



Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES

UTILIZAÇÃO DE UNIDADES TÉRMICAS TIPO CSP COMO RESERVA GIRANTE CONTROLADA PARA MITIGAR OS EFEITOS DA INTERMITÊNCIA DA GERAÇÃO EÓLICA EM ÁREAS DE GRANDE CONCENTRAÇÃO

ÁLVARO JOSÉ PESSOA RAMOS(1); RODRIGO BEZERRA VALENÇA(1); JOSÉ SANDRO VALENÇA DO NASCIMENTO FILHO(1); DÉIBSON JOSÉ GOMES DE SENA(1); JULIANA BARBALHO RAMOS(1); RAISSA SOUTO(1); ANDESA(1);

RESUMO

O trabalho discute aspectos operacionais de alternativa de controle automático de geração fundamentado no conceito de áreas de concentração de geração eólica que operariam estratégia TLB atuando em usinas térmicas solares CSP. Estas CSP seriam instaladas nas áreas de concentração de eólicas.

As térmicas CSP são turbinas a vapor clássicas acionando geradores síncronos convencionais. Assim, as CSP também oferecem potência reativa para de controle de tensão, reserva girante para contingências de déficit de geração (eventos de subfrequência).

As CSP terão a vantagem de serem instaladas em regiões de grandes concentrações de energia eólica do Nordeste onde ocorre elevada irradiação solar.

PALAVRAS-CHAVE

Concentrated Solar Power - CSP, Controle Automático de Geração – CAG; Centrais de Geração Eólica – CGE; Sistema Interligado Nacional – SIN; Áreas de Concentração de Geração Eólica – ACGE.

1.0 - INTRODUÇÃO

A partir do ano de 2004 com o PROINFA iniciou-se a instalação de geração eólica no Brasil. Nesta época a maioria das Centrais de Geração Eólica (CGE) eram de porte médio ou pequeno conectadas nos sistemas de distribuição (13,8kV) e subtransmissão (69kV) na região Nordeste do Brasil. Devido aos seus portes, os impactos da operação destas CGE sobre a rede básica (Sistema Interligado Nacional – SIN) eram desprezíveis.

Entretanto, a experiência bem sucedida dos parques eólicos instalados que mostraram fatores de capacidade atrativos aliados a realização de leilões, os investimentos foram direcionados a grandes complexos de geração eólica conectadas a Rede Básica em níveis de tensão 230kV e 500kV com potência instalada até superiores a 1GW.

A variabilidade na velocidade dos ventos e, portanto, na potência gerada pelas Centrais de Geração Eólicas (CGE) introduz na operação do sistema interligado incertezas que se traduzem em variáveis de difíceis previsão cujo controle demandam ações automáticas e contínuas em tempo real. Tais dificuldades operacionais se tornam crescentes na medida em que se eleva o montante e a concentração da geração eólica. Os sintomas de tais dificuldades já se fazem sentir atualmente no ano de 2019 onde variações de geração eólica superiores a 800MW ocorrem em períodos de uma hora. Estudos indicam que taxas de variação da ordem de 2000MW/hora ocorrerão até o ano 2021 com a previsão do crescimento da geração eólica prevista para ser instalada no Brasil.



As variações não previsíveis e relativamente rápidas de geração eólica são momentaneamente compensadas principalmente pelos intercâmbios com as regiões Norte e Sudeste que apresentam regulação equivalente (MW/0,1Hz) maiores do que a área Nordeste onde a reserva operativa de geração hidráulica se encontra reduzida devido as condições energéticas desfavoráveis vigentes a pelo menos 9 anos. Por exemplo, uma redução de 1000MW no período de uma hora elevarão os intercâmbios para patamares fora dos valores programados ou mesmo em valores próximos aos limites de estabilidade previamente estudados. O ajuste do sistema, trazendo os intercâmbios para valores apropriados são feitos através da elevação da geração térmica da área Nordeste, todas situadas próximas as capitais e, portanto, no litoral. Este procedimento operacional, que não é automatizado, é realizado pela ação direta dos operadores do sistema e representa um grande remanejamento de geração das áreas de concentração da geração eólica para as unidades térmicas. Isto pode significar um rearranjo nos fluxos de potência do sistema que podem demandar ações adicionais em tempo real para ajustes das tensões do sistema.

Este trabalho analisa alternativas de configuração e controle para mitigação dos problemas da variabilidade e imprevisibilidade da geração eólica com a indicação de plantas solares tipo "Concentrating Solar Power- CSP".

2.0 - CARACTERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS RESULTANTES DA CONCENTRAÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA

2.1 Áreas de Concentração de geração Eólica

O sistema elétrico brasileiro apresenta uma capacidade instalada de aproximadamente 14GW (2019) de geração eólica onde mais de 8GW se encontram na região nordeste. A geração eólica instantânea na região Nordeste já atingiu picos de potência de mais de 7GW o que representa algo em torno de 67% da carga local. Esta geração eólica no Nordeste em grande parte se concentra em regiões na Bahia, no Rio Grande do Norte, no Ceará, no Piauí e em menor patamar em Pernambuco.

O sistema de transmissão em alta tensão projetado para escoamento da geração eólica nos próximos anos (digamos até 2023) reforça a característica dominante de uma configuração de elevadas concentrações de geração eólica cuja potência escoada até os centros de carga através de uma rede em alta tensão, na maioria em 500kV. A Figura 1 ilustra as mencionadas "Áreas de Concentração de Geração Eólica – ACGE".

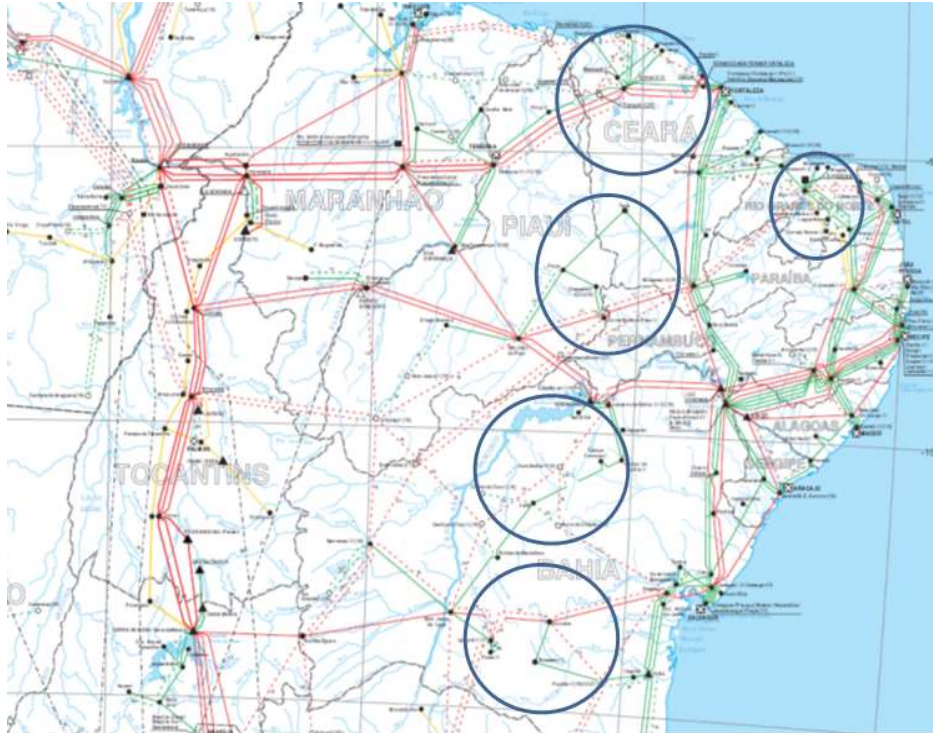


FIGURA 1 – Áreas de concentração de Geração eólica – ACGE na região Nordeste.

2.2 PROBLEMAS OPERATIVOS RESULTANTES DA CONCENTRAÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA

2.2.1 Variabilidade e Imprevisibilidade

A variabilidade na velocidade dos ventos e, portanto na potência gerada pelas CGE introduz na operação do sistema interligado uma importante variável não controlada que exige ações contínuas, e em tempo real do Centro de Operação do Sistema – COS.

Entretanto, a tal dificuldade acrescenta-se a imprevisibilidade, ou seja, incapacidade de se prever com segurança “quando” e “quanto” de variação ocorrer ao longo de um dia.

Tais características dificultam o controle de carga – geração dado que a programação de geração passa a conter elevado grau de incerteza.

Como se sabe, a partir de uma previsão de carga diária (que pode ser feita com bom grau de precisão), de intercâmbios programados entre regiões e da previsão de geração eólica, o COS elabora a programação de geração hidráulica e térmica. A Figura 2 mostra as discrepâncias entre as gerações eólicas ocorridas nas primeiras horas de dois dias seguidos atingindo 3000MW. Este fato exige que medidas não previstas devam ser definidas e implementadas em tempo real para ajustar o controle carga x geração. A Figura 3 apresenta um histograma das variações do Fator de capacidade ocorrida em 12 meses com uma potência instalada de 8GW.

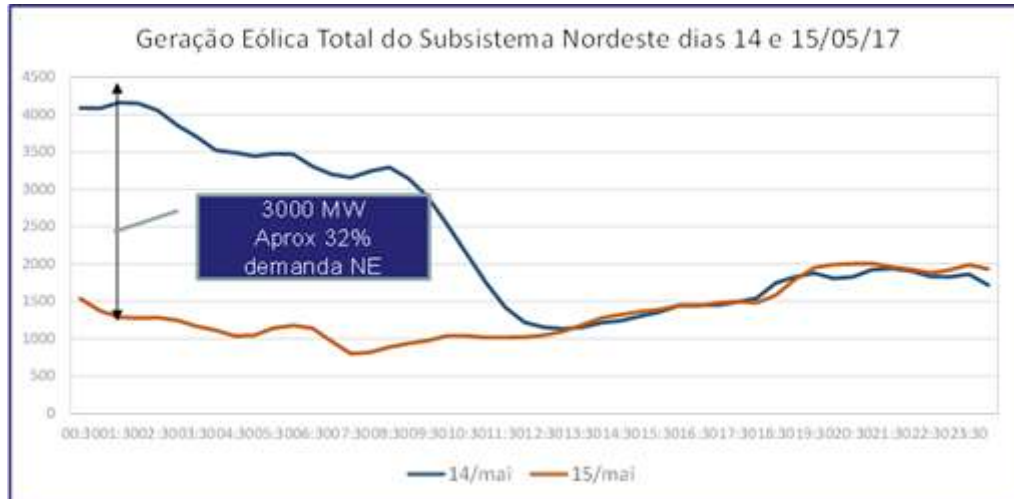


FIGURA 2 – Exemplo de imprevisibilidade da Geração Eólica ocorrida em dois dias seguidos em Maio/2017 (Fonte: ONS)



FIGURA 3 – Histograma da variação horária do Fator de Capacidade (Fonte: ONS)

Com potência instalada de 8GW, os valores indicados correspondem a 4000 ocorrências de variação de até 400MW e 500 ocorrências de variação até 1610MW. Extrapolando para uma potência futura de 14GW, tais incidências corresponderão a 700MW e 2800MW.

2.2.2 Taxas de Variação da Geração

A Figura 4 mostra a potência eólica gerada em um dia indicando uma taxa de variação de até 765MW/H. Neste mesmo período de tempo deverá ser reduzido este valor de geração de outras fontes em locais diversos.

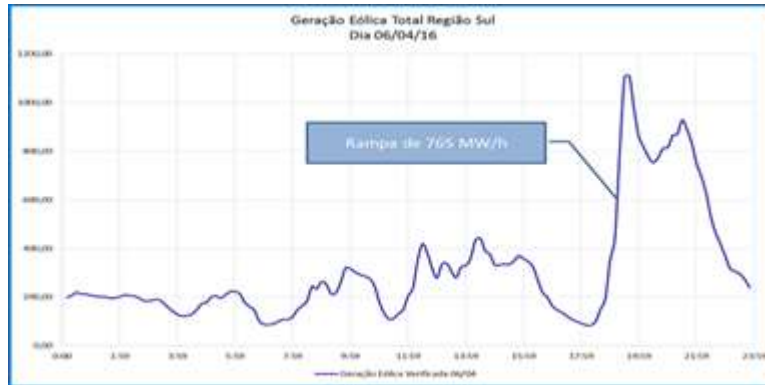


FIGURA 4 – Potência (MW) de geração Eólica na área da Bahia ao longo de um dia. (Fonte ONS)

2.2.3 Remanejamento de Geração no Sistema

Como se sabe, a curva de carga (ReqNE) em preto na Figura 5 deve ser a soma das gerações hidráulica, térmica, eólica e o recebimento (intercâmbio) do Nordeste (RNE). A Figura 5 mostra a variação de um dia desta composição indicando que os intercâmbios recebidos pelo Nordeste funcionam como um pulmão sempre que a carga cresce ou a geração eólica se reduz ou os dois eventos ocorrendo simultaneamente. A geração térmica tem sido o recurso para compensar as variações de geração eólica reduzindo-se as variações de intercâmbio. Estas manobras representam remanejamento de geração em locais distantes o que pode causar mudanças significativas no perfil de tensão da rede básica requerendo medidas operativas adicionais para regulação das tensões. Com os recursos atuais estes procedimentos são manuais.

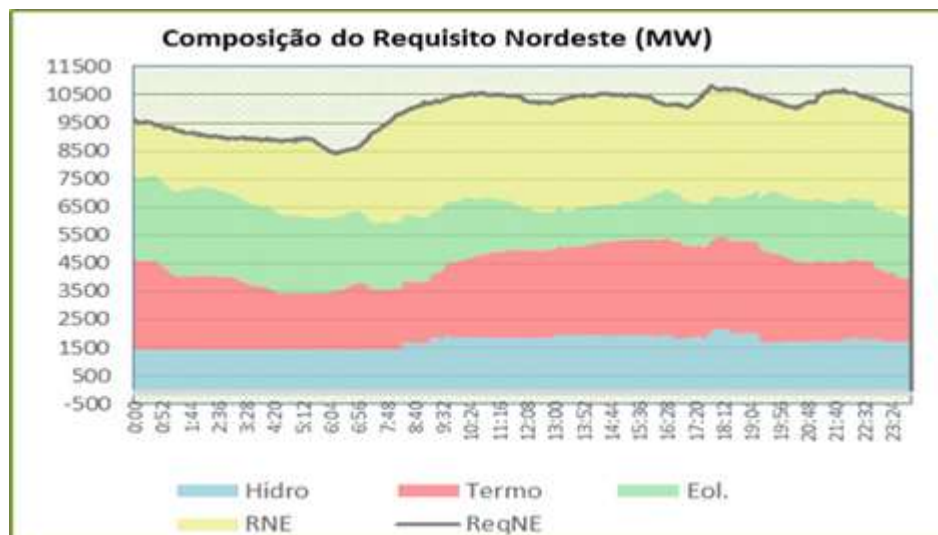


FIGURA 5 – Curva de carga (ReqNE) ao longo de um dia. (Fonte ONS)

3.0 - VISLUMBRANDO ALTERNATIVAS

3.1 ASPECTOS GERAIS

Destaca-se o fato de que os problemas operativos que já se fazem sentir atualmente se tornarão mais graves a

medida em que a concentração de geração eólica se eleva como já previsto até 2021 impondo necessariamente soluções. Assim sendo, a demanda por soluções é imperiosa e já vem sendo discutida no MME e EPE como soluções de geração térmica.

A geração térmica não representa a solução adequada como reserva girante para fazer frente as variações de potência da geração eólica dado que deverão ser localizadas no litoral por necessidade de abastecimento dos insumos energéticos (gás por exemplo). Como ocorre atualmente, a compensação por unidades térmicas no litoral representam remanejamento de geração em larga escala dificultando a operação do sistema. Assim sendo, do ponto de vista operacional, as unidades de geração despacháveis devem idealmente se localizar o mais próximo possível e internamente as áreas de concentração de geração eólica compensando localmente as variações das eólicas. Com isto, será possível assegurar que a geração total dentro de cada área de concentração possa ser mantida constante ou sob controle programado. Em síntese, a instalação de unidades térmicas, ou outro recurso de armazenamento que faça esta função, como baterias com inversores, devem ser instaladas dentro das áreas de concentração.

3.2 Geração Térmica tipo CSP ("Concentrated Solar Power")

A tecnologia de "Concentrating Solar Power – CSP" encontra-se em rápido desenvolvimento no mundo com várias instalações já em operação nos EUA, Austrália, África, Europa e China. Atualmente já se encontram em projeto centenas de plantas de MW e até GW.

O calor obtido pela concentração dos raios solares realizados através de espelhos produz um elemento de elevado calor específico a ser armazenado em elevadas temperaturas. Desta forma é possível gerar vapor sob demanda a qualquer instante desejado que aciona turbinas a vapor e geradores síncronos de concepção convencional. Desta forma, sob o ponto de vista elétrico a planta CSP é um gerador síncrono convencional acionado através de uma turbina a vapor como todas as demais já existentes, como ilustrado na Figura 6. Assim sendo, todas as características técnicas e recursos de controle existentes nos geradores térmicos a vapor estão também disponíveis nas plantas CSP onde a única diferença é a forma de gerar o vapor. O único aspecto importante a ser destacado é que o armazenamento é limitado de modo que a potência nominal do sistema CSP pode ser disponível por algumas horas conforme a capacidade dimensionada do sistema.

Usina Termosolar com Armazenamento Térmico Concentrating Solar Power (CSP)

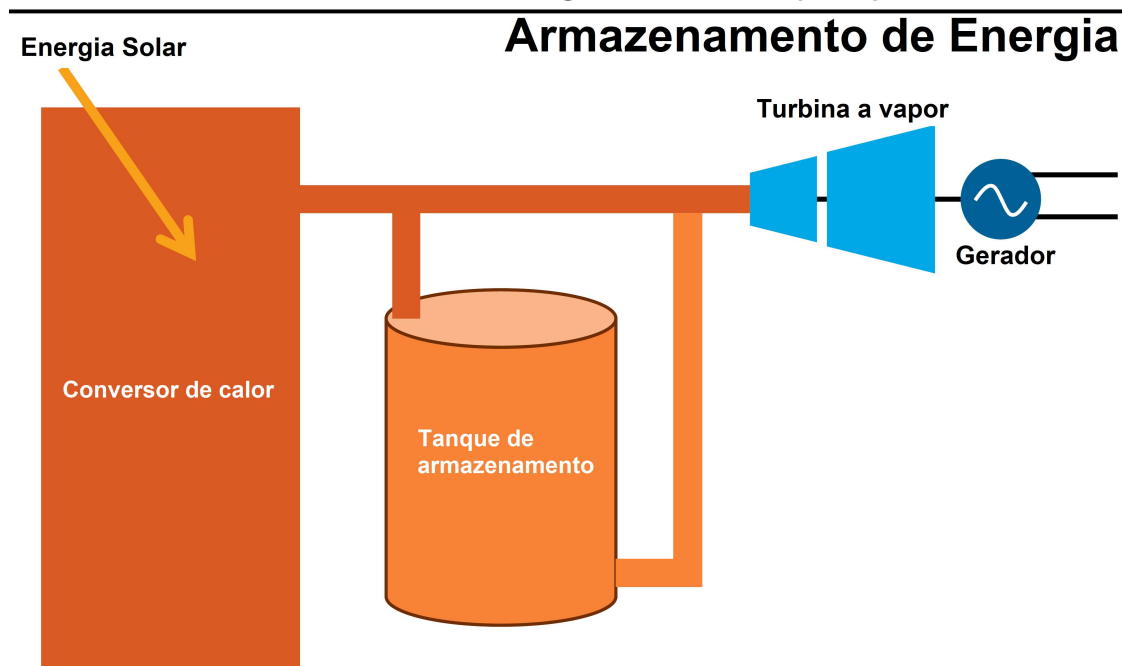


FIGURA 6 – Ilustração do princípio da geração térmica solar “CSP”.

Obviamente, os locais com baixa incidência de chuvas e elevadas irradiação são os locais de maior eficácia para a operação das CSP, tornando esta alternativa muito promissora para aplicação na região do Nordeste e nas áreas de concentração de geração eólica como mostrado na Figura 1.

3.3 Configurações Distribuídas e Centralizadas

Duas abordagens podem ser consideradas na definição de geração controlada como elemento de armazenamento a serem instalados nas áreas de concentração de geração eólica. Podem ser dimensionadas plantas de armazenamento distribuídas ou concentradas em áreas de concentração de geração eólica de forma a possibilitar um nível apropriado de compensação. As plantas de geração a bateria com inversor são mais adequadas para instalações distribuídas de pequeno porte compensando individualmente parques eólicos ou reduzido grupo de parques. Por outro lado, as CSP seriam mais indicadas para compensação de grupos de grandes parques eólicos, os mesmos numa área completa de concentração. Por exemplo, uma única CSP com capacidade de poucas centenas de MW seria suficiente para compensar uma área de concentração no interior da Bahia (área da região de Ouralândia) com alguns GW instalados. O dimensionamento da potência instalada e da energia armazenada (capacidade de fornecer potência nominal durante 6 ou 12 horas, por exemplo) deverá ser objeto de estudos detalhados.

3.4 Locais para Instalação

Na alternativa de compensação distribuída, a localização da planta de armazenamento é naturalmente junto ou no próprio local do parque eólico, sob a premissa de que a compensação local é a ideal.

Na alternativa de compensação centralizada deve ser realizado um estudo para definir o local que otimize os benefícios complementares, por exemplo, quanto a regulação de tensão, redução de perdas, etc, lembrando que uma CSP, sendo uma máquina síncrona convencional também oferece recursos de potência reativa, inércia e elevação do nível de potência de curto-circuito do local.

4.0 - ESTRATÉGIA DE CONTROLE

Sendo uma geração térmica convencional, os benefícios inerentes a este tipo de geração são disponibilizados, tais como, reserva girante, controle primário de frequência, regulação de tensão, etc. A reserva girante é um aspecto essencial nos sistemas com elevada participação de geração eólica, função esta que as CSP são capazes de realizar variando o valor da geração sempre que necessário se contrapondo as variações das eólicas. Isto é possível dado que se trata de geração térmica a vapor, diferente da geração a gás, por exemplo destacando que as térmicas a gás representam reserva operativa quente cara e inadequada.

Entretanto, o benefício mais importante de unidades de compensação tipo CSP seria incorporá-la como uma unidade de geração sob o comando de um “Controle Automático de Geração – CAG” exatamente nos moldes do CAG existente atualmente, embora desativado, com estratégia de controle TLB (“Tie Line Bias”). Como se sabe, o CAG na modalidade TLB é capaz de controlar a frequência em nível de controle secundário e o intercâmbio máximo de potência entre áreas pré-definidas. O CAG existente opera com base em áreas definidas aproximadamente de acordo com as regiões geográficas controlando a frequência do SIN e os intercâmbio entre áreas Norte, Norte/Nordeste, Sudeste e Sul. Com o crescimento da geração eólica o CAG precisou ser limitado a função FF (“Flat Frequency”) devido ao desempenho não adequado resultante das variações da geração eólica.

A contribuição básica deste artigo é a proposição de se utilizar os recursos existentes e disponíveis de CAG numa abordagem conceitual diferente quanto a definição das áreas de controle, conforme a seguir:

- A) As áreas de concentração de geração eólica - ACGE, como por exemplo aquelas da Figura1, seriam as novas áreas de controle na modalidade TLB;
- B) As unidades de armazenamento compensatório, tipo CSP, por exemplo, instaladas dentro de cada área de concentração fariam parte do CAG/TLB, isto é, recebem os comando do CAG;
- C) Os intercâmbios a serem controlados seriam o intercâmbio líquido de cada área (exportador) com o sistema externo.
- D) O CAG convencional, controlando as áreas geográficas seria substituído por esta nova abordagem, possivelmente sem prejuízo operacional dado que o mesmo atualmente não mais opera. Uma possibilidade a ser pesquisada seria uma operação coordenada concomitante de ambos os CAG

coordenados adequadamente.

O benefício maior deste CAG controlando TLB baseado nas áreas de controle como as áreas de concentração de geração eólica seriam manter automaticamente constante ou sob controle, a geração das áreas de concentração. Tal fato automatiza e simplifica de forma considerável a operação/controle do SIN ainda fazendo uso dos benefícios adicionais anteriormente comentados como regulação de tensão, efeito inercial, etc.

Inicialmente poderia ser consideradas as 5 ACGE mostradas na Figura 1 como áreas de controle para as quais seriam controlados os valores de fluxo total de intercâmbio exportado. Com base na potência nominal e da capacidade de armazenamento de energia das CSP e das previsões de vento da cada área será possível estabelecer valores programados de intercâmbio das ACGE. Os erros usuais de previsão de vento e as rampas de variações da velocidade do vento seriam compensadas pela geração das CSP. Deve ainda ser destacado que existem tecnologias para que a CSP possam também operar como carga. Neste condição a carga consistirá de elementos de aquecimento do líquido armazenador de calor o que eleva ainda mais a flexibilidade operacional das mesmas. A questão técnica destes recursos já é consolidada e sua aplicabilidade na prática depende de legislação que assegure a remuneração dos inúmeros serviços auxiliares disponibilizados.

5.0 - CONCLUSÃO

A variabilidade e imprevisibilidade da geração eólica são problemas operativos que dificultam a operação do sistema atual e que se tornará mais grave a medida que aumenta a participação da geração eólica no sistema como previsto para os próximos anos. Esta questão se agrava consideravelmente em função das grandes concentrações de geração eólica na região Nordeste como mostrado na Figura 1, com dificuldades adicionais com relação ao controle de tensão do SIN.

Tais questões demandam a implantação de fontes controláveis (despacháveis) de potência como as alternativas de armazenamento via baterias, CSP ou térmicas convencionais. Estas últimas necessitam de insumo energético (gás, por exemplo) que não são disponíveis em áreas de concentração como no interior da Bahia.

A adoção de Controle Automático de Geração – CAG com o modo TLB controlando os intercâmbios das áreas de concentração de geração eólica (definidas como áreas de controle) assegurarão geração controlável (constante, por exemplo) das áreas, automatizando e simplificando consideravelmente a operação. Assim, a programação da geração hidráulica, térmica e de intercâmbio entre regiões geográficas serão extremamente simplificadas dado que geração líquida nas áreas de concentração de geração eólica poderão ser não apenas previsíveis, mas também programáveis.

Como benefícios adicionais das CSP, são todas as características inerentes as máquinas síncronas convencionais, como controle de tensão em regime permanente e dinâmico, contribuição na regulação primária de frequência, como reserva operativa e resposta inercial sem representarem fontes de distúrbios de distorções harmônicas como são as alternativas via armazenadores a baterias.

Como dádiva da natureza, os locais de concentração de geração eólica são também locais muito favoráveis para a instalação e operação de CSP.

A questão complementar e de essencial importância é a viabilidade econômica de um empreendimento tipo CSP que supostamente não se concretiza com a legislação atual. A viabilidade econômica dependerá de uma legislação específica capaz de remunerar adequadamente os inúmeros serviços auxiliares associados.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Procedimentos de Rede do ONS

(2) Maria Cândida Lima e Flavio G. Lins, " Principais Desafios e Características da Geração Eólica na Região nordeste do Brasil". Publicação Cenários Eólica, 2018.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



XXV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

4794
GES/18

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG



Álvaro J. P. Ramos, nascido em 15/02/1951 em Recife, Graduado pela Escola de Engenharia da UFPE em 1973 e Mestrado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1975. Foi chefe da Divisão de Estudos Elétricos Especiais da Operação da CHESF (1988-1998) e atualmente é diretor da ANDESA empresa de consultoria fundada em 1998.



Rodrigo B. Valença, nascido em 02/03/1987 na cidade do Recife, Graduado pela Escola de Engenharia da UPE em 2009 e Mestrado pela Universidade Federal de Pernambuco em 2018. Exerce o cargo de Engenheiro Analista de Sistema de Energia Elétrica na ANDESA desde 2010.



José Sandro V. do N. Filho, nascido em 03/02/1987 na cidade do Recife, Graduado pela Escola de Engenharia da UPE em 2009 e Mestrado pela Universidade Federal de Pernambuco em 2019. Exerce o cargo de Engenheiro Analista de Sistema de Energia Elétrica na ANDESA desde 2010.



Dêibson J. G. de Sena, nascido em 24/03/1981 na cidade do Cabo de Santo Agostinho, Graduado pela Escola de Engenharia da UPE em 2007 e Mestrado pela Universidade Federal de Pernambuco em 2013. Exerce o cargo de Engenheiro Analista de Sistema de Energia Elétrica na ANDESA desde 2008 e Professor do Centro Universitário – WYDEN UNIFBV desde 2018.



Juliana B. Ramos, nascida em 20/03/1989 na cidade do Recife, Graduada pela Escola de Engenharia da UPE em 2012. Exerce o cargo de Engenheiro Analista de Sistema de Energia Elétrica na ANDESA desde 2013.



Raissa S. Almeida, nascida em 30/07/1990 na cidade do Recife, Graduada pela Escola Federal de Pernambuco em 2014. Exerce o cargo de Engenheiro Analista de Sistema de Energia Elétrica na ANDESA desde 2014.