação do trabalho desenvolvido pela UFPE;
- 2013-2014: Desenvolvimento do Modelo de Previsão de Geração de Energia de Parques Eólicos – Neuro_Eólica (UPE/Policonsult);
- 2015-2016: Contratação da Meteologica para o fornecimento da previsão da geração eólica a partir de janeiro/2015;
- 2015-2017: Desenvolvimento do Sistema de Gestão de Dados e Previsão de Geração Eólica – SGDPE;
- 2015-2016: Incorporação da variável chuva nos modelos de previsão de geração eólica.

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

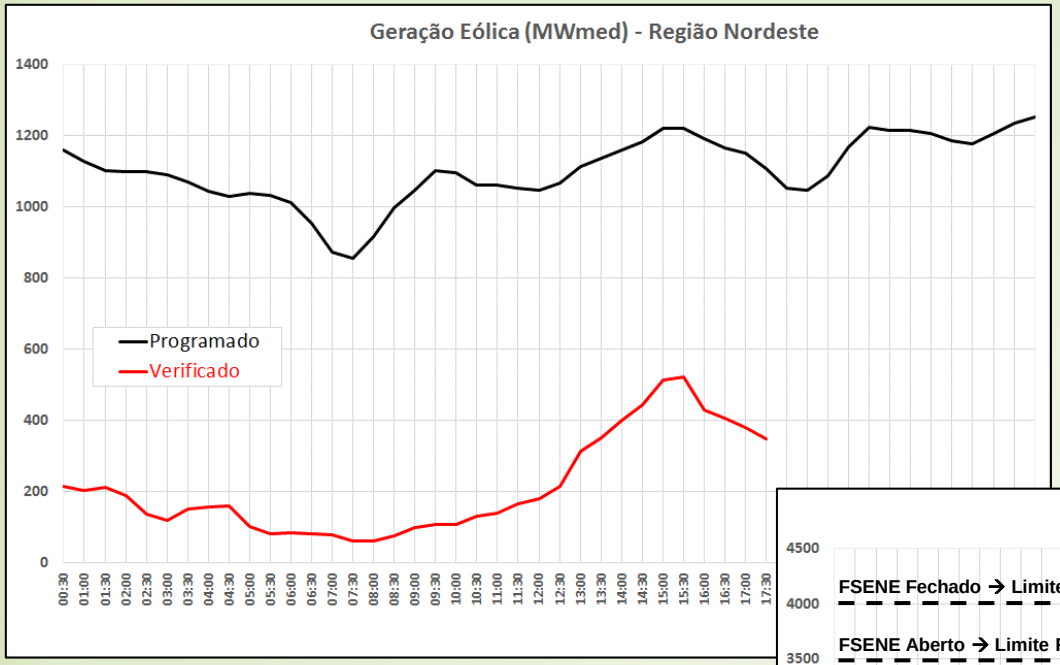
Características Intrínsecas à Geração Eólica

1. Aprimoramento dos métodos e ferramentas utilizados no Planejamento e na Programação Eletroenergética (cont.)

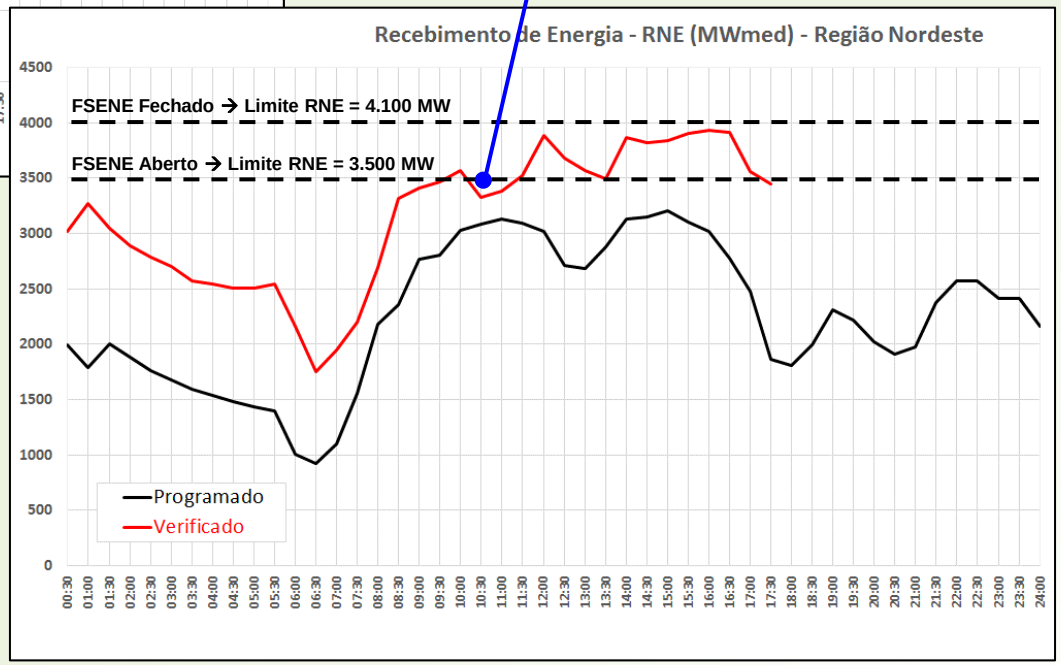




Geração Eólica – Programado x Verificado – Dia 06/04/2015



A FSENE foi fechada com redução de transferência de energia para a Região SE/CO



Características Intrínsecas à Geração Eólica

2. As características associadas às rápidas e significativas variações das eólicas conduzem à necessidade de se equacionar impactos operacionais tais como:

- Superação dos limites operacionais de linhas de transmissão e equipamentos;
- Superação dos limites do sistema elétrico em uma da área ou região;
- Problemas de estabilidade e de controle de tensão;
- Problemas de estabilidade dinâmica e de controle de frequência;
- Qualidade de potência e de penetração de harmônicos no ponto de conexão;
- Fenômenos de transitórios eletromagnéticos (TEM).

Desafios do Aumento da Expansão Eólica

- Os *sites* no Brasil onde há a incidência dos melhores ventos estão localizados no Nordeste e Sul do Brasil. Estas regiões são caracterizadas por uma baixa relação de curto-circuito (SCR) e baixa inércia, muitas vezes necessitando de reforços na rede para o correto desempenho dos aerogeradores;
- Isso também provoca uma maior variação dos fluxos de potência (em valores absolutos e temporal), devido ao alto grau de expansão eólica - sistemas de transmissão deve ser adaptada a este novo paradigm;
- Geradores eólicos devem ser capazes de participar do controle de tensão em redes fracas de forma eficiente, mesmo quando produzem pouca ou nenhuma potência ativa;
- A rede deve estar preparada para lidar com uma quantidade maior de perda de geração, por exemplo, quando o vento em uma determinada área reduz de forma muito rápida;
- Normalmente os aerogeradores não contribuem para a inércia do sistema.

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Requisitos Técnicos para a Conexão Segura de Usinas Eólicas em Redes com Elevado Grau de Penetração Eólica

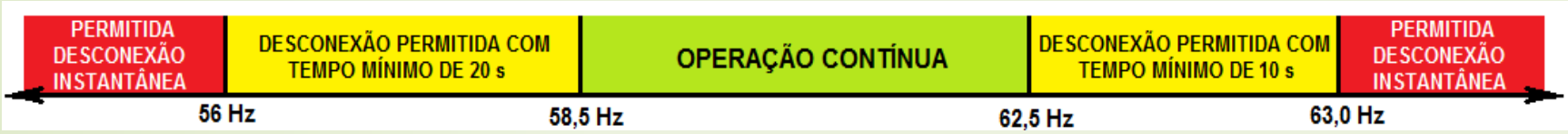
Novos requisitos incorporados pelo ONS aos Procedimentos de Rede e pela ANEEL nos próximos leilões de geração

Requisitos Técnicos Mínimos para as Centrais Geradoras Eólicas

- Operação em Regime de Frequência Não-Nominal
- Controle de Potência Reativa no Ponto de Conexão
- Modos de Controle da Central Eólica
- Operação em Regime de Tensão Não-Nominal
- Atendimento do fator de potência em regime de tensão não nominal (V-Q/Pmax)
- Potência de Saída Durante Distúrbios
- Suportabilidade a Subtensões e Sobretensões Dinâmicas
- Inércia Sintética

Características de Desempenho dos Aerogeradores

Operação em Regime de Frequência Não-Nominal



O objetivo desse requisito para o SIN é minimizar o desligamento dos aerogeradores por subfrequência e sobrefrequência quando o sistema pode se recuperar pela sua capacidade própria de regulação.

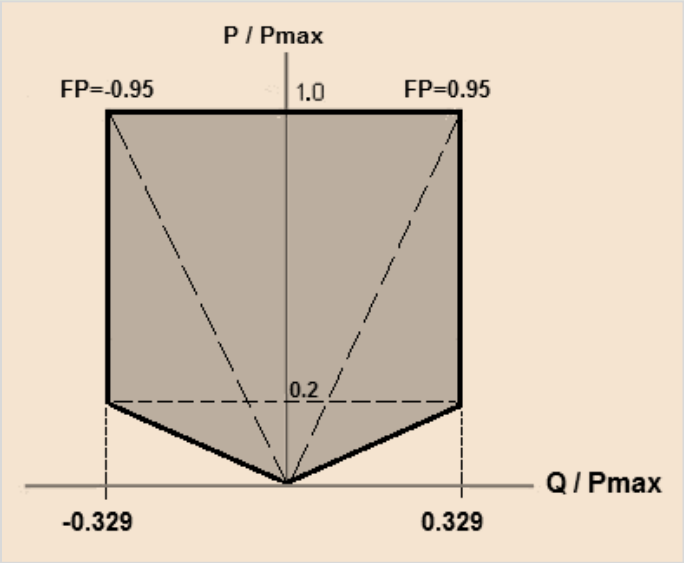
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características de Desempenho dos Aerogeradores

Controle de Potência Reativa no Ponto de Conexão

No ponto de conexão das instalações de uso restrito a central de geração deve propiciar os recursos necessários para operar com fator de potência indutivo ou capacitivo em qualquer ponto da área indicada na figura abaixo.

Nas condições em que os aerogeradores não estejam produzindo potência ativa, a central de geração eólica deverá ter recursos de controle para disponibilizar ao SIN sua capacidade de geração/absorção de potência reativa, observando o requisito mínimo de propiciar injeção/absorção nula no ponto de conexão.



Características de Desempenho dos Aerogeradores

Modos de Controle da Central Eólica

A central de geração deve ser capaz de operar em 3 modos distintos de operação em regime permanente, através de controle conjunto centralizado:

- ***Modo de Controle de Tensão*** *(operação normal - modo preferencial).*
- *Modo de Controle de Potência Reativa.*
- *Modo de Controle de Fator de Potência.*

Quando operando em **Modo de Controle de Tensão**, a central de geração deve ser capaz de prover um controle contínuo da tensão em seu ponto de conexão, com uma tensão de referência ajustável entre 95% e 105% da tensão nominal.

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características de Desempenho dos Aerogeradores

Operação em Regime de Tensão Não-Nominal

Na conexão das suas instalações de uso restrito às instalações de transmissão, a central de geração deve ser capaz de operar:

- Entre 0,90 e 1,10 pu da tensão nominal por um período de tempo ilimitado;
- Entre 0,85 e 0,90 pu da tensão nominal por um período de tempo mínimo de 5 segundos;
- Entre 1,10 e 1,20 pu por um período de tempo mínimo de 2,5 segundos.

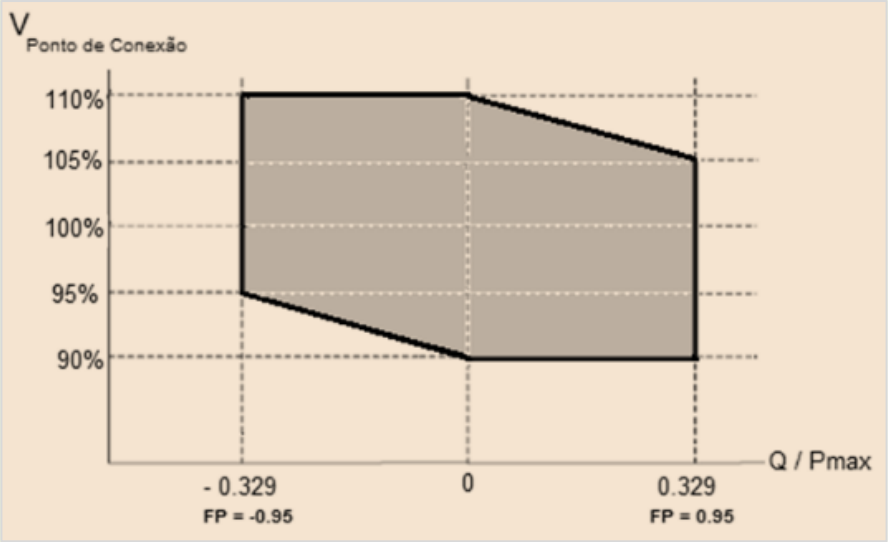
O objetivo desse requisito é evitar o desligamento da usina quando há variações de tensão no sistema.

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características de Desempenho dos Aerogeradores

Atendimento do fator de potência em regime de tensão não nominal (V-Q/Pmax)

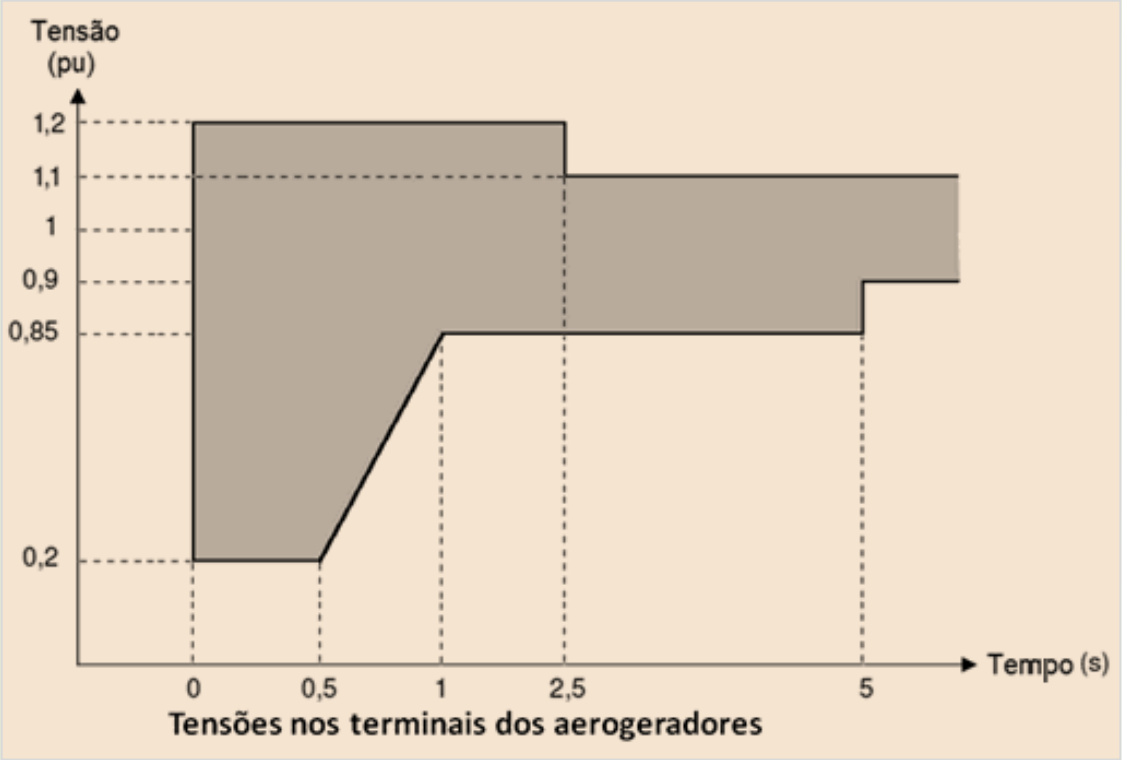
O fator de potência 0,95 indutivo / capacitivo deve ser atendido no ponto de conexão em toda a faixa operativa de tensões, de acordo com a figura abaixo:



Características de Desempenho dos Aerogeradores

Requisitos de Suportabilidade a Subtensões e Sobretensões Dinâmicas

Este requisito deve ser atendido para quaisquer tipos de distúrbio, sejam eles provocados por rejeição de carga, defeitos simétricos ou assimétricos, devendo ser atendida pela tensão entre fases que sofrer maior variação.



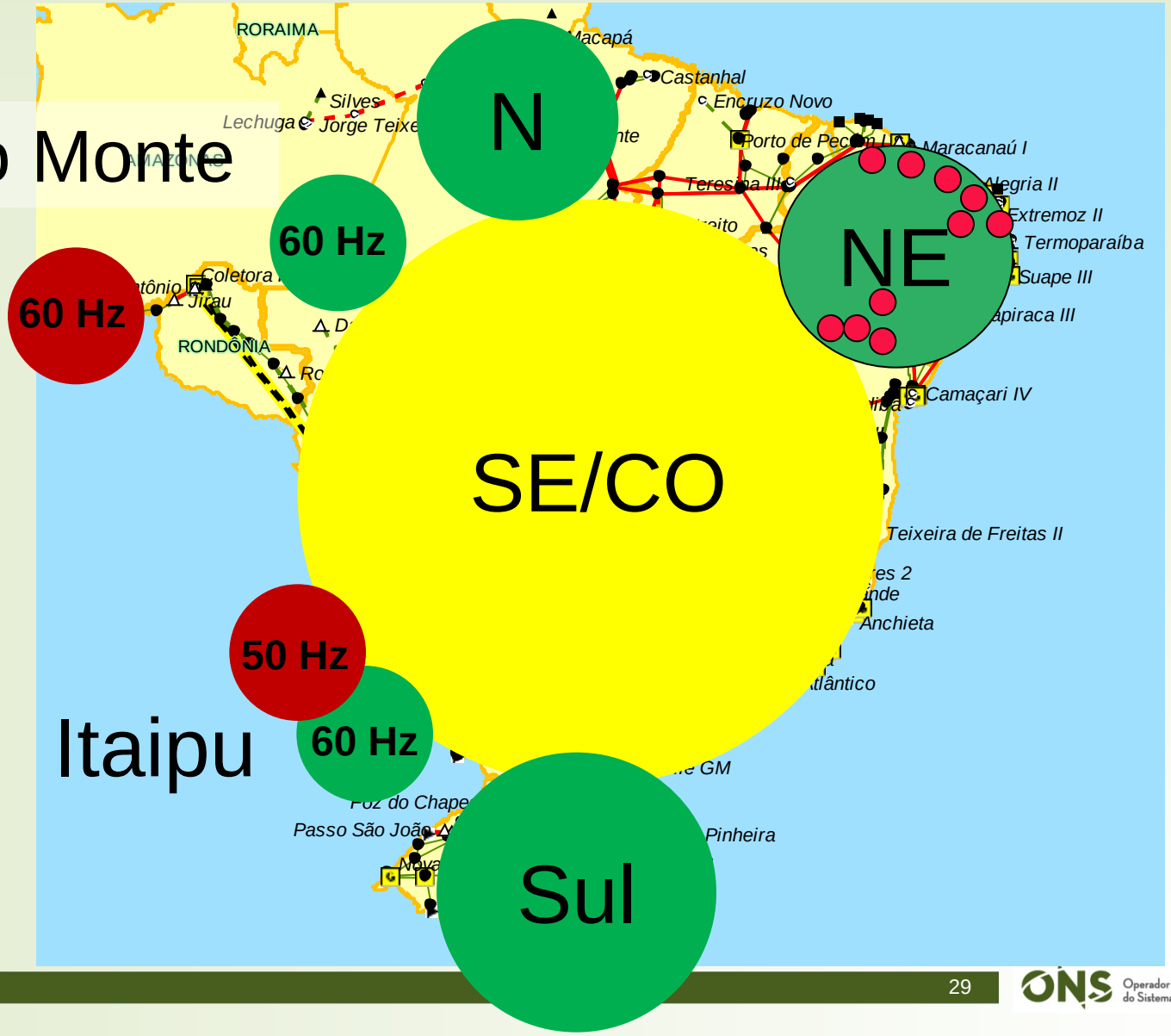
Inércia Sintética

A expansão do SIN e a evolução da inércia equivalente

Belo Monte

S. Antônio
Jirau

Áreas síncronas e assíncronas no SIN

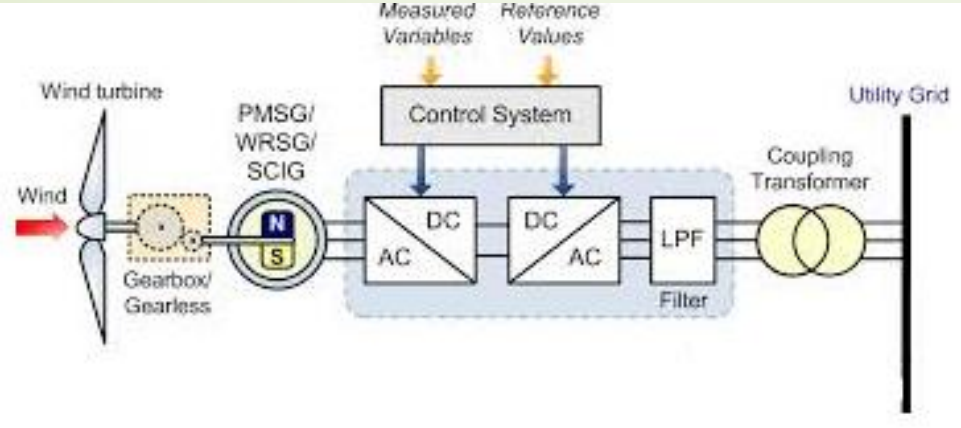


ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características de Desempenho dos Aerogeradores

Inércia Sintética

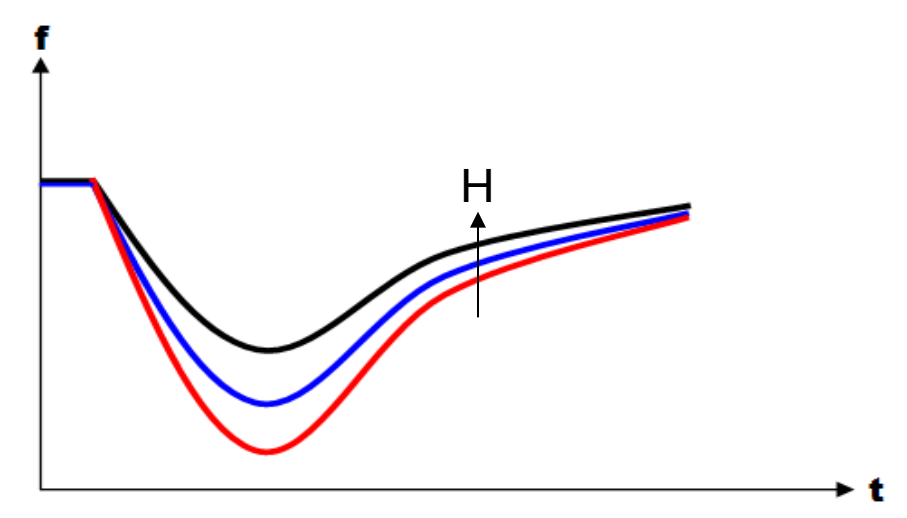
A penetração em larga escala das centrais geradoras eólicas tem trazido para os operadores de sistema em todo o mundo uma nova preocupação sob o ponto de vista da segurança sistêmica: por estarem conectadas através de conversores, elas não contribuem para a inércia do sistema.



Características de Desempenho dos Aerogeradores

Inércia Sintética

A redução da inércia global do sistema (H) tem como consequência um aumento nas taxas de variação da frequência e a imposição de excursões transitórias de frequência mais acentuadas quando de distúrbios que provoquem desequilíbrio entre a carga e a geração (perdas de blocos de geração, aberturas de interligações, rejeições de carga).



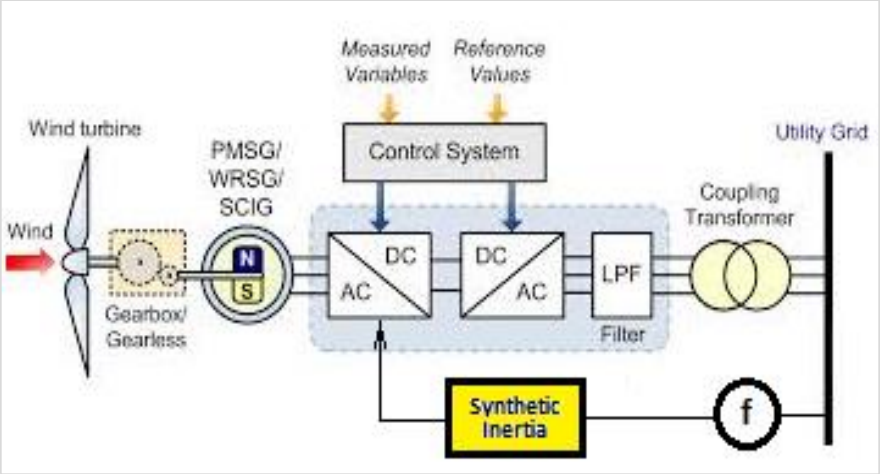
A inércia sintética é um dos requisitos de maior importância para o SIN, pois possibilitará a contribuição das centrais geradoras eólicas para a regulação primária do sistema interligado, agregando sua inércia à da geração convencional.

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Características de Desempenho dos Aerogeradores

Inércia Sintética

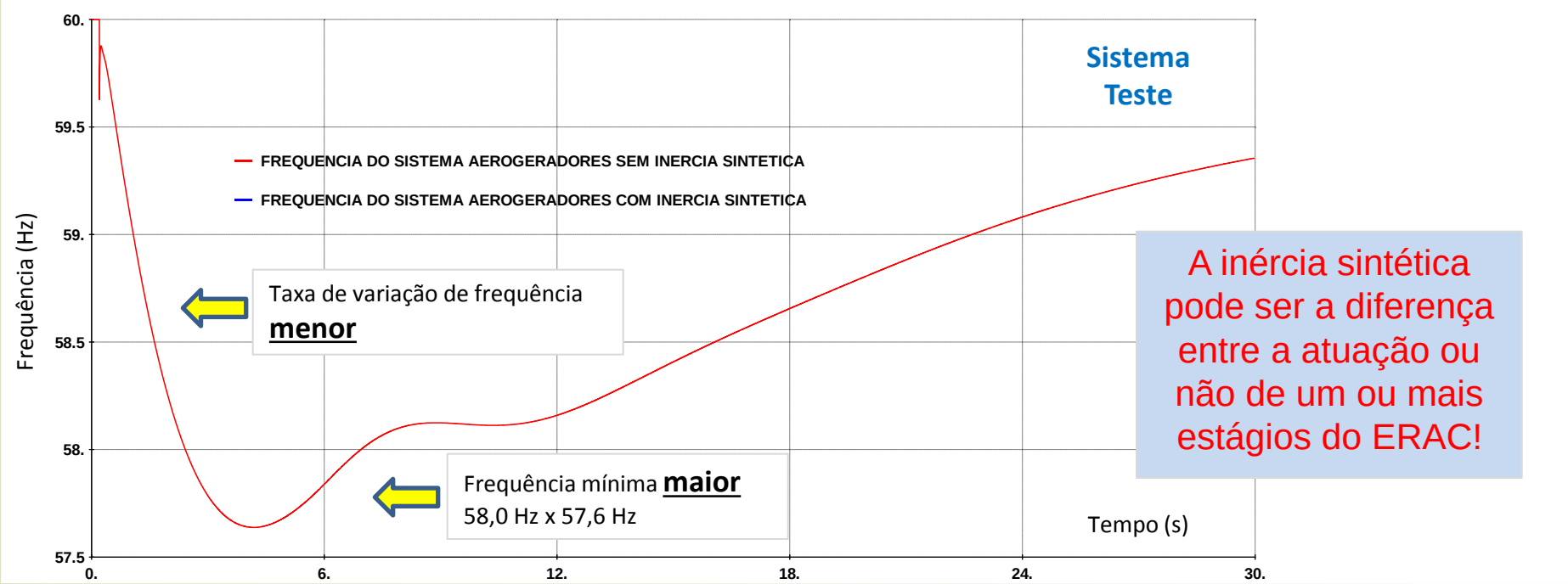
As centrais de geração eólica deverão dispor de controladores sensíveis às variações de frequência, de modo a emular a inércia (inércia sintética) através de modulação transitória da potência de saída, contribuindo com pelo menos 10% de sua potência nominal, quando em regime de subfrequência / sobrefrequência.



Características de Desempenho dos Aerogeradores

Inércia Sintética - Simulação Dinâmica

Dada a importância desse requisito, o ONS tem investigado o desempenho dinâmico de aerogeradores que possuem esse requisito em sistemas com baixa inércia. A figura abaixo mostra o resultado de uma simulação de perda de um bloco de geração, considerando os aerogeradores do sistema **sem** e **com** inércia sintética.



Operador Nacional do Sistema Elétrico

Obrigado

arteiro@ons.org.br / dirdpp@ons.org.br

+55 21 2203-9899