



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GLP/22
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL

**AValiação DO COMPORTAMENTO DO FATOR DE POTÊNCIA NA CONEXÃO DE PARQUE EÓLICO
UTILIZANDO OS RECURSOS DE FLUXO DE POTÊNCIA CONTINUADO DO PROGRAMA ANAREDE**

Jurandir Cavalcanti *

Dalton Guedes

CHESF

RESUMO

Este estudo apresenta a avaliação do fator de potência do parque eólico Casa Nova 180 MW de propriedade da Chesf – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. A abordagem utilizada nas análises ilustra os procedimentos exigidos nos Procedimentos de Rede do ONS para garantir um fator de potência na faixa de 0,95 indutivo a 0,95 capacitivo no ponto de conexão a Rede Básica para qualquer despacho de geração da usina. A metodologia utilizada faz uso dos recursos de fluxo de potência continuado disponíveis no programa Anarede desenvolvido pelo CEPEL. São apresentadas as características básicas do sistema de controle de potência reativa que devem ser implementadas no parque eólico a fim de atender as exigências relacionadas ao fator de potência no ponto de conexão a rede básica.

PALAVRAS-CHAVE

Energia eólica, fator de potência, fluxo de potência continuado, sistema SCADA, chaveamento automático de banco de capacitores e aerogeradores.

1.0 - INTRODUÇÃO

A inserção de energia eólica na rede básica do sistema elétrico brasileiro e, principalmente, nas redes de distribuição de energia elétrica, requer análise mais detalhada de controle de tensão, carregamento de linhas de transmissão, superação de equipamentos, adoção de proteções especiais, necessidade de compensação reativa adicional e, eventualmente, ampliação destas redes.

A estabilidade de tensão nas subestações e o congestionamento de linhas de transmissão das redes elétricas podem se tornar as principais restrições para a definição do montante de energia eólica alocável. No que diz respeito ao controle de tensão os Procedimentos de Rede do ONS estabelecem que os parques eólicos devam garantir um fator de potência na faixa de 0,95 indutivo a 0,95 capacitivo no ponto de conexão a Rede Básica, para qualquer despacho de geração de uma usina.

As tecnologias de aerogeradores atualmente disponíveis no mercado permitem dentre outras duas modalidades de controle, a saber: 1) controle do fator de potência da máquina e 2) controle da sua tensão terminal. O sistema de controle do fator de potência é um módulo que normalmente faz parte dos projetos básicos dos aerogeradores, enquanto que a modalidade de controle de tensão é opcional. Isto significa que a maioria dos parques eólicos dispõe somente da modalidade de controle do fator de potência ou potência reativa nos aerogeradores.

(*) Rua Delmiro Gouveia, 333 - Bongi - CEP 50761-901 - Recife - PE - BRASIL
Tel.: (081) 3229-2454 - Fax: (081) 3229-2471 - Email: jresende@chesf.gov.br

Neste trabalho será feito um estudo de caso mostrando o desempenho da conexão do parque eólico de 180 MW, cuja conexão dar-se-á num barramento de 230 kV da Rede Básica, abordando os aspectos de atendimento aos requisitos de fator de potência da norma referenciada anteriormente.

No trabalho é ilustrado graficamente o comportamento da potência reativa e fator de potência na conexão deste parque eólico. Pode-se observar que mesmo numa situação na qual os aerogeradores operam com o fator de potência unitário, na conexão da usina contata-se um consumo de potência reativa para despachos superiores a 82 MW. O fator de potência na conexão é da ordem de 0,97 indutivo para despacho nominal do parque eólico.

O recurso do fluxo de potência continuado disponível no programa computacional ANAREDE desenvolvido pelo CEPEL se mostrou adequado para fazer este tipo de análise. A única restrição observada nesta ferramenta é a necessidade de representar a geração dos parques eólicos através de uma carga ativa e reativa negativa nos dados de barra (o já bastante conhecido código de operação DBAR). A Figura 1.1 apresenta um diagrama da rede básica da área de interesse do estudo.

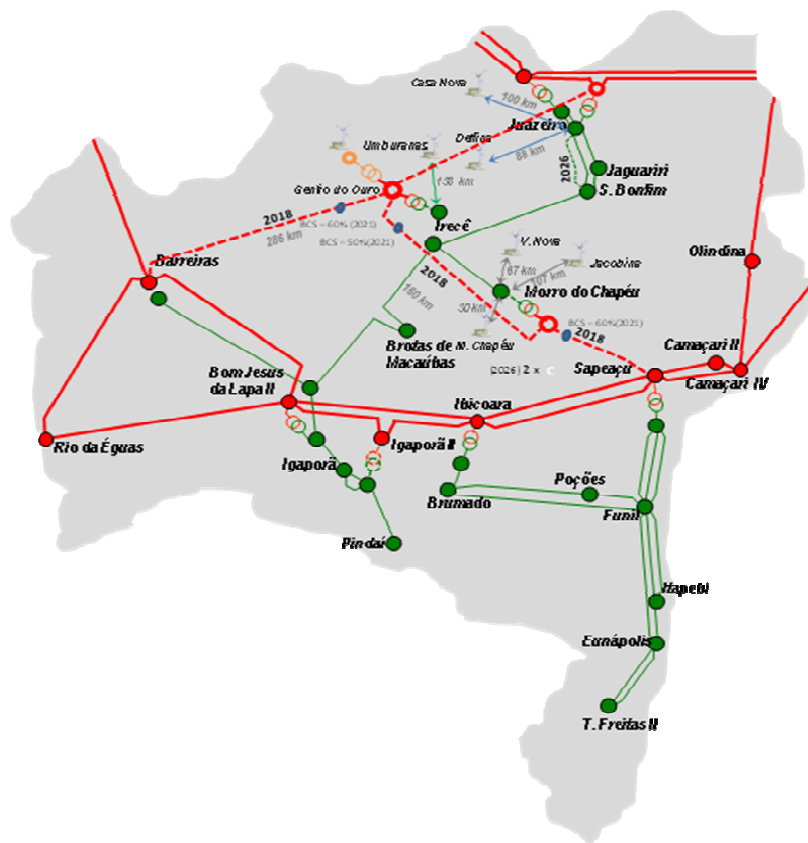


Figura 1.1 - Sistema de transmissão atual e futuro na área em interesse do estudo

2.0 - OBJETIVO

Este informe técnico tem por objetivo apresentar as características básicas do sistema de controle de potência reativa que devem ser implementadas no parque eólico Casa Nova, 180 MW, a fim de atender as exigências dos procedimentos de rede relacionadas ao fator de potência no ponto de conexão a rede básica.

3.0 - CARACTERÍSTICA DO FATOR DE POTÊNCIA NO PONTO DE CONEXÃO

A Figura 3.1 apresenta a característica do fator de potência e o requisito de potência reativa do parque eólico Casa Nova, 180 MW, no ponto de conexão, SE Sobradinho 230 kV, em função da potência produzida, na condição em que os seus cento e vinte aerogeradores de fabricação IMPSA IV-82 de 1500 kW estão operando com fator de potência unitário. Constata-se, portanto, que o sistema elétrico de conexão da usina eólica apresenta um requisito de potência reativa na faixa de $[-12; 42]$ Mvar, quando o despacho eólico excursionar entre 18 e 180 MW. Isto representa um fator de potência variável na conexão que não atende ao requisito da norma referenciada anteriormente.

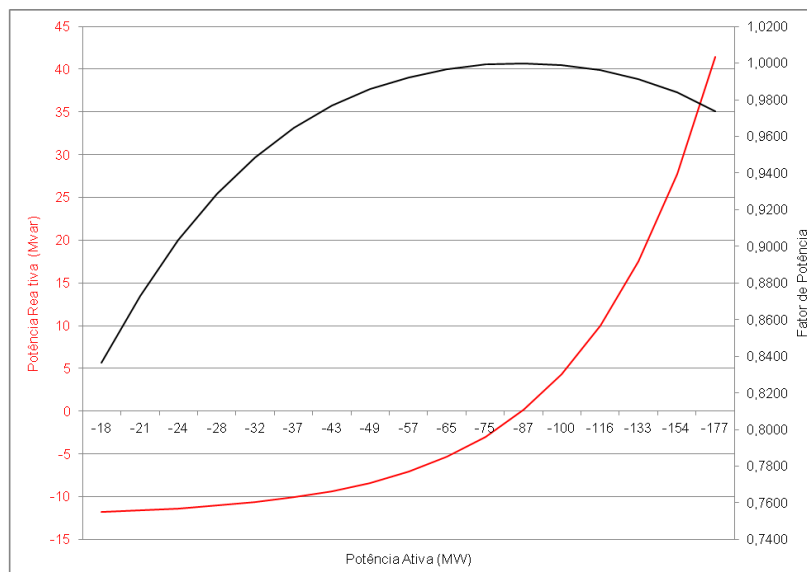


Figura 3.1 - Característica do fator de potência e o requisito de potência reativa do parque eólico Casa Nova no ponto de conexão

Para atender a uma solicitação do ONS de fator de potência unitário no ponto de conexão do parque eólico de Casa Nova, por exemplo, os aerogeradores devem compensar o requisito de potência reativa ilustrado na Figura 3.1. Este requisito está apresentado na Tabela 3.1. Esta compensação deve ser gerenciada por um módulo de controle a ser implementado pelo fabricante no sistema SCADA do parque eólico.

Tabela 3.1 - Requisito de potência reativa do parque eólico Casa Nova no ponto de conexão

MW	Mvar	Fator Potência
-17,96	-11,76	0,84
-20,74	-11,59	0,87
-23,95	-11,36	0,90
-27,65	-11,05	0,93
-31,92	-10,64	0,95
-36,85	-10,09	0,96
-42,54	-9,36	0,98
-49,09	-8,38	0,99
-56,66	-7,07	0,99
-65,38	-5,31	1,00
-75,43	-2,97	1,00
-87,01	0,16	1,00
-100,34	4,36	1,00
-115,69	9,98	1,00
-133,34	17,54	0,99
-153,62	27,71	0,98
-176,89	41,46	0,97

4.0 - SISTEMA DE CONTROLE DE POTÊNCIA REATIVA

A seguir estão relacionadas as características básicas do sistema de controle de potência reativa que devem ser implementadas no parque eólico Casa Nova. Deve-se priorizar o uso da capacidade de potência reativa disponível nos aerogeradores, conforme Figura 4.1, para compensar o requisito do parque eólico no ponto de conexão. Quando necessário este sistema de controle deve chavear bancos de capacitores na subestação elevadora no nível de tensão de 34.5 kV do parque eólico.

4.0.1 - FATOR DE POTÊNCIA INDUTIVO

Para garantir um fator de potência 0,95 indutivo no ponto de conexão o sistema de controle deve compensar o requisito de potência reativa do parque eólico e, adicionalmente, consumir uma potência reativa igual a um terço da potência ativa gerada. Este requisito é plenamente atendido pela capacidade de absorção de potência reativa dos aerogeradores.

4.0.2 - FATOR DE POTÊNCIA UNITÁRIO

Para garantir um fator de potência unitário no ponto de conexão o sistema de controle deve compensar apenas o requisito de potência reativa do parque eólico. De forma semelhante ao item 4.1, o requisito de fator de potência unitário também pode ser atendido pelos aerogeradores do parque.

4.0.3 - FATOR DE POTÊNCIA CAPACITIVO

Para garantir um fator de potência 0,95 capacitivo no ponto de conexão o sistema de controle deve compensar o requisito de potência reativa do parque eólico e, adicionalmente, produzir uma potência reativa igual a um terço da potência ativa gerada. Na potência nominal, este requisito produz um déficit de potência reativa capacitiva de 42 Mvar.

4.0.4 - CHAVEAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES

Na potência nominal e para um fator de potência 0,95 capacitivo no PAC foi observado um déficit de potência reativa capacitiva de 42 Mvar no parque eólico de Casa Nova. Este déficit deve ser compensado por um chaveamento de bancos de capacitores no barramento de 34.5 kV da subestação elevadora do parque eólico.

O chaveamento de um único módulo de banco de capacitores de 42 Mvar no barramento de 34.5 kV da EOL Casa Nova, que tem uma potência de curto-circuito trifásica de 960 MVA, representa uma variação de tensão de 4,38 % no barramento de 34.5 kV da subestação elevadora do parque eólico. Este chaveamento deve ser feito quando o requisito de potência reativa do parque eólico começar a ser indutivo, vide Figura 3.1.

4.0.5 - MÓDULO DE CONTROLE DO FATOR DE POTÊNCIA

Quando o módulo de controle do fator de potência no PAC não é disponibilizado pelo fabricante dos aerogeradores no sistema SCADA do parque eólico, pode-se utilizar a lógica implementada na planilha no formato EXCEL apresentada na Figura 4.2. Nesta planilha é calculada a produção de potência reativa nos aerogeradores (coluna AERO) para suprir o requisito do parque eólico e atender a um determinado fator de potência no PAC. A planilha também indica o Mvar do banco de capacitor (Déficit), quando necessário, para atender ao requisito de fator de potência 0.95 capacitivo. Nesta planilha é possível considerar uma certa indisponibilidade de aerogeradores no parque eólico.

FP (PAC)	PAC MW	PAC Mvar	FP AERO	Controle de FP $Q = \text{fun}(\text{Mvar}; \text{MW}; \text{FP})$	AERO Mvar
0,95	-17,96	-11,76	0,84	5,68	5,68
0,95	-20,74	-11,59	0,87	4,63	4,63
0,95	-23,95	-11,36	0,90	3,38	3,38
0,95	-27,65	-11,05	0,93	1,90	1,90
0,95	-31,92	-10,64	0,95	0,14	0,14
0,95	-36,85	-10,09	0,96	-1,96	-1,96
0,95	-42,54	-9,36	0,98	-4,48	-4,48
0,95	-49,09	-8,38	0,99	-7,52	-7,52
0,95	-56,66	-7,07	0,99	-11,21	-11,21
0,95	-65,38	-5,31	1,00	-15,69	-15,69
0,95	-75,43	-2,97	1,00	-21,17	-21,17
0,95	-87,01	0,16	1,00	-27,90	-27,90
0,95	-100,34	4,36	1,00	-36,22	-36,22
0,95	-115,69	9,98	1,00	-46,57	-46,57
0,95	-133,34	17,54	0,99	-59,53	-59,53
0,95	-153,62	27,71	0,98	-75,86	-37,44
0,95	-176,89	41,46	0,97	-96,61	-58,20

Obs.: Sinal "-" a rede básica recebe potência ativa e reativa do parque eólico

Déficit **-38,41** Mvar
 Disp. Máx. 58,2 Mvar
 Núm. Aero 120 Unidades
 Indisponibilidade 3%

Figura 4.1 – Planilha para implementação controle do fator de potência no PAC do parque eólico Casa Nova no ponto de conexão (imagem).

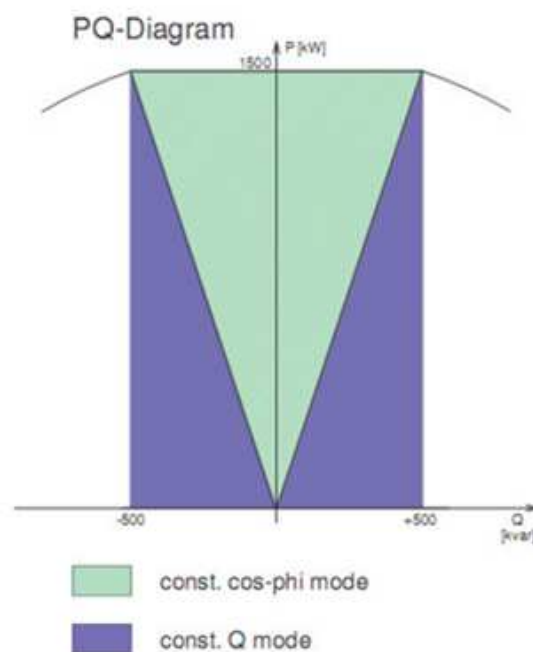


Figura 4.2 - Curvas de potência reativa em função da potência ativa (diagrama PQ) do aerogerador IMPSA IV-82 de 1500 kW.

5.0 - CONCLUSÃO

Como conclusão pode-se destacar a importância deste tipo de procedimento na definição das características de projeto dos aerogeradores (necessidade de módulos de controle tipo fator de potência, potência reativa e tensão), de recursos de controle do sistema SCADA (tipo Park Regulation) e, por último, da subestação elevadora dos parques eólicos (necessidade de LTC nos transformadores e chaveamento automático de bancos de capacitores). A partir das análises realizadas conclui-se que:

- ✓ O requisito de potência reativa apresentado na Tabela 3.1 deve ser gerenciado por um módulo de controle a ser implementado pelo fabricante no sistema SCADA do parque eólico;
- ✓ A operação do parque com potência nominal e fator de potência entre 0,95 indutivo e unitário não requer compensação reativa adicional, sendo a potência reativa requerida no PAC plenamente atendida pela disponibilidade de reativo dos aerogeradores do parque eólico;
- ✓ Deve ser instalado no quadro de 34,5 kV da subestação elevadora do parque eólico um módulo de banco de capacitores de 42 Mvar, de maneira a suprir a potência reativa requerida pelo sistema, quando for necessário operar o parque eólico com despacho de geração acima de 87 MW e fator de potência 0,95 capacitivo no ponto de conexão - PAC.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Jurandir Cavalcanti, RT-04-33-12/2010 “Estudos para Obtenção de Parecer de Acesso CGE Casa Nova - 180MW”, CHESF, 2010, Recife, Brasil.

[2] Jurandir Cavalcanti, “Parque Eólico Casa Nova – Sistema de Controle Potência Reativa”, CHESF, 2007, Recife, Brasil.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



JURANDIR CAVALCANTI: Nasceu em Garanhuns, PE, em 1954. Graduação (1978) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Pós-Graduação em Sistema de Controle de Redes Elétricas (1985) na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, MBA em Finanças Empresarias (2004) pela Fundação Getúlio Vargas - FGV, Curso de Especialização de Engenharia e Segurança do Trabalho CEEST (2005) na Universidade de Pernambuco - UPE, Trabalha na Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, desde 1978, no Planejamento da Expansão da Transmissão.