



GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

METODOLOGIA DA GESTÃO DAS PREVISÕES DE GERAÇÃO EÓLICA EM TEMPO REAL NOS CENTROS DE OPERAÇÃO DO ONS

LIMA, F. H. D. A. (*)
ONS

OLIVEIRA, G.L.C.P.D.
ONS

RESUMO

A crescente representatividade da geração eólica, resultaram em duas implicações para a operação em tempo real: Devido a sua intermitência, as linhas de interligação da região podem sofrer grandes variações e; é importante ter uma melhor previsão em um horizonte de curtíssimo prazo. Este trabalho descreve a implantação da gestão dessas previsões na Operação em Tempo Real do ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, a partir do desenvolvimento do SGPE – Sistema de Gestão das Previsões Eólicas, capaz de gerenciar diversos modelos de previsão, e prover informações que minimizem os efeitos dos desvios de geração e antecipem a tomada de decisões.

PALAVRAS-CHAVE

Geração Eólica – Fontes Intermitentes – Previsão de geração – Operação do Sistema - Intercâmbios.

1.0 - INTRODUÇÃO

1.1 Cenários Atual e Futuro da Geração Eólica

Um dos grandes fatores motivadores para se buscar um melhor acompanhamento das variações impostas pela natureza intermitente da geração eólica foi o grande incremento da capacidade instalada nos últimos anos e, também, a perspectiva futura da evolução dessa capacidade instalada.

Observa-se que a taxa do incremento médio anual da capacidade instalada da geração eólica no Brasil nos últimos cinco anos, têm sido em torno de 2.000 MW/ano (ver Figura 1).

A maior concentração dessa capacidade instalada, está localizada nas regiões Nordeste e Sul do Brasil, onde a região Nordeste possui cerca de 81% e a região Sul 19% dessa capacidade [1].

Para os próximos anos, considerando os contratos já assinados nos leilões realizados, espera-se um crescimento com taxas semelhantes às verificadas, podendo apresentar um crescimento um pouco menor a partir de 2019, quando a capacidade instalada no Brasil alcançará a marca de 17,9 GW, sendo que aproximadamente 95% estará localizada na região Nordeste do Brasil, como previsto para 2020 (ver Figura 2) [2].

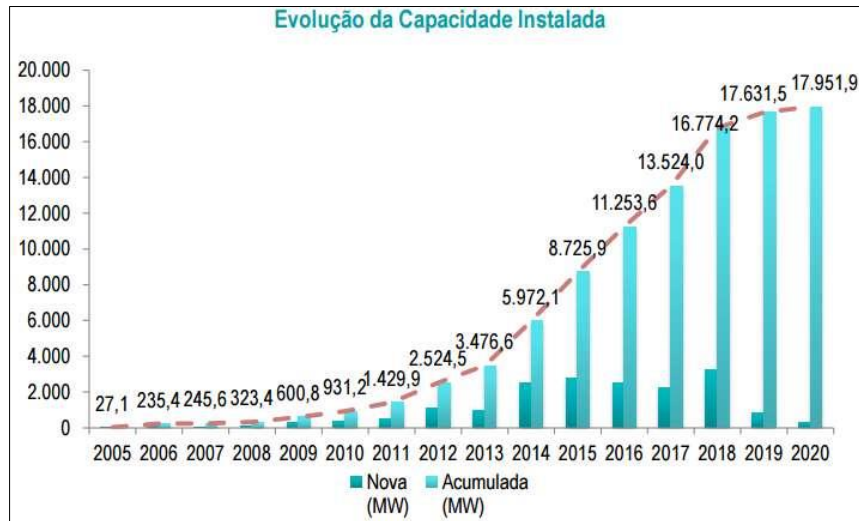


FIGURA 1 - Evolução da Capacidade Instalada no Brasil

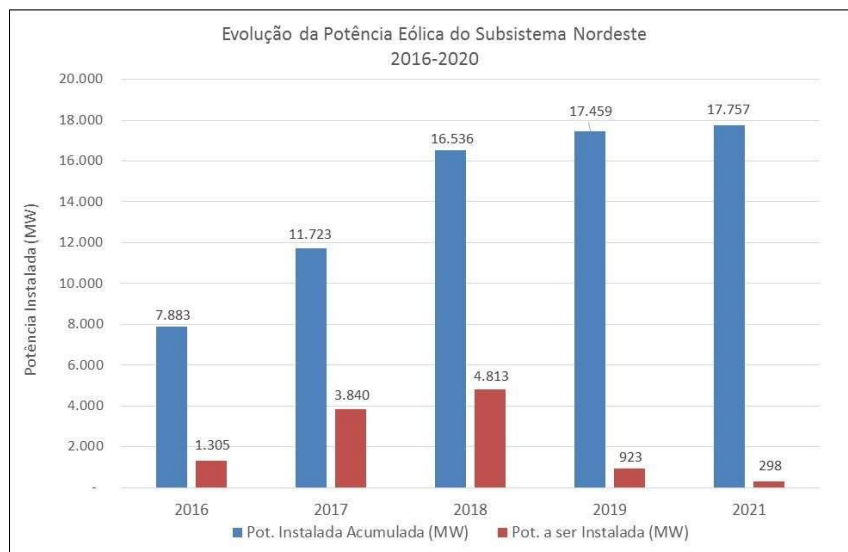


FIGURA 2 - Evolução da Capacidade Instalada na Região NE do Brasil

1.2 Características da Geração Eólica

Uma das principais características da geração eólica é a sua baixa previsibilidade. Para que a operação do sistema elétrico lide bem com essa característica, é necessário que as equipes de tempo real do ONS possuam bons modelos de previsão de geração eólica de curto prazo, utilizando informações atualizadas e gerando várias previsões ao longo do dia para um horizonte de algumas horas. De acordo com estudos sobre a qualidade das previsões de geração eólica, de uma forma geral, quanto menor o horizonte de previsão, melhor será a acurácia da resposta do modelo [3][4].

Uma das formas de avaliar o desempenho de um modelo de previsão é através da métrica MAPE - *Mean Absolute Percentage Error* - e de acordo com estudos realizados [4], com a utilização de um modelo híbrido foi possível obter um MAPE de até 2,2598%, um resultado superior em desempenho se comparado com o uso de modelos isoladamente. De uma forma geral, combinando o horizonte de previsão de melhor desempenho de cada modelo e/ou considerando que cada modelo com suas características próprias pode ser visto como uma forma diferente de atacar o mesmo problema, ou seja, minimizar os erros de previsão, pode-se concluir que a utilização de mais de um modelo pode trazer um melhor resultado combinado de previsão de curto prazo para uso da operação em tempo real.

Uma segunda característica de geração eólica é a sua intermitência. Um dos principais fatores dessa intermitência são as turbulências, que podem ser causadas pelas instabilidades dinâmicas (cisalhamento do vento) devido a rugosidade dos terrenos em ambientes complexos e, pelas instabilidades térmicas que são causadas pelas diferenças de absorção térmicas das superfícies terrestres (criando fluxos de ar por convecção). Estes são fatores de microescala que são mais difíceis de prever através dos modelos de previsão numéricos ou estatísticos que utilizam, predominantemente, fatores climáticos globais de mesoescala, ou seu histórico, para gerar seus resultados [5].

Essas características podem causar situações indesejadas na operação do sistema interligado, principalmente se for considerado grandes montantes de geração eólica variando de forma intermitente em uma região geoeletrica e, conseqüentemente, provocando grandes variações nos fluxos das linhas de interligação entre essas regiões. Esse comportamento pode levar a ultrapassagem dos limites de operação dessas linhas de interligação de forma inesperada, devendo ser cada vez mais crítica já que os montantes de variação tendem a ser cada vez maiores à medida que a capacidade instalada do sistema evolui.

1.3 Análise do Fator de Capacidade e Efeitos sobre as Linhas de Interligação Regionais

Para ilustrar os efeitos dessa intermitência sobre os fluxos das linhas de interligação, foi feita uma análise dos dados de fator de capacidade (FC) de geração eólica no período de novembro de 2015 a novembro de 2016, abrangendo o período de um ano, podendo-se observar o comportamento do regime dos ventos ao longo das estações. A partir da análise da variação horária do fator de capacidade nesse período de 12 meses, foi possível agrupar a frequência de eventos de variação do fator de capacidade em grupos de até $|0,05 \times FC|$ e de até $|0,2 \times FC|$. Para esta análise foram utilizados os dados históricos de potência eólica total verificada e a capacidade instalada de geração eólica na região Nordeste do Brasil. O resultado pode ser observado através do histograma abaixo (ver Figura 3):



FIGURA 3 - Histograma da variação horária do fator de capacidade de geração eólica para um período de 12 meses

Pode-se concluir através dessa análise, que uma frequência maior que 68% das amostras está dentro do desvio padrão, para uma distribuição normal e também, que há um equilíbrio entre rampas positivas e negativas. Portanto, de uma forma geral, as rampas horárias de geração eólica na região Nordeste do Brasil são bem-comportadas.

A partir desses resultados, considerando essa estratificação das rampas horárias em dois grandes grupos de variação ($|0,05|$ e $|0,2|$), é realizada uma extrapolação, a partir da capacidade instalada atual de 7.313 MW para a região Nordeste do Brasil (dados de novembro de 2016), para uma capacidade instalada de 17.757 MW (dados previstos para o ano de 2021), possibilitando-se assim estimar os efeitos das rampas de geração eólica sobre as linhas de interligação considerando a evolução da capacidade instalada da geração eólica. O resultado da extrapolação é mostrado (ver Figuras 4 e 5), e como se pode observar, existe uma possibilidade de ocorrer rampas horárias de até 3551 MW em uma condição futura de capacidade instalada prevista para o ano de 2021. Essas rampas, que conforme a figura 3 ocorrem com menor frequência (para variação de $|0,2| \times FC$), por outro lado, correspondem a mais de 1000 eventos (positivos e negativos) em um período de 12 meses, ou seja, quase 3 eventos por dia. Essas rampas podem se refletir nos fluxos das linhas de interligação e, portanto, se faz necessário ter ferramentas que permitam ao operador a tomada de decisões se antecipem a estes tipos de eventos.



FIGURA 4 - Rampas de geração eólicas para uma potência instalada de 7.313 MW



FIGURA 5 - Rampas de geração eólicas para uma potência instalada de 17.757 MW

1.4 Previsão e Programação de Geração no ONS

O ONS emite, diariamente, um documento contendo a programação de todas as usinas despachadas centralizadamente em todas as modalidades (hidráulica e térmica), a programação dos intercâmbios entre as regiões, as previsões de carga das regiões e a previsão de geração eólica. É importante diferenciar o conceito da modalidade de geração que pode ser programada, em função da disponibilidade da fonte primária de energia, da modalidade de geração que é prevista (característica das fontes intermitentes, como eólica e solar). Com base nas programações e previsões é realizada a consolidação do balanço carga x geração, considerando a necessidade de intercâmbios entre as regiões. Essas informações constam do documento PDP – Programa Diário de Produção, que o ONS emite para todos os agentes do setor e que é tomada como base para a operação do sistema. O PDP é emitido diariamente, com a programação do dia seguinte e a partir de então, qualquer necessidade de reprogramação, inclusive devida a desvios de geração eólica, é tratada pela operação em tempo real onde serão avaliados todos os rebatimentos desses desvios, inclusive o atendimento aos limites de intercâmbio entre as regiões. Em função dessas características do PDP, é fundamental que a operação em tempo real disponha de modelos de previsão eólica de curto prazo para subsidiar essas reprogramações.

2.0 - SISTEMA DE GESTÃO DAS PREVISÕES DE GERAÇÃO EÓLICA

2.1 Desafios para implementação

No início do ano de 2015, o ONS contratou uma empresa que passou a fornecer previsões de geração eólica para o dia seguinte, para subsidiar a elaboração do PDP, e para o dia corrente, para atender à operação em tempo real. As previsões para o tempo real são disponibilizadas a cada 6 horas, de forma que dentro desse período sejam obtidas as previsões mais atualizadas. A partir da disponibilização dessa previsão, a equipe de tempo real passou a ter um importante insumo para lidar com as características de intermitência da geração eólica e proceder com as possíveis necessidades de reprogramação do PDP.

Considerando que o problema de lidar com a geração eólica era relativamente novo; e que todos os processos relacionados à operação do sistema no ONS foram desenhados com foco na disponibilização das informações (dados de tempo real e do PDP) através do Sistema de Supervisão e Controle – SSC – de forma integrada para os operadores de sistemas, nos deparamos com a seguinte questão: A disponibilização das previsões para o Tempo Real a cada 6 horas era feita através de arquivos (planilhas) individualizados por usina (na época haviam cerca de 200 usinas) e através de um FTP da empresa contratada.

Outras questões relevantes eram que, todo o tratamento dessas informações deveria ser automatizado; as informações de previsão deveriam ser confrontadas com diversos dados de tempo real já disponíveis no SSC do ONS, para efeito comparativo; e, todas essas informações deveriam ser processadas para gerar indicadores que auxiliassem o operador de sistemas na tomada de decisões com respeito à intermitência da geração eólica, agregando mais segurança e obtendo melhores resultados. Não haveria tempo hábil para um operador ou engenheiro coletar e abrir todas essas planilhas, converter os dados, fazer comparações gráficas de valores de geração verificados com os previstos, efetuar cálculos e totalizadores de acordo com as necessidades e, finalmente, gerar algum indicador de tendência para auxílio à operação. Todo esse trabalho deveria ser feito automaticamente, de forma contínua e ininterrupta, através de um sistema que seria projetado especificamente para isso.

2.2 Desenvolvimento e implantação

A solução encontrada foi o desenvolvimento de um sistema que pudesse ler todos esses modelos automaticamente, no momento em que são disponibilizados, convertendo todos esses dados em gráficos de previsão de fácil leitura e ainda podendo ser totalizados de acordo com o interesse do operador. A partir da ideia inicial do sistema, de ser apenas um visualizador das curvas de previsão, foram sendo somadas melhorias no sistema, como confrontar os dados de previsão com dados do SSC, curva de geração verificada do dia em curso ou do dia anterior, curva da

previsão do PDP e ainda, a possibilidade de agrupar esses dados por Grupos Geradores, Conjuntos de Usinas ou Subestações, de forma configurável, e assim poder comparar os dados previstos com o verificado.

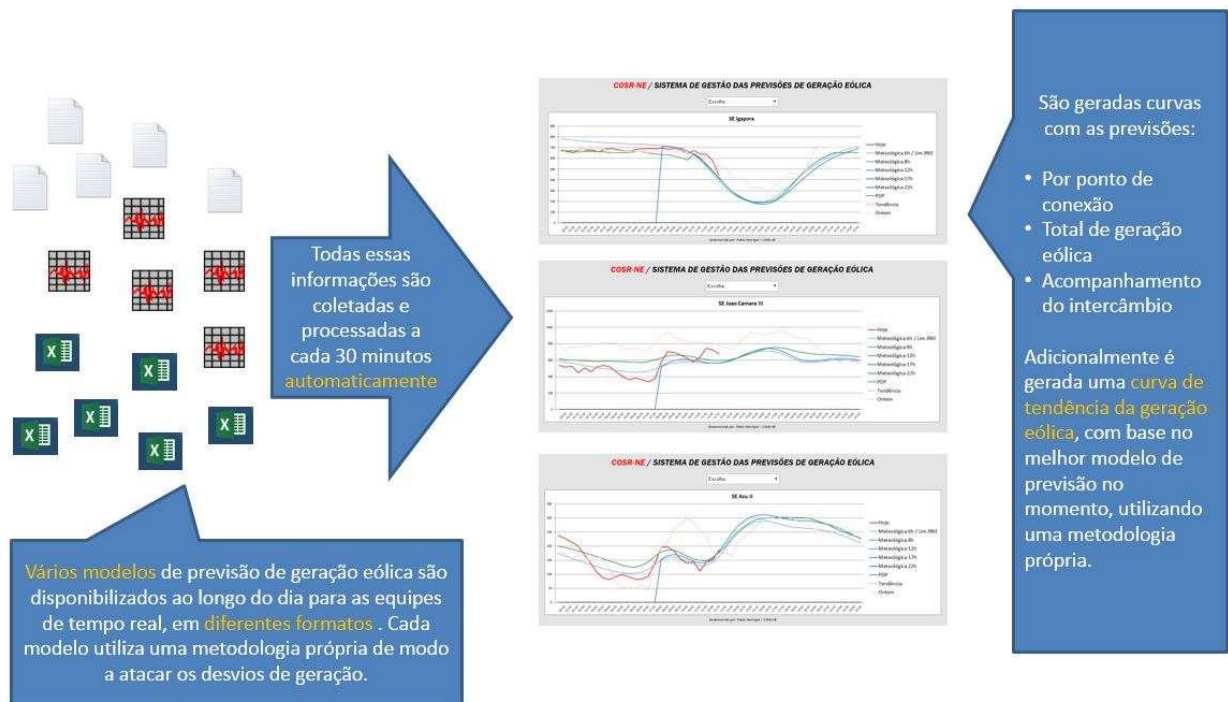


FIGURA 6 - Processo de aquisição e processamento dos dados de previsão.

Considerando que o sistema tem à disposição mais de uma previsão, sendo a do PDP e a da empresa contratada e dos modelos próprios desenvolvidos no ONS, foi desenvolvida uma metodologia para gerar uma curva de tendência do total de geração eólica com o seguinte princípio de funcionamento: a cada 30 minutos o sistema verifica qual das previsões de geração eólica disponíveis está mais aderente ao valor de geração verificado no momento em tempo real. Essa melhor previsão é selecionada automaticamente e é feito um ajuste dessa curva com o valor de geração atual, projetando uma curva de tendência de geração eólica até o final do dia (ver Figura 7).

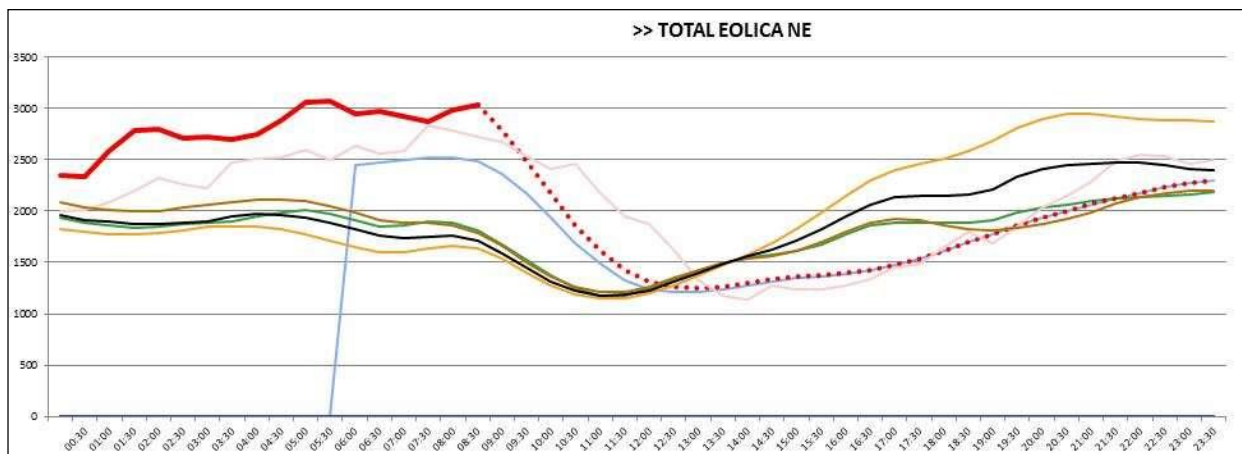


FIGURA 7 - Curvas das previsões; geração verificada de hoje (vermelha), ontem (vermelha clara) e tendência (vermelha pontilhada).

Em seguida foi desenvolvido um cálculo que possibilite ao operador de sistema efetuar o acompanhamento das variações de intercâmbio e antecipar a tomada de decisões, que tenham como causa os desvios de geração eólica. A partir da curva de tendência da geração, calculada anteriormente, é feito um cálculo de tendência do intercâmbio de energia com a região NE. Ou seja, a partir do desvio de geração calculado pela tendência até o final do dia e, embasado pelas previsões de geração disponíveis no sistema, é feito um cálculo de tendência do intercâmbio até o final do dia. Esse cálculo considera e mantém os desvios de carga e geração de outras fontes até o final do dia.

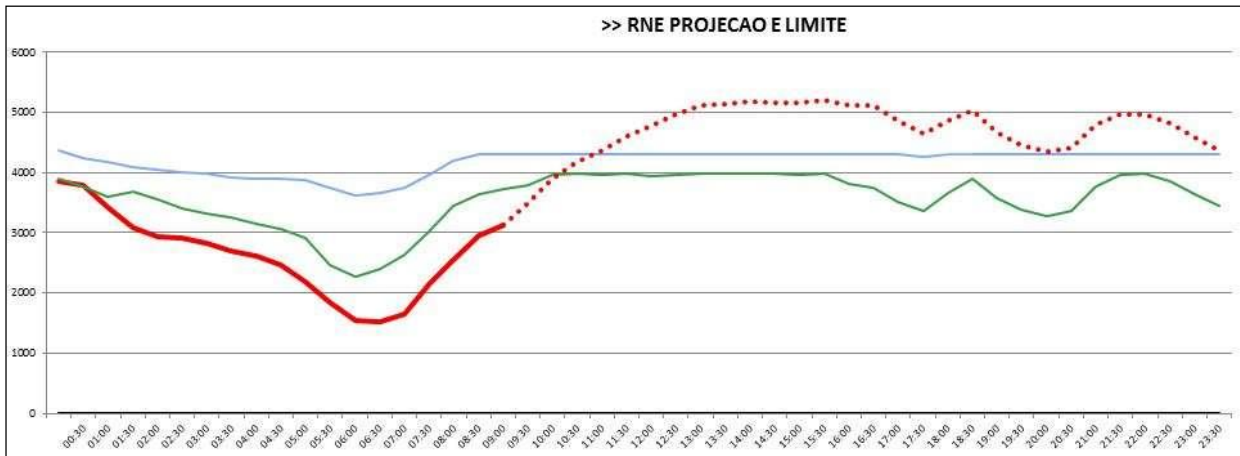


FIGURA 8 - Curva de intercâmbio programado (verde), verificado (vermelho), tendência (pontilhado) e limite (azul).

Para que o acompanhamento e o controle dos fluxos de intercâmbio sejam efetivos, foi desenvolvido o cálculo do limite de intercâmbio e incorporado à curva. Esse limite dinâmico, elaborado pelas equipes de estudos do ONS, leva em consideração diversos fatores, para podermos ter o cálculo do limite futuro.

Portanto, é possível para o operador de sistemas visualizar antecipadamente uma situação crítica de violação de limite dos fluxos de intercâmbio decorrente de desvios de geração eólica, e tomar as ações necessárias para evitar essa situação indesejada, como por exemplo, redespachar geração de outras fontes com térmica ou hidráulica, dentro ou fora da região conforme a necessidade.

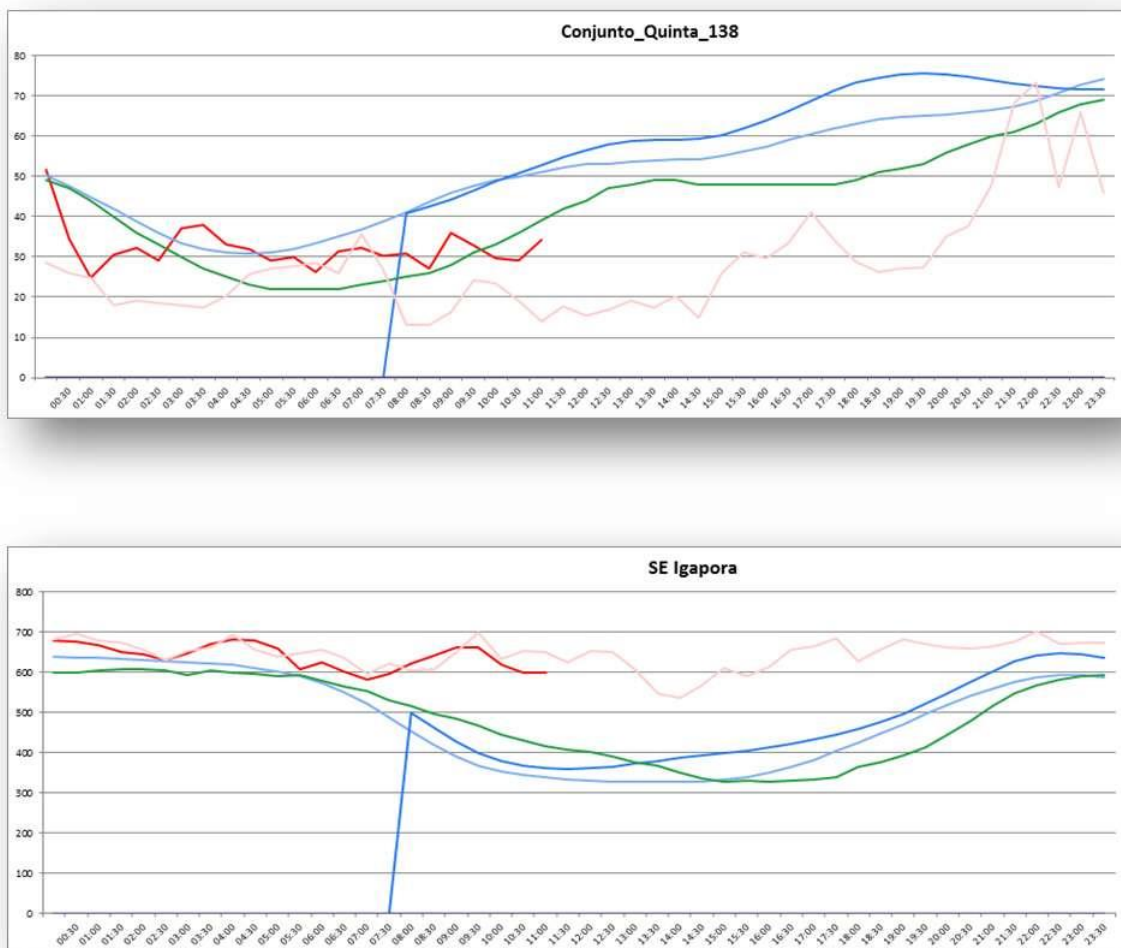


FIGURA 9 - Visão agrupada de conjuntos eólicos da região Sul e Nordeste, com diferentes comportamentos do vento.

3.0 - CONCLUSÃO

Esse sistema foi chamado de "Sistema de Gestão das Previsões de Geração Eólica" e está apto a trabalhar com vários modelos de previsão de geração eólica que venham a ser adotados no futuro. O sistema opera de forma totalmente automática, 24h por dia, executando os cálculos a cada 30 minutos e carregando os dados de previsão à medida que forem disponibilizados. Após o processamento, são geradas as curvas que podem ser facilmente acessadas pela equipe de operação utilizando um browser de internet. Tudo isso feito sem nenhuma intervenção do usuário.

Inicialmente, o sistema foi implantado no Centro Regional de Operação da Região Nordeste do ONS e, em seguida, o mesmo foi implantado no Centro Regional de Operação da Região Sul e no Centro Nacional de Operação do Sistema.

Com a implementação das curvas de tendências e limites, foi possível fornecer ao operador uma ferramenta de análise, dando-lhe uma visão de futuro e a indicação de possíveis problemas, induzindo a operação do sistema a tomar ações preventivas e tornando-a mais bem preparada para lidar com os desvios de geração eólica, cuja capacidade instalada será ainda maior nos próximos anos.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, Boletim Mensal de Geração Eólica Outubro/2016, ONS, http://www.ons.org.br/resultados_operacao/boletim_mensal_geracao_eolica/index.aspx;
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, Dados Mensais ABEEólica – Dezembro de 2016, ABEEólica, <http://www.abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>;
- [3] A. COSTA, A. CRESPO ET AL, A review on the young history of the wind power short-term prediction, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, Agosto/2008;
- [4] I. OKUMUS, A. DINLER, Current status of wind energy forecasting and a hybrid method for hourly predictions, Energy Conversion and Management, Elsevier, Turquia, Junho/2016;
- [5] N. CARPMAN, Turbulence Intensity in Complex Environments and its Influence on Small Wind Turbines, Department of Earth Sciences, Uppsala University, Suécia, 2011;

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Fábio Henrique de Andrade Lima

Nascido em Bauru/SP no ano de 1975

Concluiu o curso de Engenharia Elétrica na Universidade de Pernambuco no ano de 2002.

Atuou como Operador de Sistemas no ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, de 2000 a 2004.

Atua como Engenheiro de Operação em Tempo Real no ONS, desde 2004.