



Universidade Federal
de Campina Grande



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso

Estudo de Acesso ao Sistema de Transmissão

Paulo Vitor da Silva Dias

Campina Grande - PB
Dezembro de 2019

Paulo Vitor da Silva Dias

Estudo de Acesso ao Sistema de Transmissão

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Estudos Elétricos

Karcus Marcelus Colaço Dantas, D.Sc.
Orientador

Campina Grande - PB
Dezembro de 2019

ESTUDO DE ACESSO AO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

PAULO VITOR DA SILVA DIAS

TCC em Aprovado em 11/12/2019

Paulo Vitor da Silva Dias

Autor

Karcus Marcelus Colaço Dantas, D.Sc.

Orientador

Washington Luiz Araújo Neves, Ph.D.

Avaliador

Campina Grande - PB
Dezembro de 2019

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família, por todo incentivo e ajuda em mais uma etapa da minha vida. Além de dedicar, agradeço ao meu pai Idineide Dias, minha mãe Maria Cláudia e Minha irmã Itala Samara.

A minha namorada e melhor amiga Raira Ferreira, por todo carinho, amor, dedicação e compreensão.

Aos meus amigos de curso: Brenda Lira, Darlanny Diniz, Elias Gabriel, José Adeilmo, José Patrício, Mateus Ferreira, Maurilio Quirino, Neto Domingos, Ravi Helon, Rivanildo Alves, Robson Donato, Thiago Oliveira, Ulisses Gomes, Vanessa Santos, Walter Guedes, Wesley Feitosa, Weverton Domingos, William Santos e Wislayne Dayane por fazerem parte dessa grande jornada em busca do conhecimento.

A Universidade Federal de Campina Grande, em especial: Tchaikovsky Oliveira, Adail Ferreira e a todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica.

Aos Professores Karcus Dantas e Washington Neves, pela orientação necessária no desenvolvimento deste trabalho e pela contribuição em minha formação acadêmica e profissional.

Ao Operador Nacional do Sistema Elétrico, em ter fornecido subsídio para este trabalho, e em especial: A engenheira Roseane Nunes, e aos engenheiros Alexandre Dantas e Fernando França, pela orientação e atenção necessária no desenvolvimento deste trabalho e a todos da PLN e EGN.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a minha formação acadêmica e profissional.

Meus Eternos Agradecimentos.

Paulo Vitor da Silva Dias.

Resumo

O acesso ao sistema de transmissão viabiliza, por parte dos agentes que integram o Sistema Interligado Nacional (SIN), a conexão e o uso dos componentes que o formam. A legislação vigente assegura a todos os agentes e consumidores livres o acesso aos sistemas de transmissão de concessionário público de energia elétrica. Diante disso, este trabalho tem como objetivo geral tratar de forma sucinta as etapas do acesso por parte do agente. Como objetivos específicos, serão realizados três estudos de integração de um empreendimento ao sistema de transmissão: Análise de Fluxo de Potência, Análise de Curto-Circuito e Análise de Estabilidade Eletromecânica. Buscou-se, como exemplo de aplicação, a modelagem de uma central geradora eólica fictícia, identificada como Central Geradora Eólica DIAS, ou simplesmente, CGE DIAS. Durante as análises, foram utilizados os softwares do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), tais como, ANAREDE, ANAFAS e ANATEM.

Palavras-chave: Acesso, Fluxo, Potência, Curto-Circuito, Estabilidade, Eólica.

Abstract

Access to the transmission system enables, through the agents that make up the National Interconnected System (SIN), the connection and use of the components that form it. The current legislation ensures that all agents and free consumers have access to the public electric utility transmission systems. Given this, this work has as main goal to briefly address the stages of access by agents. As specific objectives, three studies of integration of an enterprise to the transmission system will be performed: Power Flow Analysis, Short Circuit Analysis and Electromechanical Stability Analysis. As an application example, it sought to model a fictitious wind power plant, identified as Central Geradora Eólica DIAS, or simply, CGE DIAS. During the analyses, the software of the Electric Energy Research Center (CEPEL), such as ANAREDE, ANAFAS and ANATEM, were used.

keywords: Access, Flow, Power, Short Circuit, Stability, Wind.

Sumário

1	Introdução	5
1.1	Objetivos	7
1.2	Metodologia do Trabalho	7
2	Do Processo de Acesso	8
3	Informações Gerais da CGE DIAS	10
4	Estudos de Fluxo de Potência	14
4.1	Metodologia de Estudo	14
4.2	Regime Normal de Operação	15
4.3	Operação com Potência Ativa Nula	16
4.4	Atendimento ao Critério de Fator de Potência	17
4.5	Perda Intempestiva da CGE DIAS	18
4.6	Análise de Contingência (Critério N-1)	20
4.7	Sensibilidade de Tensão	23
5	Estudos de Curto-Circuito	24
5.1	Metodologia de Estudo	24
5.2	Curto-Circuito Monofásico	24
5.3	Curto-Circuito Trifásico	26
6	Estudos de Estabilidade Eletromecânica	29
6.1	Metodologia de Estudo	29
6.2	Contingência LT 230 kV DIAS - Mossoró IV	32
6.3	Contingência LT 230 kV Mossoró II - Açú II	33
6.4	Contingência LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1	36
6.5	Contingência LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1	38
6.6	Contingência LT 230 kV Russas - Quixeré C1	40
6.7	Contingência LT 230 kV Russas - Banabuiú C2	42
7	Resultados e Conclusões	44
7.1	Fluxo de Potência	44
7.2	Curto-Circuito	45
7.3	Estabilidade Eletromecânica	45

Lista de Figuras

1	Geração média de energia elétrica (MWmed) em setembro de 2019.	5
2	Capacidade de potência instalada no Brasil (MW) em setembro de 2019. . .	6
3	Fluxograma do passo a passo do processo de acesso.	8
4	Mapa geoeletrico (CE-RN).	10
5	Carta de capacidade do aerogerador VESTAS V150 - 4,2 MW.	11
6	Especificações técnicas do aerogerador VESTA V150 4,2 MW.	12
7	Sistema do aerogerador VESTA V150 4,2 MW tipo <i>full converter</i>	12
8	Sistema elétrico em regime normal de operação com a CGE DIAS.	15
9	CGE DIAS com geração de potência ativa nula.	16
10	Capacidade da CGE DIAS em fornecer ou absorver reativo na conexão. . .	17
11	Capacidade da CGE DIAS em fornecer ou absorver reativo na conexão - Simulações.	18
12	Perda intempestiva da CGE DIAS.	19
13	Contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.	21
14	Contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.	22
15	Contingência dupla das LTs 230 kV Russas - Banabuiú (C1 e C2).	22
16	Fluxo de Potência Continuado	23
17	Curto-circuito fase-terra na barra Mossoró IV sem o CGE DIAS.	25
18	Curto-circuito fase-terra na barra Mossoró IV com o CGE DIAS.	26
19	Curto-circuito trifásico na barra Mossoró IV sem o CGE DIAS.	27
20	Curto-circuito trifásico na barra Mossoró IV com o CGE DIAS.	28
21	Requisitos de suportabilidade a subtensões e sobretensões dinâmicas. . . .	30
22	Sistema elétrico de potência nas proximidades da CGE DIAS.	31
23	Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV DIAS - Mossoró IV.	32
24	Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.	33
25	Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.	34
26	Dinâmica da Usina Térmica Jesus Soares Pereira devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.	35
27	Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.	36

28	Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.	37
29	Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1.	38
30	Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1.	39
31	Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Russas - Quixeré C1.	40
32	Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Russas - Quixeré C1.	41
33	Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.	42
34	Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.	43

Lista de Tabelas

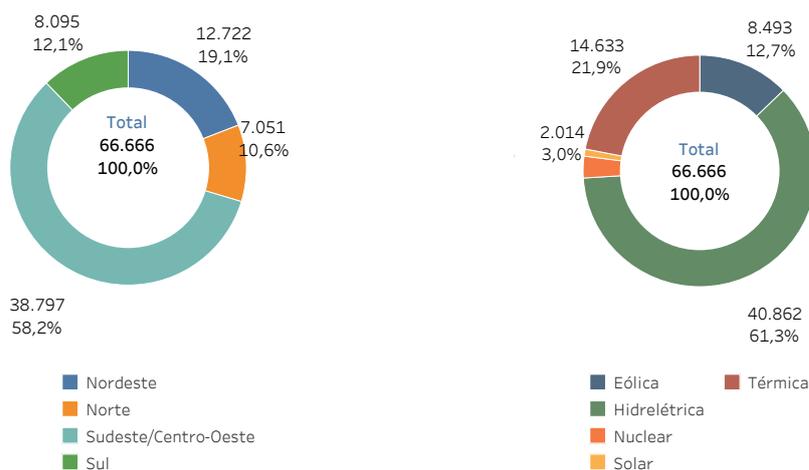
1	Transformadores elevadores 0,69/34,5 kV MVA dos aerogeradores.	13
2	Equivalente da Rede Interna em 34,5 kV da CGE DIAS.	13
3	Parâmetros elétricos do transformador elevador 34,5/230 kV.	13
4	Parâmetros elétricos da linha de transmissão 230 kV.	13
5	Centrais geradoras com ponto de conexão na SE Mossoró IV.	14
6	Grupo limite de tensão.	17
7	Variações das tensões na perda intempestiva da CGE DIAS.	19
8	Carregamento na LT 230 kV Quixeré - Russas C1 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.	21
9	Carregamento na LT 230 kV Russas - Banabuiú C1 devido a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.	21
10	Níveis de curto-circuito monofásico.	24
11	Níveis de curto-circuito trifásico.	27

1 Introdução

O crescimento do consumo de energia elétrica, é um fenômeno natural observado desde os primórdios da energia elétrica, que vem proporcionado o aumento da qualidade de vida das pessoas. Diante disso, cada vez mais é necessário buscar formas de geração e transmissão de energia elétrica, aproveitando ao máximo o potencial energético do país.

O sistema de geração de energia elétrica do Brasil, é composto por usinas hidroelétricas, termoelétricas, eólicas e solares. A interligação entre os sistemas elétricos por meio da malha de transmissão proporciona a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos energéticos e explora as diversidades entre os tipos de fontes ao longo do ano. A Figura 1, mostra a geração média de energia elétrica no Brasil no mês de setembro de 2019.

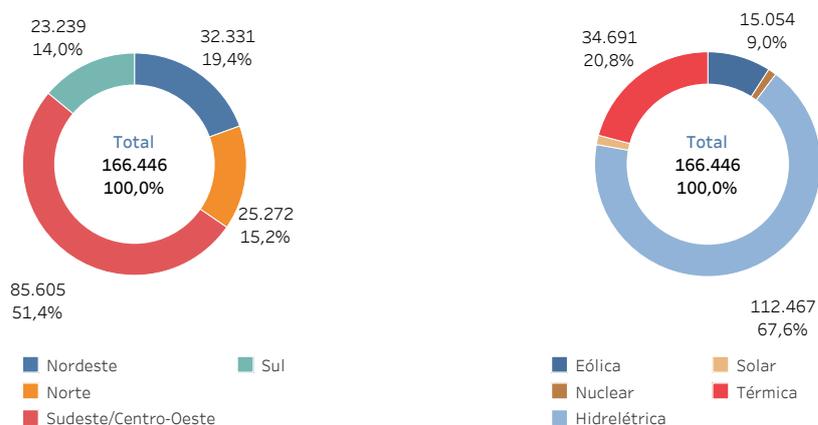
Figura 1: Geração média de energia elétrica (MWmed) em setembro de 2019.



Fonte: (ONS - Histórico da geração, 2019).

A potência instalada de geração do SIN (Figura 2) é composta principalmente por usinas hidrelétricas distribuídas em várias bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. As usinas térmicas exercem papel estratégico, pois colaboram para a segurança do Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo despachadas em função das condições hidrológicas vigentes. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas apresentou um forte crescimento, principalmente na região nordeste, devido ao alto potencial energético para essa fonte na região. Os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de geração de energia, formando assim uma complexa rede elétrica que possibilita o suprimento do mercado consumidor com segurança e economia.

Figura 2: Capacidade de potência instalada no Brasil (MW) em setembro de 2019.



Fonte: (ONS - Capacidade instalada no SIN, 2019).

O processo de integração de instalações de geração é regido pela Resolução Normativa Aneel nº 583/2013 e estabelecido no Submódulo 24.2 dos Procedimentos de Rede, envolve a execução de atividades sob responsabilidade do Operador e dos agentes responsáveis pelas instalações a serem integradas (ONS, 2019b).

O agente é responsável em prover as informações necessárias do empreendimento, assim como a realização dos estudos sistêmicos de integração das instalações (Guia de acesso ao sistema de transmissão, 2019a). Esses estudos é de grande importância para o funcionamento adequado do sistema elétrico, garantindo assim a sua segurança.

O processo de acesso ao sistema de transmissão, viabiliza a conexão e o uso das instalações de transmissão por parte dos agentes que integram o SIN. Os tipos de empreendimentos que necessitam do processo de acesso são: centrais geradoras, consumidores livres, distribuidoras de energia, intercâmbios (importação e exportação de energia elétrica), etc.

A legislação vigente assegura a todos os agentes do setor elétrico e consumidores livres, o acesso aos sistemas de transmissão de concessionário público de energia elétrica. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), conforme estabelecido na regulação do setor, tem entre suas atribuições, a responsabilidade de realizar as avaliações de viabilidade sistêmica das solicitações de acesso, quando envolvem instalações de transmissão (Guia de acesso ao sistema de transmissão, 2019a).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral, abordar de forma sucinta as etapas do processo de acesso ao sistema de transmissão por parte do agente.

Como objetivo específico, serão realizados três estudos de integração do empreendimento ao sistema de transmissão, usando como exemplo uma central geradora eólica. Os estudos realizados neste trabalho são listados a seguir:

- Estudo de fluxo de potência;
- Estudo de curto-circuito;
- Estudo de estabilidade eletromecânica.

1.2 Metodologia do Trabalho

A metodologia deste trabalho, consiste em criar uma central geradora eólica fictícia, identificada doravante como Central Geradora Eólica DIAS ou simplesmente CGE DIAS. Os dados e informações que compõem a CGE DIAS, são baseados em dados típicos do setor elétrico e em especificações técnicas estabelecidas nos procedimentos de rede. Os dados e informações da CGE DIAS serão abordadas em uma seção adiante. Para realizar os estudos de integração do empreendimento ao sistema de transmissão mencionado anteriormente, serão utilizados os *softwares* do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL):

- ANAREDE versão 11.2.4;
- ANAFAS versão 7.2.3;
- ANATEM versão 11.7.0.

Também será utilizada a base de dados do ONS para desenvolver os estudos proposto neste trabalho.

No final dos estudos, serão feitas as análises dos resultados, verificando se os estudos apontam algum problema que inviabilize a conexão da CGE DIAS no determinado horizonte e ponto de conexão.

Neste Trabalho, não foi realizado o estudo de qualidade de energia elétrica.

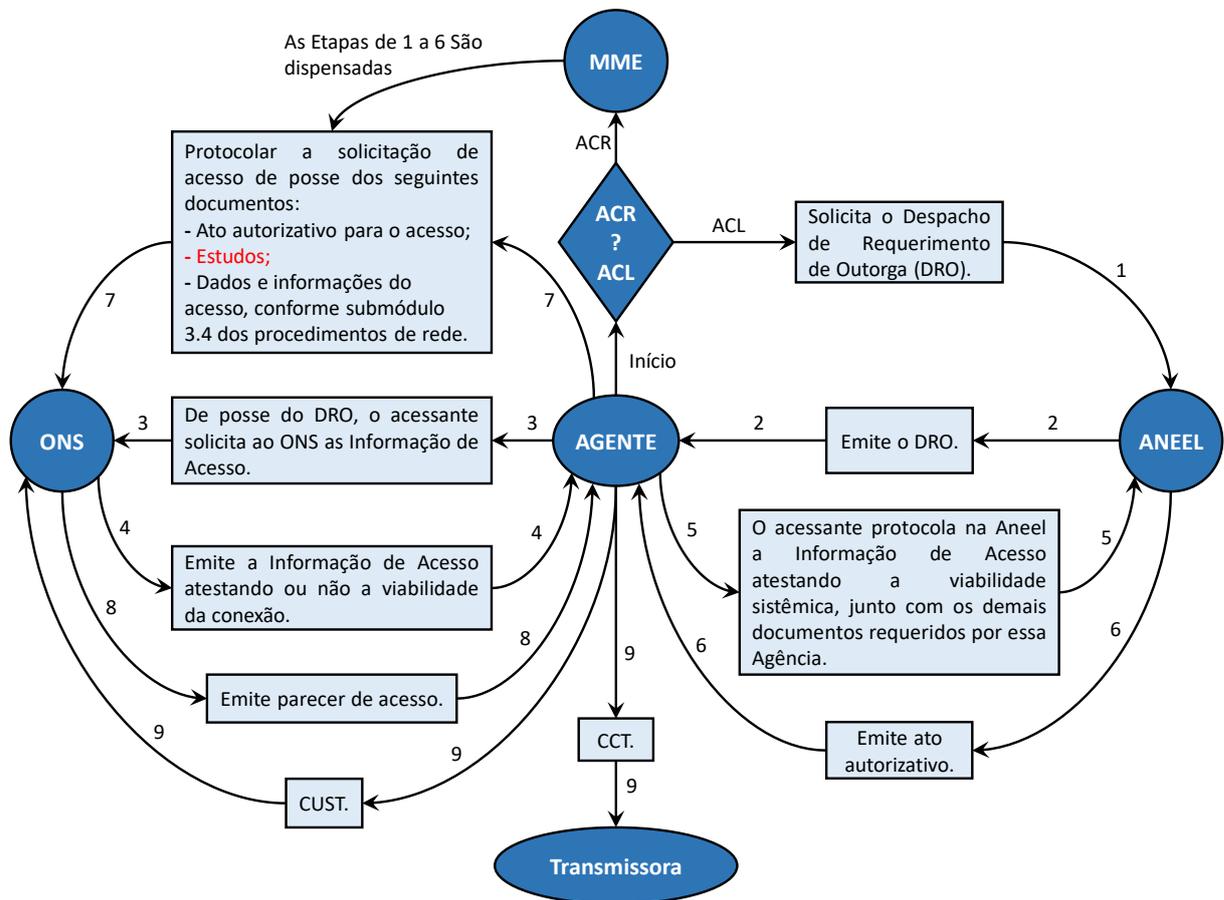
2 Do Processo de Acesso

O processo de acesso ao sistema de transmissão, tem como objetivo viabilizar a conexão e o uso das instalações de transmissão por parte dos agentes que integram o SIN.

Durante o processo, o agente busca na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ou no Ministério de Minas e Energia (MME) o ato autorizativo em relação a instalação e a conexão do seu empreendimento no SIN.

Já o ONS, tem entre suas atribuições, realizar as avaliações sistêmicas do empreendimento, atestando ou não a sua viabilidade no ponto de conexão. O diagrama da Figura 3, mostra o fluxograma do passo a passo do processo de acesso por parte do agente.

Figura 3: Fluxograma do passo a passo do processo de acesso.



Um agente que pretende vender energia no Ambiente de Contratação Livre (ACL), inicialmente deve definir a data prevista para o empreendimento entrar em operação. Em seguida, o agente deve selecionar o ponto de conexão, sob a ótica do critério de mínimo custo global, no qual será selecionado a alternativa de conexão de menor custo de investimento nas instalações, considerando os custos de perdas elétricas (Guia de acesso ao sistema de transmissão, 2019a).

Em seguida, o agente inicia o processo para obter o ato autorizativo junto à ANEEL. Com a abertura do processo para obtenção do ato autorizativo, a ANEEL emite o Despacho de Requerimento de Outorga (DRO) para que o agente encaminhe ao ONS solicitando as informações de acesso, documento que atesta a viabilidade sistêmica da conexão do empreendimento no ponto de conexão.

Com a informação de acesso atestando a viabilidade de conexão no ponto definido, a ANEEL emite o ato autorizativo, regulando o agente como acessante e apto a realizar os estudos de integração.

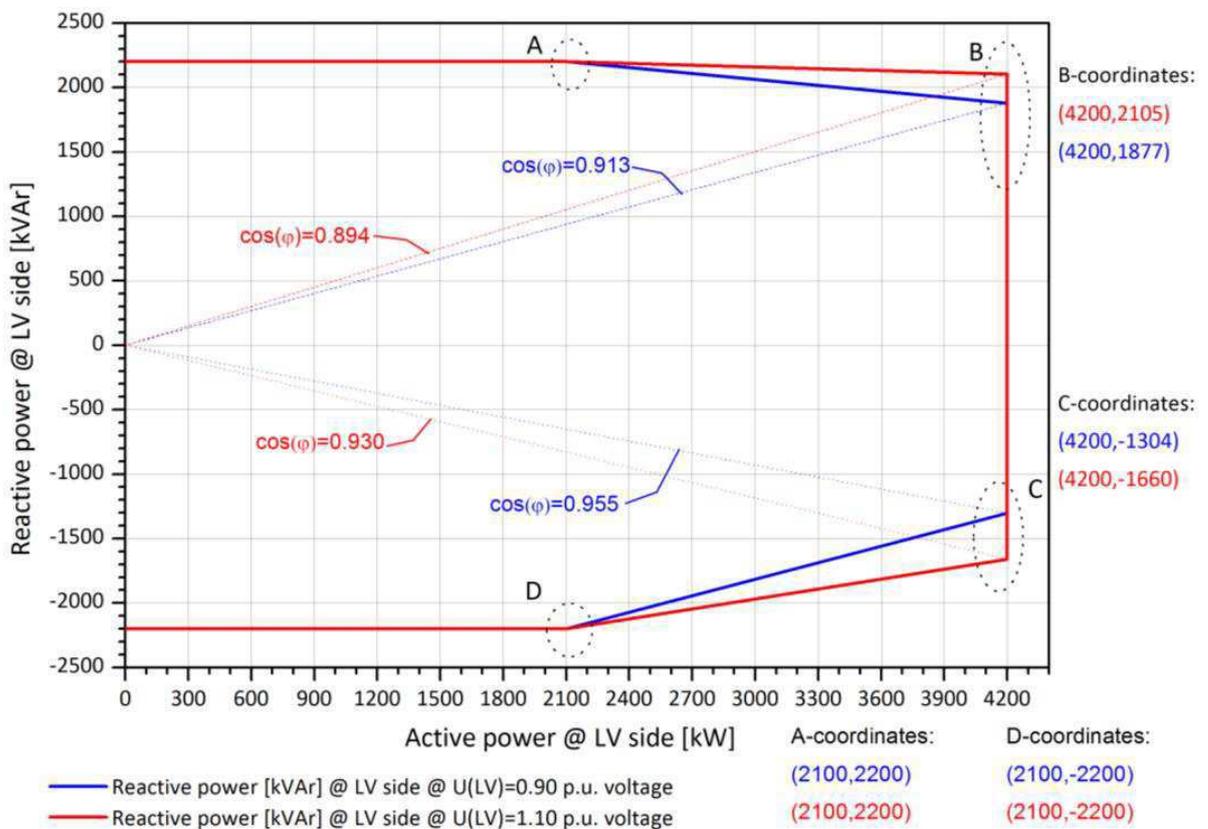
Agora o acessante pode iniciar o processo de acesso ao sistema de transmissão propriamente dito, para isto, o agente deve realizar os estudos de integração do empreendimento e encaminhar ao ONS junto com o ato autorizativo e as informações do acesso, conforme o submódulo 3.4 dos procedimentos de rede. O ONS irá conferir os documentos recebidos e avaliar os estudos de integração. Se não houver pendências impeditivas por parte do acessante, o ONS elabora e emite o Parecer de Acesso. Existindo pendências impeditivas, o acessante é informado pelo ONS na carta de resposta à sua solicitação de acesso. Nesse caso, o acessante deve solucionar as pendências e enviar as informações faltantes ao ONS.

Caso a venda de energia seja feito no Ambiente de contratação Regulada (ACR), a qual será negociada nos leilões de energia do Ministério de Minas e Energia (MME), no ato da venda, o MME se compromete em emitir o ato autorizativo, restando ao acessante realizar apenas os procedimentos mencionados no paragrafo anterior.

Com o parecer de acesso emitido, o acessante está apto para celebrar o Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST) com o ONS e o Contrato de Conexão às Instalações de Transmissão (CCT) com a transmissora acessada.

Cada aerogerador tem a capacidade de fornecer/absorver potência reativa na faixa de 1,660 Mvar indutivo à 2,105 Mvar capacitivo em potência nominal e tensão nos terminais da máquina em 1,1 pu, ou, fornecer/absorver potência reativa na faixa de 1,304 Mvar indutivo à 1,877 Mvar capacitivo em potência nominal e tensão nos terminais da máquina em 0,9 pu. Dessa forma, a CGE DIAS tem a capacidade de absorver até 29,8 Mvar ou fornecer até 37,8 Mvar em potência nominal. A Figura 5 mostra a carta de capacidade do aerogerador VESTAS V150.

Figura 5: Carta de capacidade do aerogerador VESTAS V150 - 4,2 MW.



Fonte: (VESTAS, 2017).

Por se tratar de uma máquina do tipo *full converter*, o aerogerador VESTAS V150 tem a capacidade de fornecer ou absorver potência reativa, mesmo fora da sua faixa operativa de geração de energia elétrica, para velocidades de ventos abaixo de 3 m/s (*Cut-in wind speed*) ou acima de 22,5 m/s (*Cut-out wind speed*). A Figura 6 mostra as informações complementares do aerogerador VESTAS V150.

Figura 6: Especificações técnicas do aerogerador VESTA V150 4,2 MW.

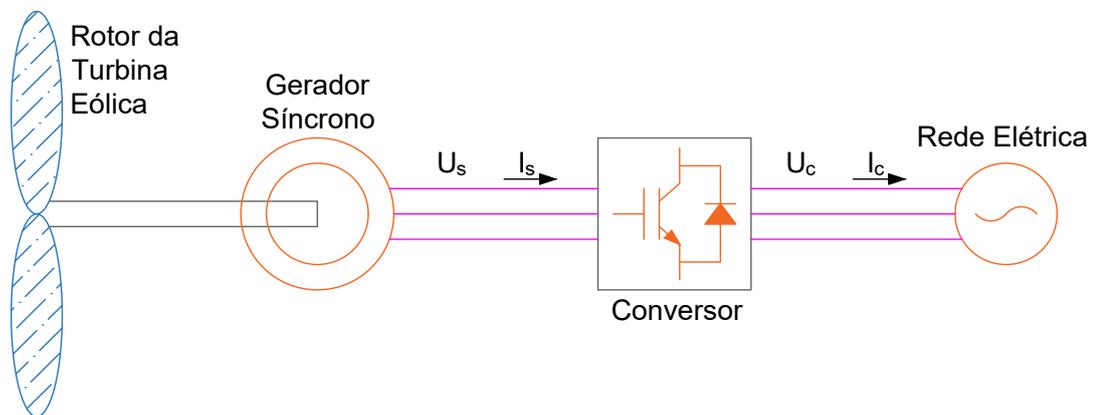
Technical Specifications

OPERATIONAL DATA		GEARBOX	
Rated power	4,000/4,200 kW	Type	two planetary stages and one helical stage
Cut-in wind speed	3 m/s	TOWER	
Cut-out wind speed	22.5 m/s	Hub heights	Site and country specific
Re cut-in wind speed	20 m/s	NACELLE DIMENSIONS	
Wind class	IEC III B	Height for transport	3.4 m
Standard operating temperature range	from -20°C* to +45°C with de-rating above 30°C	Height installed (incl. CoolerTop®)	6.9 m
SOUND POWER		Length	12.8 m
Maximum	104.9 dB	Width	4.2 m
	Sound Optimised modes dependent on site and country	HUB DIMENSIONS	
ROTOR		Max. transport height	3.8 m
Rotor diameter	150 m	Max. transport width	3.8 m
Swept area	17,671 m ²	Max. transport length	5.5 m
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders	BLADE DIMENSIONS	
ELECTRICAL		Length	73.7 m
Frequency	50/60 Hz	Max. chord	4.2 m
Converter	full scale	Max. weight per unit for transportation	70 metric tonnes

Fonte: (VESTAS, 2019).

A Figura 7 mostra o sistema do aerogerador VESTA V150 com conversor pleno entre a máquina e a rede elétrica, conhecida como *full converter* ou na denominação VESTAS, *GridStreamer* (GRST).

Figura 7: Sistema do aerogerador VESTA V150 4,2 MW tipo *full converter*.



Na base de cada aerogerador, encontra-se um transformador elevador 0,69Δ/34,5Υ kV de 4,7 MVA, que permite conectar os aerogeradores a uma rede aérea de 34,5 kV, que por sua vez, irá se conectar na subestação coletora. Os parâmetros dos transformadores e da rede aérea, encontram-se nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1: Transformadores elevadores 0,69/34,5 kV MVA dos aerogeradores.

Parâmetro	Base 4,7 MVA	Base 100 MVA	Equivalente de 18 Aerogeradores na Base de 100 MVA
Z_{pos}	7,52%	160%	8,89%

Tabela 2: Equivalente da Rede Interna em 34,5 kV da CGE DIAS.

Parâmetros na Base de 100 MVA			
Parâmetro	Resistência (R)	Reatância (X)	Susceptância (B)
Z_{pos}	1,0758%	2,8670%	0,0516%
Z_{zero}	2,3077%	4,2432%	0,1048%

A distância entre a CGE DIAS e o ponto de conexão é de 40 km. Dessa forma, houve a necessidade de uma subestação elevadora composta por um transformador de 34,5 kV/230 kV com regulação de tensão de $\pm 5\%$ (10 *steps*) e uma linha de transmissão circuito simples de 230 kV. Os parâmetros elétricos do transformador elevador e da linha de transmissão encontram-se nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3: Parâmetros elétricos do transformador elevador 34,5/230 kV.

Parâmetro	Base 100 MVA
Z_{pos}	12%

Tabela 4: Parâmetros elétricos da linha de transmissão 230 kV.

Parâmetros na Base de 100 MVA			
Parâmetro	Resistência (R)	Reatância (X)	Susceptância (B)
Z_{pos}	0,2941%	2,6924%	9,8704%
Z_{zero}	0,8823%	8,0773%	6,4572%

4 Estudos de Fluxo de Potência

4.1 Metodologia de Estudo

Os estudos foram realizados no ANAREDE Versão 11.2.4 do CEPEL, utilizando o caso e cenário com as premissas gerais e de análise de acesso no horizonte 2020 fornecidas pelo ONS, a saber:

- Cenário nordeste exportador, patamar de carga média: **NEEXP * 2020 * MÉDIA * EXPNE = 5.500 MW * FNNE = -4.049 MW * FSENE = -1.444 MW;**

As análises realizadas nos estudos, consideraram 100% da potência nominal despachadas pelas unidades geradoras com ponto de conexão na SE Mossoró IV. Os valores de despacho do cenário analisado foi alterado para 100% da potência nominal, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Centrais geradoras com ponto de conexão na SE Mossoró IV.

PARQUE EÓLICO	BARRA	Despacho 100%	NEEXP MÉDIA
EOL. Santo Inácio	6659	98,7	69
CGE DIAS	6094	75,6	52,8

As demais centrais geradoras eólicas e solares, foram consideradas de acordo com o cenários de referência obtido do ONS, a saber:

- 70% da capacidade nominal nas usinas eólicas localizadas no litoral;
- 75% da capacidade nominal nas usinas eólicas localizadas no interior;
- 90% da capacidade nominal de geração das usinas fotovoltaicas.

De acordo com os procedimentos de rede, os estudos de fluxo de potência necessários são (ONS, 2019c):

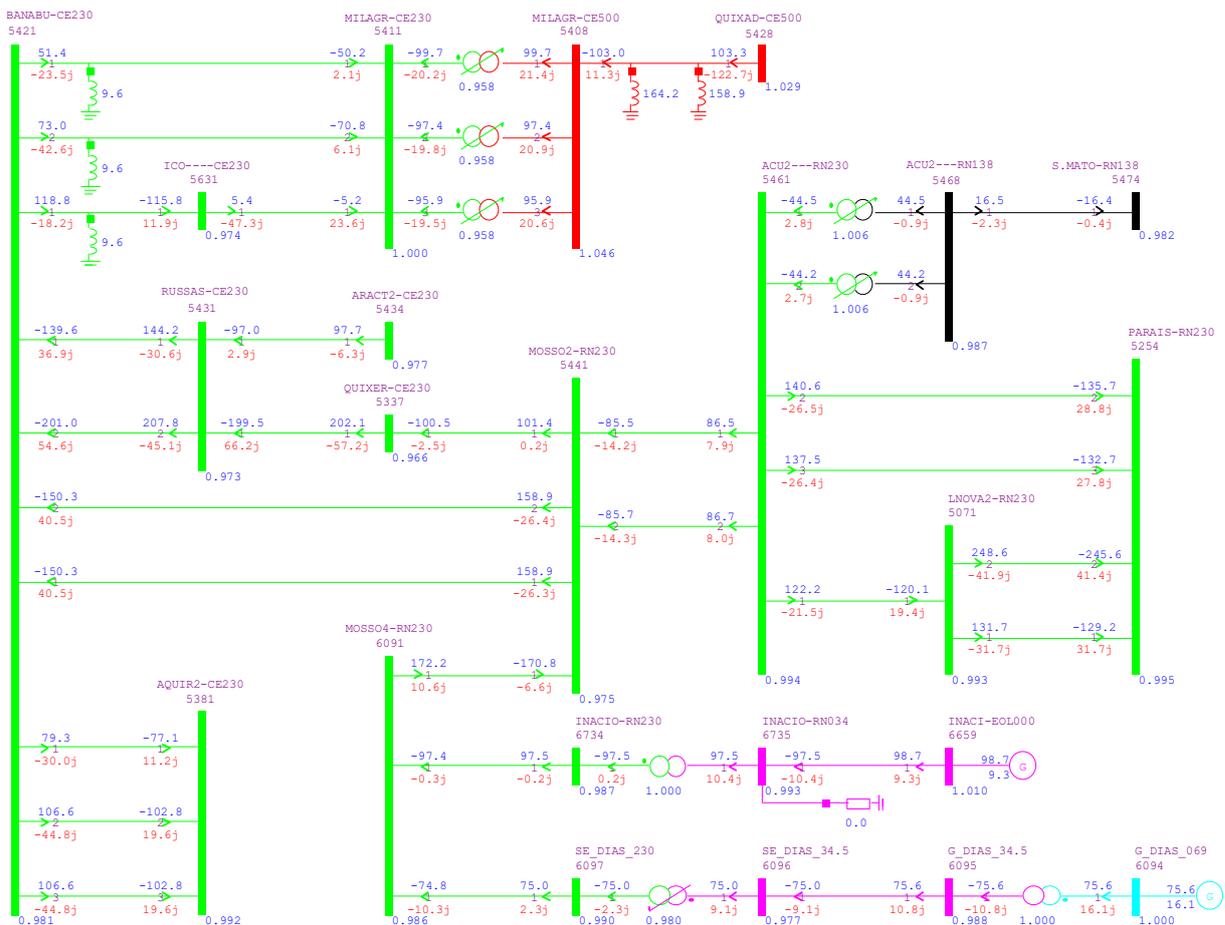
1. Regime Normal de Operação;
2. Operação com Potência Ativa Nula;
3. Perda Intempestiva da Central Geradora;

4. Atendimento ao Critério de Fator de Potência;
5. Análise de Contingência (Critério N-1);
6. Limite de Estabilidade Estática de Tensão.

4.2 Regime Normal de Operação

Utilizando o caso base fornecido pelo ONS, cenário nordeste exportador patamar de carga média no horizonte de 2020, foi introduzida a CGE DIAS com ponto de conexão na SE Mossoró IV. A Figura 8 mostra o perfil de tensão nas barras de rede básica, assim como o carregamento das linhas de transmissão nas proximidades da CGE DIAS.

Figura 8: Sistema elétrico em regime normal de operação com a CGE DIAS.

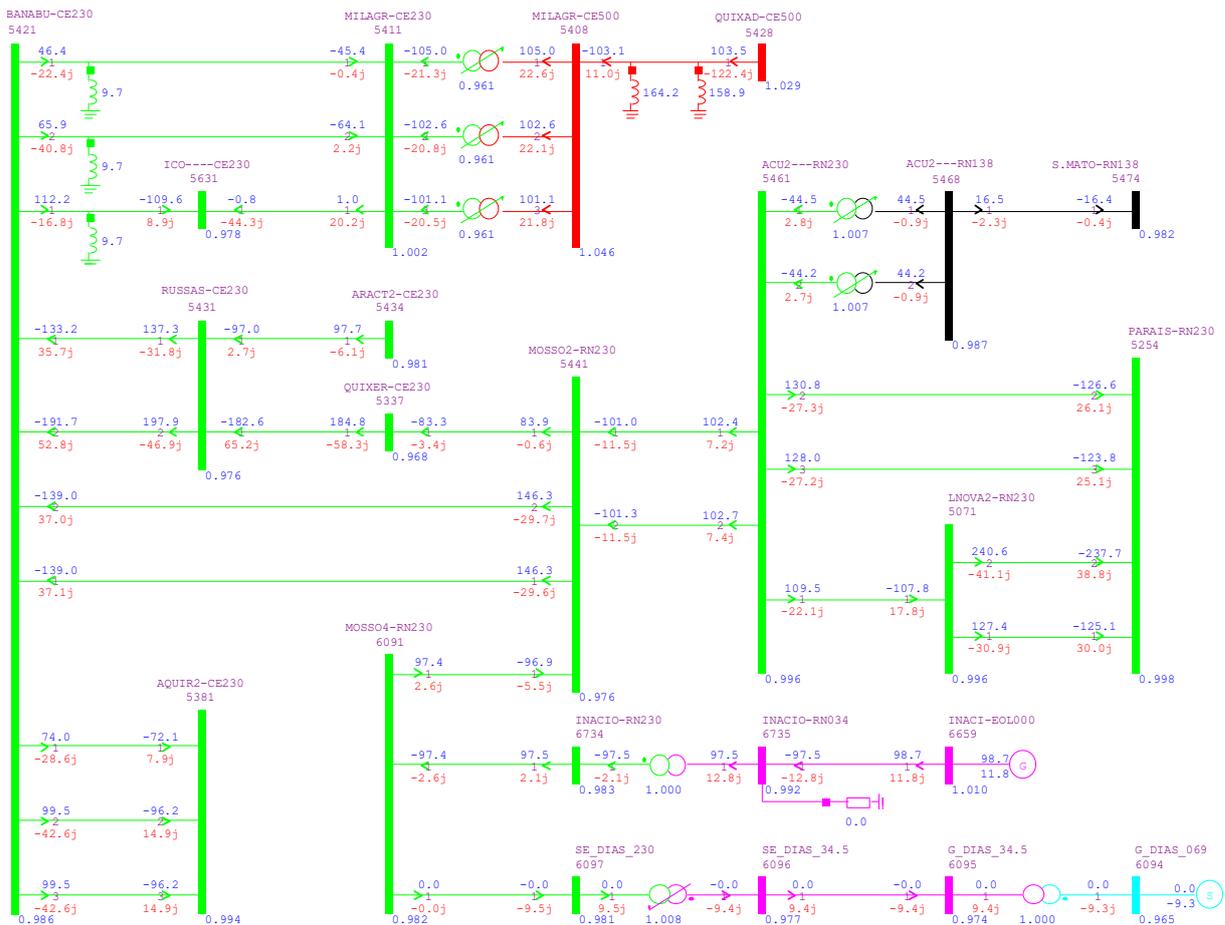


4.3 Operação com Potência Ativa Nula

Na condições em que os geradores não estejam gerando potência ativa (abaixo do *Cut-in wind speed* ou acima do *Cut-out wind speed*), a central de geração eólica deverá ter recursos de controle para disponibilizar ao SIN sua capacidade de geração ou absorção de potência reativa, observando o requisito mínimo de propiciar injeção ou absorção nula no ponto de conexão (ONS, 2019c).

A compensação reativa da CGE DIAS será feita fazendo uso da capacidade de geração e absorção dos 18 aerogeradores que a compõem. A Figura 9, mostra a operação do parque com potência ativa nula no cenário em estudo, na qual a CGE DIAS absorve 9,3 Mvar para anular a injeção de reativo no ponto de conexão.

Figura 9: CGE DIAS com geração de potência ativa nula.



4.4 Atendimento ao Critério de Fator de Potência

A central geradora deve ter capacidade de fornecer ou absorver reativo com fator de potencia 0,95 em toda faixa operativa de tensão no ponto de conexão (ONS, 2019c).

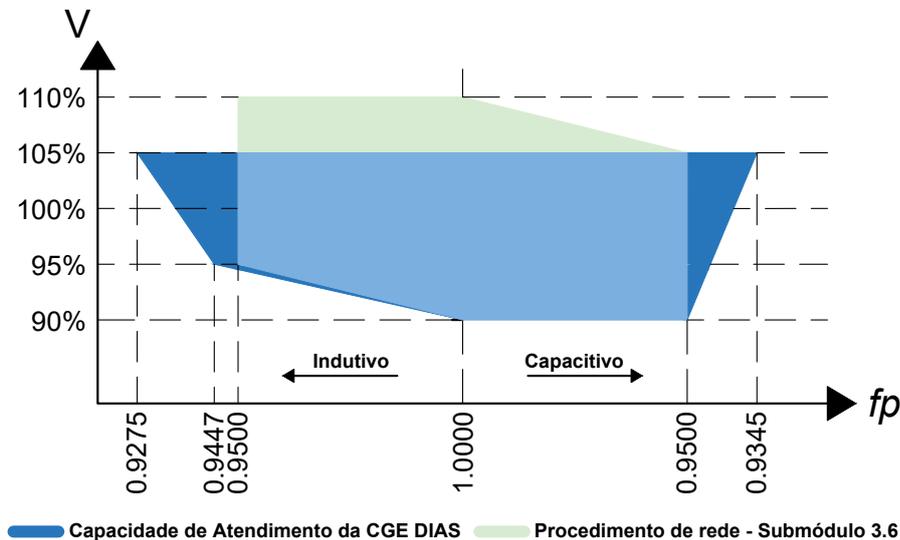
Foi analisada a injeção e absorção de potência reativa da CGE DIAS, para isto, foi considerado os grupos limites de tensão da Tabela 6 e a carta de capacidade do aerogerador VESTAS V150 mostrada anteriormente na Figura 5.

Tabela 6: Grupo limite de tensão.

Tensão (kV)	$V_{Min.Normal}$	$V_{Max.Normal}$	$V_{Min.Emergencia}$	$V_{Max.Emergencia}$
0,69	0,90	1,10	0,87	1,13
34,5	0,90	1,10	0,90	1,10
230	0,95	1,05	0,90	1,05

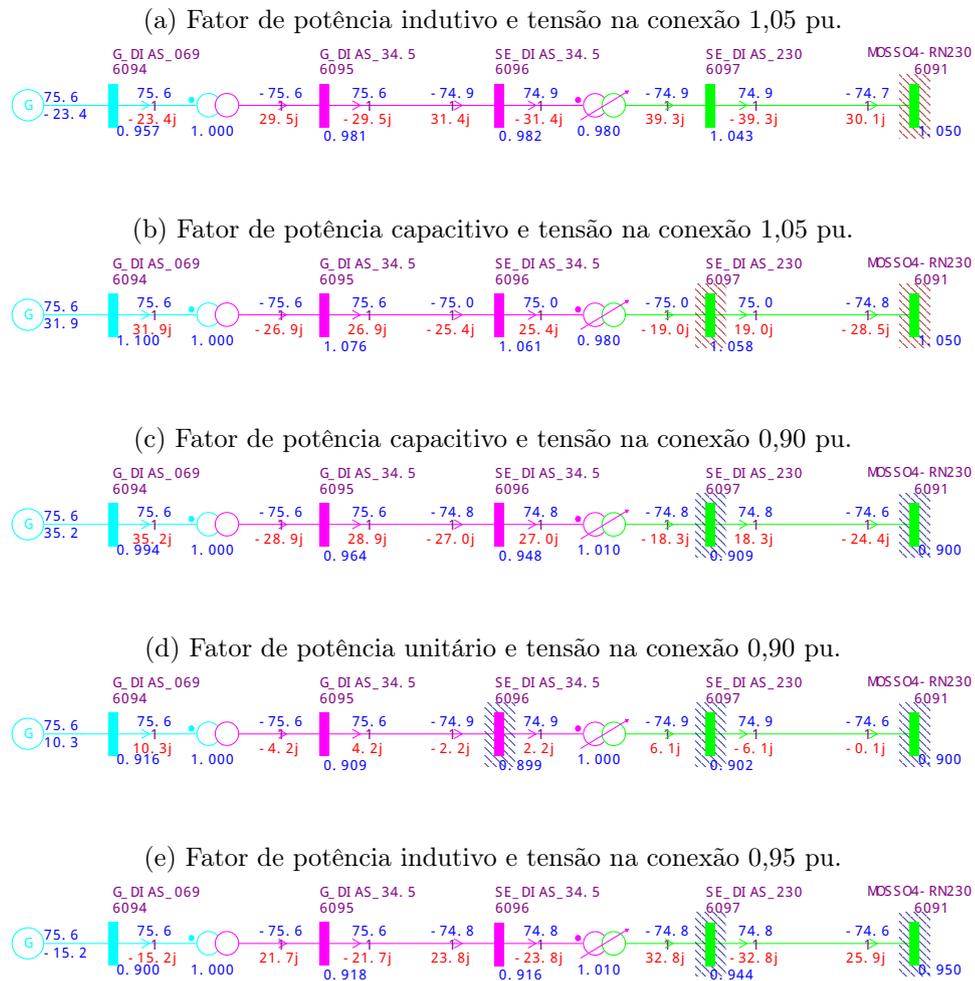
A capacidade de fornecer ou absorver reativo da CGE DIAS no ponto de conexão é ilustrada em azul na Figura 10. A tensão no ponto de conexão foi limitada em 1,05 pu devido ao limite do grupo de tensão do 230 kV (Tabela 6). A curva em cinza foi retirada do Submódulo 3.6 dos Procedimentos de Rede (ONS, 2019c).

Figura 10: Capacidade da CGE DIAS em fornecer ou absorver reativo na conexão.



Para explorar toda capacidade de absorção ou fornecimento de potência reativa dos aerogeradores, foi necessário excursionar o *TAP* do transformador para evitar sobretensões nas instalações da CGE DIAS. As simulações realizadas para encontrar a curva de capacidade de fornecimento de reativo da CGE DIAS são ilustradas na Figura 11.

Figura 11: Capacidade da CGE DIAS em fornecer ou absorver reativo na conexão - Simulações.



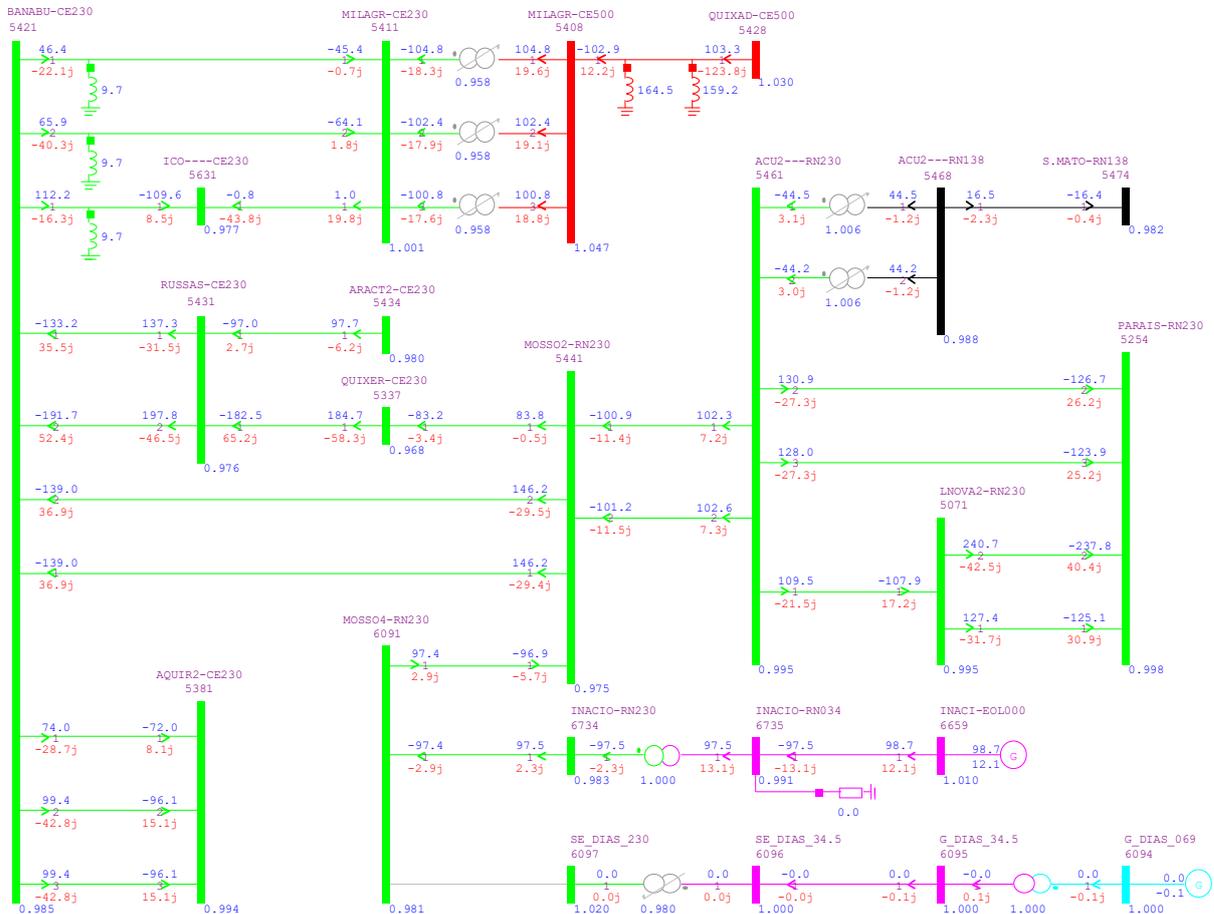
4.5 Perda Intempestiva da CGE DIAS

A perda intempestiva da central geradora não pode ocasionar variações de tensões acima de 5% em relação a de regime normal (ONS, 2019c). Foi simulado a perda intempestiva da CGE DIAS considerando os *TAPs* dos transformadores congelados. Em seguida, os resultados foram comparados com o caso do sistema elétrico operando em regime normal de operação. Os resultados se encontram na Tabela 7. De acordo com a Tabela 7, a maior variação de tensão foi de 0,5%, valor bem inferior ao limite estabelecido nos procedimentos de rede. A Figura 12 mostra o perfil de tensão quando ocorre a perda intempestiva da CGE DIAS.

Tabela 7: Variações das tensões na perda intempestiva da CGE DIAS.

Barra	Regime Normal (V_{pu})	Perda Intempestiva (V_{pu})	ΔV (%)
Mossoró IV 230 kV	0,986	0,981	0,5
Mossoró II 230 kV	0,975	0,975	0
Açú II 138 kV	0,987	0,988	0,1
Açú II 230 kV	0,994	0,995	0,1
San. dos Matos 138 kV	0,982	0,982	0
Lagoa Nova 230 kV	0,993	0,995	0,2
Paraíso 230 kV	0,995	0,998	0,3
Quixeré 230 kV	0,966	0,968	0,2
Acarati 230 kV	0,977	0,980	0,3
Russas 230 kv	0,973	0,976	0,3
Banabuiú 230 kV	0,981	0,985	0,4
Icó 230 kV	0,974	0,977	0,3
Aquiraz 230 kV	0,992	0,994	0,2
Milagres 230 kV	1,000	1,001	0,1
Milagres 500 kV	1,046	1,047	0,1
Quixadá 500 kV	1,029	1,03	0,1

Figura 12: Perda intempestiva da CGE DIAS.



4.6 Análise de Contingência (Critério N-1)

Foram realizadas contingências simples (N-1) para de avaliar o perfil de tensão e o carregamento das linhas de transmissão. As contingências simuladas são listadas a seguir e foram simuladas em regime normal de operação com o máximo despacho da CGE DIAS e do Conjunto Eólico Santo Inácio, ambos com ponto de conexão na SE Mossoró IV.

1. LT 230 kV Mossoró II - Açú II C1;
2. LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1;
3. LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1;
4. LT 230 kV Açú II - Lagoa Nova II C1;
5. LT 230 kV Açú II - Paraíso C2;
6. LT 230 kV Lagoa Nova - Paraíso C2;
7. LT 230 kV Quixeré - Russas C1;
8. LT 230 kV Russas - Banabuiú C2;
9. LT 230 kV Banabuiú - Icó C1;
10. LT 230 kV Banabuiú - Aquiraz II C2;
11. LT 230 kV Banabuiú - Milagres C2;
12. LT 230 kV Icó - Milagres C1;
13. ATR 500/230 kV Milagres.

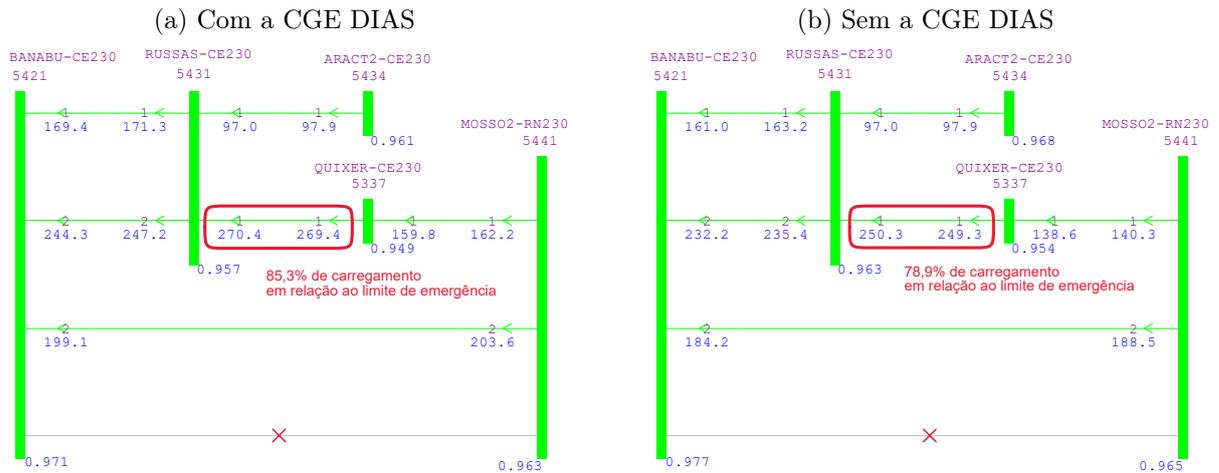
A contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1 ocasionou violação do limite de carregamento em condições normais de operação da LT 230 kV Quixeré - Russas C1, sendo este limite de 251 MVA. No entanto, a transmissora informou ao ONS que a linha de transmissão pode operar em regime de emergência com carregamento de até 317 MVA. O carregamento da LT 230 kV Quixeré - Russas C1 foi de 270,4 MVA como pode ser visto na Figura 13. Dessa forma, a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1 não ocasiona medidas restritivas no cenário em estudo.

Também foi verificado que LT 230 kV Quixeré - Russas C1 já atingia o limite normal de carregamento, na ocorrência da contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1, mesmo sem a presença da CGE DIAS. A presença da CGE DIAS aumenta em 6,4% o carregamento da LT 230 kV Quixeré - Russas C1 quando ocorrido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1. A Tabela 8 mostra a comparação dos carregamentos sem e com a CGE DIAS.

Tabela 8: Carregamento na LT 230 kV Quixeré - Russas C1 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.

CASO	Carregamento		Limite	
	(MVA)	(%)	Normal	Emergência
Com a CGE DIAS	270,4	85,3	251 MVA	317 MVA
Sem a CGE DIAS	250,3	78,9		

Figura 13: Contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.



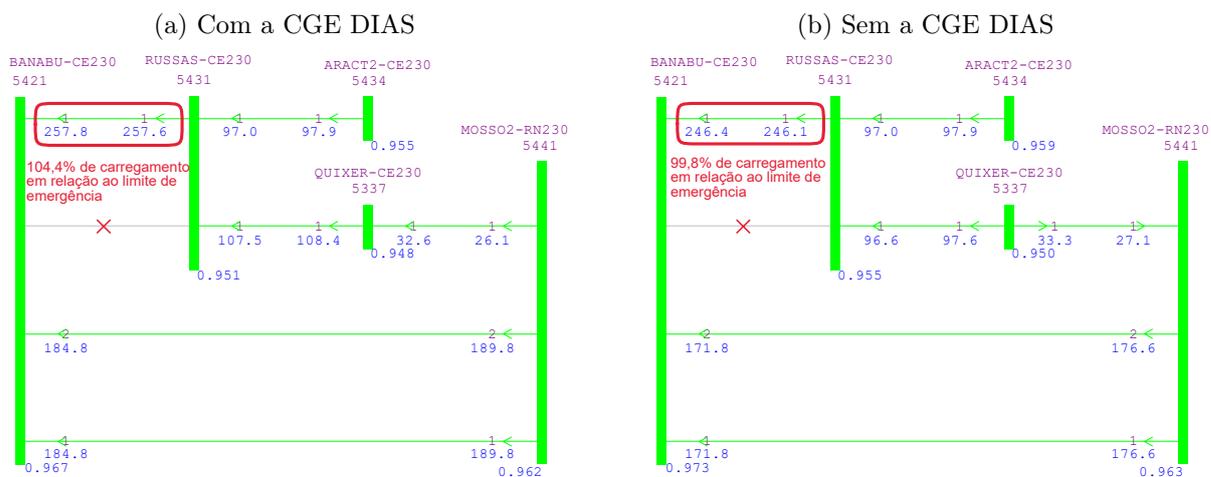
Já a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2 ocasionou violação de carregamento do circuito em paralelo (C1), tanto no limite normal de operação quanto o de emergência, que são de 174 e 247 MVA respectivamente. O carregamento da LT 230 kV Russas - Banabuiú C1 foi de 257,8 MVA (4,4% acima do limite de emergência) como pode ser visto na Figura 14. Dessa forma, a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2 pode ocasionar medidas restritivas, como por exemplo corte de geração.

Essa contingencia também foi simulada sem a presença da CGE DIAS, e foi verificado que o carregamento fica na iminência de violar o limite de emergência. A presença da CGE DIAS aumentou esse carregamento em 4,6%. A Tabela 9 mostra a comparação dos carregamentos sem e com a CGE DIAS.

Tabela 9: Carregamento na LT 230 kV Russas - Banabuiú C1 devido a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.

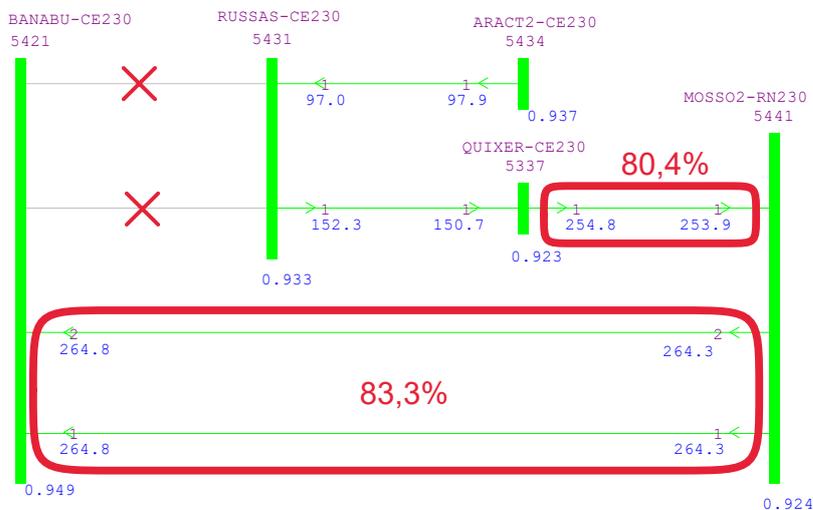
CASO	Carregamento		Limite	
	(MVA)	(%)	Normal	Emergência
Com a CGE DIAS	257,8	104,4	174 MVA	247 MVA
Sem a CGE DIAS	246,4	99,8		

Figura 14: Contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.



Dada a situação anterior, foi simulada a contingência dupla (N-2) das LTs 230 kV Russas - Banabuiú (C1 e C2).

Figura 15: Contingência dupla das LTs 230 kV Russas - Banabuiú (C1 e C2).

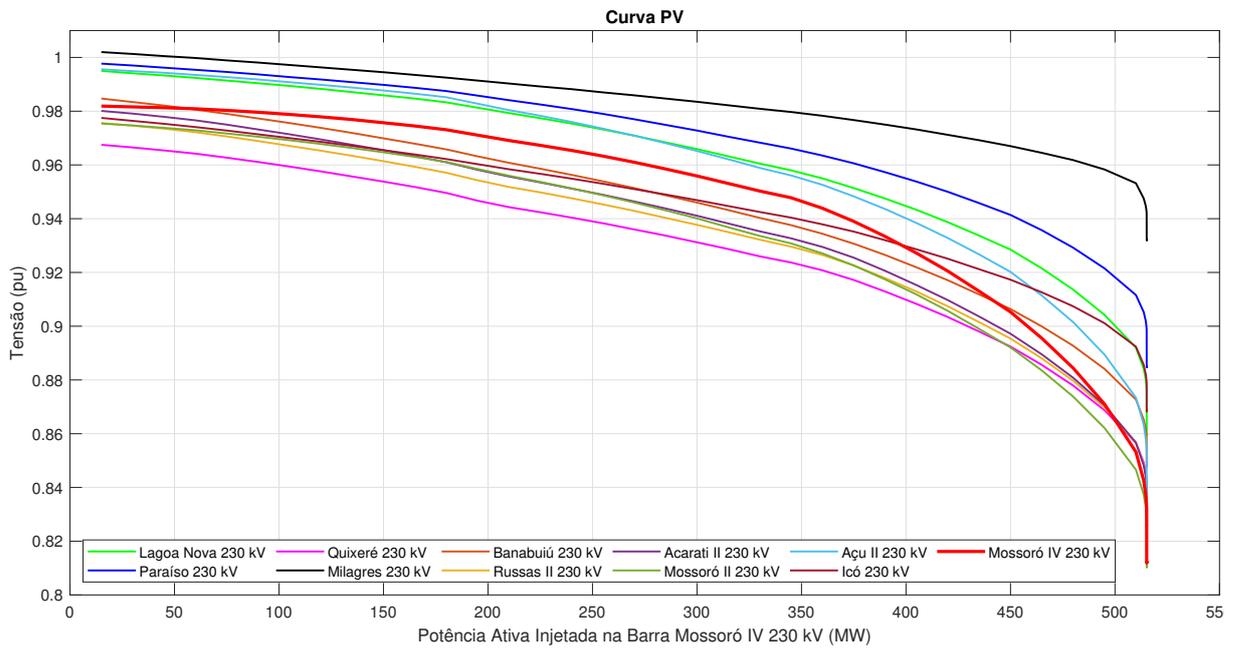


Com a retirada da LT 230 kV Russas - Banabuiú C1, que até então estava em sobrecarga, o sistema evolui para um ponto de operação sem causar sobrecarga nas linhas de transmissão. O carregamento nas LTs 230 kV Mossoró II - Banabuiú (C1 e C2) foi 83,3% e na LT 230 kV Mossoró II - Quixeré foi de 80,4% em relação ao limite de emergência, conforme pode ser visto na Figura 15.

4.7 Sensibilidade de Tensão

No estudo de sensibilidade de tensão, foram aplicados acréscimos de potência ativa na barra de Mossoró IV de 15 em 15 MW até atingir o limite de estabilidade estática de tensão. A curva PV da Figura 16 mostra o comportamento das tensões dos barramentos nas proximidades da CGE DIAS. É considerado limite seguro de injeção de potência o valor correspondente a 93% da potência que provoca o colapso de tensão (ONS, 2019c).

Figura 16: Fluxo de Potência Continuado



De acordo com a Figura 16, pode-se concluir que o despacho de 75,6 MW da CGE DIAS não ocasiona problemas de colapso de tensão.

5 Estudos de Curto-Circuito

5.1 Metodologia de Estudo

Os estudos foram realizados no ANAFAS Versão 7.2.3 do CEPEL, utilizando o caso com as premissas gerais e de análise de acesso no horizonte 2020 fornecidas pelo ONS:

- Ciclo do PAR 2020 - 2024, configuração dezembro de 2020: **BR2012PC.ANA**.

As análises realizadas neste estudo consideraram 100% da potência nominal despachadas pelas unidades geradora e a representação de todos os equipamentos que impacta os estudos de curto-circuito.

As análises foram realizadas aplicando curto-circuito monofásico e trifásico em barras da rede básica nas proximidade da CGE DIAS e verificado se houve superação da capacidade de interrupção dos disjuntores.

5.2 Curto-Circuito Monofásico

Aplicou-se curto-circuito monofásico nas barras de rede básica, com e sem a presença da CGE DIAS. A Tabela 10 mostra as informações referente ao nível de curto-circuito, aumento da corrente de curto-circuito ΔI_{cc} e a maior relação $I_{cc}/CIMD$.

Tabela 10: Níveis de curto-circuito monofásico.

BARRA	Curto-Circuito Monofásico			Capacidade de Interrupção do Menor Disjuntor CIMD (kA)	Maior Relação $I_{cc}/CIMD$ (%)
	Sem CGE I_{cc} (kA)	Com CGE I_{cc} (kA)	ΔI_{cc} (kA)		
Lagoa Nova II 230 kV	10,14 /-83,4°	10,18 /-83,4°	0,04	-	-
Paraíso 230 kV	9,24 /-78,8°	9,28 /-78,8°	0,04	40	23,2
Quixadá 500 kV	7,60 /-84,7°	7,54 /-84,7°	-0,06	50	15,2
Aquiraz II 230 kV	21,37 /-82,3°	21,42 /-82,3°	0,05	40	53,6
Milagres 500 kV	12,72 /-84,2°	12,74 /-84,2°	0,02	50	25,5
Milagres 230 kV	24,05 /-83,7°	24,09 /-83,7°	0,04	40	60,2
Banabuiú 230 kV	12,11 /-80,5°	12,20 /-80,5°	0,09	11,8	103,4
Quixeré 230 kV	7,95 /-81,5°	8,05 /-81,5°	0,10	-	-
Russas II 230 kV	9,68 /-82,1°	9,77 /-92,1°	0,09	50	19,5
Aracati II 230 kV	4,13 /-83,2°	4,17 /-83,2°	0,04	-	-
Mossoró II 230 kV	12,71 /-82,6°	12,97 /-82,6°	0,26	50	25,9
Açu II 230 kV	12,78 /-82,4°	12,89 /-82,4°	0,11	40	32,2
Açu II 138 kV	8,10 /-85,7°	8,16 /-85,7°	0,06	20	40,8
S. do Matos II 138 kV	2,94 /-78,5°	2,96 /-78,5°	0,02	18,9	15,7
Icó 230 kV	5,70 /-79,2°	5,73 /-79,2°	0,03	40	6,83
Mossoró IV 230 kV	5,08 /-82,4°	5,53 /-82,5°	0,45	20	27,7

De acordo com a Tabela 10, houve o aumento da corrente de curto-circuito em 450 Amperes na barra de Mossoró IV, sendo esta o ponto de conexão da CGE DIAS. A presença da CGE DIAS não provoca superação da capacidade de interrupção da corrente de curto-circuito, que passou de 25,4% para 27,7%.

Ainda de acordo com a Tabela 10, as demais simulações mostraram que não houve variações significativas nos níveis de curto-circuito devido a presença da CGE DIAS.

As Figuras 17 e 18 mostram as correntes de curto-circuito nas proximidades da CGE DIAS, na ocorrência de um curto-circuito monofásico no ponto de conexão da CGE DIAS.

Figura 17: Curto-circuito fase-terra na barra Mossoró IV sem o CGE DIAS.

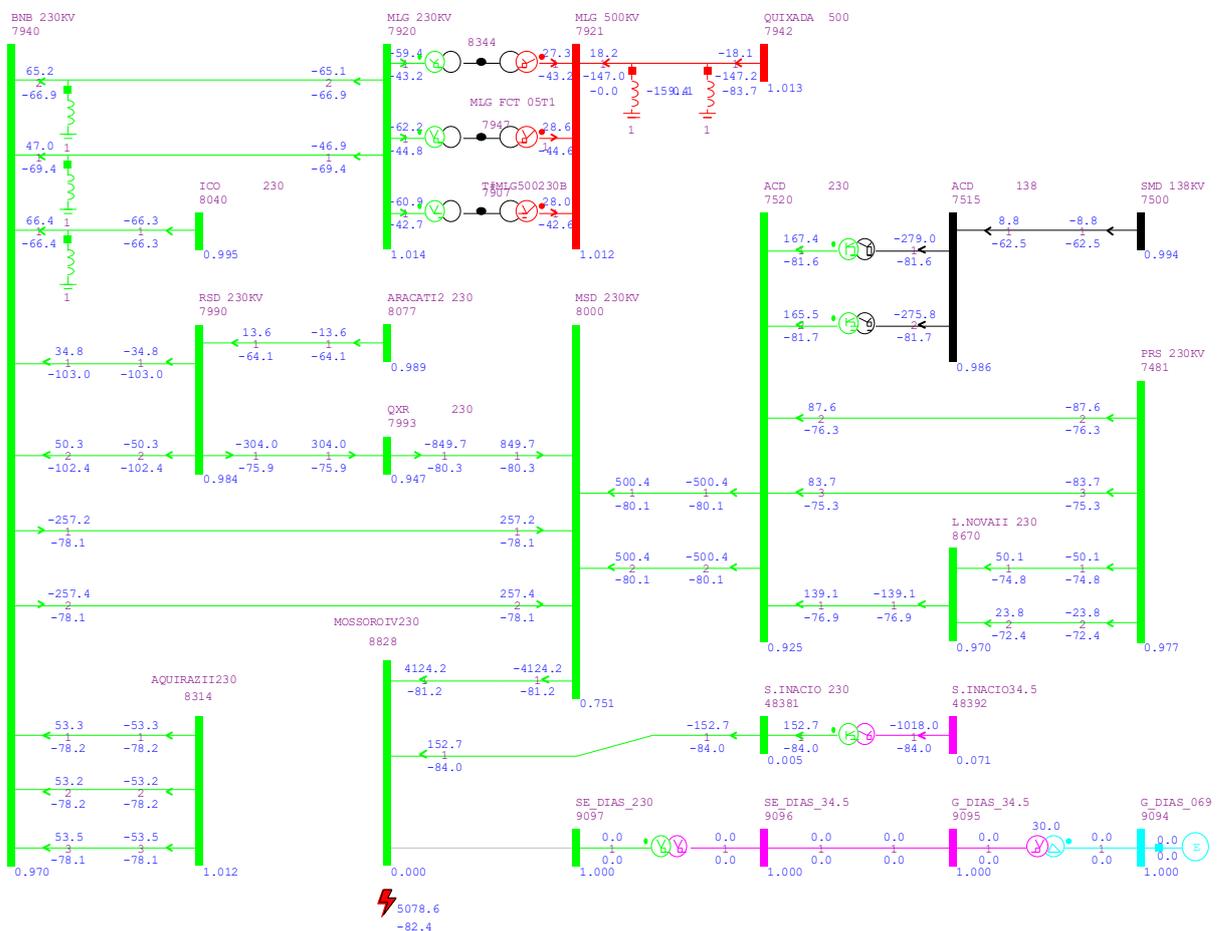
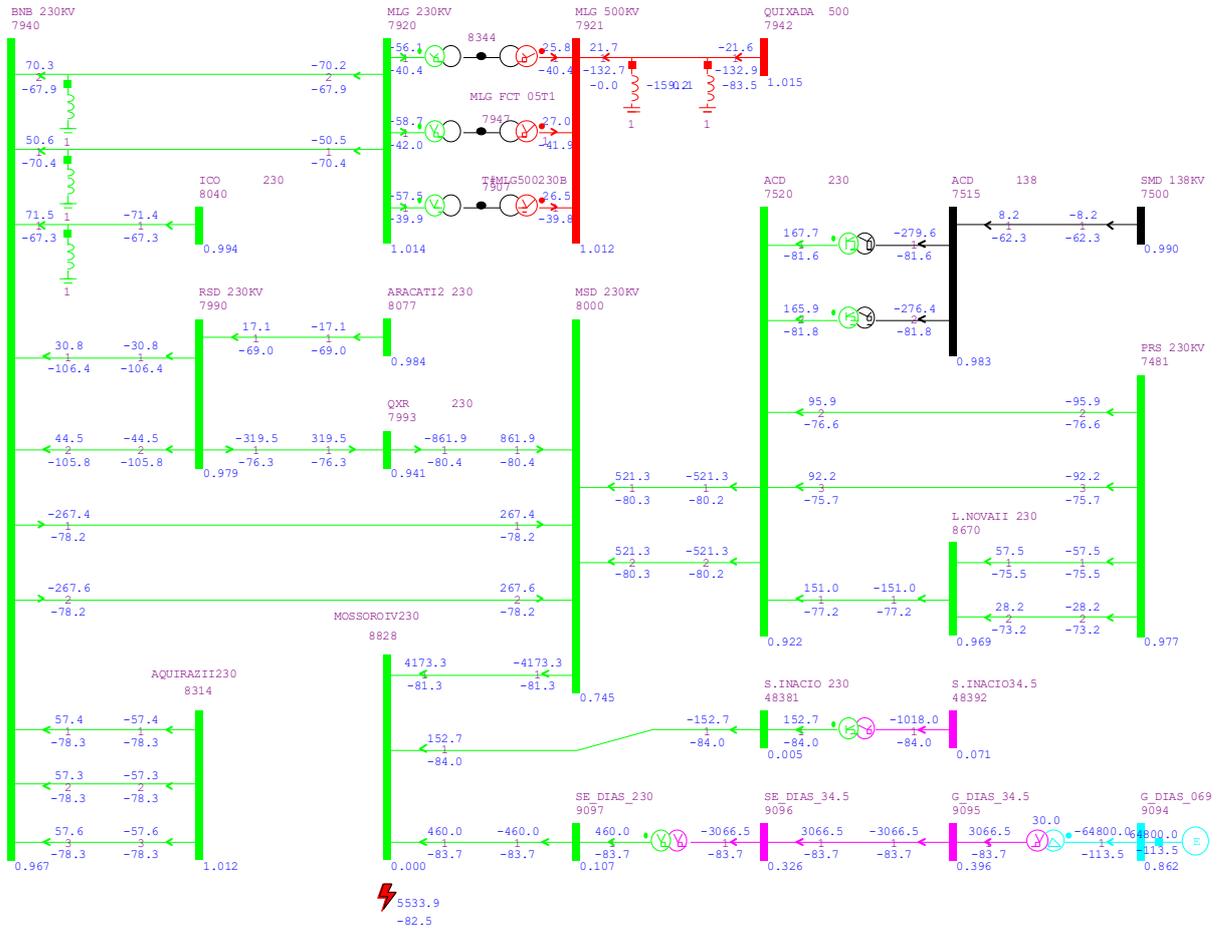


Figura 18: Curto-circuito fase-terra na barra Mossoró IV com o CGE DIAS.



5.3 Curto-Circuito Trifásico

Foram realizadas simulações aplicando curto-circuito trifásico nas barras de rede básica, com e sem a presença da CGE DIAS. A Tabela 11 mostra as informações referente ao nível de curto-circuito, aumento da corrente de curto-circuito ΔI_{cc} e a maior relação $I_{cc}/CIMD$.

De acordo com a Tabela 11, houve o aumento da corrente de curto-circuito em 194 Amperes na barra de Mossoró IV, sendo esta o ponto de conexão da CGE DIAS. A presença da CGE DIAS não provoca superação da capacidade de interrupção da corrente de curto-circuito, que passou de 24,8% para 25,7%.

As Figuras 19 e 20 mostram as correntes de curto-circuito nas proximidades da CGE DIAS na ocorrência de um curto-circuito trifásico no ponto de conexão da CGE DIAS.

Tabela 11: Níveis de curto-circuito trifásico.

BARRA	Curto-Circuito Trifásico			Capacidade de Interrupção do Menor Disjuntor CIMD (kA)	Maior Relação $I_{cc}/CIMD$ (%)
	Sem CGE I_{cc} (kA)	Com CGE I_{cc} (kA)	ΔI_{cc} (kA)		
Lagoa Nova II 230 kV	9,33 / -82,7°	9,38 / -82,7°	0,05	-	-
Quixadá 500 kV	9,79 / -85,2°	9,80 / -85,2°	0,01	50	19,6
Aquiraz II 230 kV	20,84 / -83,1°	20,89 / -83,1°	0,05	40	52,2
Milagres 500 kV	12,11 / -83,6°	12,13 / -83,6°	0,02	50	24,3
Milagres 230 kV	22,71 / -83,0°	22,75 / -83,0°	0,04	40	56,9
Banabuiú 230 kV	12,56 / -79,8°	12,65 / -79,9°	0,09	11,9	106,3
Quixeré 230 kV	7,18 / -81,3°	7,26 / -81,3°	0,08	-	-
Russas II 230 kV	8,04 / -81,3°	8,11 / -81,3°	0,07	50	16,2
Aracati II 230 kV	4,09 / -82,5°	4,12 / -82,5°	0,03	-	-
Mossoró II 230 kV	10,89 / -82,0°	11,09 / -82,1°	0,2	50	22,2
Açu II 230 kV	12,98 / -83,9°	13,09 / -83,9°	0,11	40	32,7
Açu II 138 kV	7,70 / -87,7°	7,76 / -87,7°	0,06	20	38,8
S. do Matos II 138 kV	2,44 / -77,1°	2,46 / -77,1°	0,02	18,9	13,0
Icó 230 kV	5,50 / -77,1°	5,53 / -77,1°	0,03	40	13,8
Mossoró IV 230 kV	4,96 / -82,2°	5,15 / -82,2°	0,19	20	25,7

Figura 19: Curto-circuito trifásico na barra Mossoró IV sem o CGE DIAS.

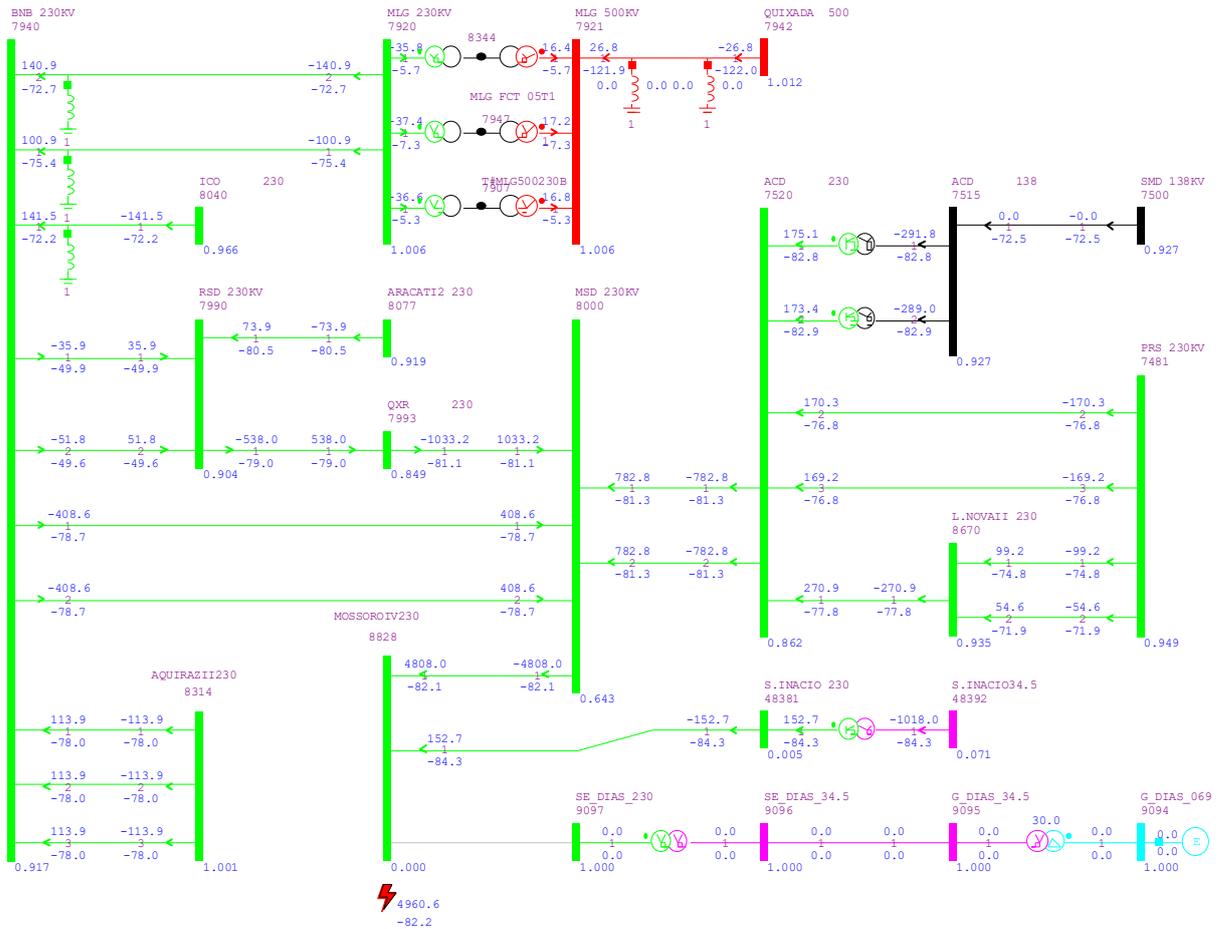
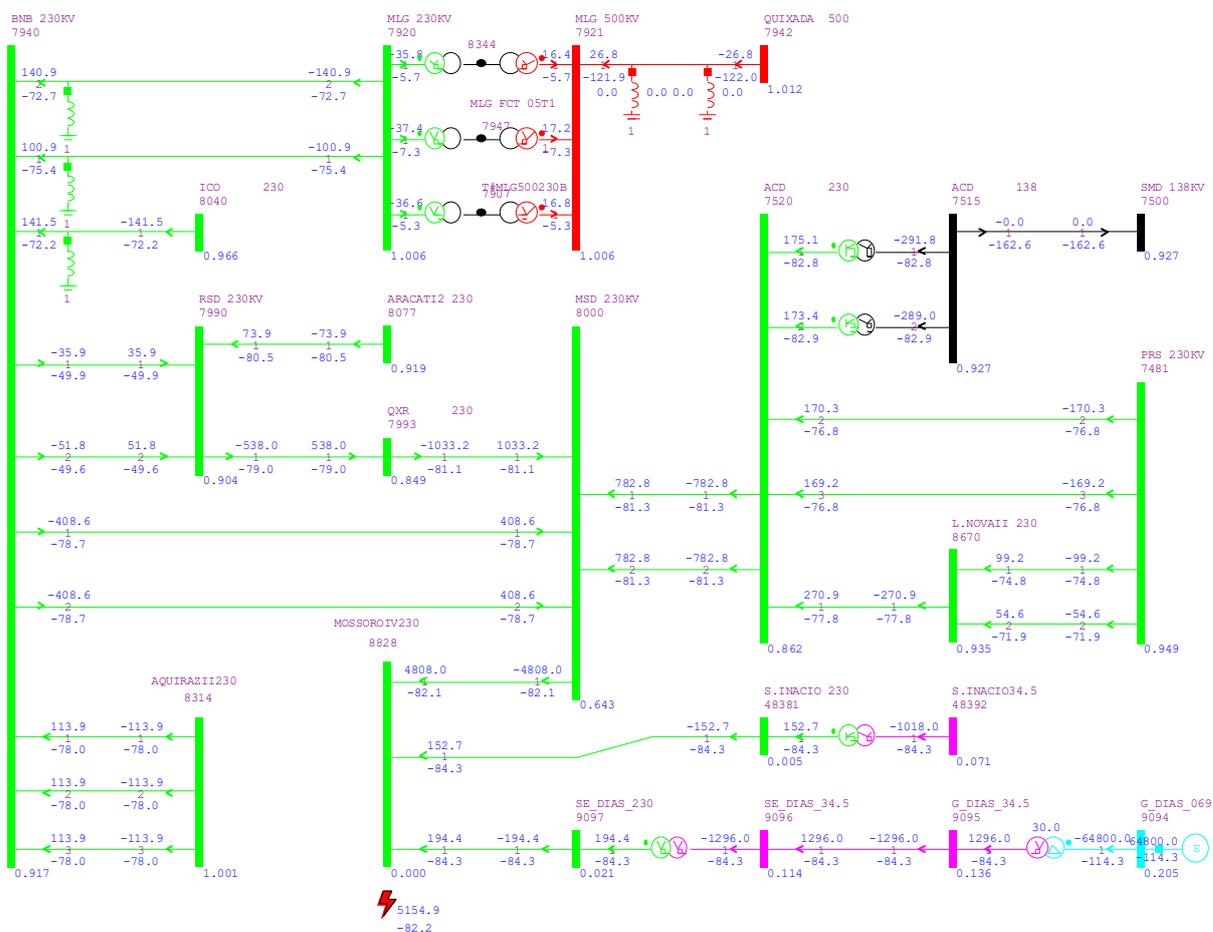


Figura 20: Curto-circuito trifásico na barra Mossoró IV com o CGE DIAS.



Durante as análises, foi verificado que o menor disjuntor da subestação de Banabuiú 230 kV está superado, mesmo antes da introdução da CGE DIAS, com pode ser verificado nas Tabelas 10 e 11.

6 Estudos de Estabilidade Eletromecânica

6.1 Metodologia de Estudo

Os estudos foram realizados no ANATEM Versão 11.7.0 do CEPTEL, utilizando o caso e cenário com as premissas gerais e de análise de acesso no horizonte 2020 e a base de dados para simulações de transitórios eletromecânicos do ONS:

- Cenário nordeste exportador, patamar de carga média: **NEEXP * 2020 * MÉDIA * EXPNE = 5.500 MW * FNNE = -4.049 MW * FSENE = -1.444 MW**;
- Base de dados para análise de transitórios eletromecânicos: **Bdados**.

O modelo do controlador do aerogerador VESTAS V150 é confidencial. Dessa forma, para fins didático e para realizar as simulações no presente trabalho, foi utilizado um modelo de controlador fonte de corrente, típico da base dados do ONS, já que se trata de um aerogerador do tipo *full converter*. Sendo assim, a dinâmica do aerogerador VESTA V150 demonstrada neste trabalho, **não representa a dinâmica real do aerogerador VESTAS V150**.

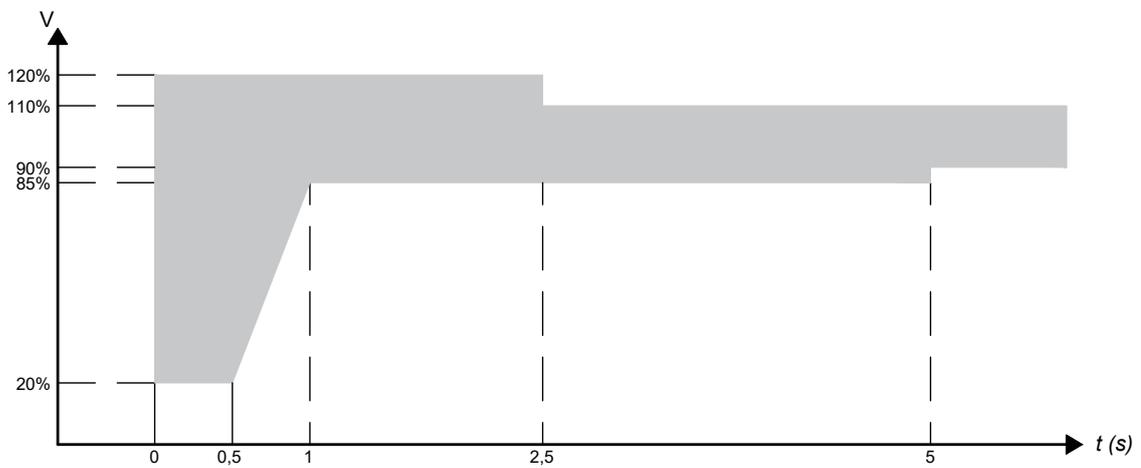
Os estudos em regime dinâmico realizados neste trabalho, tem como objetivo avaliar os impactos dinâmicos da CGE DIAS sobre a rede básica e verificar a resposta da CGE DIAS frente à ocorrência de defeitos na rede básica, no que diz respeito à capacidade das unidades geradoras permanecerem conectadas ao sistema e a sua resposta nos períodos do defeito e pós-defeito. As contingencias simuladas neste trabalho são listadas a seguir:

- LT 230 kV DIAS - Mossoró IV C1;
- LT 230 kV Mossoró II - Açú II C1;
- LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1;
- LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1;
- LT 230 kV Russas - Quixeré C1.

O tempo total de eliminação de todos os tipos de faltas não deve exceder 150 ms para unidades geradoras que acessam a rede básica com conexão em nível de tensão igual ou inferior a 230 kV (ONS, 2019c).

Caso haja variações temporárias de tensão no ponto de conexão, a central geradora deve continuar operando (sem desconexão) se a tensão nos terminais dos aerogeradores ou inversores permanecer dentro da região indicada na Figura 21. Esta característica aplica-se a qualquer tipo de distúrbio, sejam eles provocados por rejeição de carga, defeitos simétricos ou assimétricos (ONS, 2019c).

Figura 21: Requisitos de suportabilidade a subtensões e sobretensões dinâmicas.



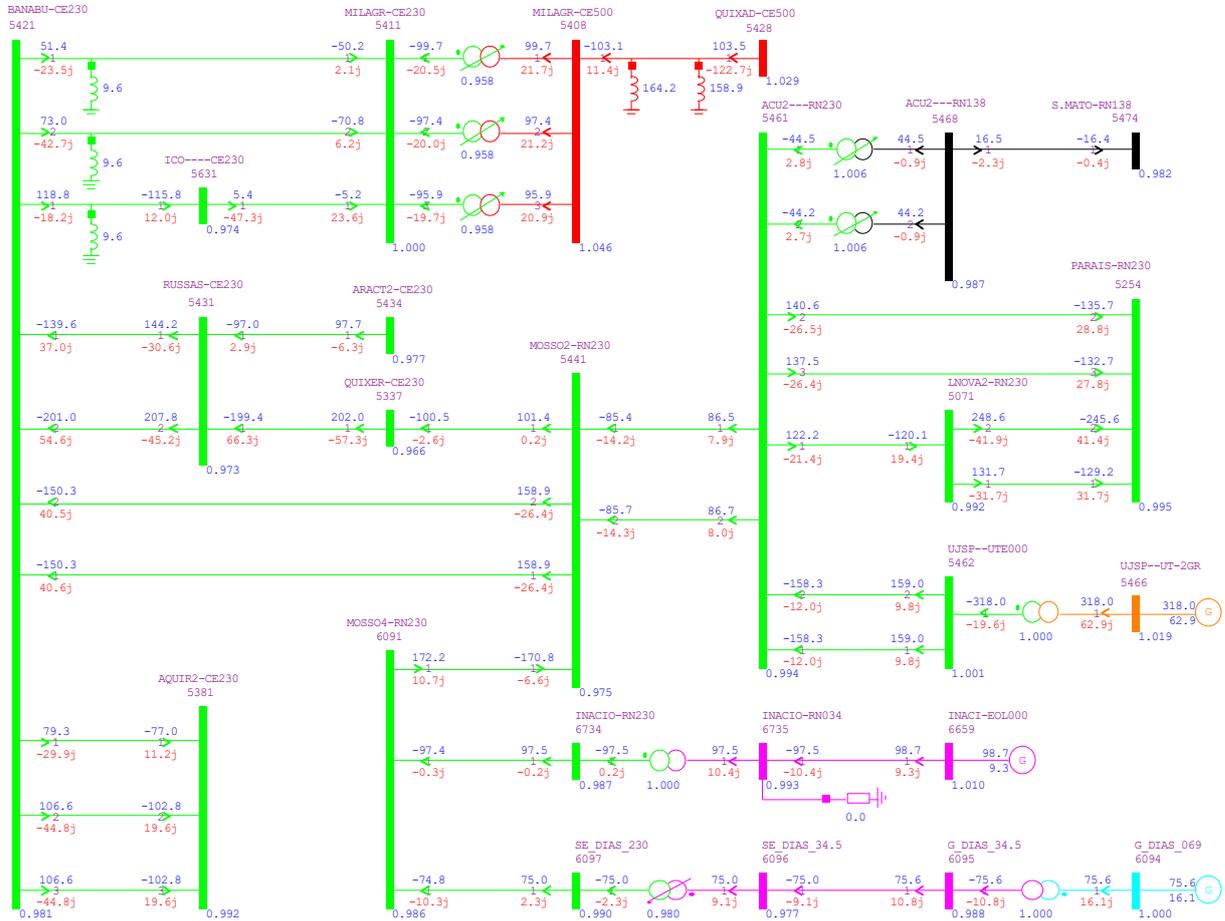
Fonte: (ONS, 2019c).

Os requisitos a seguir, aplicam-se em condições de operação de regime permanente, quase estáticas (ONS, 2019c).

- A potência de saída da central geradora deve recuperar-se a 85% do valor pré-falta em até 4 segundos após a recuperação da tensão a 85% da tensão nominal.
- Para tensões no ponto de conexão da central geradora às instalações sob responsabilidade de transmissora entre 0,90 e 1,10 pu, para a central geradora não será admitida redução na sua potência de saída, na faixa de frequências entre 58,5 e 60,0 Hz.
- Para frequências na faixa entre 57 e 58,5 Hz é admitida redução na potência de saída de até 10%.

A seguir (Figura 22), é ilustrado graficamente o sistema elétrico de potência nas proximidades da CGE DIAS.

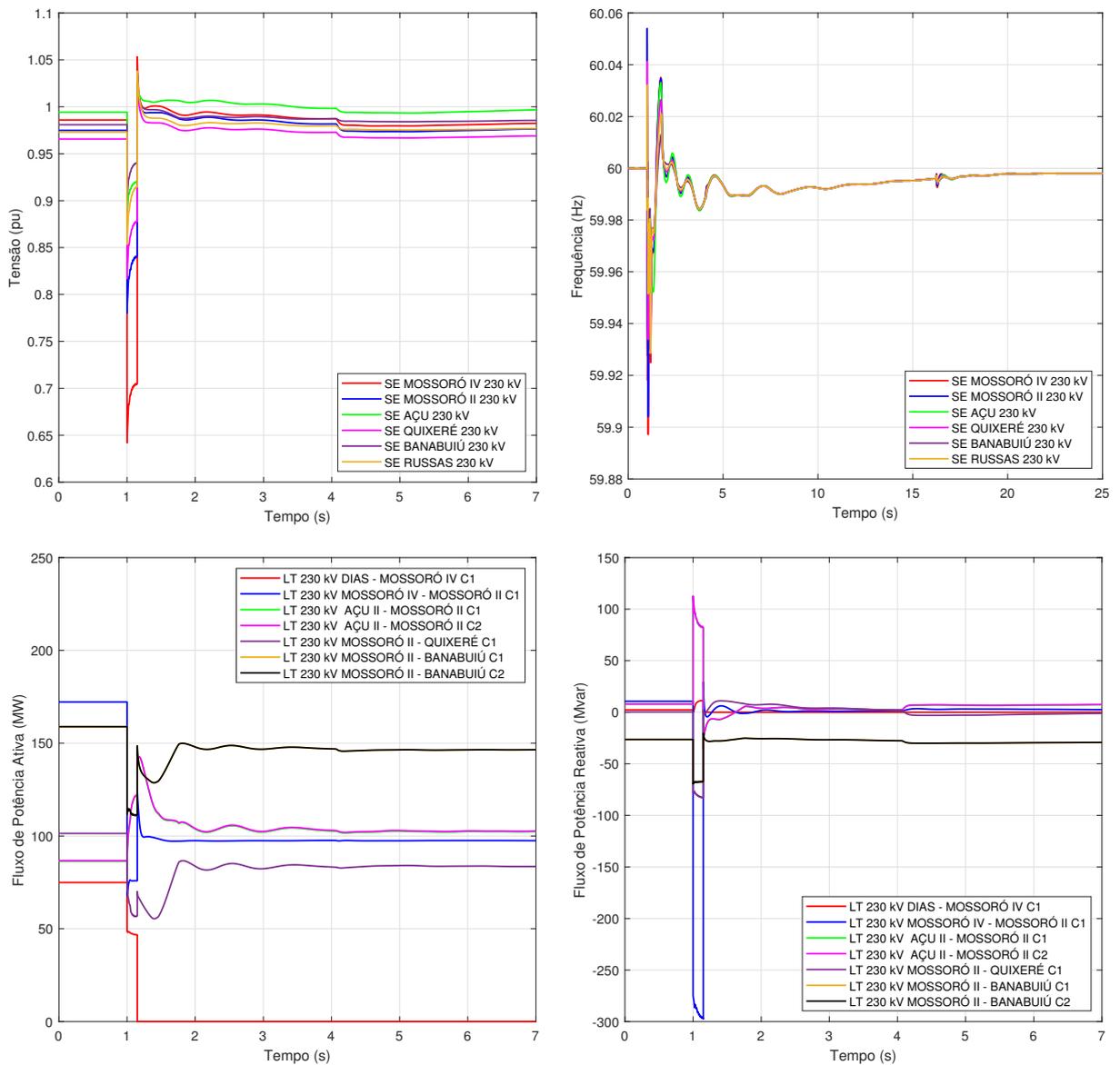
Figura 22: Sistema elétrico de potência nas proximidades da CGE DIAS.



6.2 Contingência LT 230 kV DIAS - Mossoró IV

Apresenta-se a seguir (Figura 23) o comportamento dinâmico do sistema elétrico nas proximidades da CGE DIAS, na ocorrência de um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró IV, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV DIAS - Mossoró IV.

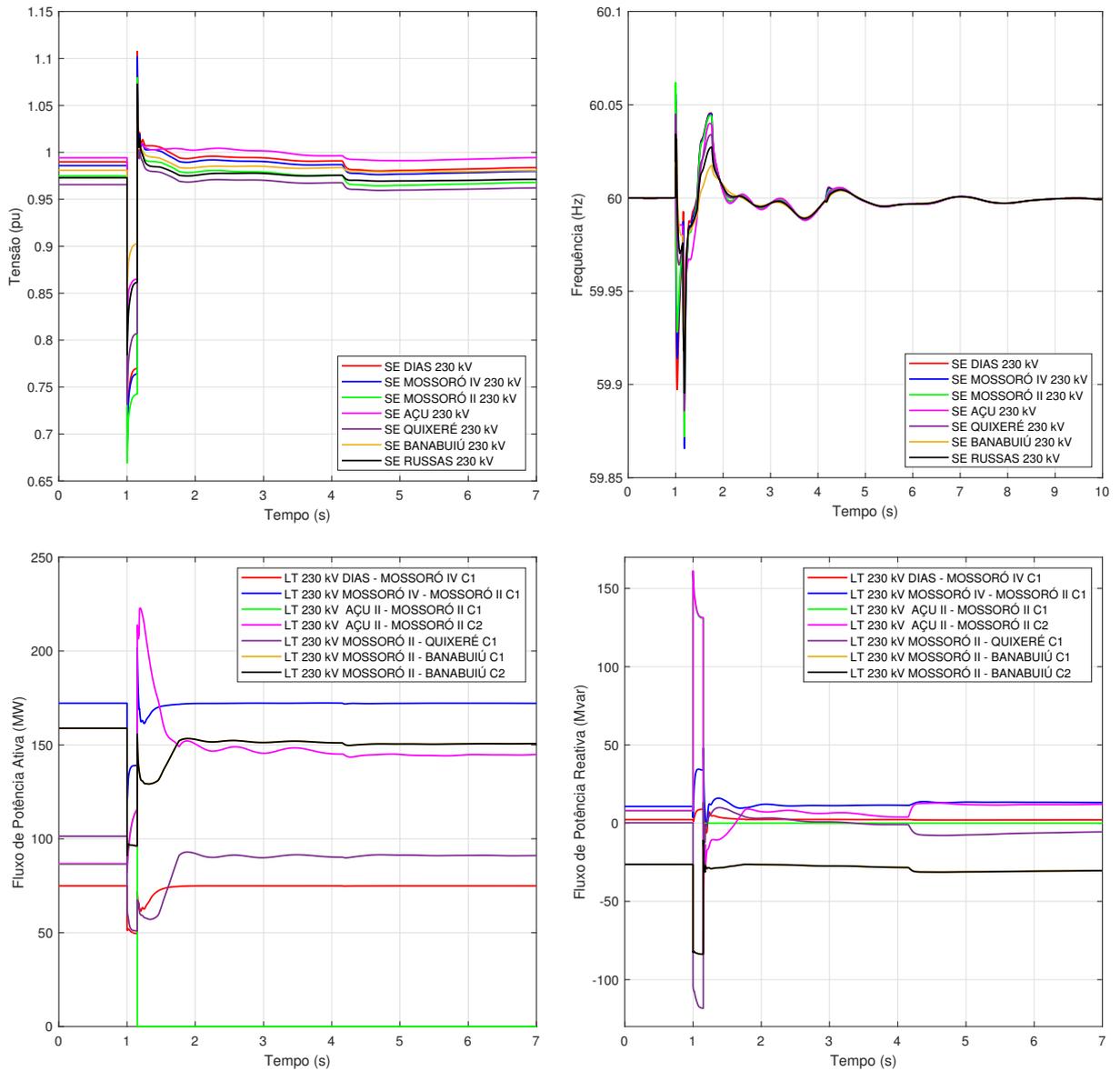
Figura 23: Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV DIAS - Mossoró IV.



6.3 Contingência LT 230 kV Mossoró II - Açú II

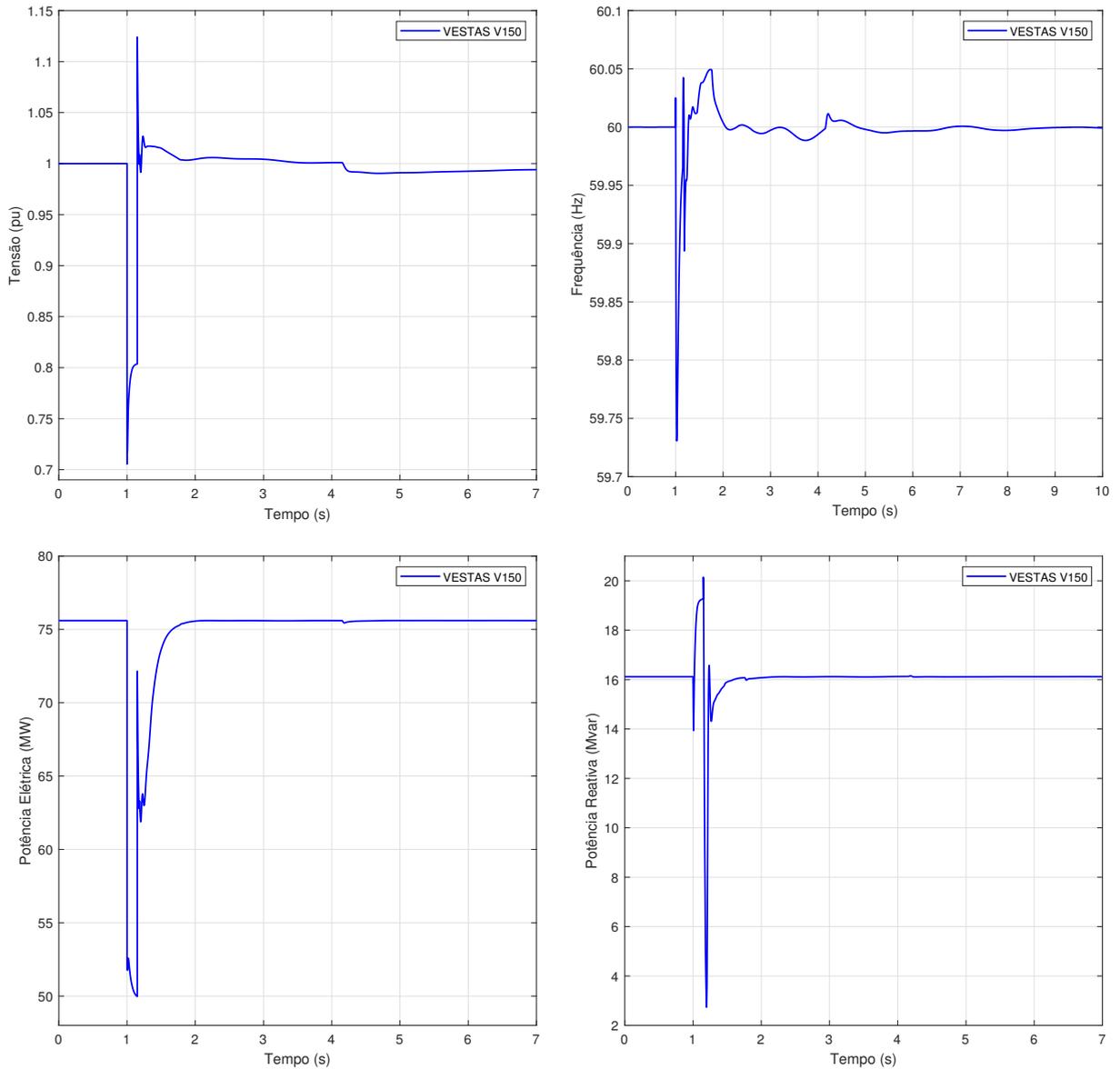
Apresenta-se a seguir (Figura 24) o comportamento dinâmico do sistema elétrico nas proximidades da CGE DIAS, na ocorrência de um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.

Figura 24: Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.



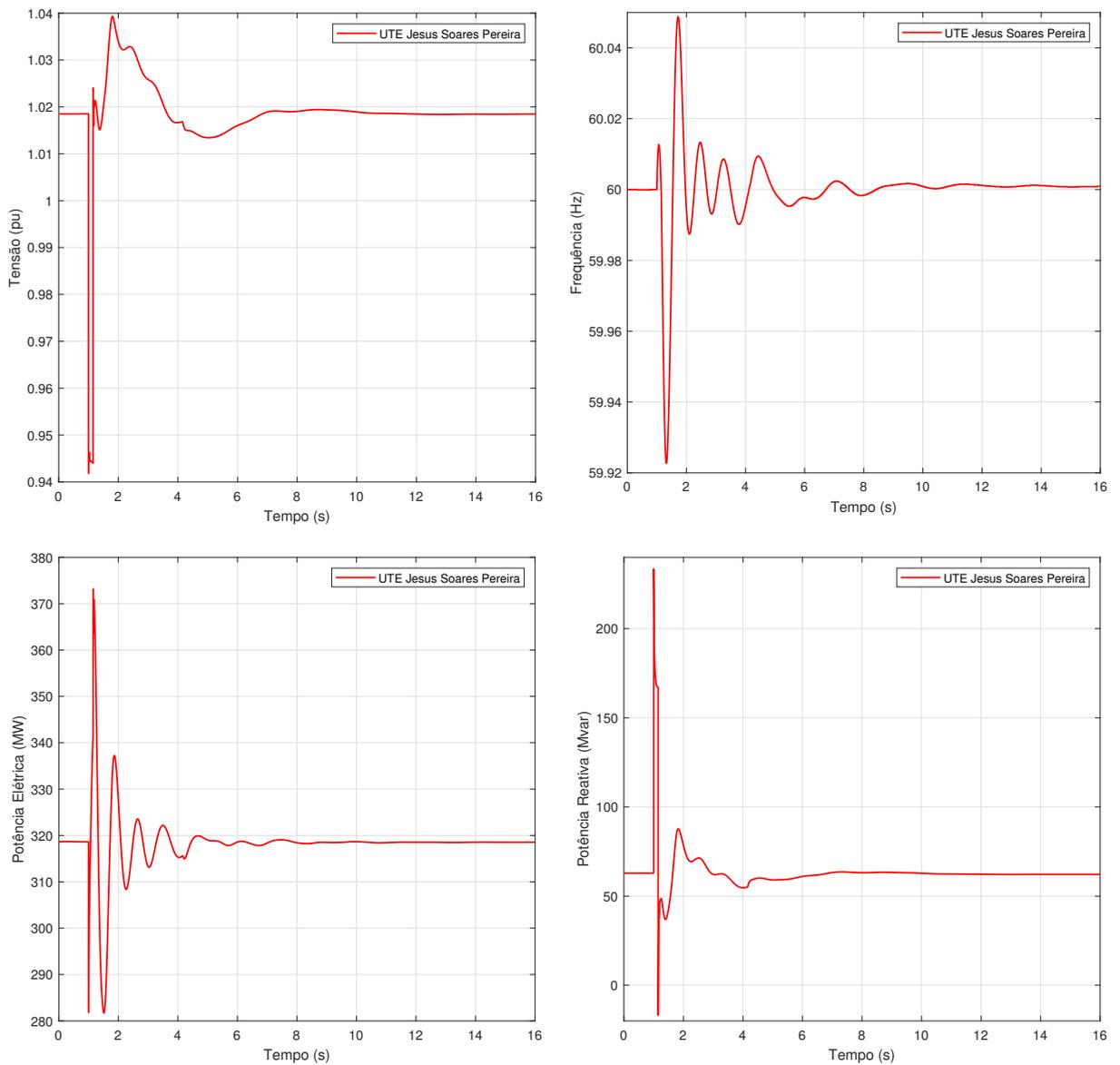
Apresenta-se a seguir (Figura 25) o comportamento dinâmico do aerogerador VESTAS V150, para um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.

Figura 25: Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.



Apresenta-se a seguir (Figura 26) o comportamento dinâmico da Usina Térmica Jesus Soares Pereira, para um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.

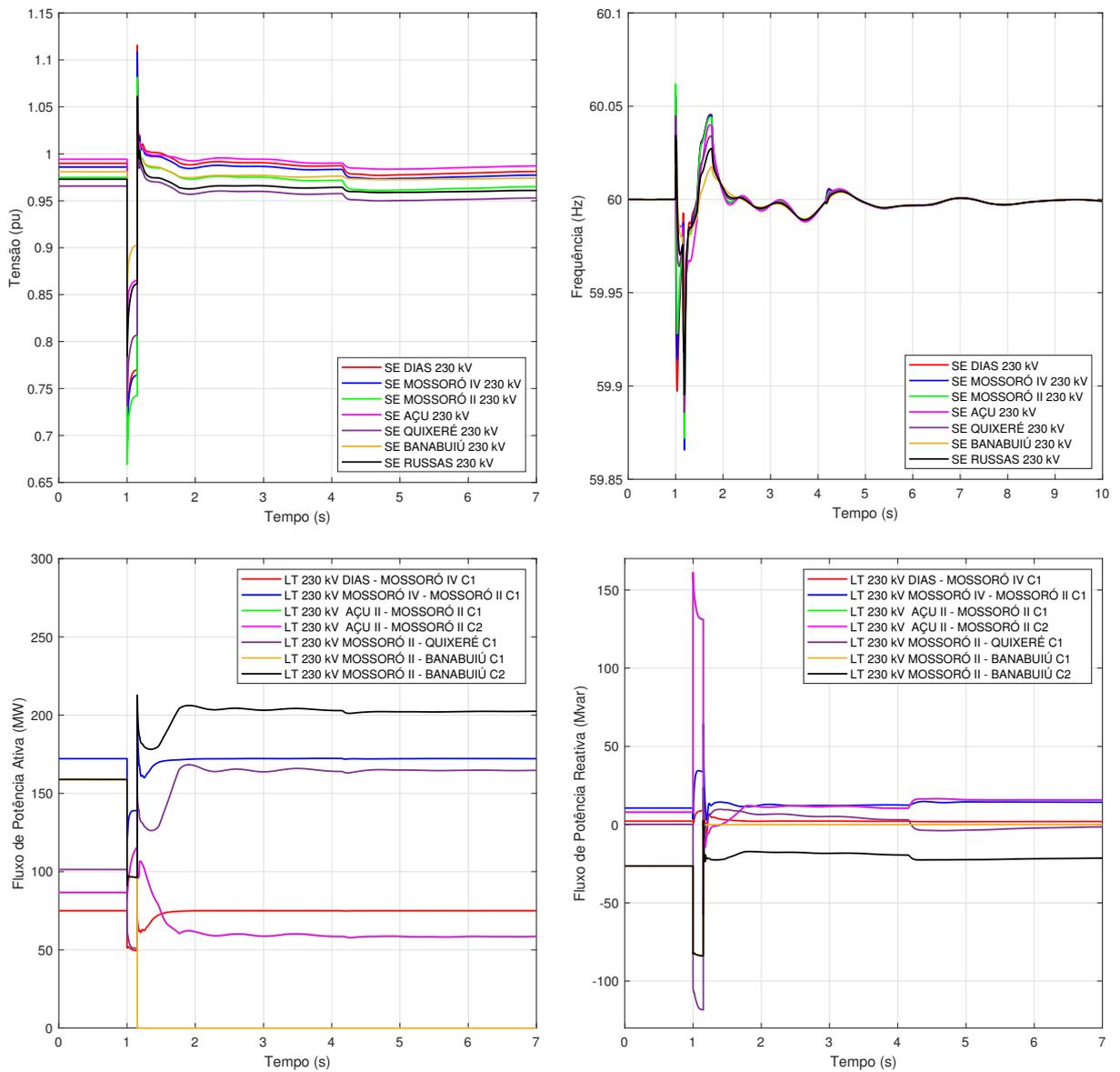
Figura 26: Dinâmica da Usina Térmica Jesus Soares Pereira devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Açú II.



6.4 Contingência LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1

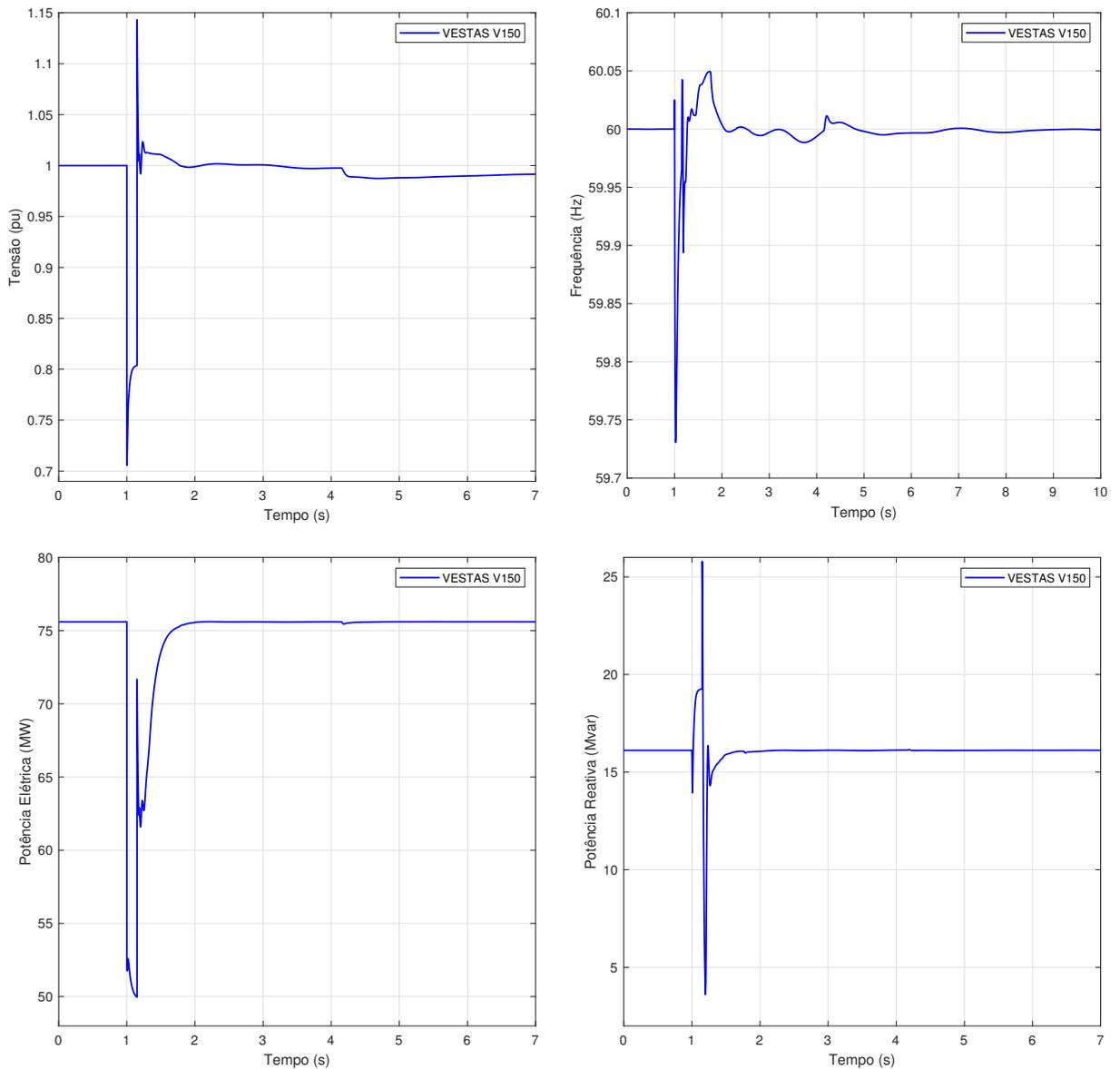
Apresenta-se a seguir (Figura 27) o comportamento dinâmico do sistema elétrico nas proximidades da CGE DIAS, na ocorrência de um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.

Figura 27: Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.



Apresenta-se a seguir (Figura 28) o comportamento dinâmico do aerogerador VESTAS V150, para um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.

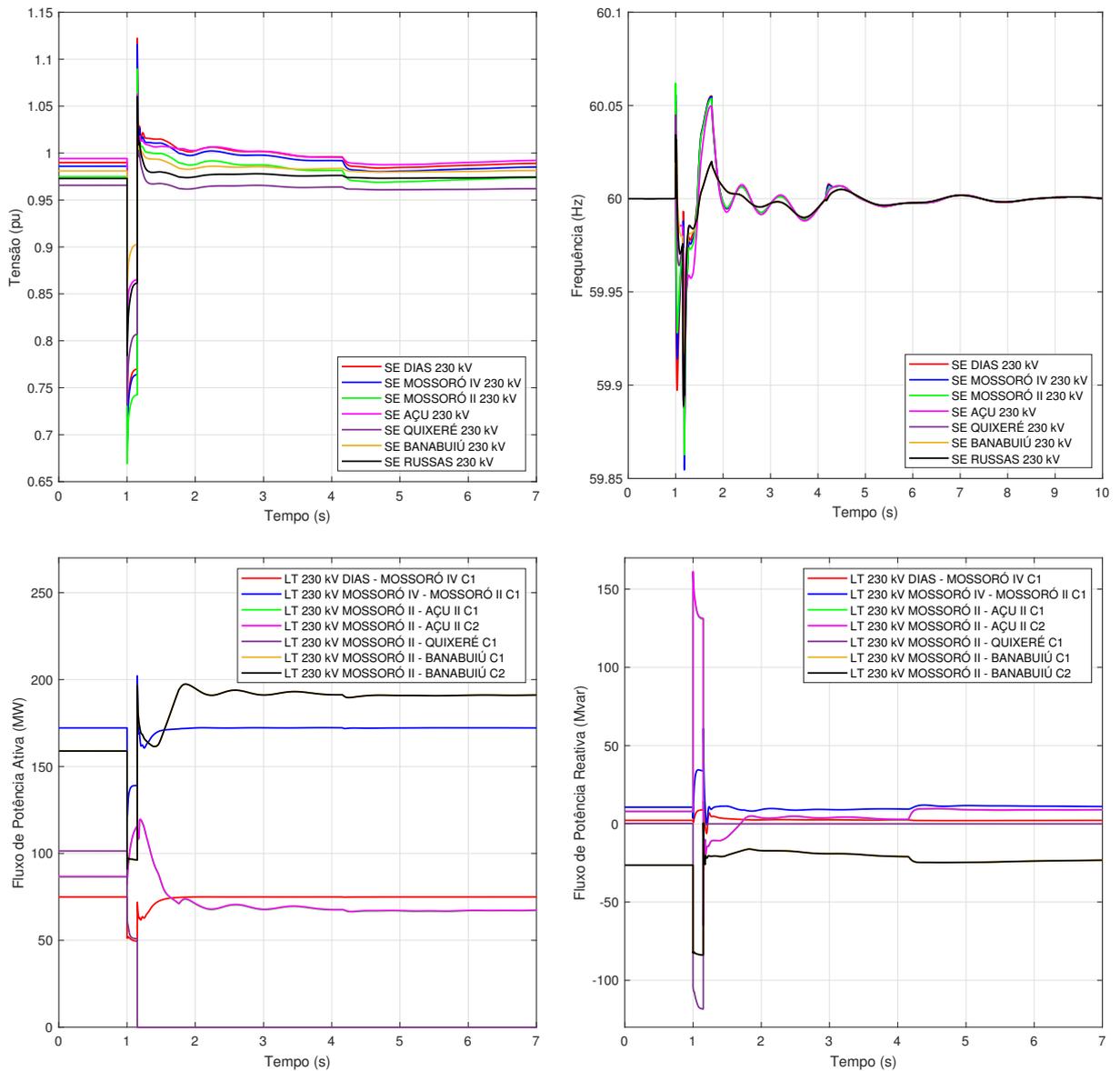
Figura 28: Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Banabuiú C1.



6.5 Contingência LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1

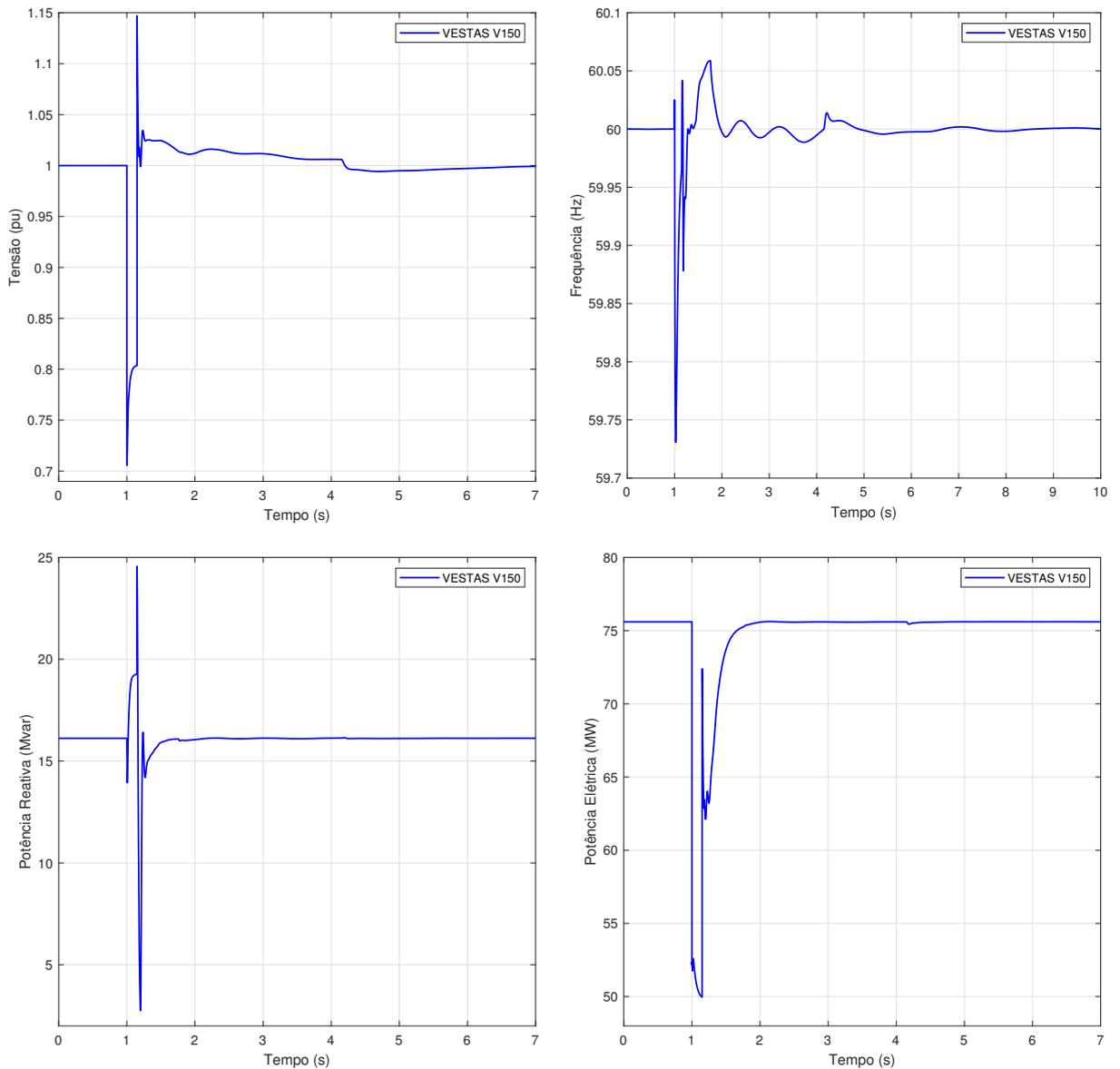
Apresenta-se a seguir (Figura 29) o comportamento dinâmico do sistema elétrico nas proximidades da CGE DIAS, na ocorrência de um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1.

Figura 29: Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1.



Apresenta-se a seguir (Figura 30) o comportamento dinâmico do aerogerador VESTAS V150, para um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1.

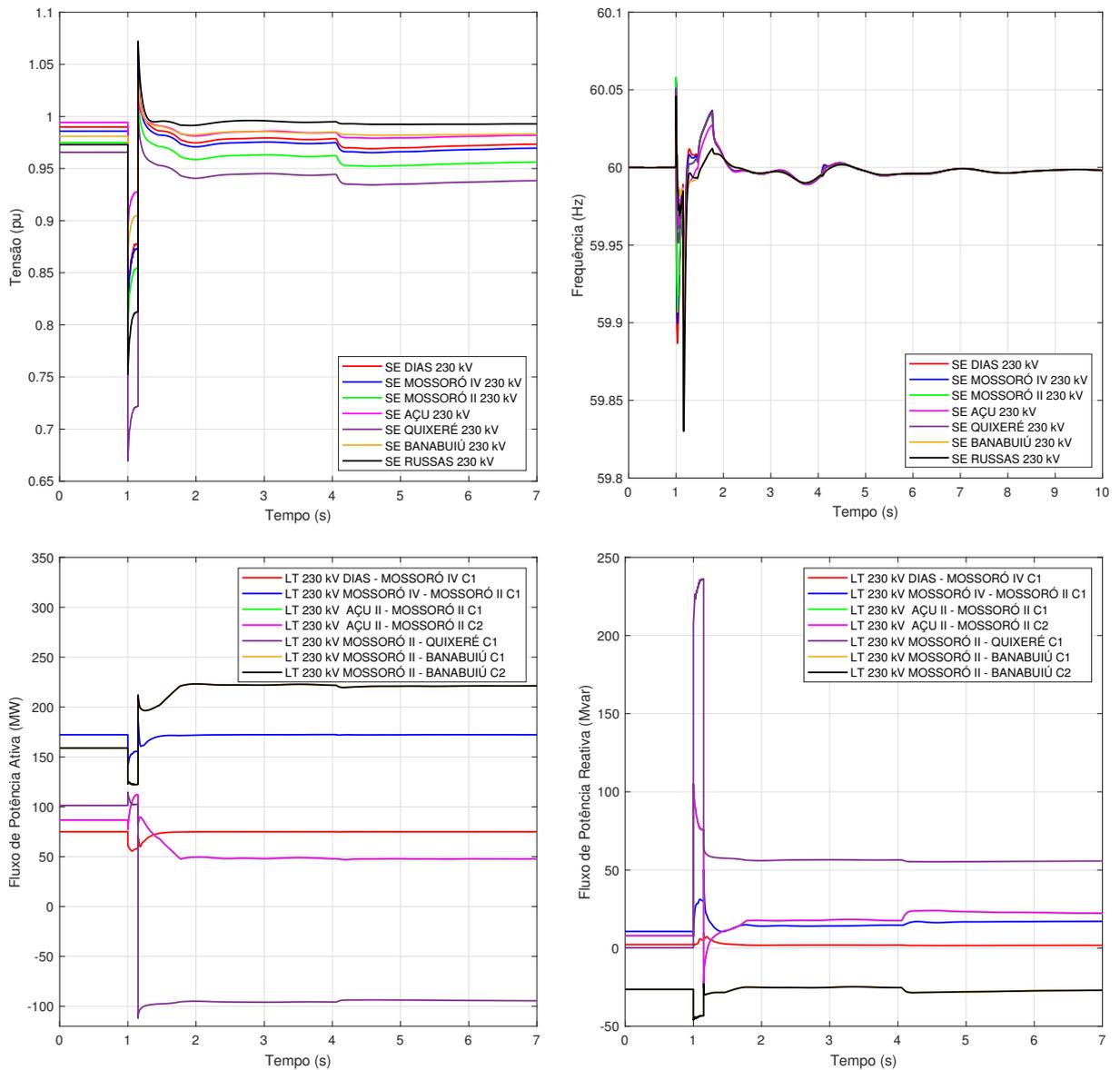
Figura 30: Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Mossoró II - Quixeré C1.



6.6 Contingência LT 230 kV Russas - Quixeré C1

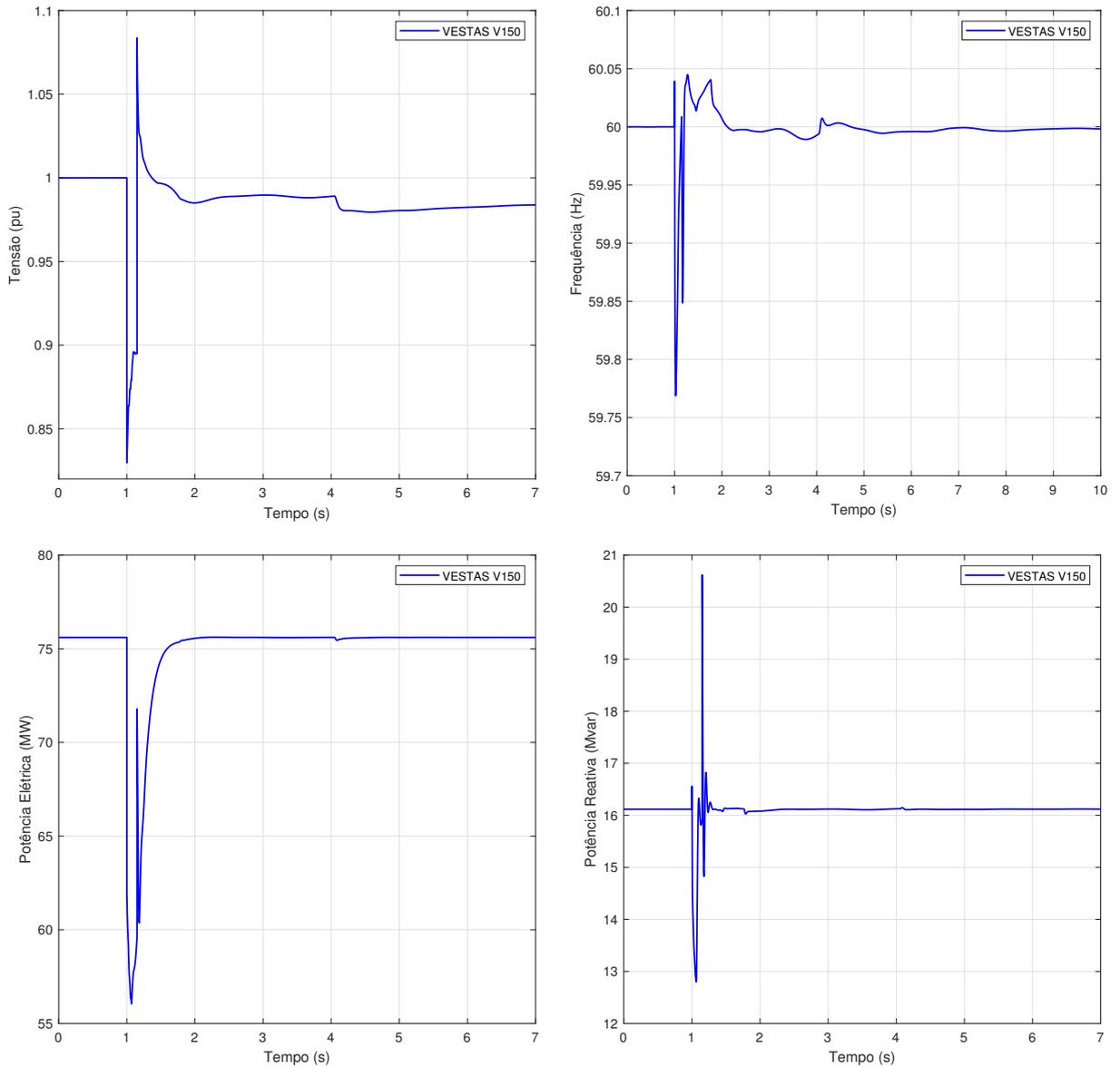
Apresenta-se a seguir (Figura 31) o comportamento dinâmico do sistema elétrico nas proximidades da CGE DIAS, na ocorrência de um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Russas - Quixeré C1.

Figura 31: Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Russas - Quixeré C1.



Apresenta-se a seguir (Figura 32) o comportamento dinâmico do aerogerador VESTAS V150, para um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Mossoró II, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Russas - Quixeré C1.

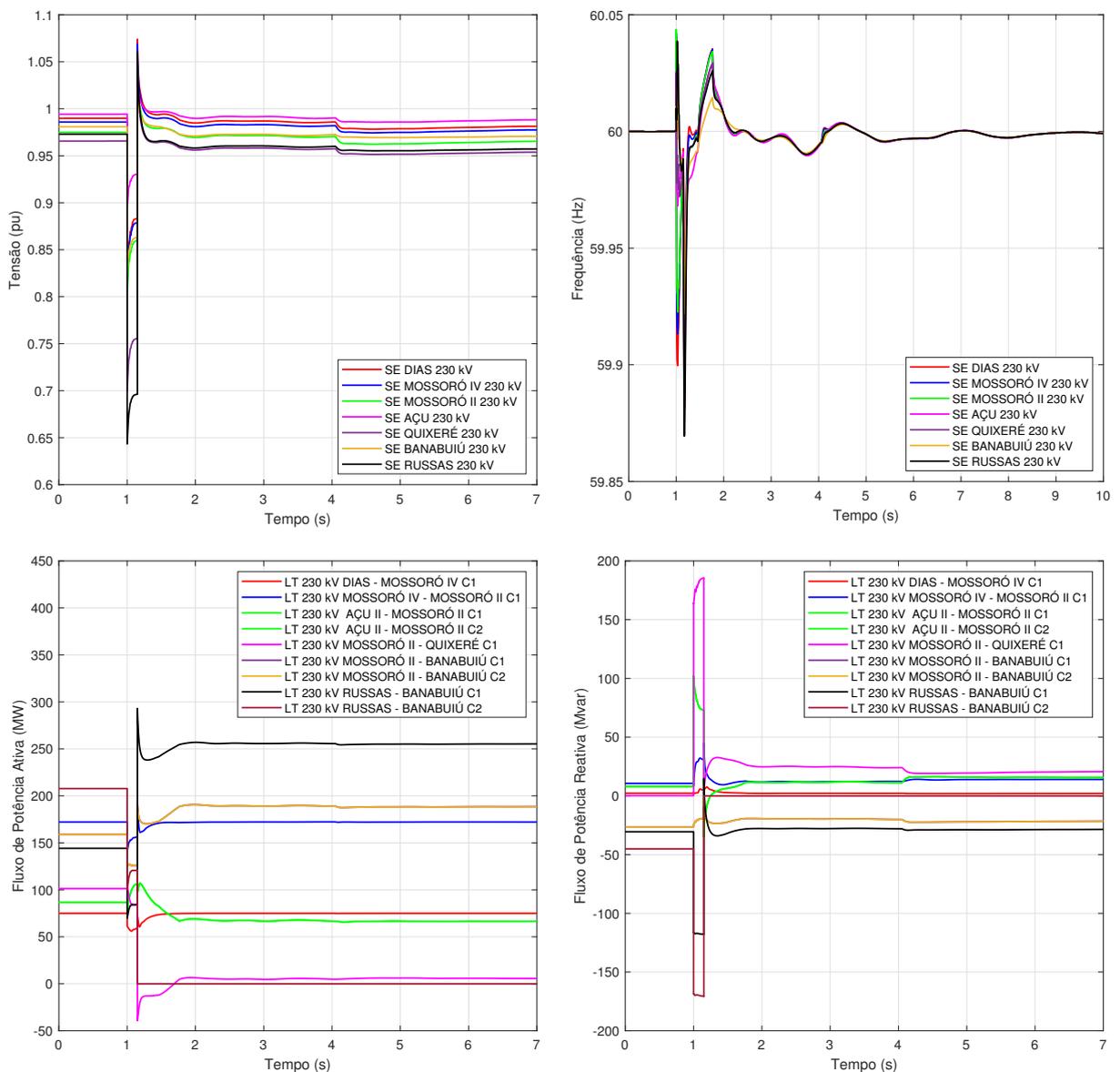
Figura 32: Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Russas - Quixeré C1.



6.7 Contingência LT 230 kV Russas - Banabuiú C2

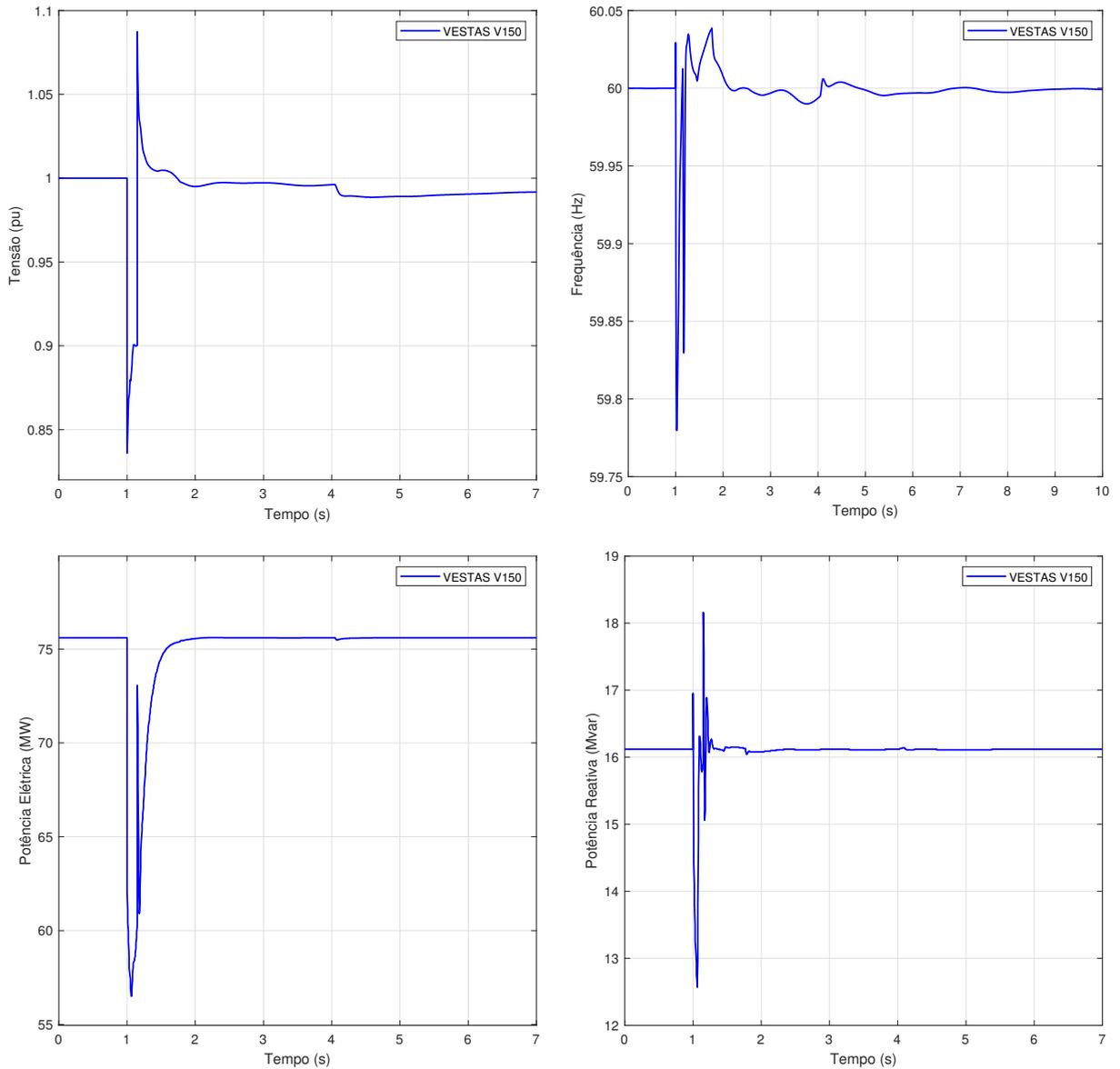
Apresenta-se a seguir (Figura 33) o comportamento dinâmico do sistema elétrico nas proximidades da CGE DIAS, na ocorrência de um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Russas, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.

Figura 33: Dinâmica do Sistema Elétrico nas proximidades da CGE DIAS devido a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.



Apresenta-se a seguir (Figura 34) o comportamento dinâmico do aerogerador VESTAS V150, para um curto-circuito com afundamento de tensão no barramento de 230 kV da SE Russas, sendo a falta eliminada pela abertura da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.

Figura 34: Dinâmica do aerogerador VESTAS V150 devido a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2.



7 Resultados e Conclusões

7.1 Fluxo de Potência

Considerando o cenários nordeste exportador patamar de carga média, definido pelo ONS para estudos de acesso no horizonte 2020, a operação da CGE DIAS não causa impactos significativos na confiabilidade do sistema, visto que:

- Para a condição de operação com potência ativa nula da CGE DIAS, o efeito capacitivo da LT 230 kV DIAS – Mossoró IV em vazio, foi de 9,5 Mvar, no cenário nordeste exportador patamar de carga média. Para esta condição de operação, a compensação do efeito capacitivo da LT 230 kV DIAS - Mossoró IV em vazio dar-se-á pela capacidade de absorção de reativo dos aerogeradores VESTAS V150, que dispõem de até 29,8 Mvar indutivo;
- A CGE DIAS tem a capacidade de propiciar no ponto de conexão, fator de potência em qualquer ponto da faixa 0,95 indutivo a 0,95 capacitivo, para toda faixa operativa da tensão em regime normal de operação, utilizando apenas a capacidade dos aerogeradores VESTAS V150;
- A perda intempestiva da CGE DIAS corresponde a uma perda de geração de 75,6 MW, não causa nenhuma variação, igual ou superior a 5%, na tensão da barra de Mossoró IV e suas vizinhas;
- As análises de contingência, indicam a necessidade de obras de ampliações ou reforços na Rede Básica, mais especificamente, obras de transmissão com objetivo de dotar o sistema com capacidade de transmissão suficiente para o escoamento de geração eólica e solar nas proximidades da SE Banabuiú, na contingência da LT 230 kV Banabuiú - Russas;
- A injeção de 75,6 MW no barramento de 230 kV da SE Mossoró IV, cenário nordeste exportador carga média, é uma condição operativa segura que atende os limites de estabilidade estática de tensão.

7.2 Curto-Circuito

O desempenho do sistema apresentado nas simulações, encontra-se dentro dos critérios estabelecidos (ONS, 2019c), na ocorrência de faltas monofásicas e trifásicas, visto que:

- A integração da CGE DIAS na SE Mossoró IV 230 kV, não provoca elevação significativa dos níveis de curto-circuito das subestações analisadas;
- O nível de curto-circuito na SE Mossoró IV 230 kV, foi a que apresentou uma maior variação de corrente de curto-circuito, sendo de 194 Amperes para o curto-circuito trifásico e de 450 Amperes para o curto-circuito monofásico;
- A entrada em operação da CGE DIAS não impacta significativamente a capacidade de interrupção dos disjuntores de menor capacidade das subestações analisadas.

7.3 Estabilidade Eletromecânica

O desempenho dinâmico apresentado nas simulações encontra-se dentro dos critérios estabelecidos (ONS, 2019c), na ocorrência de contingências simples de linhas de transmissão, visto que:

- Dos resultados obtidos, observa-se que o desempenho dinâmico do sistema se mostra adequado nas contingências simuladas. Após a eliminação da falta, o sistema evolui para um ponto de operação estável, mantendo a geração eólica conectada e com geração;
- A operação da CGE DIAS não impacta o desempenho dinâmico da Rede Básica no cenário analisado, uma vez que o sistema apresentou um comportamento estável para todas as faltas aplicadas na SE Mossoró II e SE Mossoró IV;
- As tensões e frequências das barras, fluxos ativos e reativos em linhas de transmissão e potências dos geradores, tanto no período transitório quanto no regime permanente posterior à eliminação do defeito, não violaram nenhum dos limites (exceto a contingência da LT 230 kV Russas - Banabuiú C2 que violou o limite de carregamento em 4,4% do circuito paralelo C1), diretrizes ou critérios estabelecidos;
- A perda intempestiva dos 75,6 MW da CGE DIAS, não causa problemas de estabilidade dinâmica ao sistema elétrico.

Referências

- ONS. Guia de acesso ao sistema de transmissão. <http://www.ons.org.br/sites/multimedia/Documentos%20Compartilhados/acesso_conexao/index.html>. Último acesso, Dezembro 2019a.
- ONS. Procedimentos de redes. Submódulo 24.2 - Integração de uma instalação de geração ao Sistema Interligado Nacional, Rev. Agosto 2019b.
- ONS. Procedimentos de redes. Submódulo 3.6 - Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão, Rev. Agosto 2019c.
- VESTAS. General description 4mw platform. Restricted Document, Dezembro 2017.
- VESTAS. 4mw platform - technical specifications. <https://www.vestas.com>. Último acesso, Dezembro 2019.
- ELETROBRAS CEPEL. Programa de Análise de Redes (ANAREDE) Versão 11.02.04 - Manual do Usuário. Departamento de Redes Elétricas. Junho de 2019.
- ELETROBRAS CEPEL. Análise de Redes em t_{0+} (ANAT0) Versão 3.0.8 - Manual do Usuário. Departamento de Sistemas Elétricos. Dezembro de 2010.
- ELETROBRAS CEPEL. Programa de Análise de Faltas (ANAFAS) Versão 7.2.0 - Manual do Usuário. Departamento de Redes Elétricas. Dezembro de 2017.
- ELETROBRAS CEPEL. Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos (ANATEM) versão 11.7.0 - Manual do Usuário. Departamento de Redes Elétricas. Agosto de 2019.