



Crescimento da energia eólica: aprendizados e o futuro para Operação & Manutenção

***Flávio Lins
Gerente Executivo***

São Paulo, 30 de maio de 2019

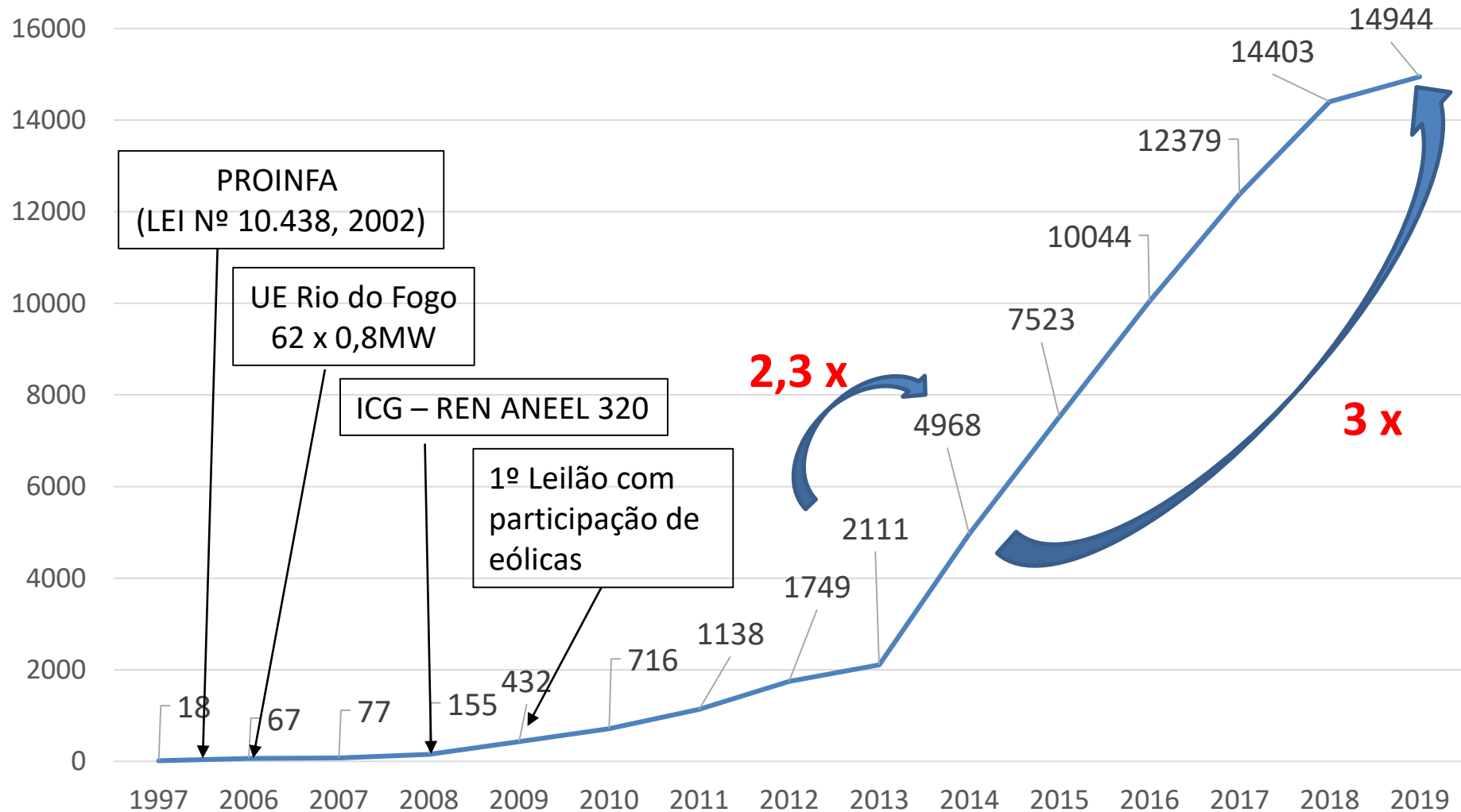


SUMÁRIO

- Evolução da Geração Eólica
- Características da Geração Eólica
- Previsão da Geração Eólica
- Procedimentos Operativos
- Desafios à Operação em Tempo Real
- Fórum dos Principais Operadores do Mundo
- Visão de Futuro

EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA NO SIN

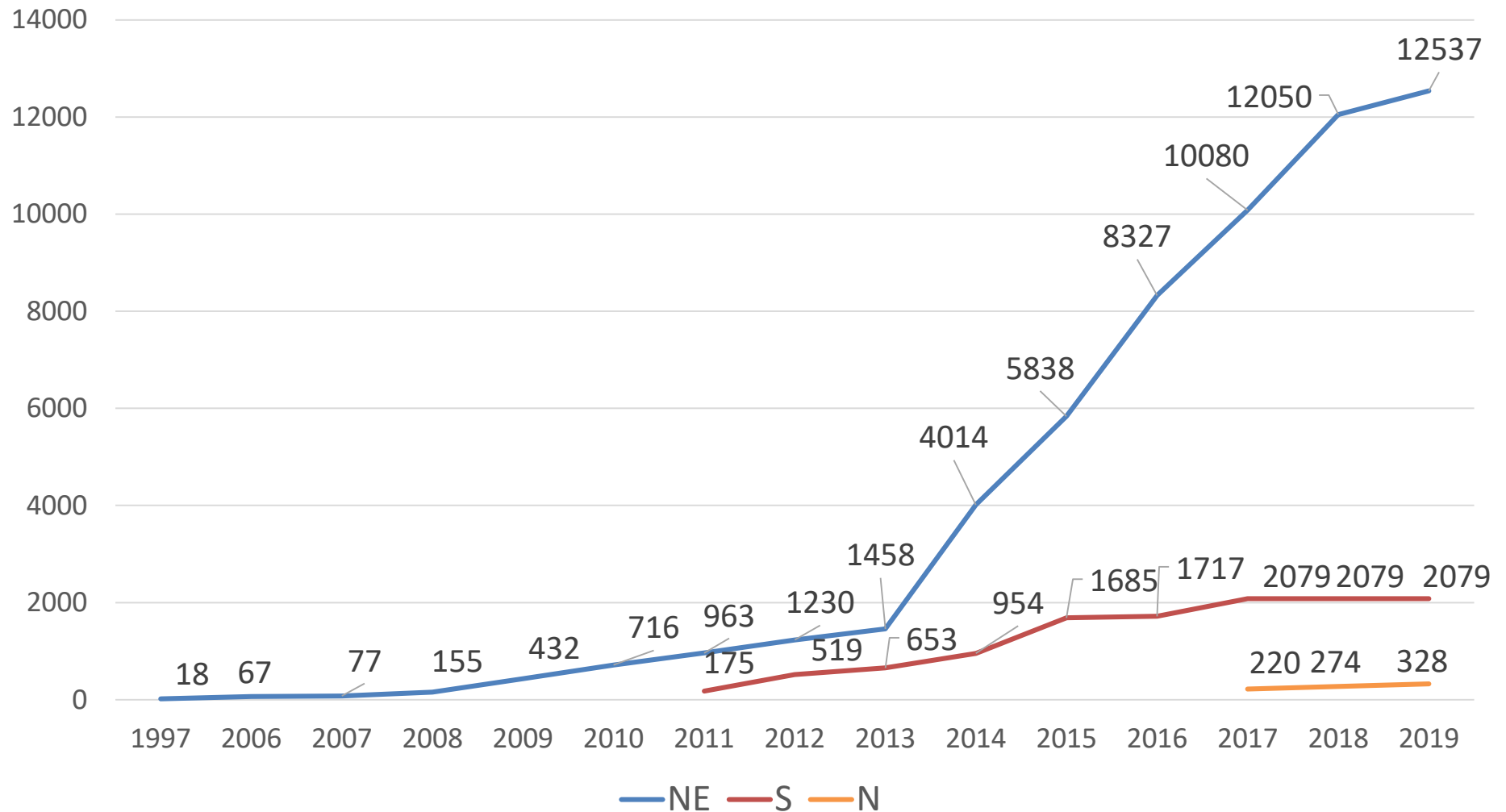
Evolução da Capacidade Instalada de Usinas Eólicas no SIN (MW)



Fonte: ONS

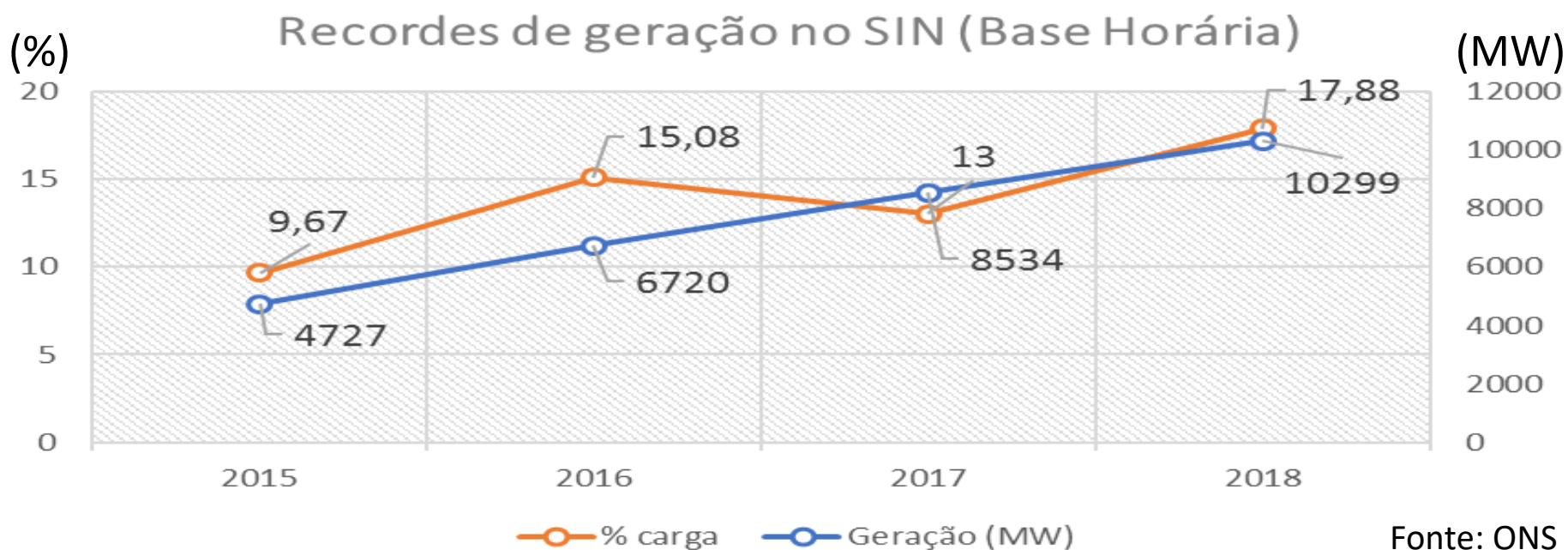
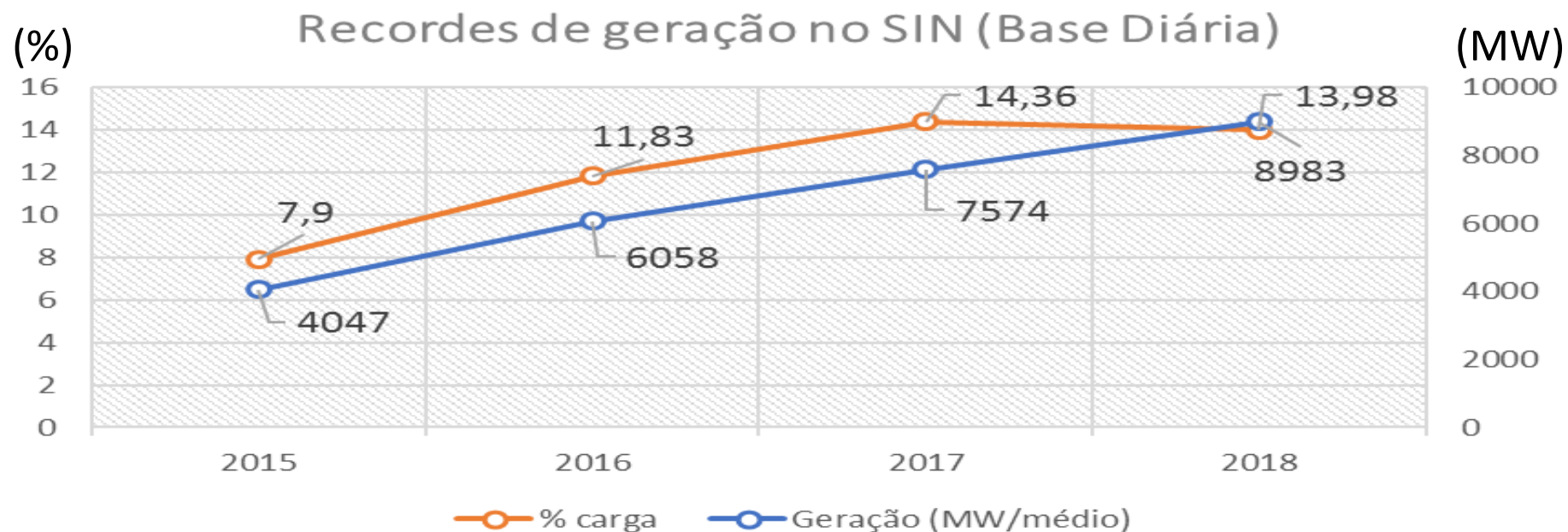
EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA POR REGIÃO

Evolução da Capacidade Instalada de Usinas Eólicas por Região
(MW)



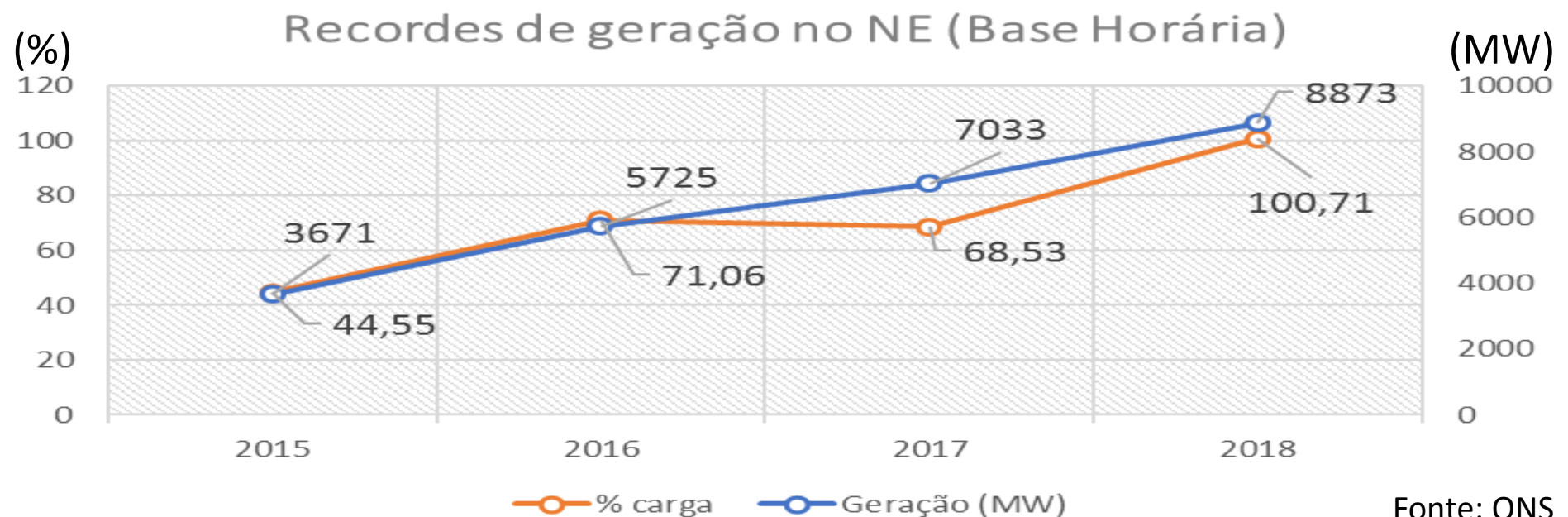
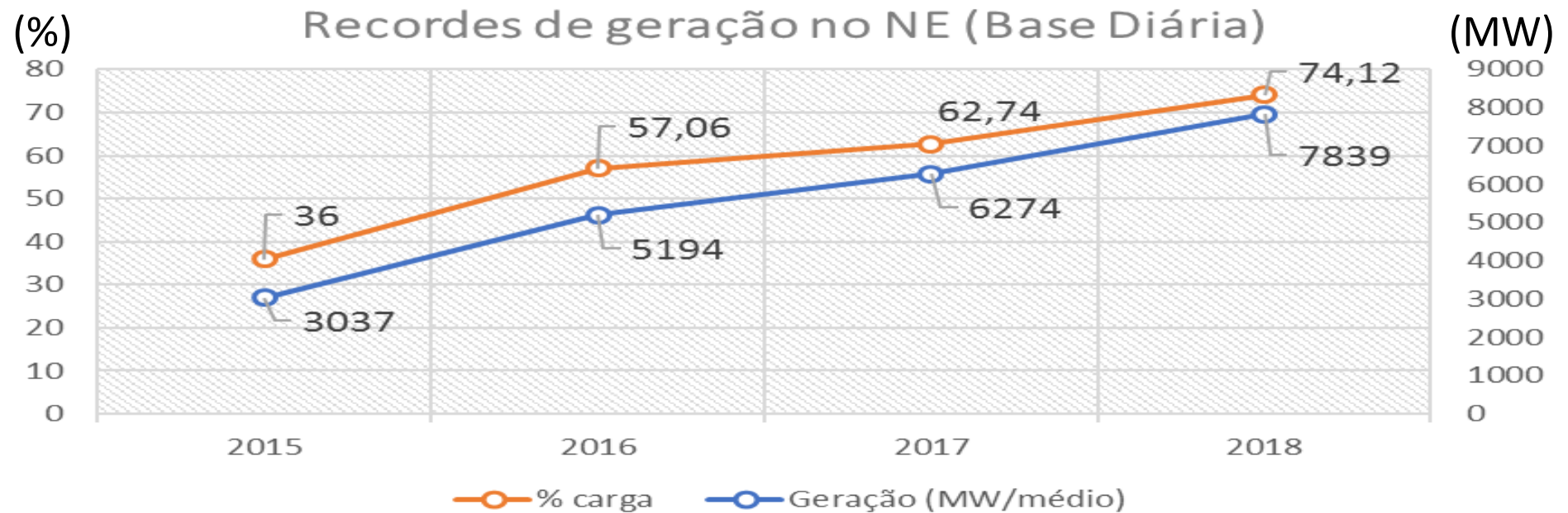
Fonte: ONS

EVOLUÇÃO DOS RECORDES DE GERAÇÃO - SIN



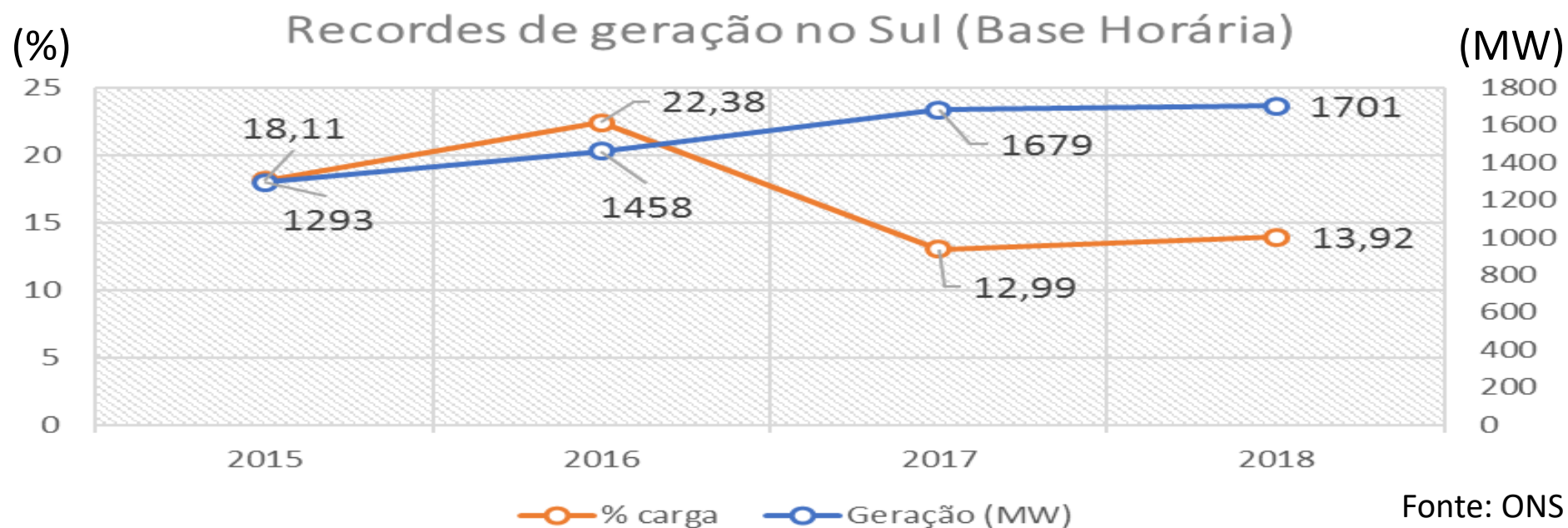
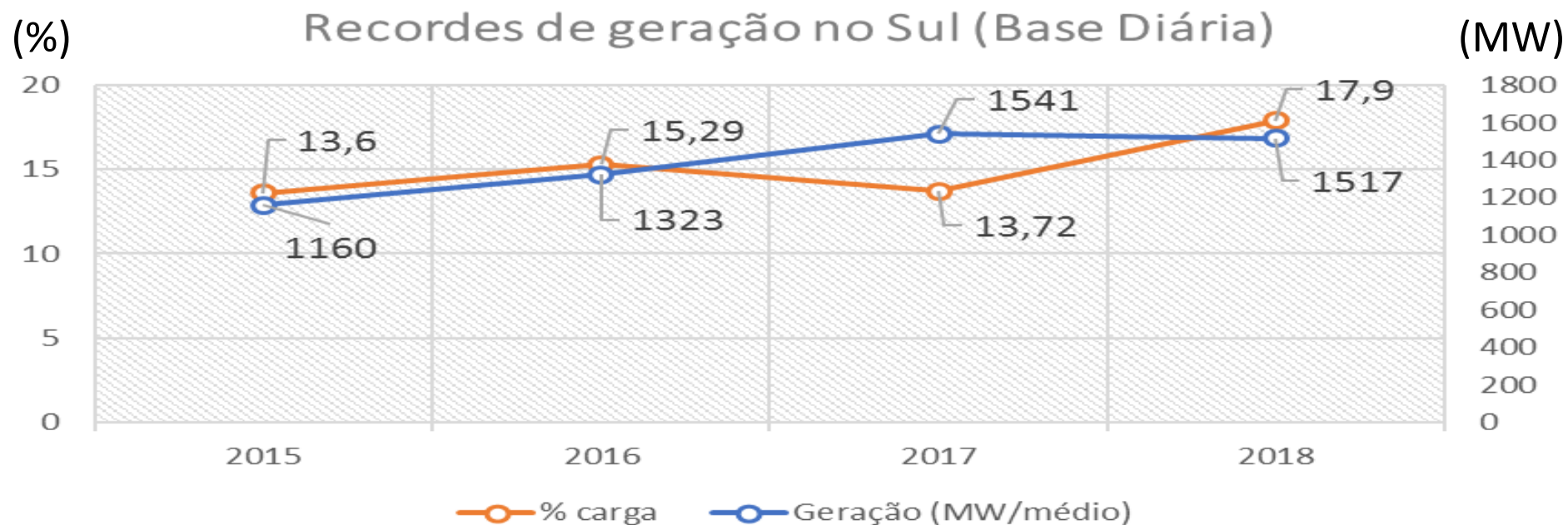
Fonte: ONS

EVOLUÇÃO DOS RECORDES DE GERAÇÃO - NE



Fonte: ONS

EVOLUÇÃO DOS RECORDES DE GERAÇÃO - SUL



Fonte: ONS

A MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA DE 2018 E 2023 - SIN

Tipo	31/12/2018		31/12/2023*		Crescimento (2018-2023)	
	MW	%	MW	%	MW	%
Hidráulica	109.060	67,4	114.427	64,2	5.367	4,9
Nuclear	1.990	1,2	1.990	1,1	-	-
Gás / GNL	12.821	7,9	17.762	10,0	4.941	38,5
Carvão	2.672	1,7	3.017	1,7	345	12,9
Óleo / Diesel	4.614	2,9	4.900	2,8	286	6,2
Biomassa	13.696	8,5	14.100	7,9	404	2,9
Outras ⁽¹⁾	779	0,5	1.000	0,6	221	28,4
Eólica	14.313	8,9	17.287	9,7	2.973	20,8
Solar	1.780	1,1	3.626	2,0	1.846	103,7
Total	161.725	100,0	178.109	100,0	16.384	10,1

Fonte: ONS

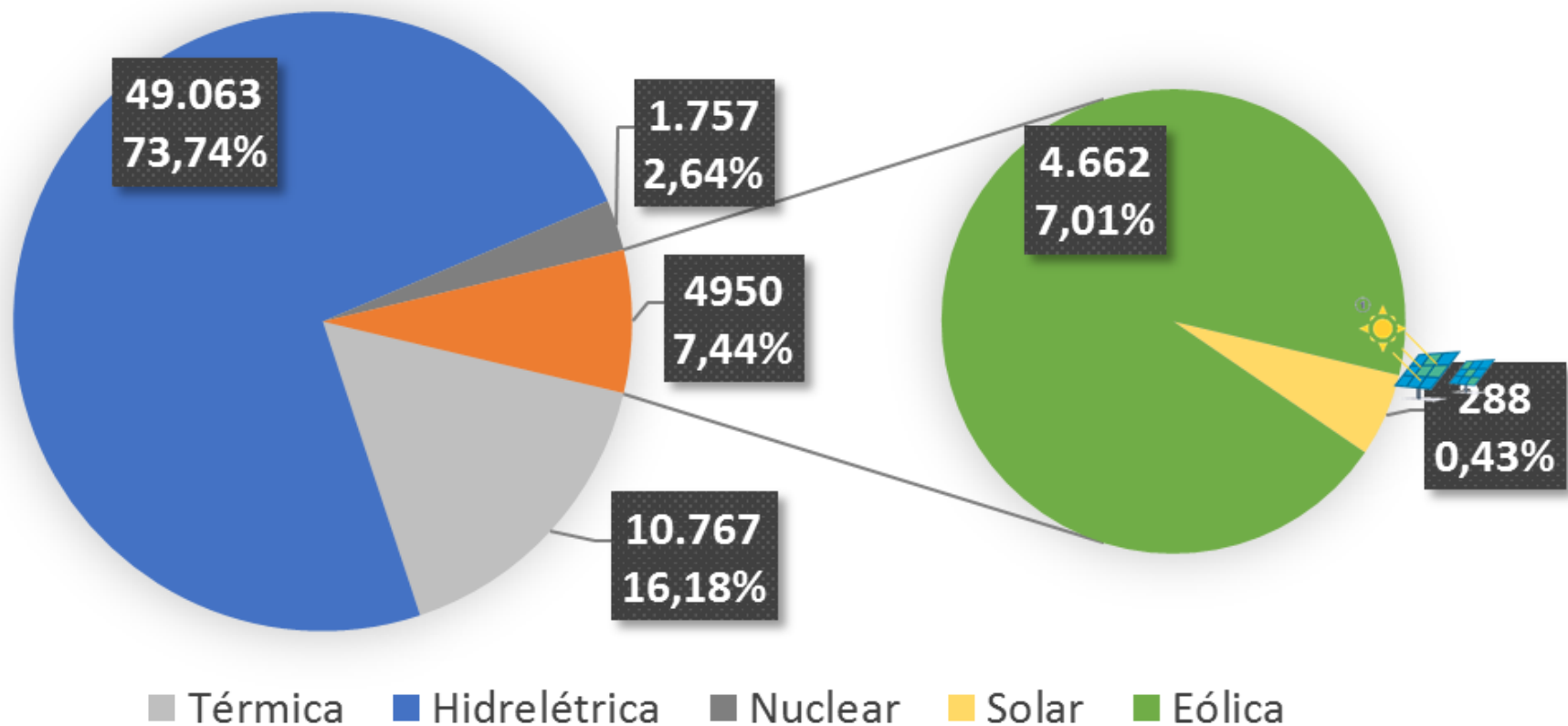
A MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA DE 2018 E 2023 - NE

Tipo	31/12/2018		31/12/2023*		Crescimento (2018-2023)	
	MW	%	MW	%	MW	%
Hidráulica	11.077	35,0	11.091	29,4	14	0,1
Nuclear	-	-	-	-	-	-
Gás / GNL	2.149	6,8	3.647	9,7	1.498	69,7
Carvão	1.085	3,4	1.085	2,9	-	-
Óleo / Diesel	2.577	8,1	2.863	7,6	286	11,1
Biomassa	1.470	4,6	1.470	3,9	-	-
Outras ⁽¹⁾	30	0,1	47	0,1	17	56,0
Eólica	12.050	38,0	15.023	39,8	2.973	24,7
Solar	1.240	3,9	2.534	6,7	1.295	104,4
Total	31.679	100,0	37.761	100,0	6.082	19,2

Fonte: ONS

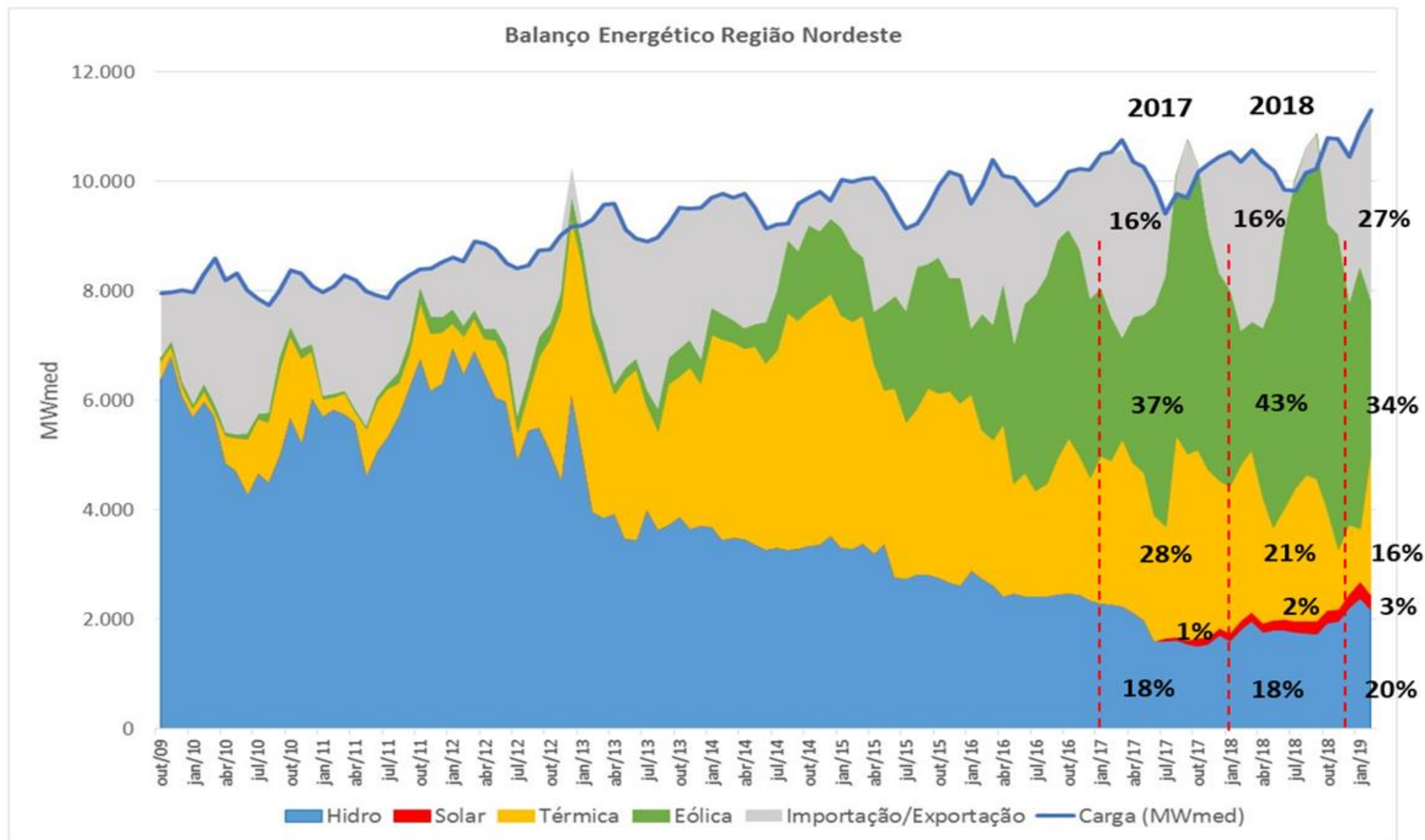
GERAÇÃO VERIFICADA NO SIN EM 2018

Geração Verificada no SIN - MWmed (2018)



Fonte: ONS

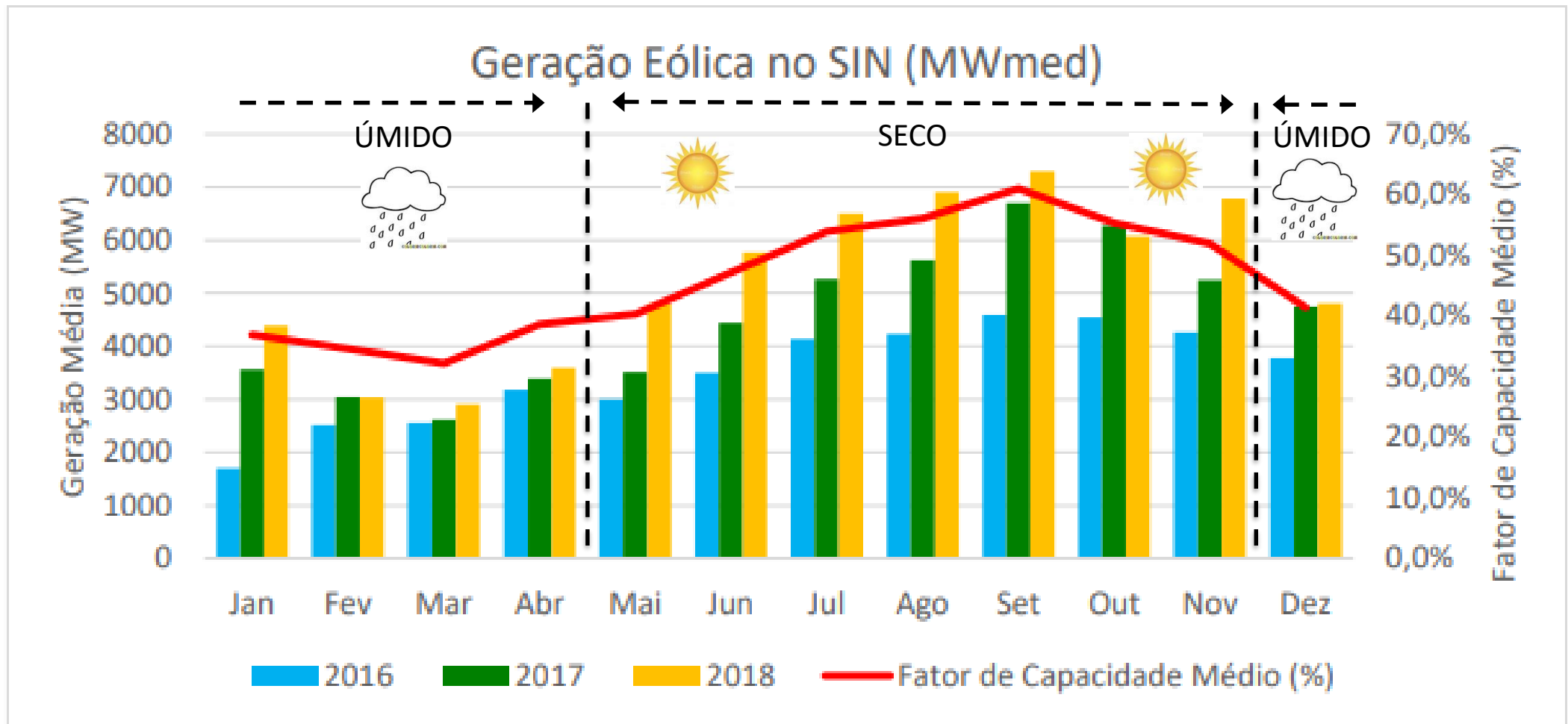
ATENDIMENTO À CARGA - NORDESTE (MWmed)



Fonte: ONS

SAZONALIDADE ANUAL - SIN

Fator de Capacidade – Visão Brasil



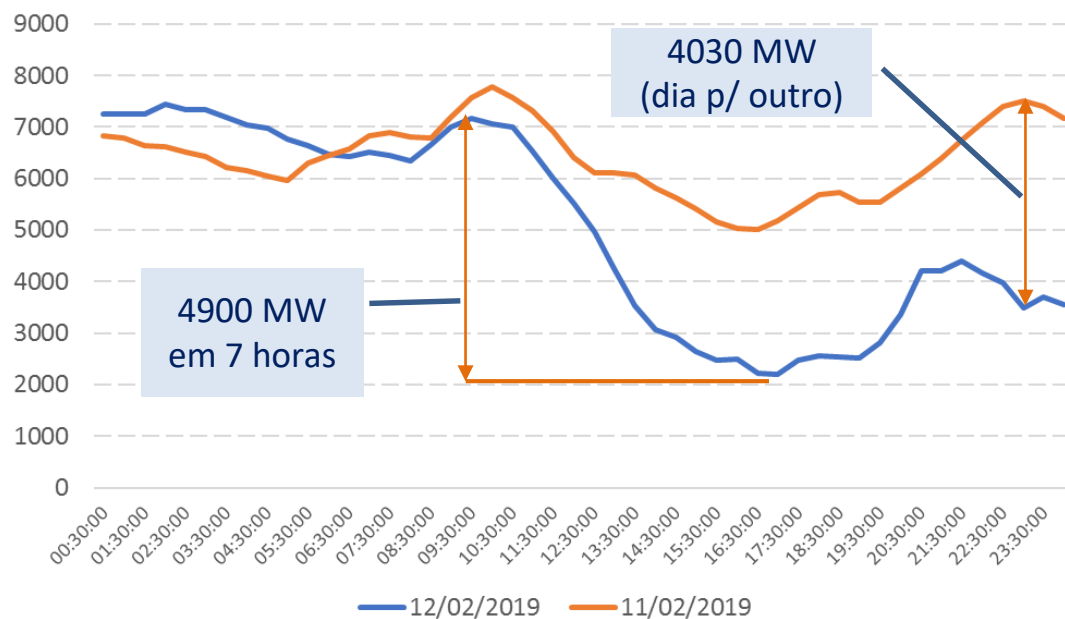
Geração eólica do SIN nos últimos 3 anos em periodicidade mensal e fator de capacidade médio a cada mês. O fator de capacidade é calculado como a relação entre geração média e a capacidade instalada.

Fonte: ONS

VARIABILIDADE DIÁRIA

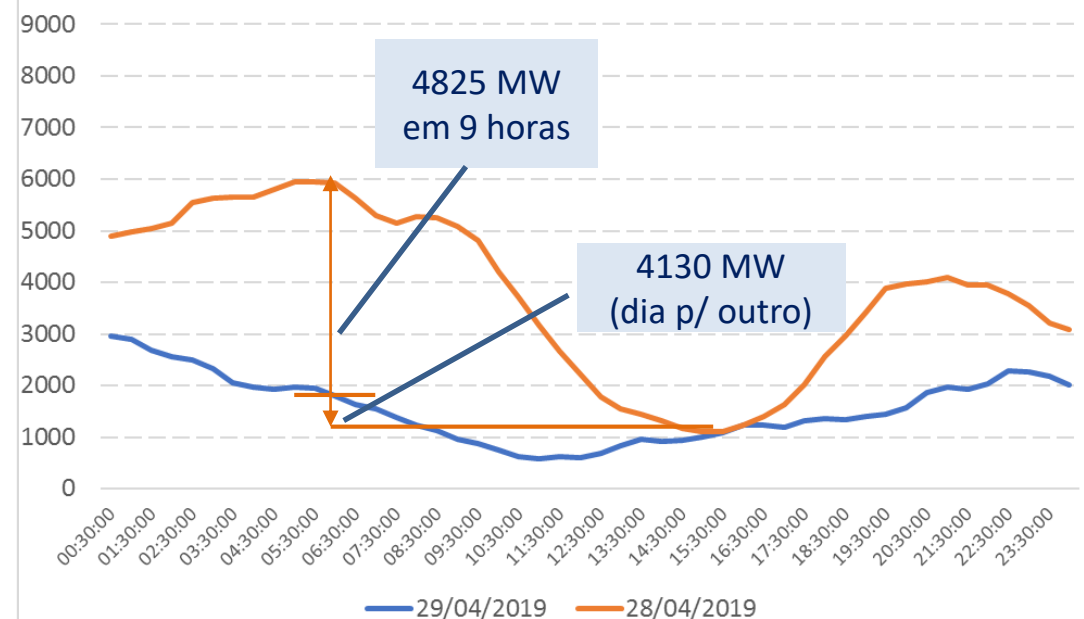
2019

Geração Eólica na Região Nordeste



Variação equivalente a 40% da carga máxima do Subsistema Nordeste neste dia

Geração Eólica na Região Nordeste



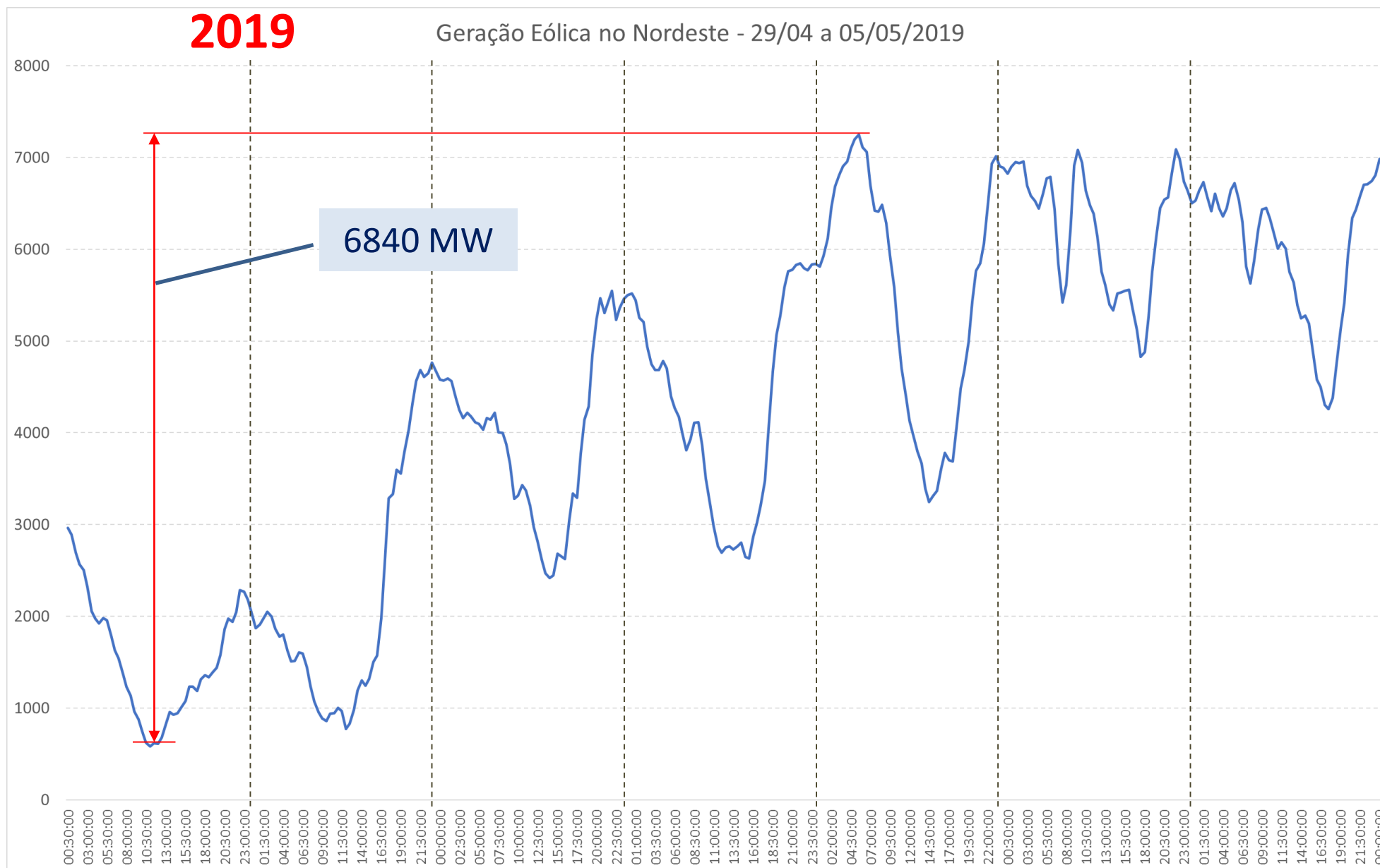
Variação equivalente a 50% da carga máxima do Subsistema Nordeste neste dia



UHE Xingó (Maior UHE do Nordeste) = 3162 MW

Fonte: ONS

VARIABILIDADE SEMANAL

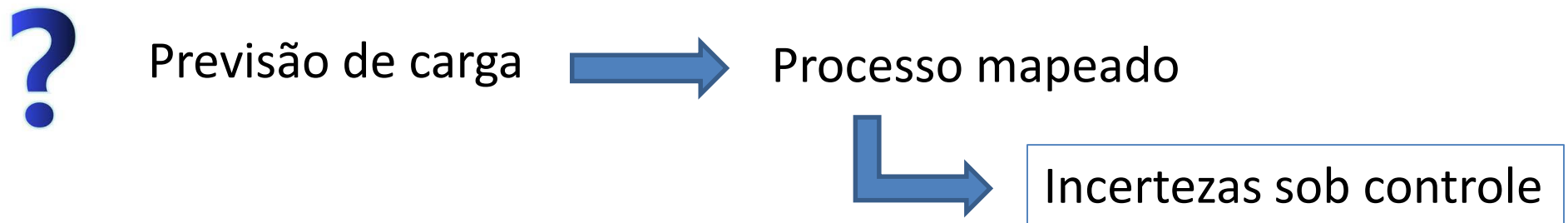


Fonte: ONS

PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA

Incerteza para a elaboração do Programa Diário de Produção

➤ Antes da Geração Eólica tornar-se representativa



➤ Após a Geração Eólica tornar-se representativa



PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA

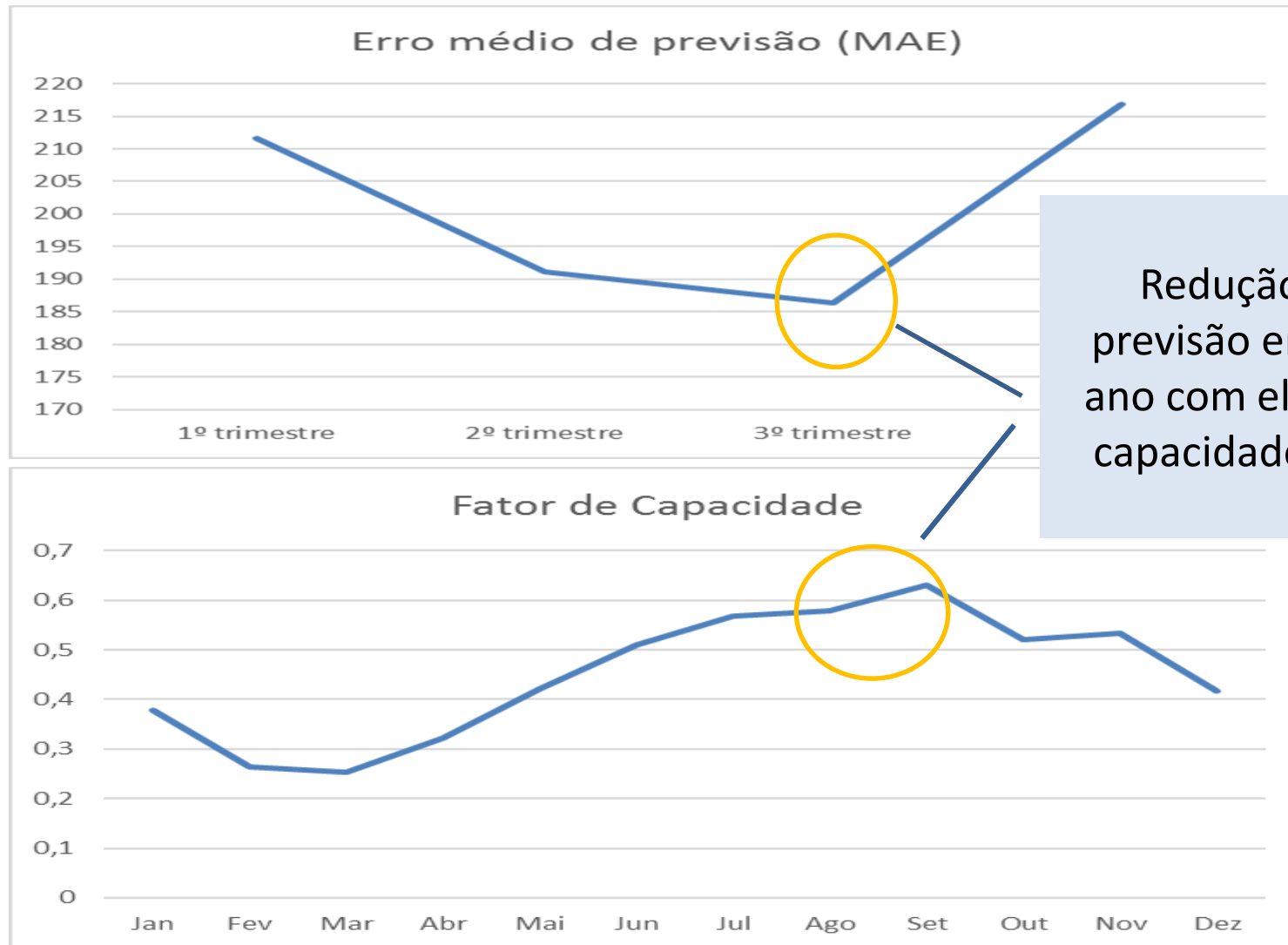
Programação (D+n)

Modelo próprio do ONS (vento x potência). Três fornecedores de previsão de vento. Algoritmo de combinação para o PDP.

Tempo Real

- **Modelo próprio do ONS**. Algoritmo de combinação com base no verificado recente e nas curvas de previsão a partir dos modelos numéricos de vento. Atualização a cada 30 min.
- **Modelo contratado** (vento x potência). Atualização a cada 6 horas.
- **Tendência**. Algoritmo de combinação. Utiliza as previsões da programação; a previsão contratada e a potência verificada. Atualização a cada 30 minutos.

PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA – TEMPO REAL

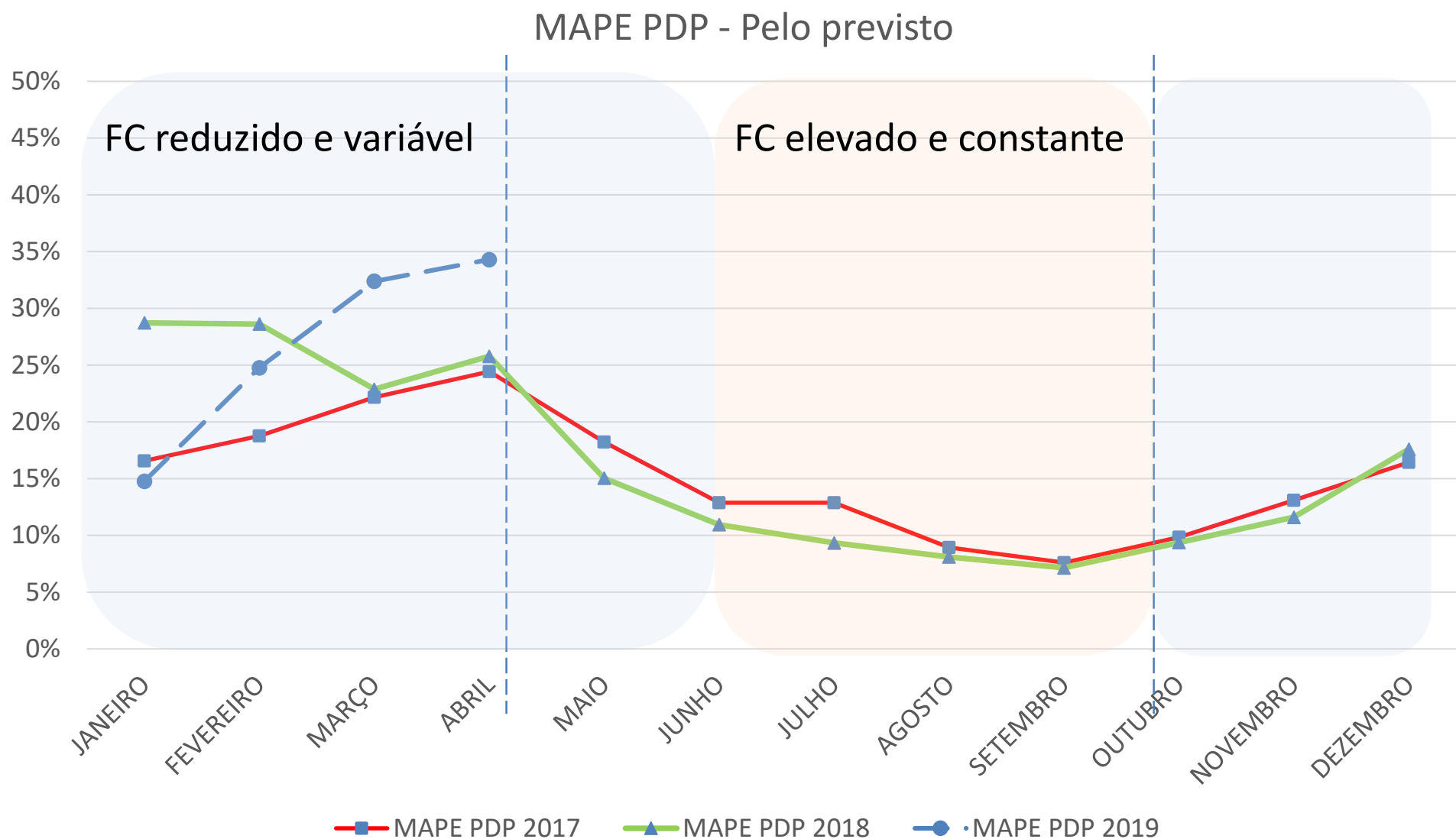


- Dados de 2018. Potência instalada média 9750 MW
- Modelo de previsão em Tempo Real. Utiliza dados de modelos de previsão (vento x potência) e dados observados de potência com atualização a cada 30 min
- O erro médio absoluto (MAE) calculado para o horizonte de previsão de 1h.

Fonte: ONS

PREVISÃO DE GERAÇÃO EÓLICA – PROGRAMAÇÃO

Erro de previsão (Previsão realizada no dia anterior)

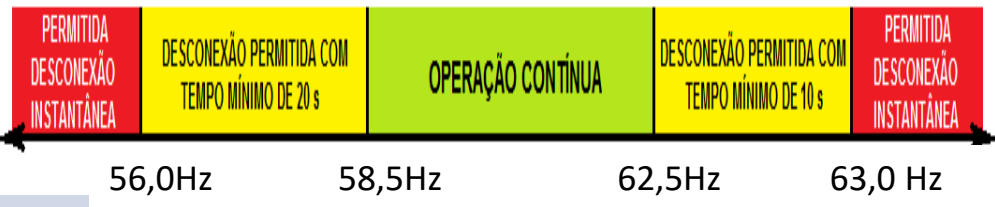


Fonte: ONS

EVOLUÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE REDE

SM 3.6 – Requisitos Técnicos Mínimos para a Conexão às Instalações de Transmissão –
Vigência 01 de janeiro de 2017

Confiabilidade e reposta à frequência

Descrição	Requisito Técnico	Benefício
Operação em regime de frequência não nominal	 O diagrama mostra uma escala de frequência de 56,0Hz a 63,0Hz. A faixa entre 56,0Hz e 58,5Hz é rotulada como 'PERMITIDA DESCONEXÃO INSTANTÂNEA'. A faixa entre 58,5Hz e 62,5Hz é rotulada como 'DESCONEXÃO PERMITIDA COM TEMPO MÍNIMO DE 20 s'. A faixa entre 62,5Hz e 63,0Hz é rotulada como 'DESCONEXÃO PERMITIDA COM TEMPO MÍNIMO DE 10 s'. A faixa entre 63,0Hz e 63,5Hz (extensão da escala) é rotulada como 'PERMITIDA DESCONEXÃO INSTANTÂNEA'. O centro da faixa de 58,5Hz a 62,5Hz é rotulado como 'OPERAÇÃO CONTÍNUA'.	Minimizar o desligamento do gerador por subfrequência e sobrefrequência quando o sistema pode se recuperar pela sua capacidade própria de regulação
Potência ativa de saída	A potência de saída da central geradora deve recuperar-se a 85% do valor pré-falta em até 4 segundos após a recuperação da tensão a 85% da tensão nominal.	- recuperação após um distúrbio; - a disponibilidade de potência situações de subfrequência de modo a evitar/minimizar os cortes de carga por atuação do ERAC.
Participação em SEP	Possibilidade de desconexão automática ou de redução de geração mediante controle de passo e/ou de stall das pás.	Minimizar consequências de perturbações no sistema, incluindo sobrefrequência no caso de ilhamento.

EVOLUÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE REDE

SM 3.6 – Requisitos Técnicos Mínimos para a Conexão às Instalações de Transmissão –

Vigência 01 de janeiro de 2017

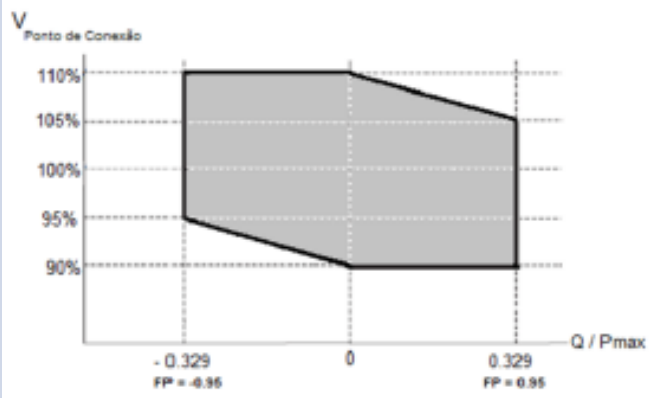
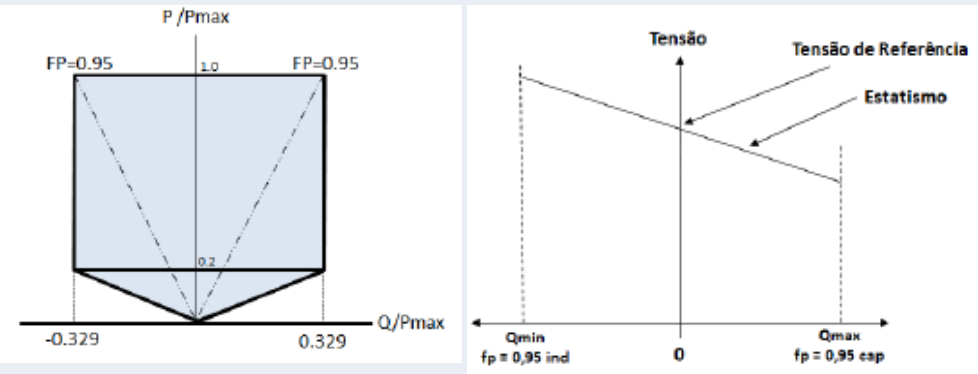
Confiabilidade

Descrição	Requisito Técnico	Benefício/Obs.
Operação em regime de tensão não nominal	No ponto de conexão: (a) entre 0,90 e 1,10 p.u. da tensão nominal por período de tempo ilimitado; (b) entre 0,85 e 0,90 p.u. da tensão nominal por período de tempo mínimo de 5 segundos; (c) entre 1,10 e 1,20 pu por período de tempo mínimo de 2,5 segundos	Evitar o desligamento da central geradora quando há variações de tensão no sistema.

EVOLUÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE REDE

SM 3.6 – Requisitos Técnicos Mínimos para a Conexão às Instalações de Transmissão –
Vigência 01 de janeiro de 2017

Controle de tensão

Descrição	Requisito Técnico	Benefício/Obs.
Atendimento do fator de potência em regime de tensão não nominal ($V - Q/P_{max}$)		Garantir o atendimento aos requisitos de fator de potência em toda a faixa operativa das tensões.
Geração/absorção de potência reativa E Modos de Controle		Participação efetiva no controle da tensão, aumentando as margens de estabilidade de tensão • controle de tensão, • controle de potência reativa, e • controle de fator de potência

RESERVA DE POTÊNCIA OPERATIVA

Convencionalmente a RPO é calculada visando fazer face:

- À perda de unidades geradoras
- Aos desvios da demanda em relação aos valores previstos

Foram identificados **três vetores** de mudança na metodologia de quantificação e alocação da RPO **decorrentes da introdução da geração eólica**:

- **Probabilidade*** de perda de aerogeradores (**desprezível**)
 - Efeito da **variabilidade** da geração eólica
 - Efeito dos **desvios da geração eólica em relação à previsão**

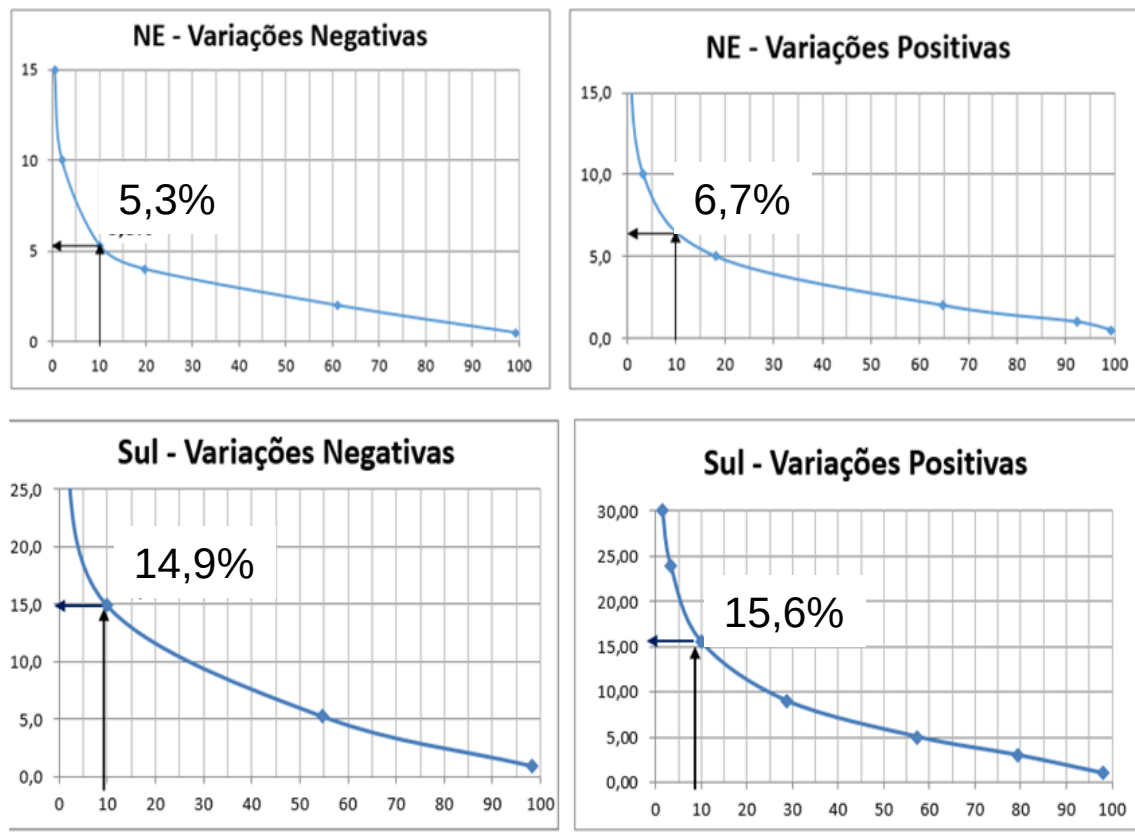
* A probabilidade da geração é expressa através das taxas de falha das unidades geradoras. (Encaminhadas pelos agentes de geração em janela móvel de 5 anos)

RESERVA DE POTÊNCIA OPERATIVA

Variabilidade - quantificação da máxima variação da geração eólica no intervalo de programação

Curvas de permanência das variações da geração eólica instantânea em relação à média dos valores extremos dos intervalos de programação nos subsistemas Nordeste e Sul no ano de 2015.

Variações da geração eólica instantânea em relação à média dos valores extremos



Desvio da Geração Eólica Instantânea em Relação à Média do Intervalo de Programação	Nordeste	Sul
Variações Positivas	6,7 %	15,6 %
Variações Negativas	5,3 %	14,9 %

Fonte: ONS

RESERVA DE POTÊNCIA OPERATIVA

Conclusão:

Para a cobertura das variações positivas e negativas da geração eólica, serão adotados para a nova parcela **Reol** de RPO os valores de **6% para o subsistema Nordeste e 15% para o subsistema Sul** (tanto para a elevação, quanto para a redução de geração), calculados em relação à geração eólica prevista para cada intervalo de programação. Estes percentuais serão alocados na Reserva Secundária (R2).

$$R2e_i = 4\%C_i + Reol_i$$

$$R2r_i = 2,5\%C_i + Reol_i$$

INÉRCIA MÍNIMA

Mensagem operativa	Código	Item	Vigência
Limite de RNE	MOP/ONS 157-S/2019	3.8.	17/05/2019

5.1 LIMITE DE RECEBIMENTO PELA REGIÃO NORDESTE (RNE)

O limite de RNE é o **menor valor** entre o RNE calculado nos itens **5.1.1** e **5.1.2**.

5.1.1 O limite de RNE é definido como sendo **43% da Carga NE**. Para valores de **FNE $\geq$ 2.500 MW**, pode ocorrer o ilhamento da região Nordeste quando de perda dupla de linhas de 500 kV da interligação Norte/Nordeste. Para garantir a manutenção da inércia mínima após o evento de ilhamento, o limite de RNE passa a ser definido também em função configuração de UGs em operação, conforme tabela a seguir:

Usina	LIMITE DE RNE (MW)												
	FNE $\geq$ 2.500 MW												
	RNE $\leq$ 36% da Carga NE				RNE $\leq$ 40% da Carga NE					RNE $\leq$ 43% da Carga NE			
UHE Sobradinho ⁽¹⁾	4	4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	6
UHE Luiz Gonzaga	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
UHE Paulo Afonso IV	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	4	3	2
UHE Xingó	2	1	1	2	4	2	2	2	2	1	3	3	1
UTE Termopernambuco	0	2	1	0	0	0	0	0	2	3	0	0	3
UTE Fortaleza	0	0	0	0	0	2	3	0	0	2	0	0	3
UTES P. Pecém I + P. Pecém II	0	0	0	0	0	3	2	3	3	3	1	3	3
UTE Celso Furtado	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0

Fonte: ONS

DESAFIOS À OPERAÇÃO EM TEMPO REAL

Fonte não despachável



Difícil previsibilidade
Elevada variabilidade

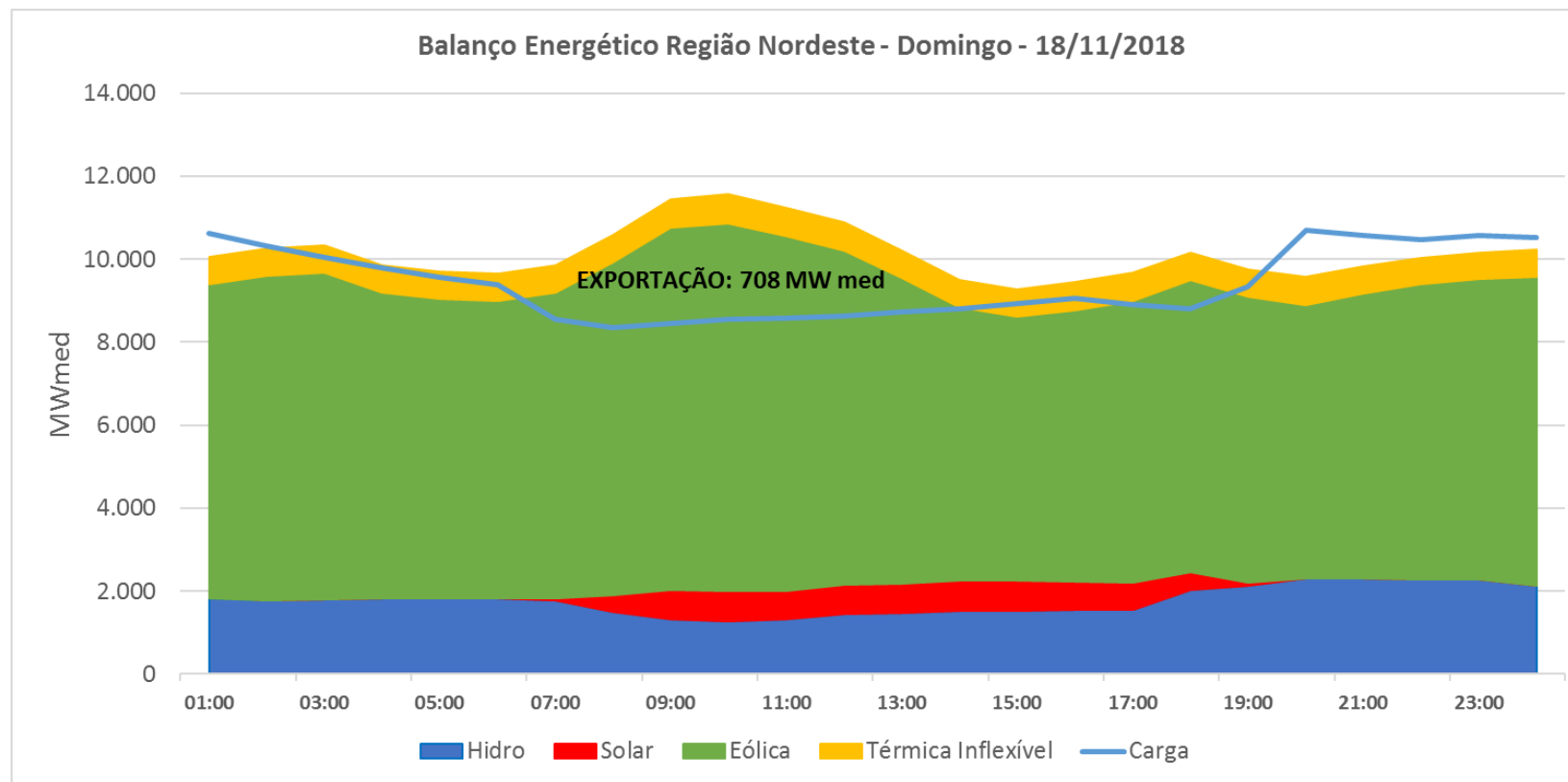
- Despachar ou não uma usina térmica, analisando o **tempo de partida da mesma**, as restrições de **tempo mínimo** que devem permanecer sincronizadas ao sistema;
- Despachar geração hidráulica em bacias **com nível de armazenamento crítico**;
- Explorar o **intercâmbio de energia** entre subsistemas;
- Reduzir ou bloquear o **intercâmbio internacional**.



Operação Econômica
e Segura

DESAFIOS À OPERAÇÃO EM TEMPO REAL

Geração eólica elevada ao longo do dia



Características:

- Recebimento de energia pelo NE minimizado ou com exportação
- Minimização dos impactos em caso de ocorrências nas interligações
- **Redução de despacho térmico**
- Menor variabilidade da ger. eólica
- Melhor previsibilidade da ger. eólica

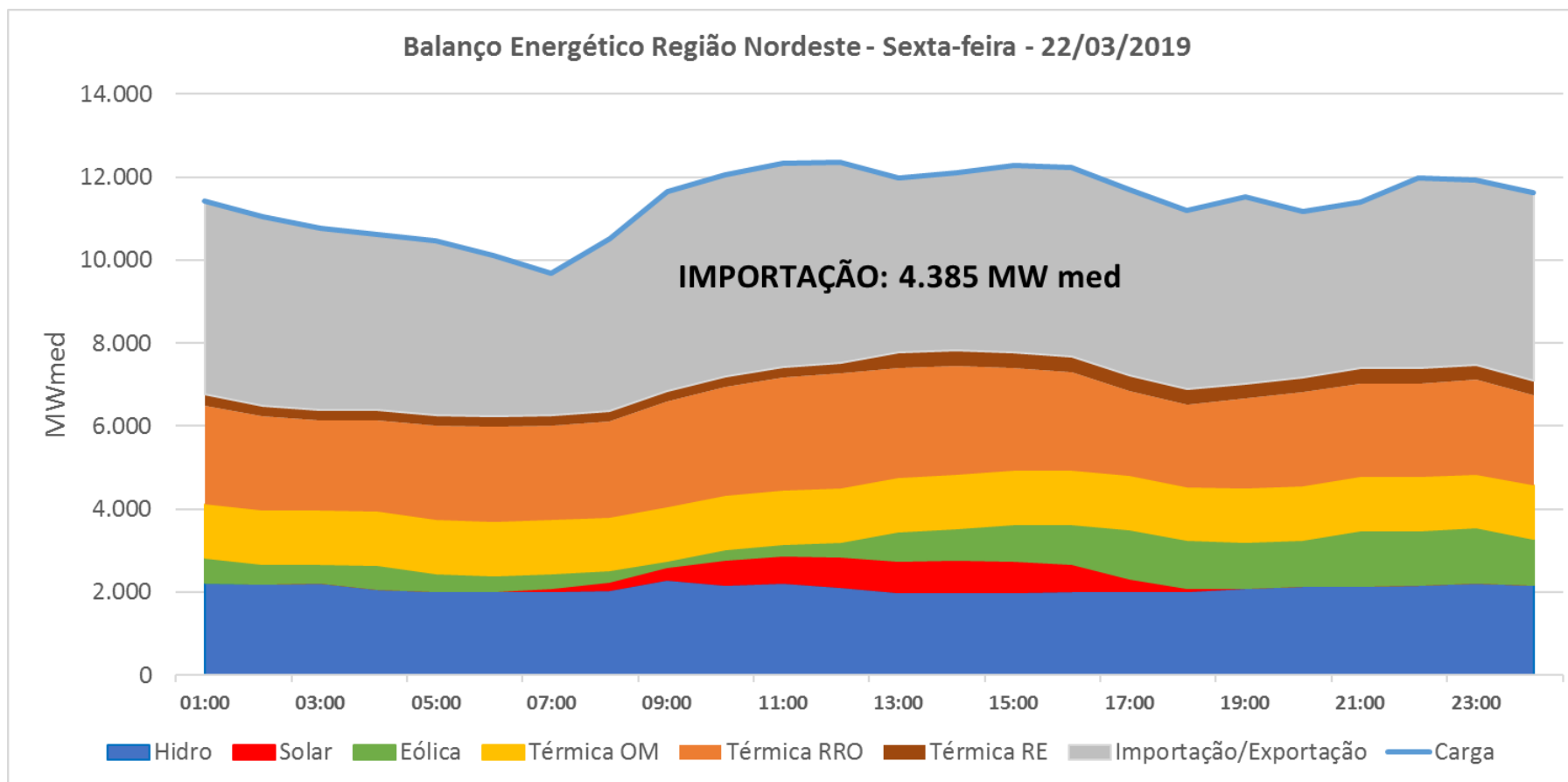
Desafios:

- Controle de carregamento
- Liberação de intervenções com desligamentos
- Controle de potência ativa das usinas eólicas
- Maior atenção com a inércia do Sistema

Fonte: ONS

DESAFIOS À OPERAÇÃO EM TEMPO REAL

Geração eólica reduzida ao longo do dia



Características:

- Recebimento de energia pelo NE em patamares elevados
- Maior impacto em caso de ocorrências nas interligações
- **Elevação do despacho térmico e hidráulico**

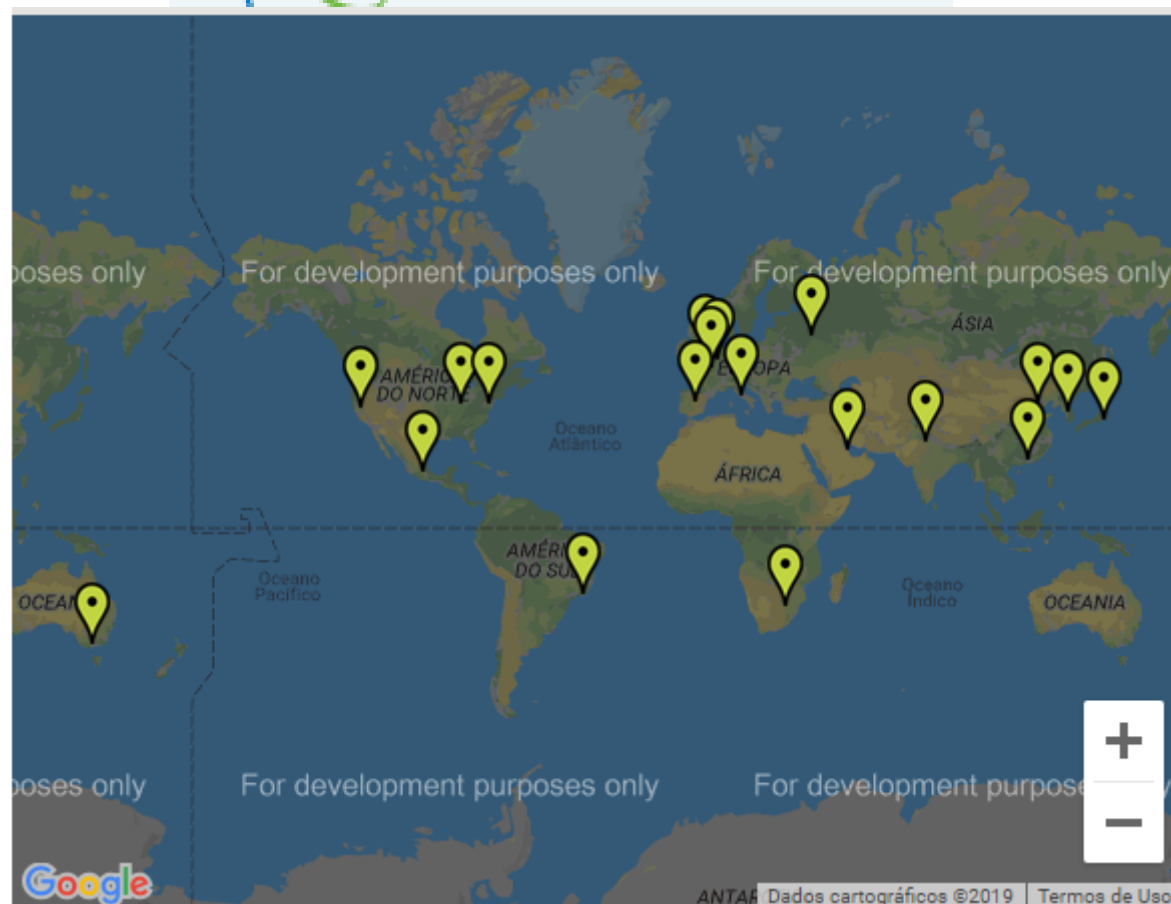
Desafios:

- Controle do limite do RNE
- Maior dificuldade na previsão da geração eólica
- Otimização do despacho térmico
- Dificuldade na utilização dos controles de potência reativa dos Conjuntos Eólicos

Fonte: ONS

GO15

PRINCIPAIS OPERADORES MUNDIAIS



Membros	
CENACE	México
CAISO	EUA
MISO	EUA
PJM	EUA
CSG	China
SGCC	China
ESKOM	África do Sul
KPX	Coreia do Sul
NATIONAL GRID	Reino Unido
ONS	Brasil
PGCIL	Índia
REE	Espanha
RTE	França
SO UPS	Rússia
TEPCO	Japão
TERNA	Itália
GCCIA	Arábia Saudita
AEMO	Austrália
ELIA GROUP	Bélgica

GO15 - VISÃO GERAL

Apesar dos sistemas avaliados **diferirem** significativamente em termos de **topologia**, **tamanho**, **composição de recursos** e de **potencial** de fontes renováveis, bem como **mercado e estrutura regulatória**, houve muitos **desafios comuns** com possibilidade de impacto na transição para um sistema de potência de baixa emissão, incluindo:

➤ Desenvolvimento da **transmissão** para acesso de novas áreas de fontes renováveis

➤ **Desafios da operação com a alta penetração de renováveis**

➤ Melhoria da rede e novos paradigmas da operação para lidar com as **fontes renováveis na distribuição**



- Previsão
- Acompanhamento da carga
- Inércia do sistema
- Controle de frequência
- Controle de tensão
- Black start

VISÃO DE FUTURO - CONSTRAINED-OFF DE USINAS EÓLICAS

Regulamentação - Histórico

NT 054/2018-SRG-SRM/ANEEL de 16 de maio de 2018

Objetivo: Instruir o processo de instauração de **Consulta Pública**, com o objetivo de colher subsídios para elaboração de proposta de Resolução Normativa que discipline a situação de **Constrained-off para usinas eólicas**.

NT 147/2018-SRG/ANEEL de 14 de dezembro de 2018

Assunto: **Tratamento regulatório à situação de Constrained-off de usinas eólicas**.

Objetivo: Instruir o processo de **tratamento regulatório à situação de Constrained-off de usinas eólicas**.

Relatório de Análise de Impacto Regulatório 001/2019-SRG/ANEEL de 11 de abril de 2019

Assunto: **Tratamento regulatório à situação de Constrained-off de usinas eólicas**.

VISÃO DE FUTURO - CONSTRAINED-OFF DE USINAS EÓLICAS

Principais Critérios Considerados pelo Relatório de AIR 001/2019-SRG/ANEEL

Reconhecimento da Situação de Constrained-off

- Indisponibilidade de equipamentos do sistema de transmissão **(Razão elétrica)**
 - A partir de 14 horas/mês
- Critérios operativos associados à confiabilidade eletroenergética **(Razão energética)**
 - Sem carência

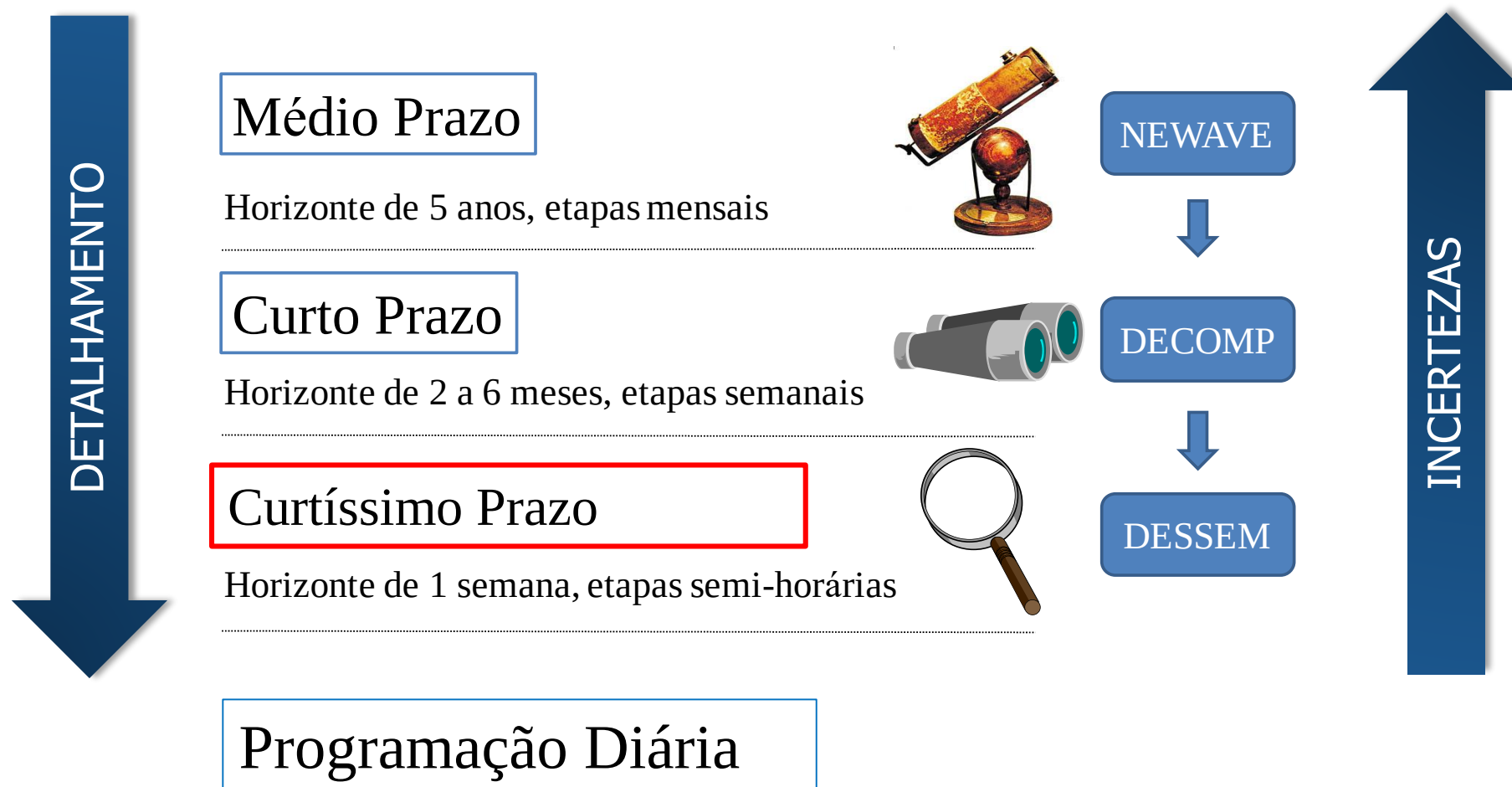
Referência para Cálculo da Frustração de Geração de Energia

- Curva de potência fornecida pelos Agentes
- Dados anemométricos **(de onde?)**

VISÃO DE FUTURO – PREÇO HORÁRIO

O Planejamento da Operação Eletroenergética

Modelos computacionais

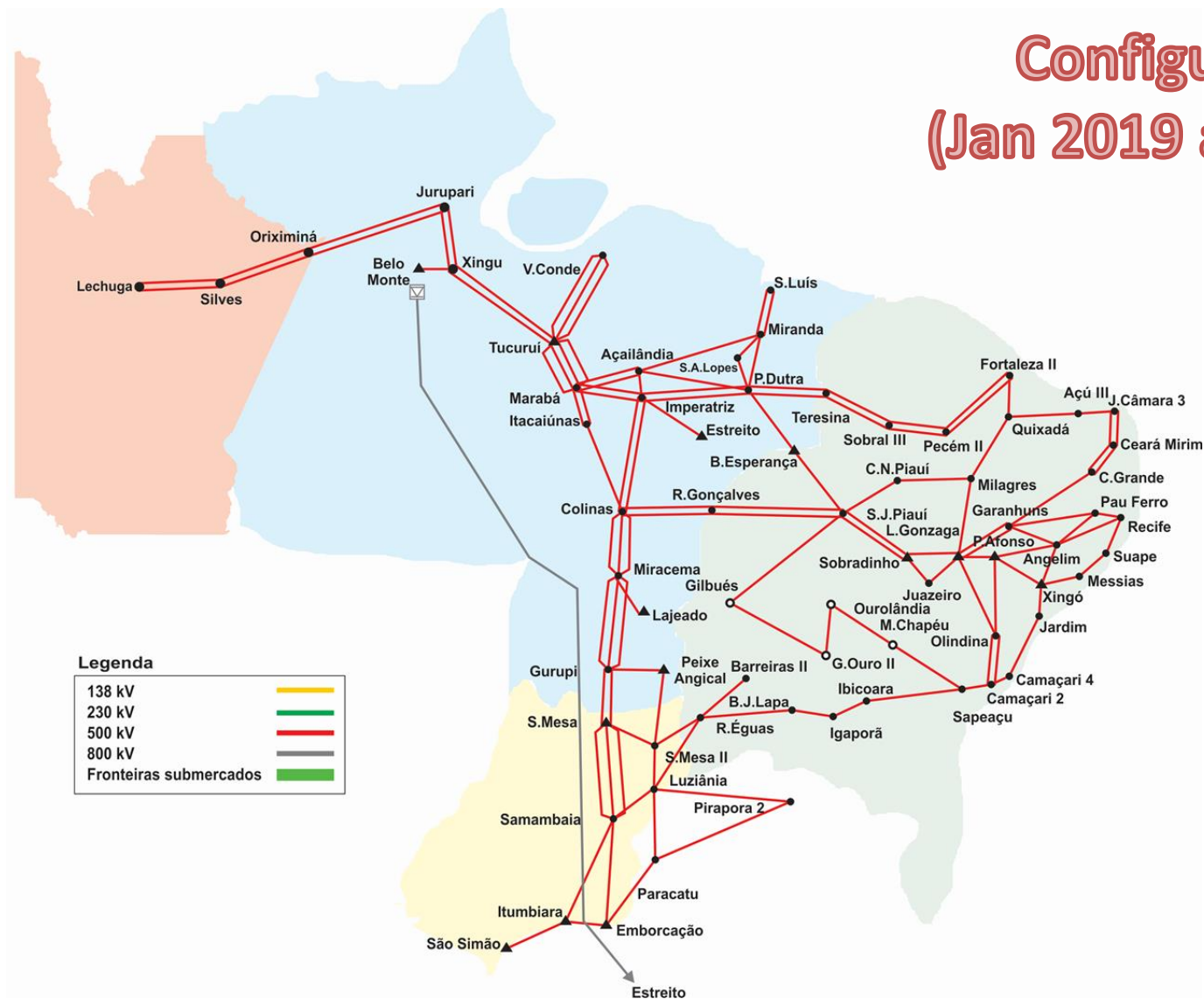


VISÃO DE FUTURO – PREÇO HORÁRIO

- A partir de **janeiro de 2020**, o **PLD** poderá ser calculado em **base horária**.
- De **abril de 2018 até a efetiva implementação do preço horário**, paralelamente ao cálculo oficial do PLD em base semanal, a CCEE também realizará a “**Operação Sombra**”.
- O modelo DESSEM procura **minimizar o custo total de operação**. Por meio da resolução de problemas de otimização, pode **diminuir o uso de geração térmica** e operar o sistema de maneira **mais eficiente**, contribuindo para a **redução dos custos operativos** e dos **riscos de déficit**.

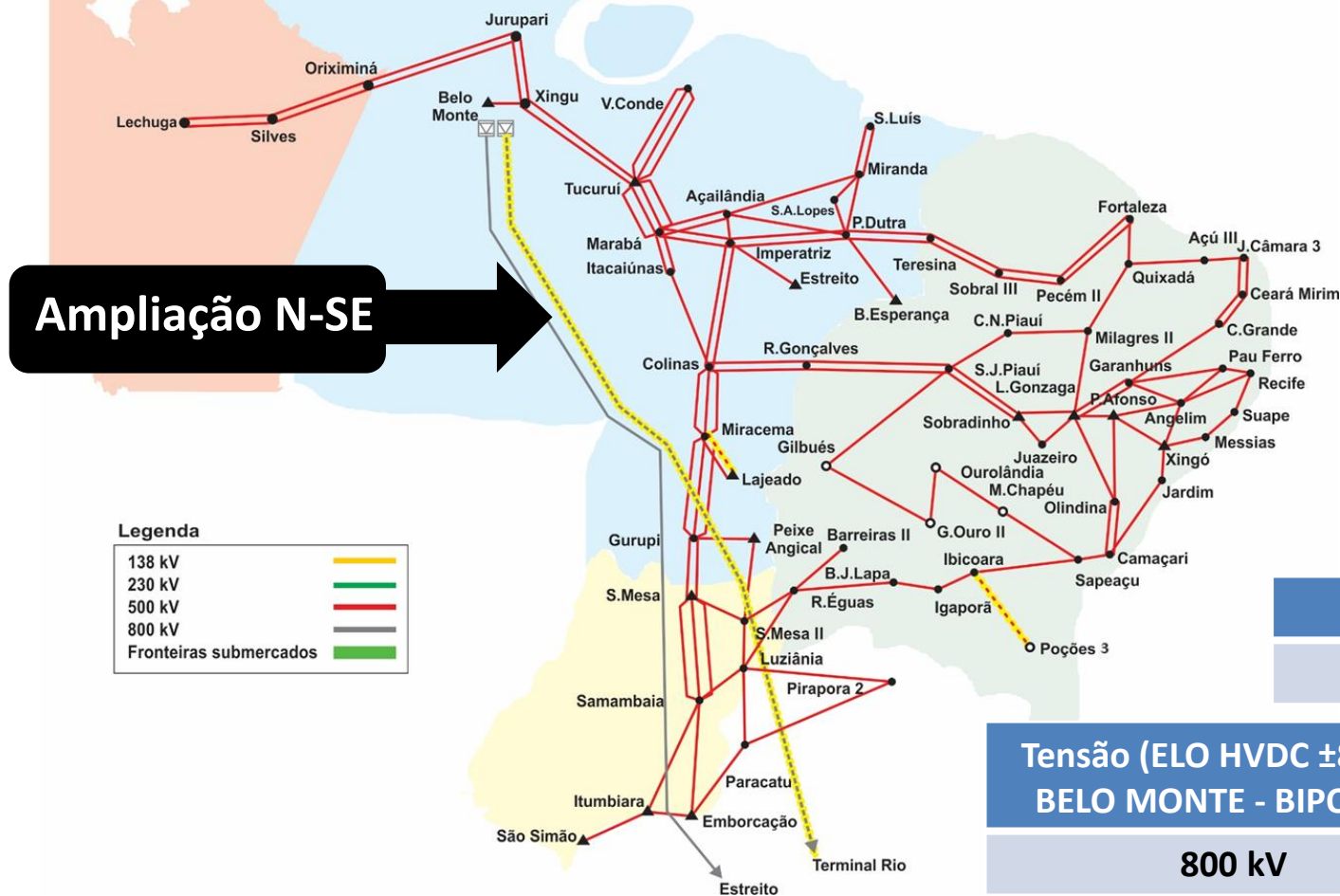
VISÃO DE FUTURO - TRANSMISSÃO

Configuração 1 (Jan 2019 a Nov 2019)



VISÃO DE FUTURO - TRANSMISSÃO

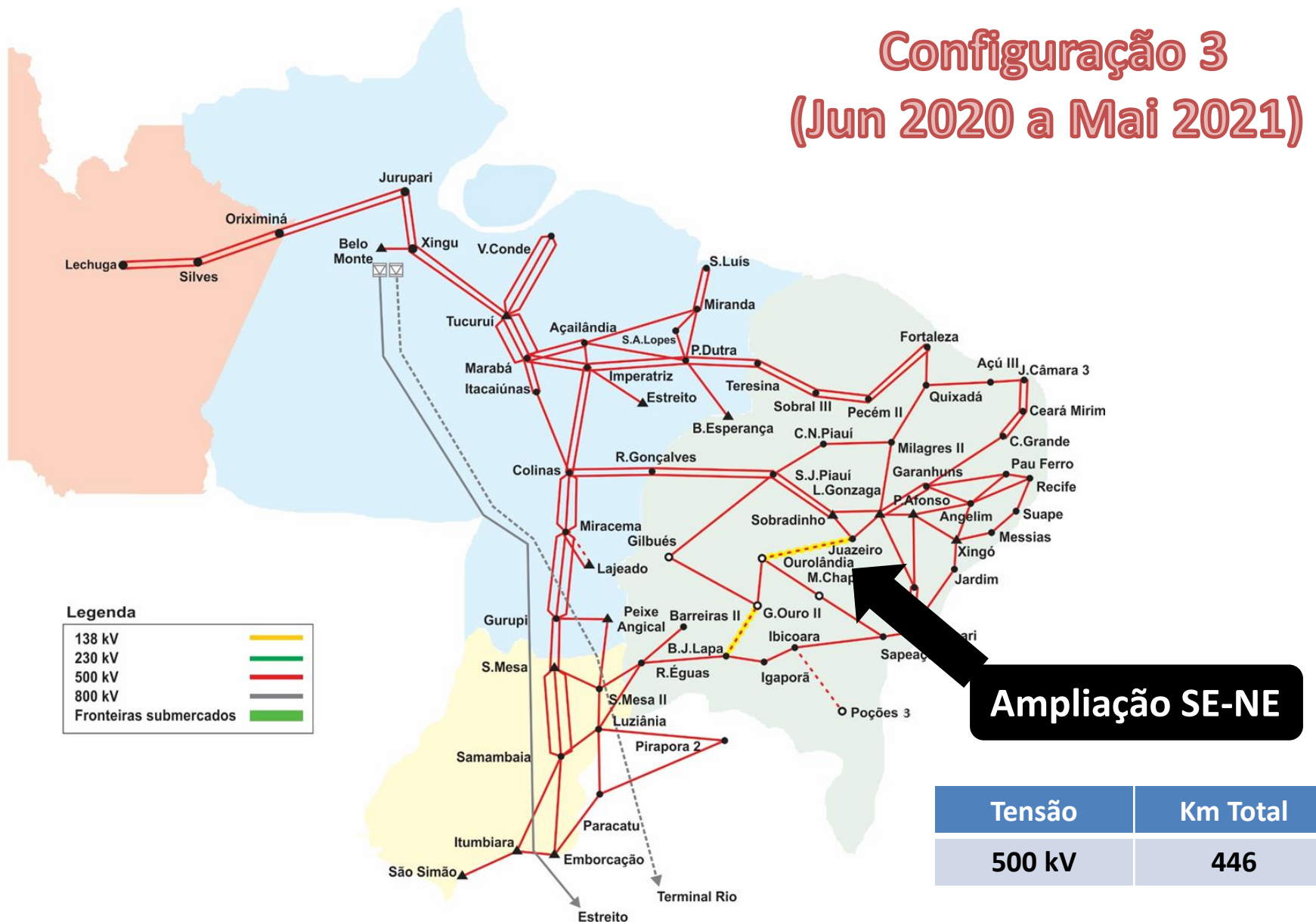
Configuração 2 (Dez 2019 a Mai 2020)



Fonte: ONS

VISÃO DE FUTURO - TRANSMISSÃO

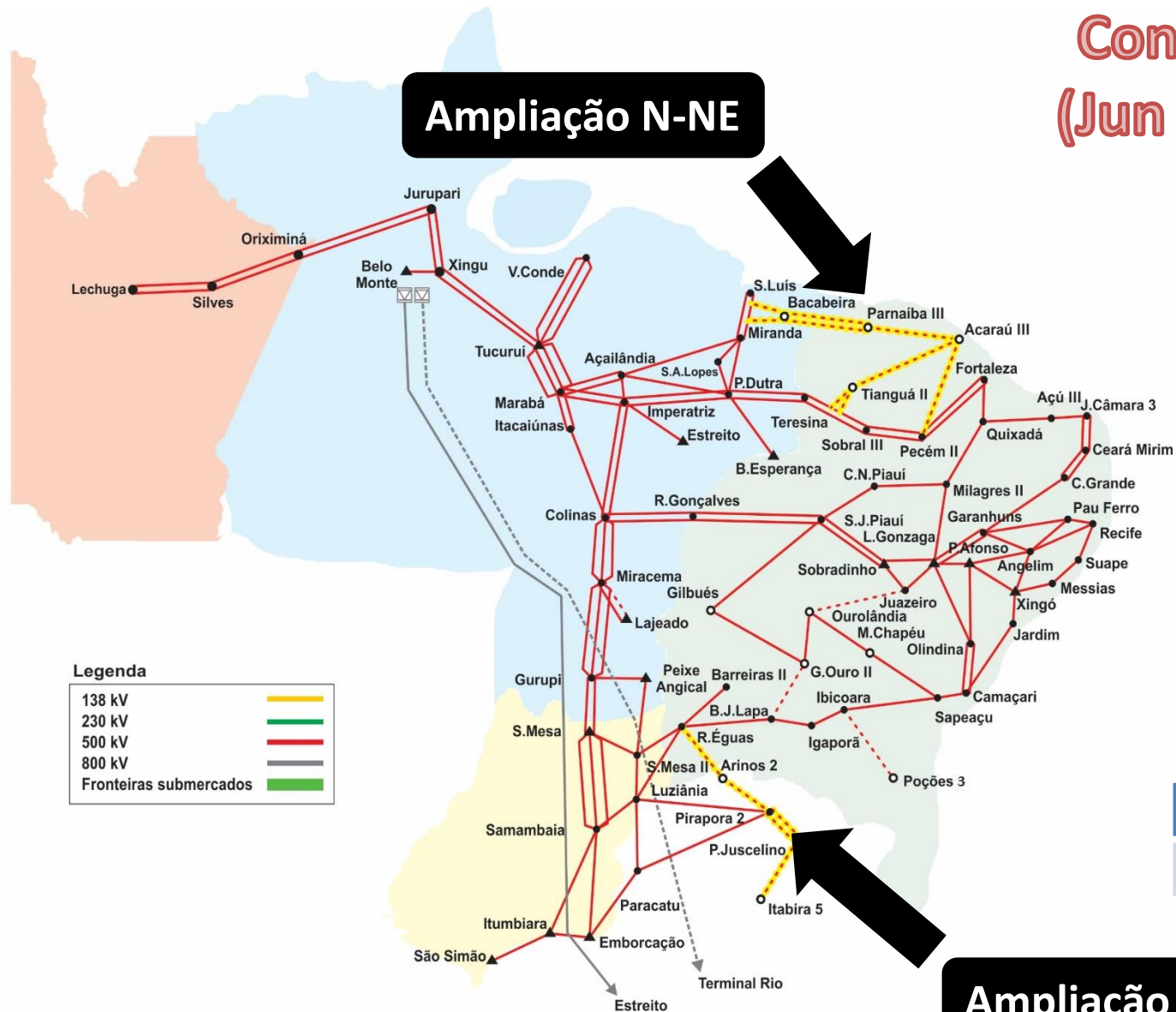
Configuração 3 (Jun 2020 a Mai 2021)



VISÃO DE FUTURO - TRANSMISSÃO

Configuração 4 (Jun 21 a Jan 22)

Ampliação N-NE

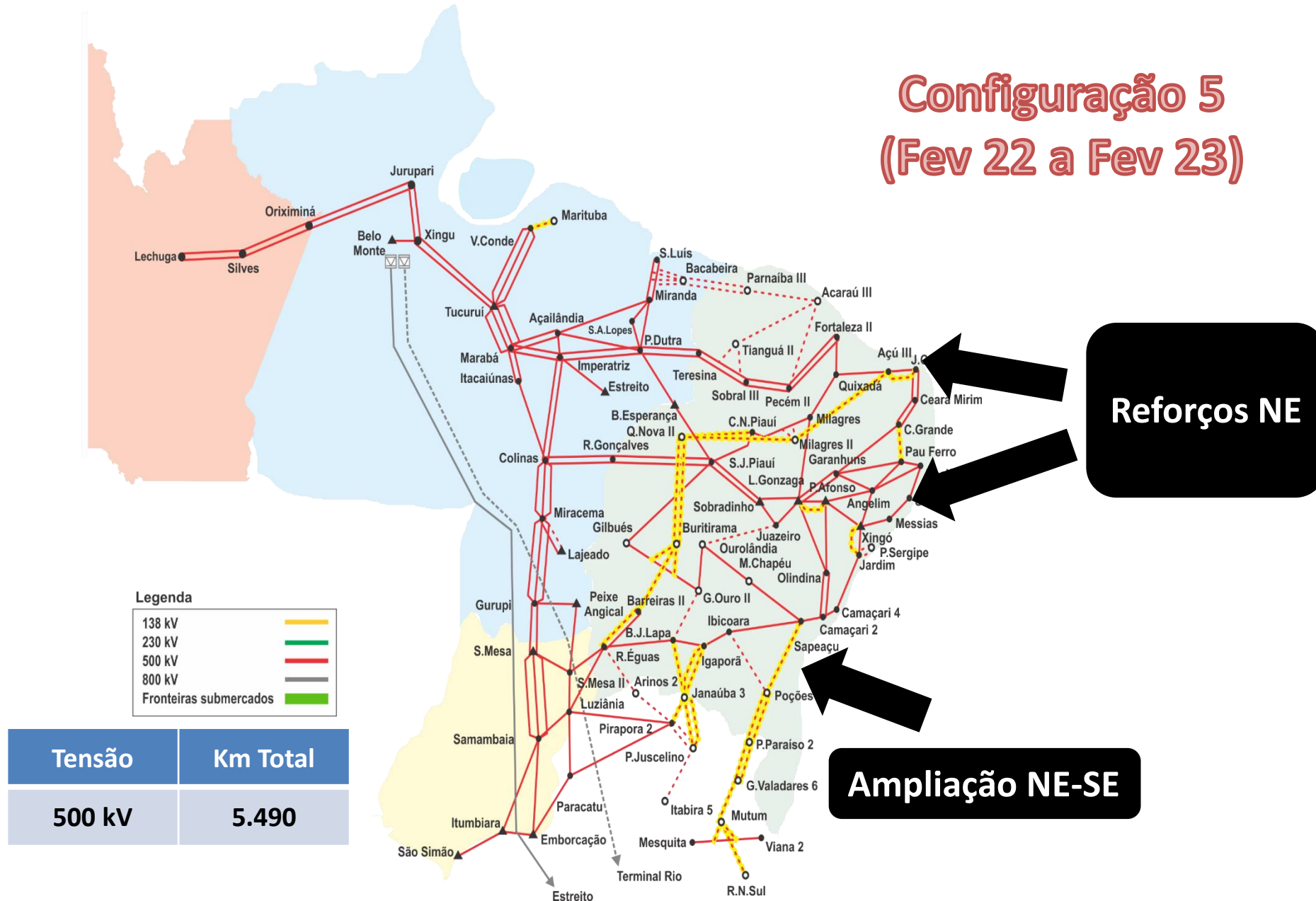


Tensão	Km Total
500 kV	2.129

Ampliação NE-SE

VISÃO DE FUTURO - TRANSMISSÃO

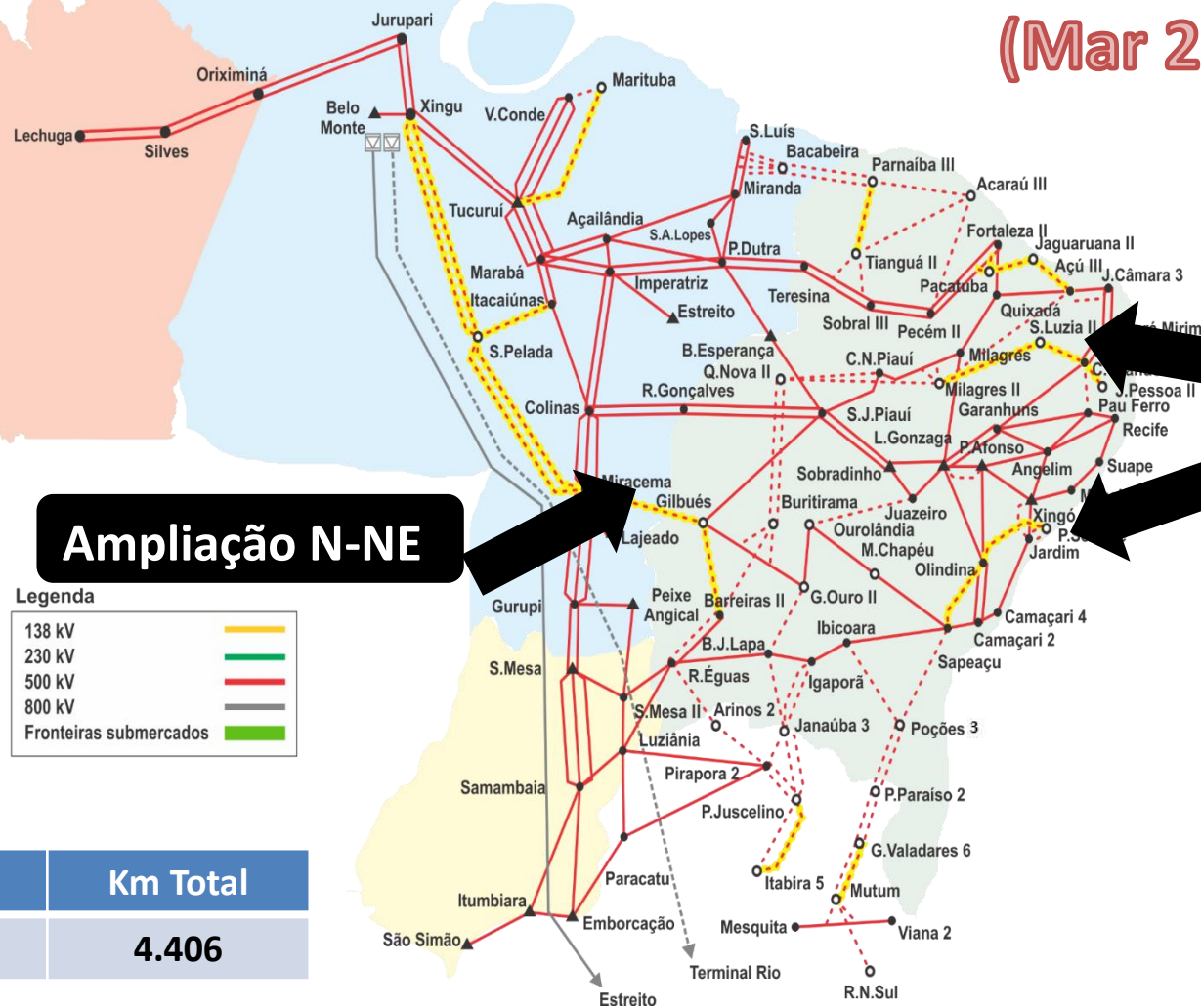
**Configuração 5
(Fev 22 a Fev 23)**



Fonte: ONS

VISÃO DE FUTURO - TRANSMISSÃO

**Configuração 6
(Mar 23 a Dez 23)**



Ampliação N-NE

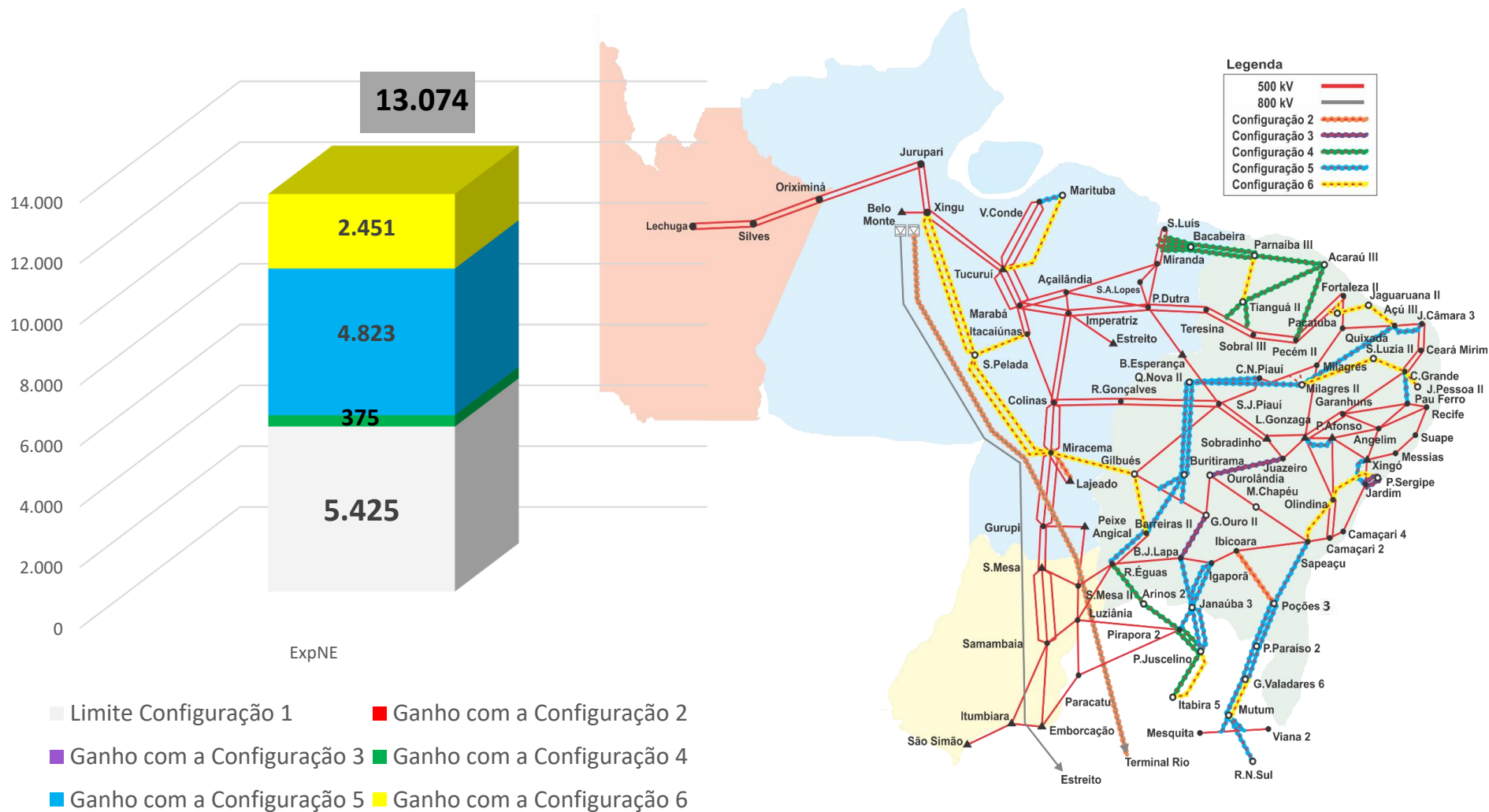
Reforços NE

Legenda

138 kV	
230 kV	
500 kV	
800 kV	
Fronteiras submercados	

Tensão	Km Total
500 kV	4.406

Evolução dos Limites no Cenário Nordeste Exportador





Obrigado

flins@ons.org.br