

## **Análise da operação de parques eólicos em regime permanente**

### **Analysis of wind farm operation under permanent regime**

DOI:10.34117/bjdv8n3-146

Recebimento dos originais: 14/02/2022

Aceitação para publicação: 12/03/2022

#### **Yhasminie Karine da Silva Xavier**

Mestre em Morfotecnologia

Instituição: Universidade Federal do Pernambuco

Endereço: Av. Prof. Moraes Rego, Cidade Universitária, Recife-PE

E-mail: Yhasminiekarine73@gmail.com

#### **Igor Cavalcante Torres**

Doutor em Engenharia

Instituição: Universidade Federal de Alagoas

Endereço: Br 104, S/N, Rio Largo

E-mail: igor.torres@ceca.ufal.br

#### **Gustavo Fernandes de Negreiros**

Mestre em Engenharia

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) -Departamento de Energia Nuclear

Endereço; Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, Recife - PE

CEP: 50670-901

E-mail: igor.torres@ceca.ufal.br

#### **Fábio Xavier Lobo**

Especialista em Engenharia de Elétrica

Instituição: Universidade Candido Mendes

Endereço: BR 232 – Km 214 – Loteamento Redencao - Prado, Pesqueira - PE

CEP: 55200-000

E-mail: fabio.lobo@pesqueira.ifpe.edu.br

#### **Chigueru Tiba**

Doutor em Tecnologias Energéticas Nucleares

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) -Departamento de Energia

Endereço: Nuclear Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade

Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901

E-mail: tiba@ufpe.br

#### **Luiz Carlos Pires de Souza Junior**

Especialista em gestão de redes corporativas

Instituição: Faculdade Santa Maria

Endereço: Rua Engenheiro Sampaio, 59, AP 2901A - Rosarinho, Recife - PE

CEP: 52041-020

E-mail: lcjunior@pronet-pe.com.br

**Sergio Clodoaldo Santos Ferreira**

Graduação Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade de Pernambuco

Endereço: PE-027, 2278 - São Pedro, Camaragibe - PE

E-mail: sergiocsf89@gmail.com

**RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo evidenciar e analisar os impactos causados na rede de distribuição decorrentes inserção de geradores eólicos. Foi analisada uma rede de distribuição real, funcionando dentro dos padrões normativos para que os resultados pudessem ser mais realistas. O estudo foi realizado com o programa PowerWorld, considerando o sistema em regime permanente para a demanda de carga e da geração eólica. Foi utilizado o método estático de avaliação da estabilidade de tensão. O sistema simulado foi submetido à inserção de geradores eólicos injetando 30MW de potência ativa, com fator potência (FP) variando de 0.95 (indutivo) a 0.95(capacitivo). Foram analisadas as alterações de tensão nas barras selecionadas para o FP indutivo variando de 1 a 0.95 em situação de contingência (desligamento de parte da carga) e para o FP capacitivo variando de 1 a 0.95 em situação de contingência (desligamento do banco capacitor). Por meio das simulações pode ser concluído que com o percentual de geração de 22% fornecido pela geração eólica e variando o fator de potência entre 0,95 indutivo e 0,95 capacitivo, o parque eólico colabora com uma pequena parcela para a estabilidade de tensão do sistema, quando conectado ao sistema através de linhas de transmissão curtas, e o controle da tensão chega a ser mais relevante no ponto de conexão e nas regiões próximas ao parque eólico.

**Palavras-chave:** regime permanente, geração eólica, powerworld.

**ABSTRACT**

The objective of this work is to evidence and analyze the impacts caused in the distribution network due to the insertion of wind generators. A real distribution grid was analyzed, working within the normative standards so that the results could be more realistic. The study was performed with the PowerWorld program, considering the system in permanent regime for load demand and wind generation. The static method of voltage stability evaluation was used. The simulated system was submitted to the insertion of wind generators injecting 30MW of active power, with power factor (PF) varying from 0.95 (inductive) to 0.95 (capacitive). The voltage changes at the selected bars were analyzed for the inductive PF varying from 1 to 0.95 in contingency situation (shutting down part of the load) and for the capacitive PF varying from 1 to 0.95 in contingency situation (shutting down the capacitor bank). Through the simulations it can be concluded that with the generation percentage of 22% provided by wind generation and varying the power factor between 0.95 inductive and 0.95 capacitive, the wind farm contributes with a small portion to the voltage stability of the system, when connected to the system through short transmission lines, and the voltage control comes to be more relevant at the connection point and in the regions near the wind farm.

**Keywords:** permanent regime, wind generation, powerworld.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO ASSUNTO

Devido ao constante crescimento do consumo de energia no país e a escassez de novos grandes potenciais hidroelétricos, surge a necessidade de suprir a demanda com novas fontes de energia. Essa situação de escassez do recurso hídrico como a que aconteceu no triênio 2013-2015 fez com que houvesse o aumento do consumo de combustíveis fósseis nas usinas termelétricas para o atendimento da carga [1][2] o que poderia ter sido evitado, ou pelo menos reduzido, caso a participação de outras fontes renováveis fosse mais expressiva[3][4].

Então, o uso de outras fontes renováveis (eólica, solar, biomassa, PCH's) para a geração de energia se faz necessário para uma diversificação na matriz elétrica, garantindo segurança energética com base ambientalmente sustentável. A energia eólica é a energia renovável que vem mais se destacando em potencial instalado no país, seja pelo potencial eólico e pela qualidade da distribuição dos ventos, mas também pelo seu desenvolvimento tecnológico, incentivos fiscais, velocidade no atendimento da demanda de energia e preços competitivos comparados a outras fontes convencionais[5][6][7].

Devido a possíveis danos ao sistema elétrico surge a necessidade de estudar os impactos da geração eólica, principalmente em razão da variação da velocidade do vento que causa efeitos mais severos na rede elétrica, essa intermitência pode causar variações de tensão em redes fracas, distorções harmônicas e afundamentos e elevações momentâneas de tensão.

## 2 METODOLOGIA

Atualmente existem vários programas para simulação de fluxo de carga em sistemas elétricos disponíveis no mercado, os dos que mais se destacam no mundo é o simulador da empresa PowerWorld Corporation, o PowerWorld Simulator, ele fornece todas as ferramentas necessárias para analisar o fluxo de potência na rede, sua comercialização foi iniciada em 1996 e até então o software vem evoluindo significativamente. Para as simulações de fluxo de potência no sistema elétrico estudado foi utilizado o programa PowerWorld, versão educacional 21, devido a sua interface gráfica bastante amigável e a facilidade de visualização e compreensão das variáveis do sistema elétrico.

O sistema elétrico estudado corresponde a um sistema de distribuição isolado, contendo 13 barras, que é o limite de barras disponível para a versão educacional do

programa, as barras verdes correspondem ao sistema de distribuição em 69 kV e as barras laranjas correspondem ao sistema de distribuição em 13,8 kV.

O sistema analisado contempla apenas uma fonte de geração principal, na qual esta fonte de geração foi interligada a barra slack (B01 69) com tensão de 1,05 pu e ângulo de tensão 0°, este sistema de geração foi caracterizado com uma fonte de geração a diesel tendo a função de absorver e injetar potência ativa e reativa, de modo a fazer o balanço de potência no sistema elétrico. Para todas as simulações foi considerada a condição de carga média para o sistema estudado admitindo o modelo de carga como potência constante.

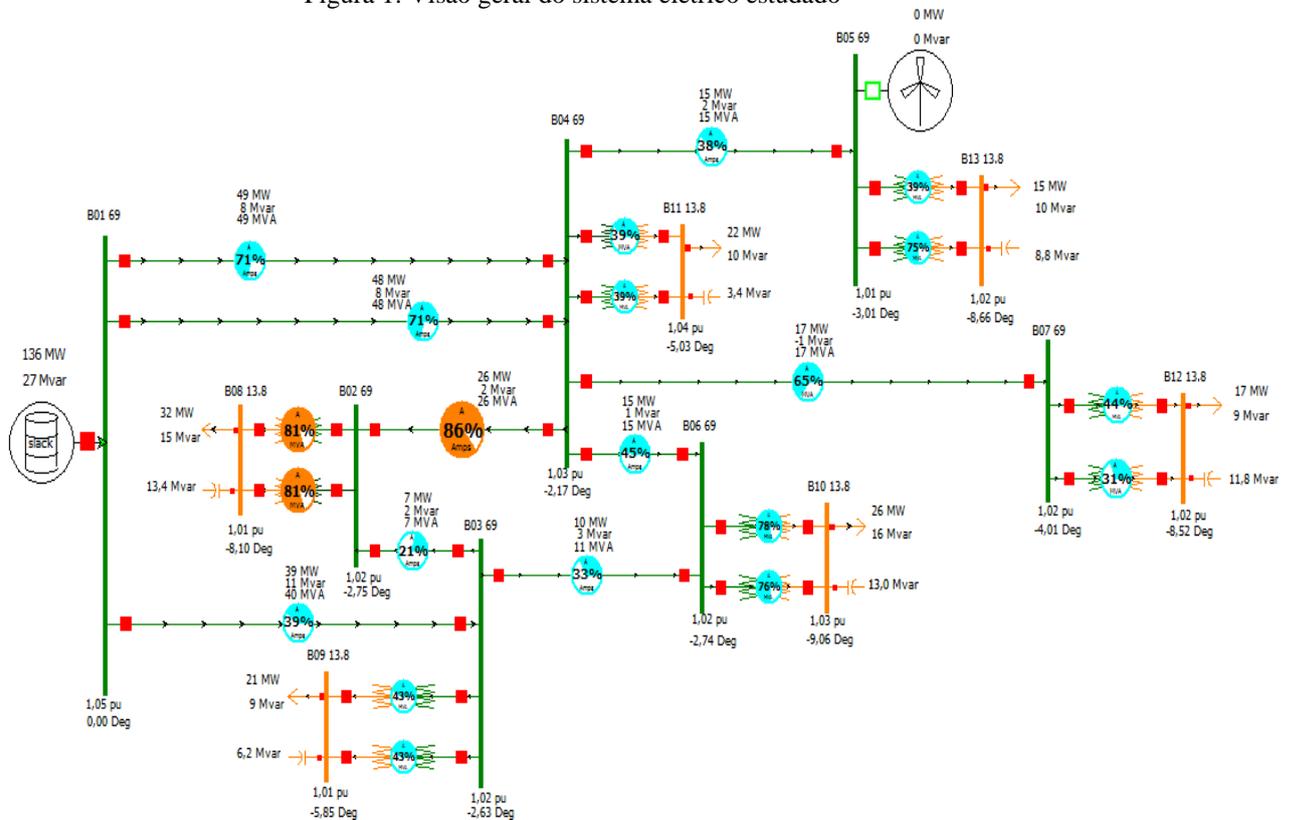
Todas as simulações de fluxo de potência simuladas neste trabalho foram realizadas utilizando o método Newton-Raphson. Na tabela 1 são informados os parâmetros das linhas de transmissão e transformadores utilizados no sistema em análise, para obtenção desses valores foi utilizado 100 MVA como potência de base e 69 kV como tensão de base. Todas as linhas do sistema de distribuição analisado são do tipo curta.

Tabela 1: Parâmetros das linhas de transmissão e transformadores utilizados nas simulações

De	Nome da Barra	Para	Nome da Barra	R	X	B	TAP	Limite (MVA)
1	B01 69	4	B04 69	0,0372	0,0901	0,00157	-	66
1	B01 69	4	B04 69	0,0372	0,0901	0,00157	-	66
1	B01 69	3	B03 69	0,043	0,1386	0,0037	-	100
2	B02 69	4	B04 69	0,031	0,0441	0,00064	-	29
2	B02 69	3	B03 69	0,016	0,0382	0,00069	-	32
3	B03 69	6	B06 69	0,004	0,02	0,0034	-	33
4	B04 69	6	B06 69	0,0459	0,0724	0,01129	-	33
4	B04 69	5	B05 69	0,0742	0,1093	0,00153	-	40
4	B04 69	7	B07 69	0,0773	0,1877	0,00327	-	27
2	B02 69	8	B08 69	-	0,6	-	1	20
2	B02 69	8	B08 13.8	-	0,6	-	1	20
3	B03 69	9	B09 13.8	-	0,54	-	1	25
3	B03 69	9	B09 13.8	-	0,54	-	1	25
6	B06 69	10	B10 13.8	-	0,7146	-	0,9698	22
6	B06 69	10	B10 13.8	-	1,3431	-	0,9698	12
4	B04 69	11	B11 13.8	-	0,5	-	0,971	30
4	B04 69	11	B11 13.8	-	0,5	-	0,971	30
5	B05 69	13	B13 13.8	-	1,274	-	1,015	20
5	B05 69	13	B13 13.8	-	1,336	-	1,015	10
7	B07 69	12	B12 13.8	-	0,7434	-	1	25
7	B07 69	12	B12 13.8	-	0,7146	-	1	22

O parque eólico inserido ao sistema elétrico terá potência nominal de 30 MW e será interligado a barra B05 69, para análise dos impactos na rede sempre será considerada a usina eólica operando na sua capacidade máxima. A figura 1 mostra uma visão geral do sistema elétrico estudado, utilizado nas simulações do Power World anteriormente a interligação do parque eólico.

Figura 1: Visão geral do sistema elétrico estudado



Na tabela 2 podemos analisar os níveis de tensão nas barras de uma forma mais ordenada, é possível verificar que o sistema elétrico opera inicialmente atendendo os limites de tensão aceitáveis pelo PRODIST, pois nenhuma tensão nas barras ultrapassa o valor  $\pm 5\%$ .

Tabela 2: Níveis de tensão nas barras do sistema elétrico estudado

	Num ▲	Name	Monitor	PU Volt	Volt (kV)	Limit Low PU Volt	Limit High PU Volt
1	1	B01 69	YES	1,050	72,450	0,95	1,05
2	2	B02 69	YES	1,018	70,238	0,95	1,05
3	3	B03 69	YES	1,020	70,365	0,95	1,05
4	4	B04 69	YES	1,027	70,833	0,95	1,05
5	5	B05 69	YES	1,013	69,890	0,95	1,05
6	6	B06 69	YES	1,019	70,288	0,95	1,05
7	7	B07 69	YES	1,016	69,056	0,95	1,05
8	8	B08 13.8	YES	1,010	13,938	0,95	1,05
9	9	B09 13.8	YES	1,010	13,945	0,95	1,05
10	10	B10 13.8	YES	1,031	14,226	0,95	1,05
11	11	B11 13.8	YES	1,040	14,351	0,95	1,05
12	12	B12 13.8	YES	1,024	14,137	0,95	1,05
13	13	B13 13.8	YES	1,019	14,056	0,95	1,05

Tabela 3: Fluxo de potência do sistema elétrico estudado

	From Nurr ▲	From Name	To Number	To Name	MW From	MW Loss	MW To	Mvar From	Mvar Loss	Mvar To	MVA From	MVA To	% of Limit Used	Limit Used	MVA or Amps?
1	1	B01 69	4	B04 69	48,7	0,8	-47,9	8,0	1,8	-6,1	49,3	48,3	74,7	66,0	MVA
2	1	B01 69	4	B04 69	48,7	0,8	-47,9	8,0	1,8	-6,1	49,3	48,3	74,7	66,0	MVA
3	2	B02 69	4	B04 69	-25,3	0,2	25,5	-2,0	0,2	2,2	25,4	25,6	88,4	29,0	MVA
4	2	B02 69	8	B08 13.8	16,0	0,0	-16,0	2,1	1,5	-0,6	16,1	16,0	80,5	20,0	MVA
5	2	B02 69	8	B08 13.8	16,0	0,0	-16,0	2,1	1,5	-0,6	16,1	16,0	80,5	20,0	MVA
6	3	B03 69	1	B01 69	-38,4	0,6	39,1	-9,7	1,7	11,4	39,6	40,7	40,7	100,0	MVA
7	3	B03 69	2	B02 69	6,6	0,0	-6,6	2,1	-0,1	-2,2	6,9	6,9	21,7	32,0	MVA
8	4	B04 69	11	B11 13.8	11,0	0,0	-11,0	3,9	0,6	-3,3	11,7	11,5	38,9	30,0	MVA
9	4	B04 69	7	B07 69	17,4	0,2	-17,2	-1,0	0,2	1,2	17,4	17,2	64,6	27,0	MVA
10	4	B04 69	6	B06 69	15,3	0,1	-15,2	1,0	-1,0	-2,0	15,3	15,3	46,4	33,0	MVA
11	4	B04 69	5	B05 69	15,5	0,2	-15,3	2,3	0,1	-2,2	15,7	15,5	39,2	40,0	MVA
12	4	B04 69	11	B11 13.8	11,0	0,0	-11,0	3,9	0,6	-3,3	11,7	11,5	38,9	30,0	MVA
13	6	B06 69	10	B10 13.8	16,7	0,0	-16,7	3,8	1,9	-1,9	17,1	16,8	77,8	22,0	MVA
14	6	B06 69	3	B03 69	-10,4	0,0	10,4	-3,8	-0,3	3,4	11,1	11,0	33,5	33,0	MVA
15	6	B06 69	10	B10 13.8	8,9	0,0	-8,9	2,0	1,0	-1,0	9,1	8,9	75,9	12,0	MVA
16	7	B07 69	12	B12 13.8	11,0	0,0	-11,0	-0,8	0,9	1,7	11,0	11,1	44,5	25,0	MVA
17	7	B07 69	12	B12 13.8	6,2	0,0	-6,2	-0,4	0,5	0,9	6,2	6,3	31,3	20,0	MVA
18	9	B09 13.8	3	B03 69	-10,7	0,0	10,7	-1,4	0,6	2,1	10,8	10,9	43,6	25,0	MVA
19	9	B09 13.8	3	B03 69	-10,7	0,0	10,7	-1,4	0,6	2,1	10,8	10,9	43,6	25,0	MVA
20	13	B13 13.8	5	B05 69	-7,5	0,0	7,5	-0,3	0,7	1,1	7,5	7,6	75,6	10,0	MVA
21	13	B13 13.8	5	B05 69	-7,9	0,0	7,9	-0,3	0,8	1,1	7,9	7,9	39,7	20,0	MVA

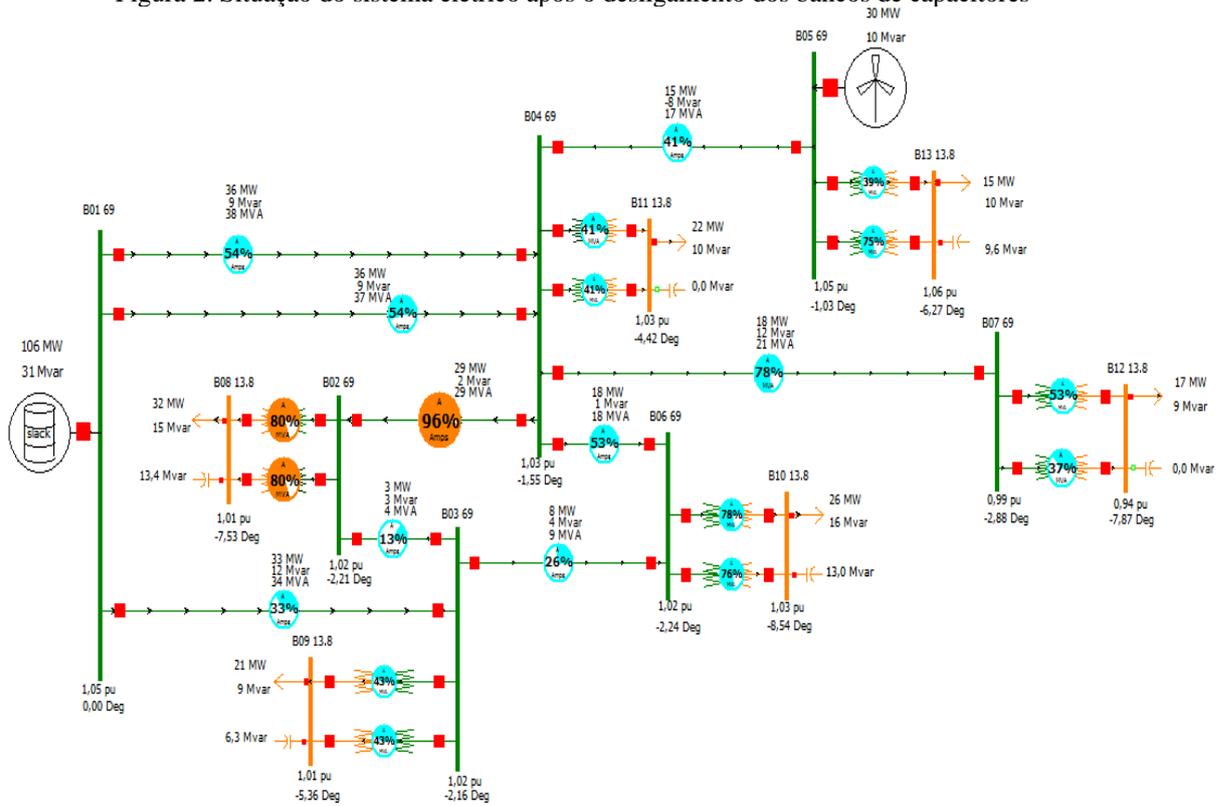
Na tabela 3 é possível verificar o fluxo de potência nas linhas de transmissão e as perdas associadas.

## 2.1 PARQUE EÓLICO OPERANDO COM FATOR DE POTÊNCIA CAPACITIVO

Nesta simulação o parque eólico operará com sua potência máxima (30 MW) e o seu fator de potência será variado de 1 a 0,95 capacitivo, será estabelecida uma situação de contingência em que o banco de capacitor de 3,1 MVar interligado a barra B11 13.8 e o banco de capacitor 11,2 MVar interligado a barra B12 13.8 serão desligados.

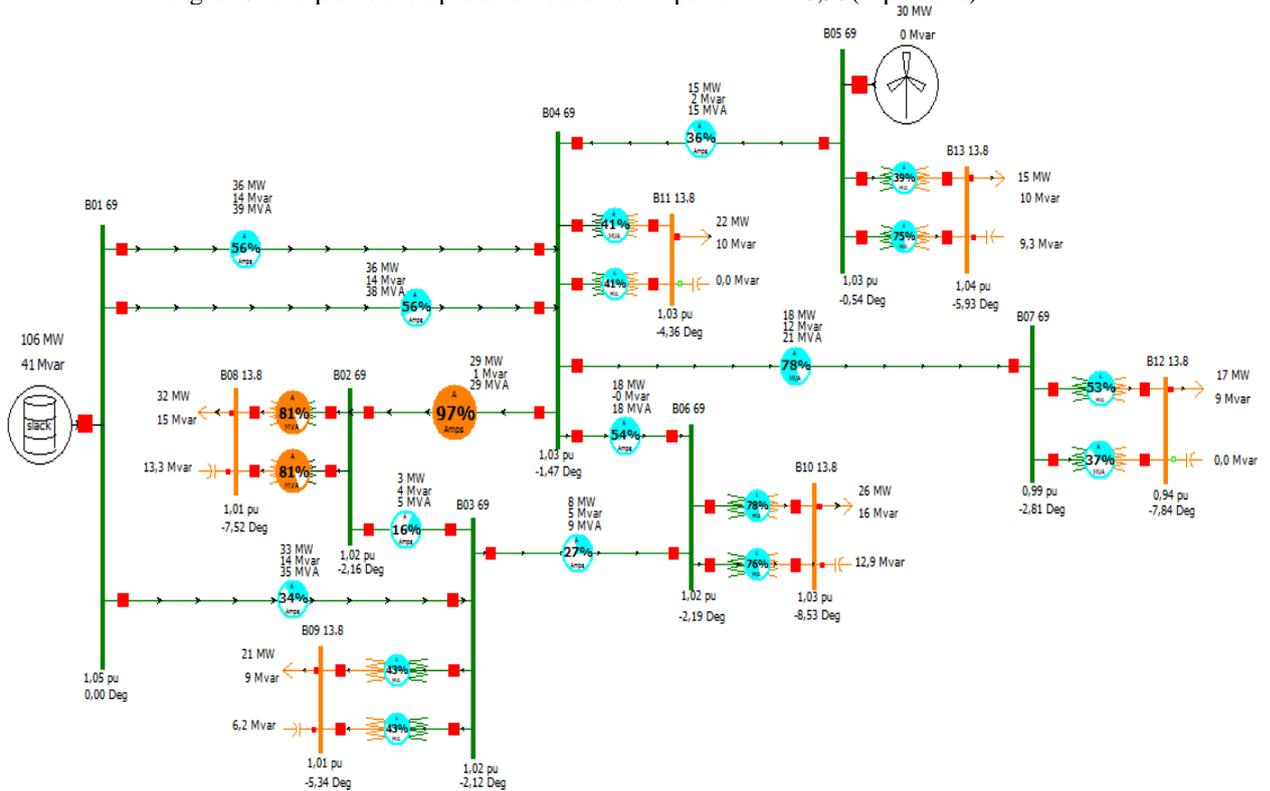
O objetivo principal desta simulação é de analisar o comportamento dos níveis de tensão nas barras quando se varia o fator de potência de 1 a 0,95 capacitivo na situação da contingência definida.

Figura 2: Situação do sistema elétrico após o desligamento dos bancos de capacitores



Como pode ser visto na figura 2 após o desligamento dos dois bancos de capacitores os fluxos de potências são rearranjados, e uma nova condição operativa é estabelecida.

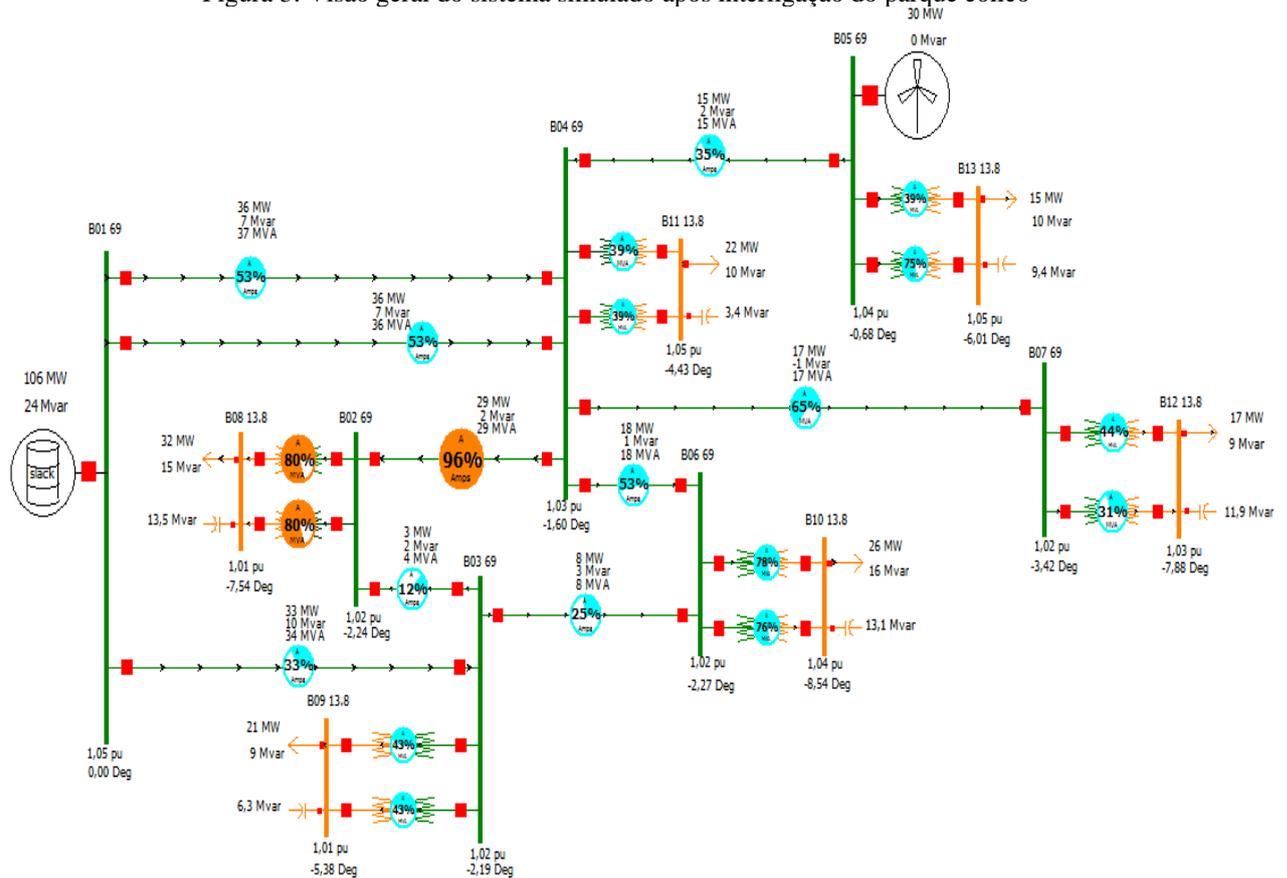
Figura 3: Parque eólico operando com fator de potência de 0,95(capacitivo)



Pode-se perceber através da figura 2, comparada aos dados da Figura 4 onde o sistema está operando com  $FP=1$ , que após o desligamento dos bancos de capacitores a tensão nas barras B11 13.8 e B12 13.8 têm seus valores reduzidos, principalmente a barra B12 13.8 em que o valor de tensão anteriormente a situação de contingência era de 1,03 pu e após o desligamento dos bancos atingiu o valor de 0,94 pu, a barra B11 13.8 não tem uma grande redução de tensão devido à influência da proximidade com a geração principal.

Figura 4, representa a interligação do parque eólico serão injetados 30 MW na barra B05 69. Na figura 14 podemos observar os efeitos causados no sistema elétrico após a entrada do parque eólico operando em sua capacidade máxima com fator de potência unitário

Figura 3: Visão geral do sistema simulado após interligação do parque eólico



Após o parque eólico atingir o fator de potência de 0,95, conforme é mostrado na figura 3, é possível verificar que as pequenas mudanças no fluxo de potência do sistema estudado, as mais significativas são a inversão do fluxo de potência reativa entre as barras B05 69 e B04 69, a redução de potência injetada pela geração principal devido ao fornecimento da potência reativa pelo parque eólico e consequentemente a redução do fluxo de potência reativa nas linhas de transmissão entre as barras B01 69 e B04 69 e B01 69 e B03 69.

O comportamento da tensão nas barras do sistema elétrico após a variação do fator de potência do parque eólico sofre um leve aumento, mas é insignificante em relação à necessidade do restabelecimento dos níveis de tensão adequados onde for necessário, exceto nas barras mais próximas ao ponto de conexão do parque eólico, essas tiveram um aumento significativo nos níveis de tensão obtendo assim ótimos resultados, com a variação do fator de potência de 1 a 0,95 a barra B05 69 que é onde está localizado o ponto de conexão do parque eólico passou de 1,03 pu para 1,05 pu e a barra B13 13.8 passou de 1,04 ou para 1,06 pu.

A partir da Tabela 4 é possível fazer uma comparação dos valores de tensão com o parque eólico operando com fator de potência unitário (esquerda) e fator de potência de 0,95 capacitivo (direita).

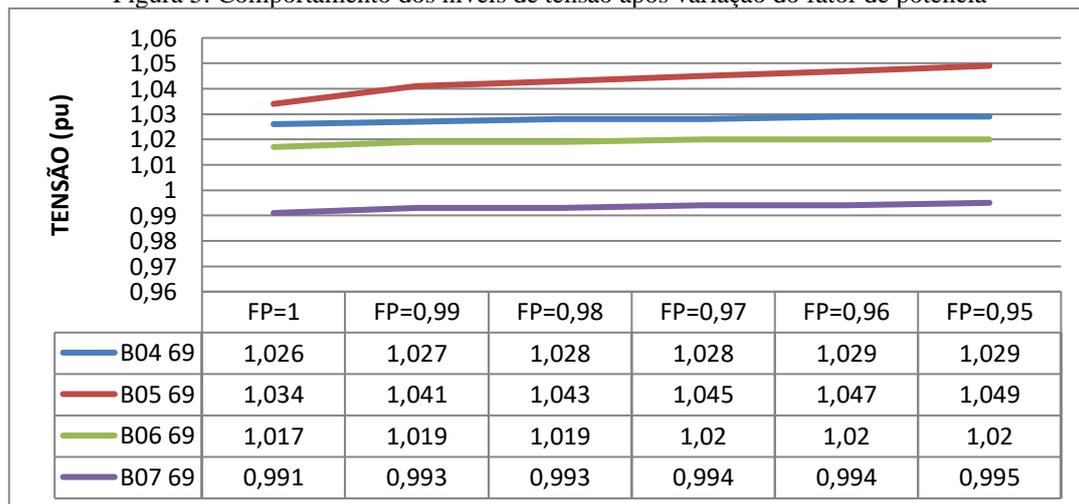
Tabela 4: Comparação dos níveis de tensão com a variação do fator de potência capacitivo

	Num ▲	Name	PU Volt	Volt (kV)
1	1	B01 69	1,050	72,450
2	2	B02 69	1,017	70,149
3	3	B03 69	1,019	70,283
4	4	B04 69	1,026	70,766
5	5	B05 69	1,034	71,368
6	6	B06 69	1,017	70,195
7	7	B07 69	0,991	67,382
8	8	B08 13.8	1,009	13,918
9	9	B09 13.8	1,009	13,928
10	10	B10 13.8	1,029	14,204
11	11	B11 13.8	1,031	14,223
12	12	B12 13.8	0,941	12,979
13	13	B13 13.8	1,044	14,401

	Num ▲	Name	PU Volt	Volt (kV)
1	1	B01 69	1,050	72,450
2	2	B02 69	1,020	70,379
3	3	B03 69	1,022	70,485
4	4	B04 69	1,029	71,022
5	5	B05 69	1,049	72,356
6	6	B06 69	1,020	70,411
7	7	B07 69	0,995	67,646
8	8	B08 13.8	1,012	13,969
9	9	B09 13.8	1,012	13,970
10	10	B10 13.8	1,033	14,256
11	11	B11 13.8	1,035	14,277
12	12	B12 13.8	0,945	13,036
13	13	B13 13.8	1,060	14,631

Foram escolhidas as barras B04 69, B05 69, B06 69 e B07 69 para expor com melhor clareza o comportamento dos níveis de tensão nas barras, como pode ser visto através do Figura 5.

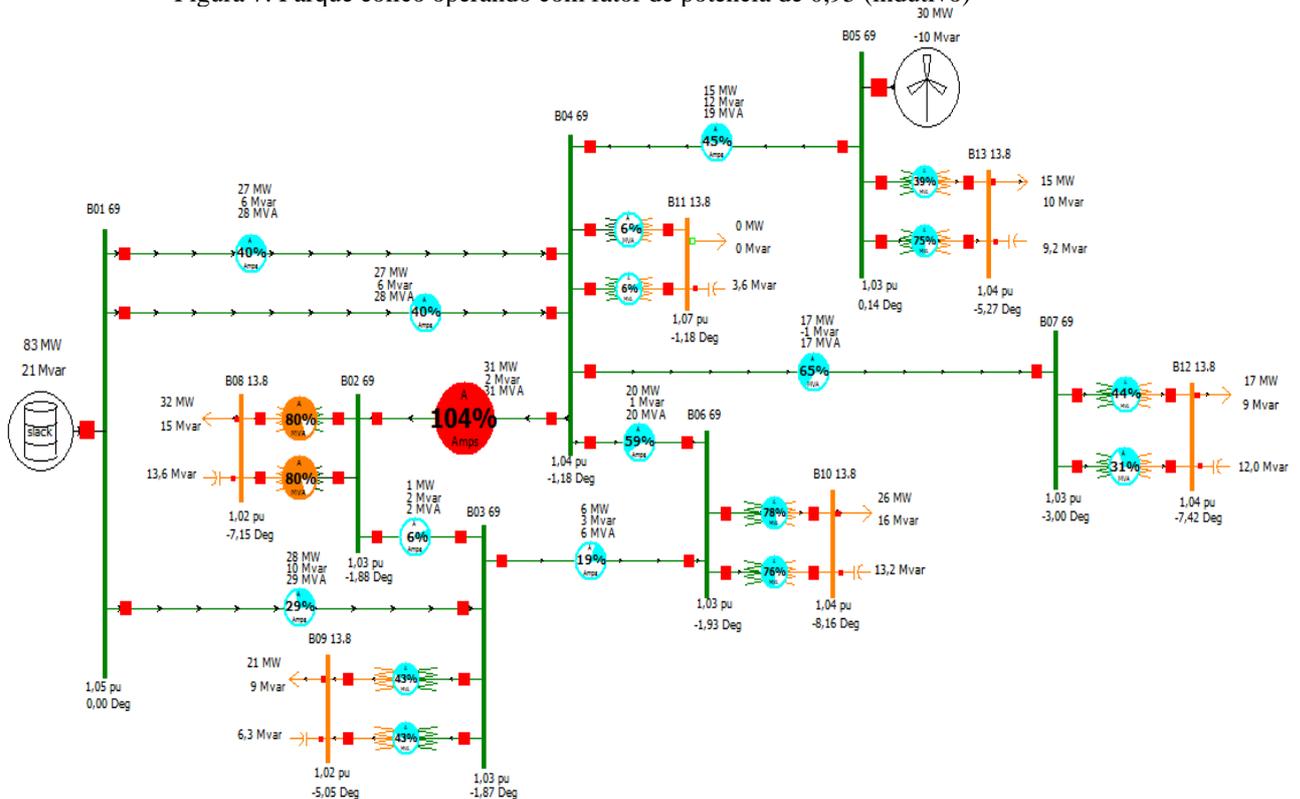
Figura 5: Comportamento dos níveis de tensão após variação do fator de potência



Nesta simulação em que o parque eólico opera com fator de potência de 0,95 capacitivo as duas barras de carga continuam extrapolando os limites permitidos dos níveis de tensão após a situação de contingência, a barra B12 13.8 não tem aumento significativo continuando abaixo do limite aceitável e as barras B05 69 e B13 13.8 tiveram um aumento significativo ultrapassando ainda mais os limites aceitáveis do nível de tensão.



Figura 7: Parque eólico operando com fator de potência de 0,95 (indutivo)



Após avaliar a reorganização do fluxo de potência e o aumento da tensão nas barras, o passo seguinte foi variar o fator de potência do parque até 0,95 indutivo. Como pode ser visto na figura 7 após o parque eólico atingir o fator de potência de 0,95 indutivo há um aumento da potência reativa transferida pelas B04 69 para B05 69 elevando de 35% para 45% a utilização da capacidade nominal da linha de transmissão, essa mudança ocorre devido à solicitação de potência reativa pelo parque eólico.

Novamente os níveis de tensão nas barras do sistema após a variação do fator de potência do parque eólico sofrem pouca alteração, exceto nas barras B05 69 e B13 13.8, essas duas tiveram uma redução considerável na qual permitiram que os valores de tensão ficassem em níveis aceitáveis, as demais barras tiveram uma redução muito pequena, desta maneira não foi possível que a tensão da barra B11 13.8 atingisse valores menores que 1,5 pu.

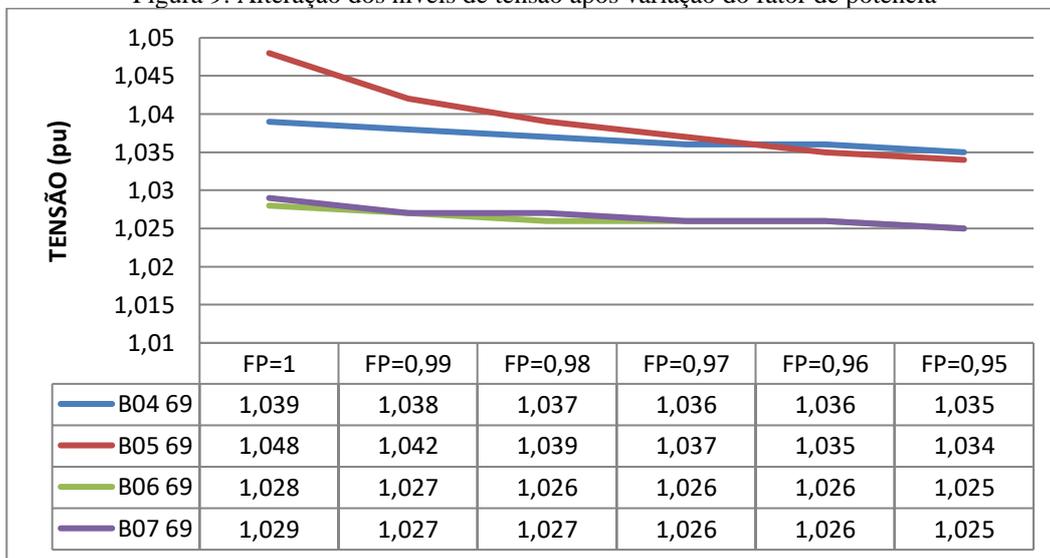
A partir da figura 8 é possível fazer uma comparação dos valores de tensão com o parque eólico operando com fator de potência unitário (esquerda) e fator de potência de 0,95 indutivo (direita).

Figura 8: Comparação dos níveis de tensão com a variação do fator de potência indutivo

	Num ▲	Name	PU Volt	Volt (kV)		Num ▲	Name	PU Volt	Volt (kV)
1	1	B01 69	1,050	72,450	1	1	B01 69	1,050	72,450
2	2	B02 69	1,029	70,975	2	2	B02 69	1,025	70,741
3	3	B03 69	1,029	71,006	3	3	B03 69	1,026	70,801
4	4	B04 69	1,039	71,709	4	4	B04 69	1,035	71,449
5	5	B05 69	1,048	72,323	5	5	B05 69	1,034	71,322
6	6	B06 69	1,028	70,963	6	6	B06 69	1,025	70,744
7	7	B07 69	1,029	69,977	7	7	B07 69	1,025	69,704
8	8	B08 13.8	1,022	14,100	8	8	B08 13.8	1,018	14,049
9	9	B09 13.8	1,020	14,079	9	9	B09 13.8	1,017	14,036
10	10	B10 13.8	1,043	14,389	10	10	B10 13.8	1,039	14,336
11	11	B11 13.8	1,079	14,885	11	11	B11 13.8	1,075	14,832
12	12	B12 13.8	1,040	14,346	12	12	B12 13.8	1,035	14,284
13	13	B13 13.8	1,060	14,623	13	13	B13 13.8	1,043	14,390

Através do Figura 9 no qual foram escolhidas as barras de carga B04 69, B05 69, B06 69 e B07 69 é possível avaliar de uma forma mais clara o comportamento da tensão em relação à variação do fator de potência do parque eólico.

Figura 9: Alteração dos níveis de tensão após variação do fator de potência



Nas duas últimas simulações foi possível observar que a influência do parque eólico em relação à manutenção das tensões nas barras do sistema elétrico em níveis aceitáveis quando o parque opera injetando ou absorvendo energia reativa é pouco significativa, exceto no ponto de conexão comum. Desta maneira o nível de penetração das usinas eólicas deve ser muito grande, para que seja possível ter um controle eficiente dos níveis de tensão do sistema através da variação do fator de potência no intervalo de 0,95 capacitivo a 0,95 indutivo.

### **3 CONCLUSÃO**

Por meio das simulações pode ser concluído que com o percentual de geração de 22% fornecido pela geração eólica e variando o fator de potência entre 0,95 indutivo e 0,95 capacitivo, o parque eólico colabora com uma pequena parcela para o controle de tensão do sistema, quando conectado ao sistemas através de linhas de transmissão curtas tal como foi mostrado, e o controle da tensão chega a ser mais relevante no ponto de conexão e nas regiões próximas ao parque eólico.

Portanto este trabalho proporciona uma melhor compreensão das características operativas dos sistemas eólicos, contribuindo com informações referentes à participação no controle de tensão através da variação do fator de potência.

## REFERÊNCIAS

- [1] EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro, 2016. 452 p.
- [2] Dutra, R. Energia Eólica Princípios e Tecnologias. 1 ed. Rio de Janeiro: Cepel, 2009.
- [3] Rampinelli, G.A., Rosa, C.G. Análise da Geração Eólica na Matriz Brasileira de Energia Elétrica. *Revistaciências exatas e naturais*. Paraná, V 14, n.2. Jul/Dez 2012
- [4] DUTRA,R.M. Viabilidade Técnico-econômica da Energia Eólica face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro. Rio de Janeiro, 2001. Dissertação de M. Sc., Programa de Planejamento Energético – COPPE,UFRJ.
- [5] Santos,A.S., et al. Projeto de geração de energia eólica. Santos, 2006. Projeto de Graduação, Departamento de engenharia mecânica, Universidade de Santa Cecília.
- [6] Kim,H.S.; Lu,D.D.C. Review onwind turbine generatorsandpowerelectronicconverterswiththe grid-connection issues. In: Universities Power EngineeringConference (AUPEC) 2010, p. 1-6, Australasian, 5-8 Dez, 2010.
- [7] H. Stiesdal; The wind Turbine: componentsandoperation. Denmark: Bonus Energy A/S, 1999.
- [8] Manwell,J.F., McGowanHau,J.G., Rogers,A.L. Wind Energy Explained: Theory, Design andapplication. 2ed. UnitesKingdom: John Wiley &Sons, 2009.
- [9] Abad, G., et al. Doubly Fed Induction Machine, Modeling and control forWind Energy Generation. 1 ed. New Jersey: John Wiley &Sons, 2011.
- [10] Ackermann, T. WindPower in Powersystems. 1ed. Stockholm: John Wiley &Sons, 2005.
- [11] Guerreiro,G.A.V. Análise em regime permanente de parque eólicos com máquinas SCIG e DFIG. Porto Alegre, 2014. Dissertação de mestrado, Departamento de engenharia elétrica, UFRGS.
- [12] Heier, S. GridIntegrationofWind Energy ConversionSystems: Onshore and Offshore ConversionSystems. 2ed. Germany: John Wiley and Son Ltd, 2005.
- [13] Burton, T. , Sharpe, D. Wind Energy Handbook. Ed 1.Englad: John Wiley and Son Ltd, 2001.
- [14] Silva, R.F. Emulação de uma turbina eólica e controle vetorial do gerador de indução rotor gaiola de esquilo para um sistema eólico. Rio de Janeiro, 2012. Projeto de graduação, Departamento de engenharia elétrica, UFRJ.
- [15] Freris, L. L. Wind Energy ConversionSystems. 1ed. London: Prentice Hall, 1990.
- [16] Marques, J.;2014. Turbinas eólicas: Modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação. Santa Maria-RS. Dissertação de mestrado, Processamento de energia, UFSM.

- [17] Ban,D.; Žarko,D; et al. Generator technology for wind turbines, trends in application and production in Croatia. In: Maco Cigré, Охрид, 7-9 Out, 2007.
- [18] RAMOS, A. J. P. , Tavares, C. L, Sena,D. J.G. Impacto da geração distribuída eólica nos sistemas de distribuição e transmissão. Revista o setor elétrico. São Paulo, V 74, n.3, p. 50-59. Abr 2012.
- [19] Pinto, M.O. Fundamentos de energia eólica. ed 1. Natal: LTC, 2013.
- [20] A. Perdana; 2008. Dynamic model of Wind turbines – a contribution towards the establishment of standardized model of wind turbines for power system stability studies. Goteborg. Tese de doutorado, Chalmers University of Technology.
- [21] A. P. Sohn, L.F.C. Alberto. Aerogeradores de velocidade variável em sistemas elétricos de potência: análise de estabilidade. V Simpósio brasileiro de sistemas elétricos, p. 1-2, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, abr 2014.
- [22] Neves, P. S.; 2014. Interligação da geração eólica elétrica com o sistema elétrico de potência. Salvador-BA, Brasil. Dissertação de mestrado, LABEFEA, UFBA.
- [23] Lowenberg, V. V.; 2013. Análise dos limites máximos de inserção de geração eólica em redes de distribuição conforme a variação de tensão em regime permanente. Foz do Iguaçu, Brasil. Dissertação de mestrado, Sistemas dinâmicos e Energéticos, Unioeste.