



**XXIII SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPL/02  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL**

**AValiação DO REQUISITO DE POTÊNCIA REATIVA E DO FATOR DE POTÊNCIA NA CONEXÃO DE  
PARQUES EÓLICOS NA REDE BÁSICA.**

**Jurandir Cavalcanti <sup>(\*)</sup>**

**Gustavo Henrique S. Melo**

**Carlos Leoncio G. Costa**

**Fernando Edier França**

**Evandro Meira Machado**

**CHESF**

**RESUMO**

Os Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS estabelecem que os parques eólicos devem garantir um fator de potência na faixa 0,95 capacitivo a 0,95 indutivo no ponto de conexão na rede básica. As tecnologias de aerogeradores atualmente contratadas no mercado permitem duas modalidades de controle, a saber: 1) controle do fator de potência e 2) potência reativa constante. Uma terceira modalidade de controle disponível é o controle de tensão nos aerogeradores. O sistema de controle do fator de potência e a modalidade de controle de potência reativa constante são módulos normalmente contratados pelos agentes, enquanto que a opção de controle da tensão é um acessório opcional não contratado.

Outro aspecto exigido pelo ONS estabelece que os parques eólicos operando na condição de despacho de potência ativa nula, não deverão fornecer potência reativa capacitiva no ponto de conexão na Rede Básica.

Neste trabalho será feito um estudo de caso mostrando o desempenho da conexão do parque eólico com potência nominal de 110 MW, cuja conexão dar-se-á no barramento da subestação de Pindaí II 230 kV de propriedade da transmissora Chesf, abordando os aspectos de atendimento aos requisitos de potência reativa e fator de potência no ponto de conexão, exigidos pela norma de operação referenciada anteriormente.

**PALAVRAS-CHAVE**

Palavra-Chave: Consumo de Potência Reativa, Fator de Potência e Energia Eólica

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os empreendimentos eólicos apresentados na Tabela 1 são controlados pela Sociedade de Propósito Específico, com participações acionárias da Sequoia Capital Ltda. e da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, denominadas em conjunto GPEXPAN. Representam uma potência instalada total de 110 MW e serão conectados à Rede Básica na subestação Pindaí II 230 kV de propriedade da transmissora Chesf.

A infraestrutura compartilhada para o escoamento da energia gerada pelos parques eólicos será composta por uma subestação coletora 34,5/230kV – 200 MVA, denominada SE GPEXPAN, localizada no terreno dos parques eólicos, e uma linha de transmissão 230 kV, com 6 km de extensão, que conectará a subestação GPEXPAN à subestação Pindaí II 230 kV. Na Figura 1 está ilustrada uma representação elétrica da rede de conexão dos parques eólicos.

<sup>(\*)</sup> Rua Delmiro Gouveia, n° 333 – sala 203 - Bloco D – CEP 50.761-901 Recife, PE – Brasil  
Tel: (+55 81) 3229-2915 – Fax: (+55 81) 3229-2451 – Email: jresende@chesf.org.br

Tabela1 - Parques eólicos conectados à coletora Pindaí II 230 kV

Parque Eólico	Números de Aerogeradores	Potência Instalada [MW]	Leilão da ANEEL
Angical II	5	10,0	LER 2013
Caititu II	5	10,0	LER 2013
Caititu III	5	10,0	LER 2013
Acauã	3	6,0	LER 2013
Arapapá	2	4,0	LER 2013
Carcará	5	10,0	LER 2013
Corrupião III	5	10,0	LER 2013
Teiú II	4	8,0	LER 2013
Papagaio	6	10,0	LEN A-3 2013
Coqueirinho II	8	16,0	LEN A-3 2013
Tamanduá Mirim II	8	16,0	LEN A-5 2013

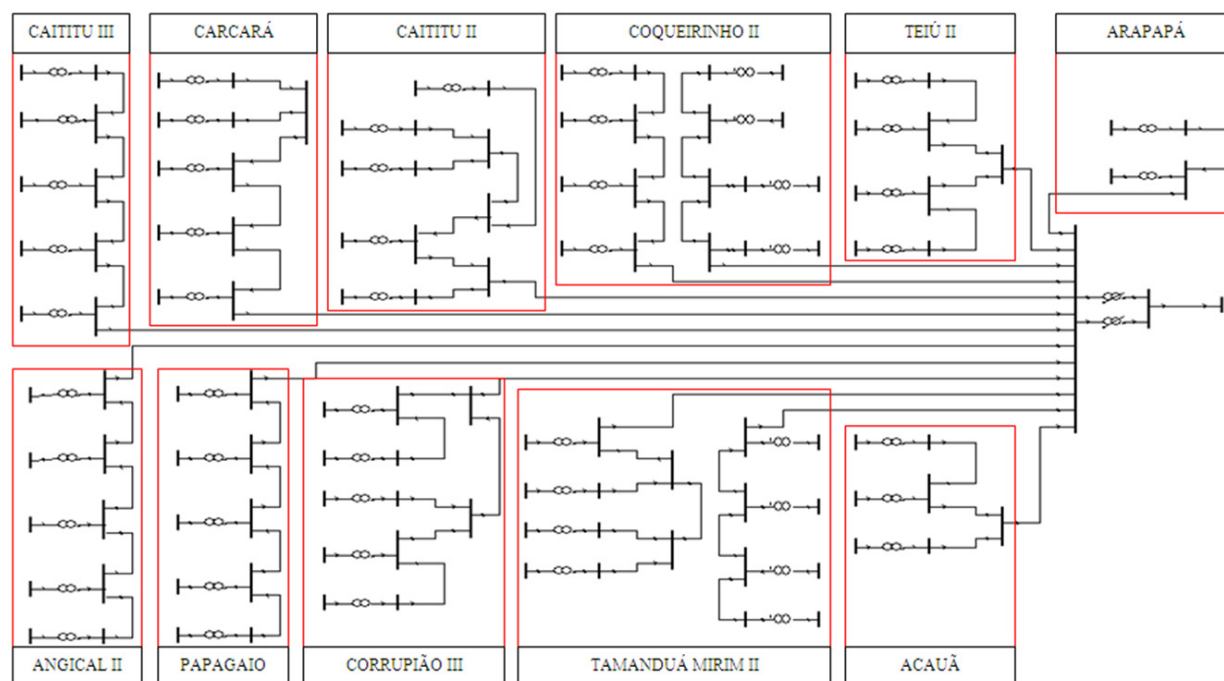


Figura 1 - Representação elétrica da rede de conexão dos parques eólicos GPEXPAN

## 2.0 - OBJETIVO

O objetivo desse estudo é analisar as condições técnicas em regime permanente para conexão à rede elétrica dos parques eólicos Angical 2, Caititu 2, Caititu 3, Acauã, Arapapá, Carcará, Corrupião 3 e Teiú 2 do LER 2013, Papagaio e Coqueirinho 2 do LEN A-3 e Tamanduá Mirim 2 do LEN A-5, com potência nominal total de 110 MW de propriedade do GPEXPAN, de modo a atender aos requisitos exigidos pelo ONS para garantir um fluxo de potência reativa nula para despacho nulo e fator de potência na faixa 0,95 capacitivo a 0,95 indutivo no ponto de conexão na rede básica, referente a integração do complexo eólico GPEXPAN à Rede Básica [1].

## 3.0 - ANÁLISE

Nesse item será feita uma contabilização dos requisitos de potência reativa e fator de potência no ponto de conexão na rede básica, exigidos pelo ONS para a conexão dos parques eólicos vencedores do leilão do LER 2013, do LEN A-3 2013 e do LEN A-5 2013, pertencentes ao consórcio GPEXPAN, com potência nominal de 110 MW, na coletora Pindaí II 230 kV.

### 3.1 Controle de fator de potência na conexão

Na operação dos parques eólicos constantes desta análise, o requisito próprio de potência reativa está ilustrado na Figura 2. Considerou-se uma operação com fator de potência unitário nos aerogeradores e tap fixo de 1,05 nos transformadores. Este último requisito minimiza as perdas e a distorção harmônica de tensão no ponto de conexão na rede básica, produzida pelos conversores não lineares existentes nos aerogeradores.

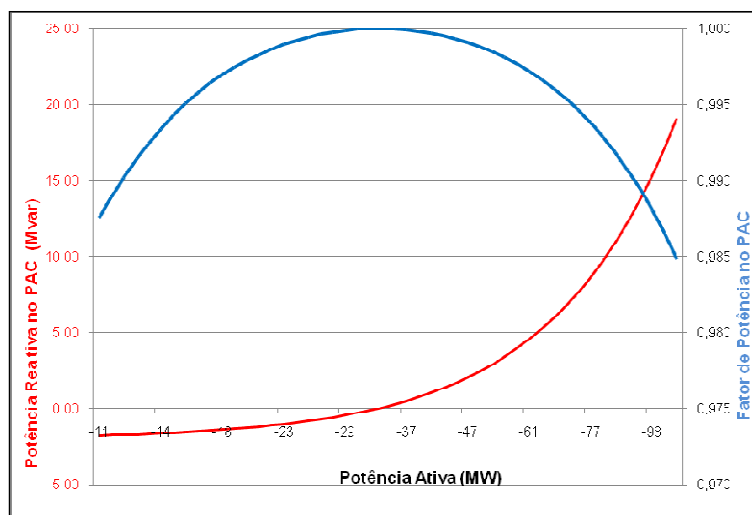


FIGURA 2 – Requisito próprio de potência reativa dos parques eólicos

Na condição supracitada e para despacho nominal dos parques eólicos pertencentes ao GPEXPAN, a rede básica estará fornecendo 19 Mvar, que corresponde a operação com fator de potência unitário no ponto de conexão na rede básica.

#### 3.1.1 Fator de potência unitário na conexão

Para atender a um fator de potência unitário no ponto de conexão dos parques eólicos, os aerogeradores devem compensar um requisito de potência reativa máximo de 19 Mvar indutivo. A potência reativa produzida pelos aerogeradores, cuja disponibilidade máxima é da ordem de 36 Mvar capacitivo, está ilustrada na Figura 3.

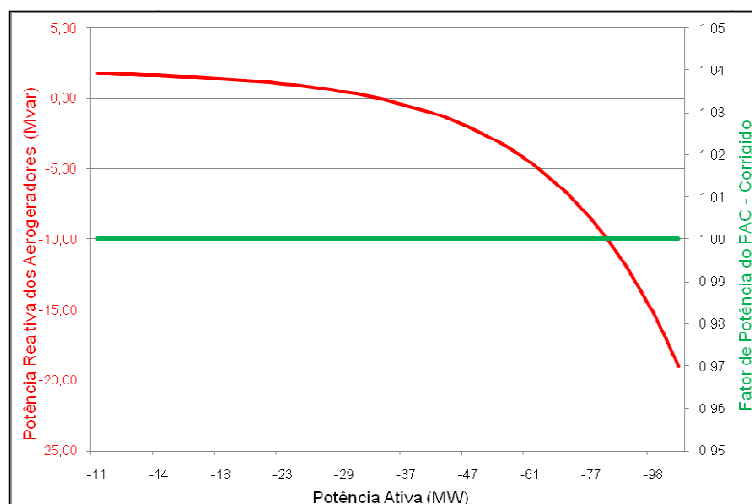


FIGURA 3 – Potência reativa produzida pelos aerogeradores para fator de potência unitário na conexão

#### 3.1.2 Fator de potência 0,95 indutivo na conexão

Para atender a um fator de potência 0,95 indutivo no ponto de conexão dos parques eólicos, os aerogeradores devem compensar um requisito de potência reativa máximo de 17 Mvar indutivo. A potência reativa produzida pelos aerogeradores, cuja disponibilidade máxima é da ordem de 36 Mvar indutivo, está ilustrada na Figura 4.

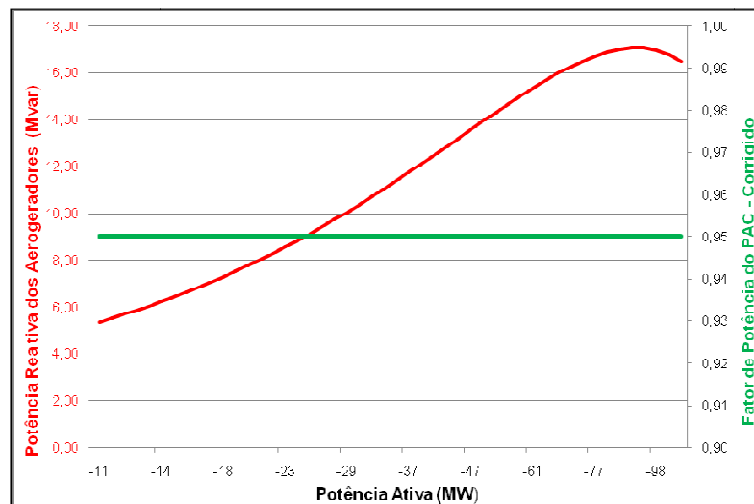


FIGURA 4 – Potência reativa produzida pelos aerogeradores para fator de potência 0,95 indutivo na conexão

### 3.1.3 Fator de potência 0,95 capacitivo na conexão

Na Tabela 2 é apresentada uma estratégia de controle do fator de potência na conexão em 0,95 capacitivo mediante, prioritariamente, utilização da disponibilidade de potência reativa dos aerogeradores. Devido à limitação de produção de potência reativa dos aerogeradores (36 Mvar, capacitivo), o controle em 0,95 capacitivo só é possível até montantes de despacho de geração eólica da ordem de 80 MW. O valor fora da faixa de operação dos aerogeradores estão destacados em vermelho nessa Tabela. O déficit máximo de injeção de potência reativa é de aproximadamente 19 Mvar para o despacho máximo, que deve ser compensado com a instalação de bancos de capacitores na subestação coletora dos parques eólicos.

Na Figura 5 está ilustrado o comportamento referenciado anteriormente, onde o controle do fator de potência na conexão em 0,95 capacitivo não é atendido, quando o limite de injeção de reativo dos aerogeradores é alcançado. O fator de potência na conexão, para despacho máximo e sem compensação adicional, fica alterado, portanto, para 0,99 capacitivo.

Tabela 2 - Potência reativa produzida pelos aerogeradores para fator de potência 0,95 capacitivo na conexão

Fluxo em (MW) Na conexão	Requisito em (Mvar) Na conexão	FP (sem correção) na conexão	Geração (em Mvar) dos aerogeradores
-25,19	-0,84	1,00	-7,44
-26,45	-0,73	1,00	-7,96
-27,78	-0,60	1,00	-8,53
-29,16	-0,46	1,00	-9,12
-30,62	-0,31	1,00	-9,75
-32,15	-0,14	1,00	-10,43
-33,76	0,05	1,00	-11,15
-35,44	0,26	1,00	-11,91
-37,21	0,49	1,00	-12,72
-39,07	0,74	1,00	-13,58
-41,02	1,01	1,00	-14,49
-43,06	1,32	1,00	-15,47
-45,21	1,66	1,00	-16,52
-47,46	2,03	1,00	-17,63
-49,82	2,44	1,00	-18,82
-52,30	2,89	1,00	-20,08
-54,91	3,39	1,00	-21,44
-57,64	3,94	1,00	-22,89
-60,50	4,54	1,00	-24,43
-63,51	5,21	1,00	-26,08
-66,66	5,94	1,00	-27,85
-69,97	6,75	1,00	-29,75
-73,44	7,65	0,99	-31,79
-77,08	8,63	0,99	-33,96
-80,90	9,72	0,99	-36,31
-84,91	10,92	0,99	-38,83
-89,11	12,24	0,99	-41,53
-93,52	13,70	0,99	-44,44
-98,14	15,31	0,99	-47,57
-102,98	17,08	0,99	-50,93
-108,06	19,04	0,98	-54,56

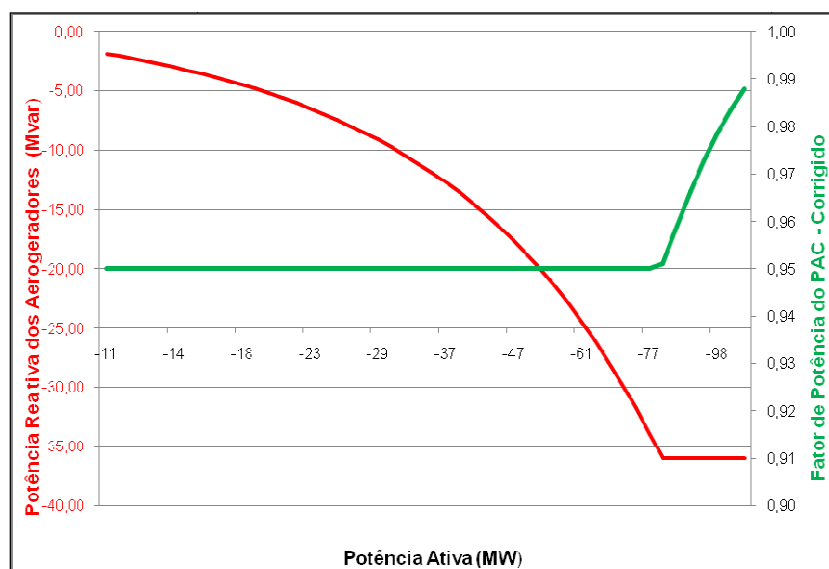


FIGURA 5 – Potência reativa produzida pelos aerogeradores para fator de potência 0,95 capacitivo na conexão

### 3.2 Necessidade de potência reativa para despacho nulo

Os parques eólicos pertencentes ao GPEXPAN produzirão, na geração de potência ativa nula, 1,0267 Mvar capacitivo associados à operação na tensão de 1.0 pu da LT 230 kV GPEXPAN – Pindaí II (6,0 km) e 0,8398Mvar capacitivo associados à operação na tensão de 1.0 pu da rede de média tensão desses parques. Portanto, deverá ser instalada uma compensação reativa indutiva de 2,0 Mvar nominal na SE GPEXPAN, de modo a compensar a injeção de reativo no ponto de conexão dos parques eólicos.

## 4.0 - CONCLUSÃO

A conexão dos parques eólicos vencedores do leilão do LER 2013, do LEN A-3 2013 e do LEN A-5 2013, pertencentes ao consórcio GPEXPAN, com potência nominal de 110 MW, na coletora Pindaí II 230 kV, apresentam os seguintes requisitos de compensação reativa.

### 4.1 Controle de fator de potência na conexão

Os resultados do estudo indicam que, devido à disponibilidade de potência reativa dos aerogeradores (+/-36 Mvar), o controle do fator de potência em 0,95 capacitivo no ponto de conexão da rede básica só é possível até montantes de despacho de geração eólica da ordem de 80 MW. Portanto, O déficit de injeção de potência reativa é de aproximadamente 19 Mvar, que representa o consumo próprio dos parques. Esse déficit deve ser compensado com a instalação de bancos de capacitores na subestação coletora GPEXPAN.

O controle para fator de potência unitário ou 0,95 indutivo no ponto de conexão da rede básica é plenamente atendido com a disponibilidade de potência reativa dos aerogeradores.

### 4.2 Necessidade de potência reativa para despacho nulo

Para compensar o requisito de potência reativa no ponto de conexão da rede básica para despacho nulo nos parques pertencentes ao GPEXPAN, faz-se necessário a instalação de um reator de aproximadamente 2,0 Mvar na subestação coletora GPEXPAN.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). “Submódulo 3.6: Requisitos Técnicos Mínimos para Conexão às Instalações de Transmissão, Rev.1.1” Brasil, Rio de Janeiro, 2010.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (1978). Engenheiro da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF atuando na área de Planejamento da Expansão de Redes Elétricas (1978). Chefe da Divisão de Estudos e Planejamento de Expansão de Transmissão - DEPT/DES/SPE/DE/CHESF. Assessor do Departamento de Estudos do Sistema de Transmissão – DES/SPE/DE/CHESF. Pós-Graduação em Sistema de Controle de Redes Elétricas pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1985). Curso de Especialização em Técnicas de Estabilidade de Tensão pelo PTI (2003); MBA em Finanças Empresariais pela Fundação Getúlio Vargas - FGV (2004). Curso de Especialização de Engenharia e Segurança do Trabalho CEEST pela Universidade de Pernambuco - UPE (2005). Convidado para assessorar o Ministério das Minas e Energia no Projeto PROINFA – MME (2006). Desenvolvimento de projetos elétricos para habilitação técnica de usinas eólicas para Leilão de Reserva - LER promovidos pela ANEEL. Desenvolvimento de estudos de Análise de Risco de empreendimentos eólicos considerando a incerteza na produção de energia de longo prazo. Desenvolvimento de estudos para Solicitação de Parecer de Acesso de projetos eólicos e centrais termelétricas junto ao ONS.