



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

WILSON JOSÉ REÇA ALVES

**SIMULADOR DE OPERAÇÃO CONTENDO INSTRUÇÕES DE RECOMPOSIÇÃO  
EM SITUAÇÕES CONTINGENCIAIS: ESTUDO DE CASO SUBESTAÇÃO GUAMÁ  
ELETROBRAS ELETRONORTE**

BELÉM-PA  
2015

WILSON JOSÉ REÇA ALVES

**SIMULADOR DE OPERAÇÃO CONTENDO INSTRUÇÕES DE RECOMPOSIÇÃO  
EM SITUAÇÕES CONTINGENCIAIS: ESTUDO DE CASO SUBESTAÇÃO GUAMÁ  
ELETROBRAS ELETRONORTE**

Dissertação de mestrado apresentado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas de energia elétrica

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Alves Nunes

BELÉM-PA

2015

**SIMULADOR DE OPERAÇÃO CONTENDO INSTRUÇÕES DE RECOMPOSIÇÃO  
EM SITUAÇÕES CONTINGENCIAIS: ESTUDO DE CASO SUBESTAÇÃO GUAMÁ  
ELETROBRAS ELETRONORTE**

WILSON JOSÉ REÇA ALVES

Esta dissertação foi julgada adequada pelo colegiado de pós-graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, área de concentração Sistemas de Energia Elétrica, sendo aprovada em forma final pela banca examinadora.

Prof. Dr. Marcus Vinicius Alves Nunes (UFPA)

Orientador

Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra (UFPA)

Membro

Prof. Dr. André Cavalcante do Nascimento (IFPA)

Membro

Visto:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes (UFPA)

Coordenador do PPGEE

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha sempre compreensiva e amada esposa Helen, que sempre me deu apoio e me fortaleceu, principalmente no sentido de me reerguer em momentos de desânimo. Também dedico à minha sempre amada filha Manuela, fonte de minha constante luta e inspiração, para dar sempre o melhor de mim, principalmente no âmbito profissional. Dedico também à minha amada mãe por me ajudar em minha graduação e sem ela também não chegaria até aqui.

Aos meus pais por sempre se preocuparem com minha formação e pela graça de estar realizando este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai, por sempre me aconselhar a procurar dar o melhor de mim na área profissional em que atuo.

Ao meu coordenador, prof. Marcus Vinicius Alves Nunes por acreditar em mim e dar todo o apoio que necessitei para a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas da Eletrobras Eletronorte que também depositaram muita confiança no meu trabalho.

À estagiária da Eletrobras Eletronorte Roseane Lima Parente, cuja sua contribuição em conhecimento de informática e programação foi essencial para a elaboração deste trabalho.

Aos colaboradores da Eletrobras Eletronorte Joaquim Américo Pinto Moutinho Beck, Rivaldo Nazareno Costa Wanzeller e Vitor Sebastião Diniz Martins pelo apoio prestado, contribuindo com suas respectivas experiências profissionais no ramo.

À Eletrobras Eletronorte, pela liberação da divulgação de dados essenciais para o sucesso desta dissertação.

A todos os demais profissionais que contribuíram para o sucesso deste trabalho.

## RESUMO

Os operadores de Sistema e de subestação são peças fundamentais, tanto para a sociedade, como para as empresas de energia elétrica no que tange à correta operação dos sistemas de energia elétrica. Para que estes desempenhem satisfatoriamente suas atribuições, devem passar por constantes treinamentos de reciclagem e simulação de operação de tais sistemas, através dos simuladores de operação. O trabalho proposto aqui será de apresentar um simulador de manobras da operação, que pode ser utilizado tanto para operadores de sistema, como de instalação, que já contenha instruções de manobras de recomposição quando de perturbações de linhas de transmissão, transformadores, equipamentos de compensação de potência reativa e setoriais da instalação, tal como a recomposição quando de atuação por proteção diferencial de barras e falha de disjuntor. Estas duas últimas por várias vezes são motivos de anseios e dificuldade de recomposição por exigirem alto grau de conhecimento operacional. A subestação piloto utilizada para a criação do simulador, bem como a criação das instruções de manobras de recomposição, é a Subestação Guamá, da empresa Eletrobras Eletronorte.

**Palavras-chave:** simulador, operadores de sistema, operadores de subestação, instruções de manobras.

## ABSTRACT

The System and Substation Operators are a fundamental component, both for society and for electric power companies in regards to the correct operation of electric power systems. In order for them to perform their duties satisfactorily, they must undergo constant refresher trainings and operation simulation of such systems, through the operation simulators. The task proposed here will be to present an operation maneuvers simulator, which can be used both for system operators, such as installation, which contains instructions for restoring maneuvers when transmission lines disorders occurs, transformers, equipments for compensation of reactive power and installation sectorals, such as the recovery when acting for breaker differential protection and circuit breaker failure. The latter two being repeatedly reasons of anxiety and difficulties of recovery for demanding high degree of operational knowledge. The pilot substation utilized to create the simulator as well as the creation of recovery maneuvers instruction is the Substation Guama, from the company Eletrobras Eletronorte.

**Keywords:** simulator, system operators, substation operators, maneuvering instructions.

**LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	Padronização de termos do setor elétrico de Operação
BB	Bobinas de Bloqueio
CEEE-GT	Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CPST	Contratos de Prestação dos Serviços de Transmissão
DGP	Divisor Capacitivo de Potencial
FT	Função Transmissão
IHM	Interface Homem Máquina
IMC	Instrução de Manobra Cotingencial
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OTPG	Divisão de Transmissão do Guamá
OTS	Operator Training Simulator
PR	Para-raios
PVI	Parcela Variável Por Indisponibilidade
RAP	Receita Anual Permitida
SAGE	Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia
SBSE	Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos
SE	Subestação
SEPOPE	Seminário de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica
SGCB	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SIN	Sistema Interligado Nacional
TC	Transformadores de corrente



TP	Transformador de Potencial
UCD	Unidade de Controle Digital

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Crescimento da demanda de energia .....	14
Figura 1.2	Falha em Subestação .....	16
Figura 1.3	Operador realizando atividade de manutenção .....	18
Figura 2.1	Detalhe de um simulador de vôo .....	25
Figura 2.2	Usuário simulando manobra de equipamento .....	26
Figura 2.3	Tela de um simulador de manobras .....	27
Figura 2.4	Modelo de Capa de uma Instrução de Operação .....	28
Figura 3.1	Localização da SE Guamá no SIN .....	34
Figura 3.2	Subestação Guamá .....	35
Figura 3.3	Diagrama unifilar da Subestação Guamá .....	36
Figura 3.4	Detalhe das linhas de transmissão Vila do Conde-Guamá 1 e 2..	37
Figura 3.5	Detalhe das linhas de transmissão Guamá-Utinga 1 e 2 .....	38
Figura 3.6	Detalhe dos bancos de transformadores e linhas de interligação.	39
Figura 3.7	Detalhe dos bancos de capacitores .....	39
Figura 3.8	Detalhe do bay de interligação ao fundo .....	40
Figura 3.9	Detalhe das barras .....	41
Figura 4.1	Tela do SAGE de um sistema elétrico de potência .....	48
Figura 4.2	Tela do SAGE da Subestação Guamá .....	49
Figura 4.3	Visor de alarmes .....	50
Figura 4.4	Visor de log de eventos .....	51
Figura 4.5	Desenvolvimento da tela da Subestação Guamá .....	52
Figura 4.6	Tela apresentando o controle supervisorio de um disjuntor .....	53
Figura 4.7	Diagrama do banco .....	54
Figura 4.8	Configuração da subestação antes da atuação da proteção.....	56
Figura 4.9	Configuração da subestação após a atuação da proteção .....	57
Figura 4.10	Tela do simulador selecionando o menu “Gerenciar” .....	61
Figura 4.11	Tela de cadastro de manobras no menu “Gerenciar” .....	61
Figura 4.12	Tela do simulador selecionando o menu “Manobras” .....	62
Figura 5.1	Tela inicial do simulador .....	65
Figura 5.2	Controle de estado de equipamento .....	68
Figura 5.3	Situação cadastrada a ser simulada .....	69
Figura 5.4	Diferencial de barra I com falha no GMDJ6-01 .....	70

Figura 5.5	IMC da contingência “Diferencial de barra I com falha no GMDJ6-01” .....	72
Figura 5.6	Detalhe da tela de IMC da contingência "Diferencial de Barra I com falha no GMDJ6-01" .....	73
Figura 5.7	Interface de log de eventos do simulador .....	74
Figura 5.8	Seleção da contingência “falha na GMUG-LT6-01” .....	76
Figura 5.9	Ocorrência “falha na GMUG-LT6-01” com tela da IMC .....	76
Figura 5.10	Seleção da contingência “falha no GMDJ6-01 por falha na VCGM-LT6-01 seguido de falha no GMDB6-01” .....	77
Figura 5.11	Ocorrência “falha no GMDJ6-01 por falha na VCGM-LT6-01 seguido de falha no GMDB6-01” com tela da IMC .....	78

**LISTA DE EQUAÇÃO E TABELA**

Equação 3.1	Equação da PVI de desconto do Pagamento Base da FT .....	44
Tabela 3.1	Receitas básicas das funções da Subestação Guamá .....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO .....	14
1.2 DIFICULDADES NA OPERAÇÃO DO SISTEMA .....	17
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
1.4 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	20
1.5 COMPOSIÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	21
<b>2 SIMULADOR DE MANOBRAS</b> .....	24
2.1 INTRODUÇÃO .....	24
2.2 SIMULADOR DE MANOBRAS E SUA APLICABILIDADE .....	27
2.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE UM SIMULADOR DE MANOBRAS .....	29
2.4 ANÁLISE DE ALGUNS SIMULADORES DE MANOBRA EXISTENTES.....	30
2.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO .....	31
<b>3 A SUBESTAÇÃO GUAMÁ E A RESOLUÇÃO 270 DA ANEEL</b> .....	33
3.1 INTRODUÇÃO .....	33
3.2 CARACTERÍSTICAS DA SE GUAMÁ .....	33
3.3 INSTRUÇÕES E PROTEÇÕES EXISTENTES NA SE GUAMÁ .....	41
<b>3.3.1 - As Instruções de Operação</b> .....	41
<b>3.3.2 - Proteções existentes</b> .....	42
3.4 A RESOLUÇÃO 270 DA ANEEL .....	42
<b>3.4.1 Cálculo da Parcela Variável Por Indisponibilidade (PVI)</b> .....	43
3.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO .....	46
<b>4 DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE MANOBRAS DE RECOMPOSIÇÃO</b> .....	47
4.1 INTRODUÇÃO .....	47
4.2 O SAGE – SISTEMA ABERTO DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA .....	48
4.3 SIMULADOR DE MANOBRA DESENVOLVIDO .....	51
<b>4.3.1 Desenvolvimento das telas</b> .....	52
<b>4.3.2 Definição da estrutura lógica</b> .....	52
<b>4.3.3 Integração com o banco de dados</b> .....	53
<b>4.3.4 Cadastramento de manobras</b> .....	55
4.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO .....	62
<b>5 RESULTADOS</b> .....	64

5.1	INTRODUÇÃO .....	64
5.2	CONTROLE DE ESTADO DE EQUIPAMENTO .....	66
5.3	SITUAÇÕES CADASTRADAS E SIMULADAS .....	68
5.4	CAMPO INSTRUÇÕES E TELA DE AÇÕES .....	71
5.5	OUTROS EXEMPLOS .....	75
5.5.1	<b>– Falha na linha de Transmissão Guamá-Utinga circuito I .....</b>	<b>75</b>
5.5.2	<b>– Falha na linha de Transmissão Vila do Conde-Guamá circuito I (VCGM-LT6-01), com falha no seu respectivo GMDJ6-01 seguido de falha no disjuntor de interligação (GMDB6-01) .....</b>	<b>77</b>
5.6	CONCLUSÕES DO CAPÍTULO .....	78
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
6.1	CONCLUSÕES PRINCIPAIS DA DISSERTAÇÃO .....	80
6.2	PLANOS FUTUROS .....	81
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>

# 1 INTRODUÇÃO

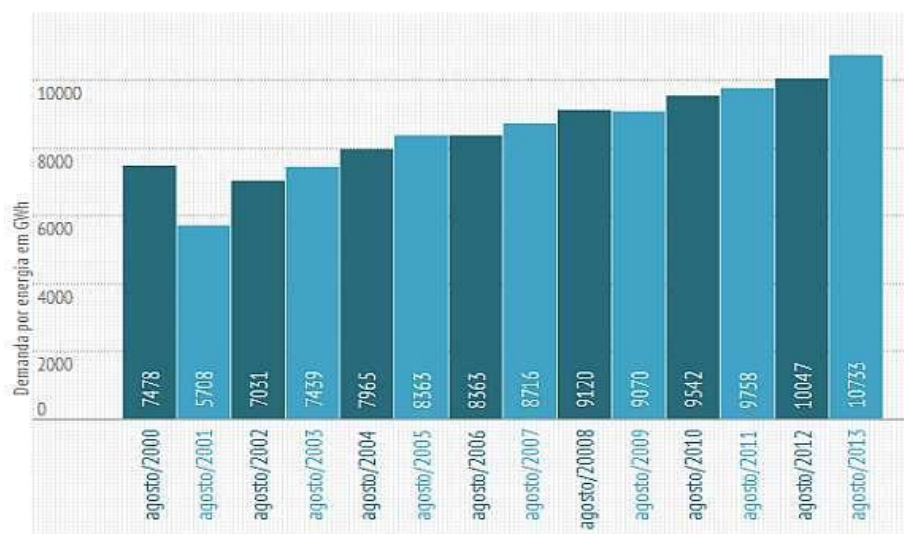
## 1.1 MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO

O fornecimento de energia elétrica para a população tornou-se um item necessário para manter o bem-estar nos padrões modernos. Por conta dessa essência do consumo de energia elétrica, observa-se que quando ocorre qualquer falha no sistema elétrico desagrega-se em grandes consequências para os consumidores tanto para manter a ordem de grandes cidades quanto para o funcionamento de estabelecimentos (Indústrias, Hospitais, etc.) e inclusive em perdas de insumos.

No Brasil, a demanda de energia elétrica vem crescendo anualmente, como mostra o gráfico da figura 1.1 a seguir, retirado do site O Estado de São Paulo, onde mostra que, desde o racionamento em 2001, o consumo em 2013 já chegava a 10.773 Gigawatts hora.

**Figura 1.1 – Crescimento da demanda de energia**

### **Demanda cresce desde o racionamento**



Fonte: O Estado de S. Paulo, 2013.

Os sistemas elétricos de potência tendem a aumentar em tamanho e grau de complexidade, além de enfrentar um aumento de competição e mudanças no ambiente de regulação, comercialização e operação do setor elétrico, principalmente com a entrada das empresas privadas no mercado de energia elétrica, oriundo das privatizações, principalmente das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Neste contexto os Centros de Operação de Sistema de Energia Elétrica são monitorados e controlados constantemente pelos Operadores de Sistema, enquanto que as subestações monitoradas são operadas localmente pelos Operadores de Subestação (ou Operadores de Instalação). Em decorrência disso, e torna-se cada vez mais necessário o aperfeiçoamento do constante desse pessoal em suas atribuições.

Não obstante, as concessionárias de energia perdem valores significativos todos os anos, como mostram levantamentos recentes, tornando-se necessário o aprimoramento das tecnologias, com a aquisição de instrumentos de supervisão de última geração e o melhoramento de técnicas de prevenção, além de treinamentos dos seus funcionários.

Cabe citar que, segundo Bozzi & Silva (2011), *“uma subestação (SE) pode ser definida como um conjunto de equipamentos de manobra ou transformação de tensão”*. Assim, segundo Tocuzato (2000) *“a subestação caracteriza-se por possuir um sistema complexo de ser operado, o que cria a necessidade de profissionais com alto grau de competência e total ciência de ações a serem tomadas para o controle e operação da mesma”*.

Neste contexto, como cita Cavellucci & Lyra (2008),

os operadores de rede são responsáveis pela execução das manobras de contingência, ocasionadas por falha no sistema elétrico. Nesta atividade, é requerida análise detalhada das possibilidades de manobras, buscando uma alternativa que satisfaça requisitos elétricos, exigências e segurança, critérios sociais e normas da concessionária.

A figura 1.2 ilustra o exato momento de uma falha no sistema elétrico sendo que este tipo de situação exige imediata atuação dos operadores, tanto de sistema como de instalações. A foto foi tomada em Illinois por Chuck Hagen, em Oak Lawn, Illinois, nos Estados Unidos e publicada no site Metsul Metrologia.



**Figura 1.2 – Falha em Subestação**



Fonte: Metsul Metrologia, 2006

Para a realização deste trabalho adotou-se como estudo de caso a subestação Guamá da Eletronorte. Esta compõe o sistema de transmissão de energia elétrica do estado do Pará, tendo capacidade de 450 MVA operando em três níveis de tensão (230 kV, 69 kV e 13.8 kV).

Na citada subestação, os operadores recebem o treinamento executado pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), que disponibiliza certificações que contribuem no aprimoramento do operador. No entanto, como é realizado somente a cada triênio, o conhecimento adquirido não é estimulado no decorrer desse período, tornando o processo passível a falhas.

Reconhecida a relevância de se operar uma subestação com confiabilidade e segurança, torna-se necessário desenvolver e buscar novas ferramentas que viabilizam bom desempenho e capacitação dos operadores.

Portanto, tendo em vista as premissas citadas, este trabalho visa propor uma ferramenta que simule situações contingenciais. Esta proposta é diferenciada, pois não conta com manobras programadas, mas com as de emergência (contingencial), situação que exige conhecimento e intervenção imediata do operador.

## 1.2 DIFICULDADES NA OPERAÇÃO DO SISTEMA

Em levantamento realizado através de entrevistas com operadores de subestação, observou-se que os mesmos encontram dificuldades para recompor uma linha de energia frente a grandes perturbações sistêmicas. Este fato, segundo os próprios operadores, gera dificuldades de ação pela necessidade constante de treinamento e constância na realização das manobras.

Embora haja excelente qualificação técnica operacional para lidar com essas situações, é constatada a grande dificuldade destes frente a situações de perturbações sistêmicas, principalmente aquelas ocasionadas em sua totalidade em determinado setor da instalação (diferencial de barras e proteção por atuação de falha de disjuntor) que geram blecaute nas cidades alimentadas pela instalação afetada.

De acordo com Leite, Oliveira e Oliveira (2007),

o quadro de necessidade de treinamento é ainda mais evidenciado com o aumento da renovação de Operadores, devido aos desligamentos por aposentadorias ou mesmo devido ao “turnover” dos novos operadores, que aumentou significativamente com o ingresso de operadores oriundos de Concurso Público, já que a maioria dos candidatos tem formação de nível superior, ou são estudantes de nível universitário, cujo objetivo principal é conquistar uma colocação no mercado de trabalho na área para a qual estudaram e se formaram.

Segundo Castro (2007), *“perturbações de grande porte, felizmente, ocorrem de maneira esporádica e, por isso, é difícil para o técnico se lembrar de todo o treinamento teórico que, apesar de bem realizado, muitas vezes nunca foi posto em prática”*.

A consequência do exposto previamente é uma possível alteração repentina do estado emocional do operador, levando-o a uma situação de extremo estresse diante de uma ocorrência esporádica em uma subestação, geralmente as denominadas setoriais ou de grande porte.

Além dessa situação, várias empresas de energia elétrica estão mudando a rotina de trabalho do operador, fazendo com que estes se tornem, além de operadores de instalação, mantenedores, ou seja, passem a realizar atividades de manutenção de primeiro nível (básicas), o que torna este mais um fator complicador

para o operador perante situações de contingência. A figura 1.3 demonstra uma pequena atividade do operador, substituindo borrachas de vedação de cubículo de transformadores de corrente em uma subestação.

**Figura 1.3 - Operador realizando atividade de manutenção**



Fonte: Autor do trabalho (2013)

A partir do contexto descrito neste item, se constata a necessidade da disponibilidade de manobras de recomposição da instalação, principalmente a que menos ocorrem que são as setoriais ou de grande porte, já citadas anteriormente.

### 1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na elaboração do presente trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre simuladores existentes e utilizados nas empresas do setor elétrico nacional apresentadas a seguir.

Castro (2007) propôs a especificação de um simulador para treinamento de operadores aplicado como piloto na Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), cujo objetivo é a criação de uma referência na especificação de uma forma

fundamentada nos requisitos de operação, para o desenvolvimento de um simulador voltado especificamente para os Centros de Operação de Geração e Transmissão.

Leite, Oliveira e Oliveira (2007) apresentaram a proposta de um simulador para operadores da Chesf como ferramenta para disseminação de conhecimentos na operação do sistema elétrico, cujo objetivo principal foi possibilitar ao operador a ambientação à sala de controle, reciclagem contínua e treinamento complementar.

Moreale (2007) apresentou a proposta de técnicas para treinamento de operadores de sistema elétrico, cujo objetivo era a abordagem na preparação dos operadores utilizando novas ferramentas de simulação, com a utilização de procedimentos modernos de treinamento.

Araujo (2003) e Almeida et al (2006) apresentam um programa completo que contempla a execução de um simulador de fluxo de potência, que permite em ambiente Windows determinar a hora, tempo e velocidade de simulação.

Donaduzzi (2013) apresentou a proposta de um simulador de operação de subestações destinado a treinamentos em sala de aula e à distância, cujo objetivo é o uso de um computador na própria subestação. Assim, o treinamento é mais rápido e objetivo, sem haver necessidade de deslocamento do operador até a sede da empresa.

Andrade (2012) apresentou a proposta de uma ferramenta computacional de apoio ao treinamento de operadores na execução de manobras para sistemas elétricos de potência com o objetivo de criar uma aplicação didática para a simulação de manobras em sistemas de potência através de um programa executável com várias telas de recomposição das subestações que pertencem ao centro de telecomando da Subestação Cidade Industrial, em Canoas/RS (CEEE-GT - Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica).

Silva (2011) apresentou uma proposta de elaboração de um procedimento para validação de roteiro de manobras, objetivando a implementação destas em tempo real, com a finalidade de ser utilizada em centros de operação de empresas de energia elétrica.

Netto, Vieira e Dias (2012) propõem a estruturação de um cenário de treinamento, concebida com base na revisão bibliográfica e na observação de treinamentos realizados com operadores de subestação de sistemas elétricos.

## 1.4 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Pelas diferentes modalidades de falhas no sistema ocasionadas por proteções intrínsecas à determinada subestação, já citadas nos itens anteriores, verifica-se uma grande dificuldade pelos operadores do sistema e das subestações em tomada de decisão para uma eficaz e rápida recomposição da mesma.

Cabe lembrar aqui que, com o advento de novas tecnologias, que permite a operação à distância, a função “operação de subestação” está sendo gradativamente alterada para “mantenedor operador” ou “operador mantenedor”, cujo objetivo é direcionar estes operadores para realização de atividades básicas de manutenção. Por um lado, enxergam-se grandes vantagens, como a manutenção das condições básicas dos equipamentos pelos próprios operadores mantenedores, sem a necessidade de auxílio da manutenção. Por outro lado, é evidente que novas atribuições impactam no antigo foco da função “operar”, pois se esta transição não for realizada de maneira gradativa, sem fazer com que o novo “operador mantenedor” se distancie da forma de operar, poderá acarretar prejuízos aos sistemas.

Na data 26 de junho de 2007, surge a resolução 270 da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2007), que associa a qualidade de energia elétrica à disponibilidade operativa dos equipamentos, cujos conjuntos de equipamentos são denominada função transmissão e ou transformação, as empresas de energia elétrica são penalizadas com perda de receita pelo tempo de indisponibilidade dessas funções, seja ela de modo programado como de modo intempestivo (ocasionado por falhas).

Esta resolução causou um grande impacto nas empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, pois as empresas se viram obrigadas a repensar a metodologia de realização da manutenção de seus ativos. Somado a isso, há uma pressão muito grande na operação do sistema elétrico como um todo, pois a cada falha no sistema, a pressão sobre os operadores, tanto de sistema, como de subestação, aumentaram consideravelmente.

Para impactar ainda mais a situação apresentada até o momento, surge a medida provisória 579, posteriormente transformada em lei 12.783 (BRASIL, 2013), que condicionou a prorrogação das concessões das empresas de energia elétrica a

uma redução de mais ou menos 70 por cento nas tarifas de energia elétrica. Isso levou muitas das empresas de geração e transmissão de energia elétrica a terem uma considerável queda em suas receitas e a necessidade de melhorias no processo de recomposição sistêmica apenas veio mais a se tornar evidente.

Levando em consideração tudo que foi relatado neste item, este trabalho tem por objetivo básico apresentar uma ferramenta de simulação de manobras contingenciais para treinamento de Operadores de Sistema e de Subestação.

Como objetivos específicos, este trabalho visa:

- Proporcionar aos Operadores de Sistema e Instalações a possibilidade de melhor tomada de decisão em recomposições, minimizando o impacto de blecautes.
- Reduzir o tempo de recomposição a fim de minimizar o prejuízo que poderá ocorrer à empresa, estabelecida pela resolução 270 da ANEEL e pela lei 12.783, e aos consumidores durante a interrupção do fornecimento de energia.
- Garantir a segurança operacional do sistema elétrico com ações corretas de recomposição, evitando possíveis erros manobras em equipamentos que poderiam ocasionar prejuízos ainda maiores à sociedade e à própria empresa proprietária da instalação.

## 1.5 COMPOSIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação aqui apresentada é composta de seis capítulos, resumidos a seguir.

O capítulo 1 trata da introdução, composta de 4 subitens, a **motivação para o estudo**, que relata de forma sucinta o cenário do setor elétrico mundial, a função dos operadores das empresas do setor elétrico e a intenção de criar uma ferramenta para auxiliá-los a recompor o sistema frente a perturbações, a **avaliação das dificuldades**, que retrata os problemas que os operadores enfrentam, seja pela constante renovação do quadro, como pela dificuldade de busca de mecanismos adequados de treinamentos de recomposição do sistema. Relata também a dificuldade que o trabalho proposto tem de se adequar a esta situação quando da implantação. Na **revisão bibliográfica**, são apresentadas as pesquisas e trabalhos realizados relacionados a simuladores existentes nas empresas de energia. Antes

da apresentação do **objetivo da dissertação**, é relatado um breve histórico dos problemas que as empresas vêm enfrentando, devido a novas formas de operar e manter, devido às novas leis do setor. Por fim, a **composição do trabalho** se trata do item em questão aqui relatado.

O capítulo 2 tem como objetivo apresentar as definições do que é **um simulador**, de forma genérica e quais suas funções, quais as principais áreas de estudo que utilizam desta tecnologia, enfatizando seu uso na área aeroespacial, antes de entrar nos detalhes **do simulador de manobras** de recomposição, bastante difundido e utilizado nas empresas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, cujo objetivo é auxiliar os operadores, tanto de sistema, como de subestações, na sua atuação perante às diversas ocorrências no sistema elétrico. Para sua **viabilidade técnica**, constantes treinamentos deverão ser efetuados, garantindo assim, sua verdadeira utilidade. No final deste capítulo são analisados os vários **simuladores existentes** no setor elétrico.

O capítulo 3 relata a característica da **Subestação Guamá**, cenário piloto do trabalho proposto, suas **instruções operacionais** e seu **sistema de proteção**, ambos de certa forma complexos e a **resolução 270 da ANEEL**, que associa a qualidade de energia elétrica à disponibilidade operativa de seus equipamentos, de forma sucinta, já com as receitas básicas das funções transmissão desta subestação, definidas por esta resolução.

O capítulo 4 apresenta o **Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia (SAGE)**, sistema de controle e supervisão desenvolvido pelo CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, da Eletrobras, que é a ferramenta utilizada tanto pelos operadores de sistema como de instalação, além da apresentação de suas principais telas de trabalho.

A seguir são apresentadas **as etapas do simulador de manobra** proposto, com o desenvolvimento de telas, definição da estrutura lógica, sua integração com o banco de dados e o cadastramento de manobras, onde no final é apresentado, para um melhor entendimento, um exemplo de uma situação contingencial com suas manobras de recomposição.

Já o capítulo 5 apresenta os resultados obtidos com a implantação do simulador e algumas manobras cadastradas em casos de ocorrência no sistema.

Neste Simulador serão apresentados seu **controle de estado**, **as situações**

**cadastradas e simuladas, os campos das instruções de manobras de contingências e dois exemplos de Instruções de Manobras Cadastradas.** Antes disso e para uma melhor compreensão das telas, são explicadas as definições de equipamentos de manobras e os equipamentos periféricos.

No capítulo 6 são apresentadas as **conclusões do projeto e seus planos futuros**, onde se espera bastante difusão do projeto entre as empresas do setor elétrico.

Por fim, são apresentados as referências bibliográficas utilizadas e os anexos desta dissertação.



# 2

## SIMULADOR DE MANOBRAS

### 2.1 INTRODUÇÃO

Segundo o site da wikipedia, *"um **simulador** é um aparelho/software capaz de reproduzir e simular o comportamento de algum sistema. Os simuladores reproduzem fenômenos e sensações que na realidade não estão ocorrendo"*.

Ainda segundo este mesmo site, um simulador pretende reproduzir tanto as sensações físicas (velocidade, aceleração, percepção de paisagens) como o comportamento dos equipamentos da máquina que se pretende simular, ou ainda de um produto final qualquer sem a necessidade de gasto de matéria prima, utilizar máquinas e mão-de-obra e demandar tempo.

Para simular as sensações físicas recorre-se a complexos mecanismos hidráulicos comandados por potentes computadores que mediante modelos matemáticos conseguem reproduzir sensações de velocidade e aceleração. Para reproduzir a paisagem exterior são empregados projeções de bases de dados de terreno (paisagem sintética).

Há vários tipos de simuladores, que são utilizados nas mais variadas áreas de serviço secreto, hospitalar, de estudo e de pesquisa, tais como área arqueológica, área financeira, área médica, área veterinária, área esportiva, nas agências secretas, no combate ao tráfico de entorpecentes, na área aeroespacial etc.

Um simulador bastante difundido, muito conhecido, é o simulador de voo, como mostra a figura 2.1 a seguir, onde são recriadas situações de vôos realísticos, como turbulências, vôos em condições atmosféricas emergenciais, como falhas em turbinas, despressurização, tempestades, além de situações de emergenciais que porventura poderiam ocorrer durante o voo.

No setor aéreo, onde os responsáveis pelo transporte e segurança de passageiros e ou cargas são os pilotos de aeronaves, os simuladores de voo têm por finalidade o auxílio no treinamento destes e de sua tripulação. Com isso busca-

se a redução de custos com manutenção, desgastes e reciclagem de pilotos em situações normais e adversas como treinamento de condições emergenciais, já citadas anteriormente.

**Figura 2.1 - Detalhe de um simulador de voo**



Fonte: Revista Info Abril, 2012

Em uma analogia ao setor aéreo, o setor elétrico também possui o responsável pelo controle de seu sistema, que são os operadores de sistema elétrico e de subestação. Do mesmo modo em que os pilotos necessitam ser treinados constantemente para desempenharem satisfatoriamente suas funções, os operadores de sistema e de subestações também necessitam de meios de simulação para poder desempenhar satisfatoriamente suas funções, garantindo o fornecimento de energia elétrica à população, com a qualidade e segurança necessárias para sua total disponibilidade, principalmente nos casos em que possíveis situações contingenciais poderão ocorrer.

Para isso, as empresas têm a necessidade de possuir simuladores de manobras disponíveis aos seus operadores de sistema e de instalações, sendo que neste ambiente, assim como no setor aéreo, são simuladas, em situação semelhante ao qual operam, nos mais diversos tipos de ocorrências.

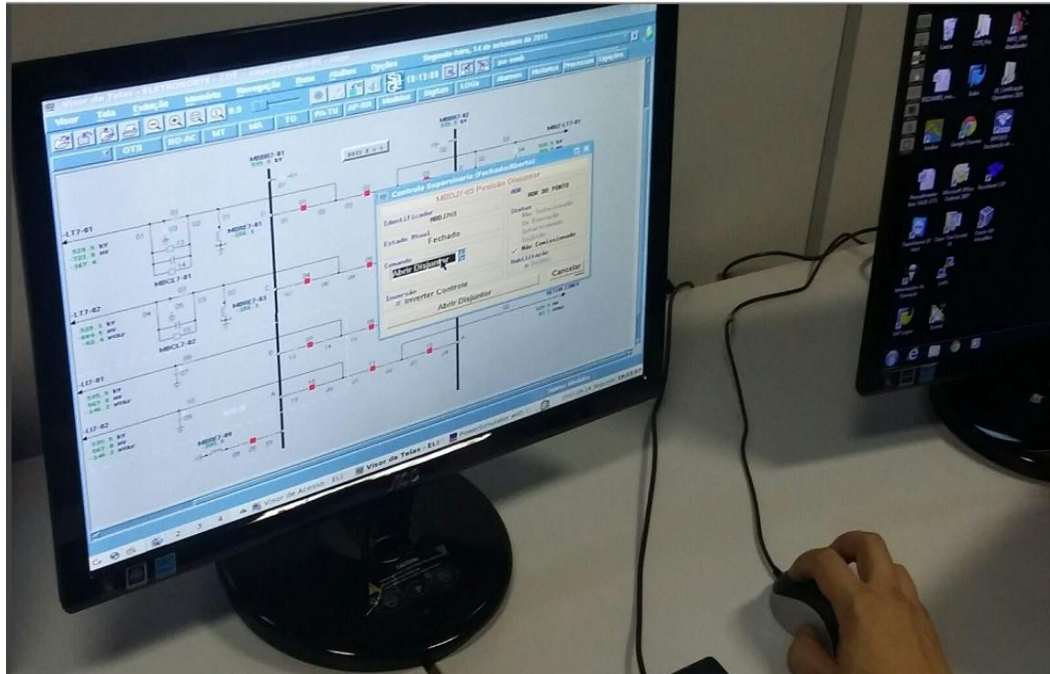
Os simuladores de manobras são ferramentas que tem por finalidade reproduzir o ambiente em que os operadores, tanto de sistemas elétricos, como de instalações, venham a desempenhar suas funções.

Ele retrata em um ambiente paralelo, a configuração de uma determinada subestação, com os mesmos equipamentos contidos na subestação real, permitindo ao usuário, no caso o operador, realizar manobras nos equipamentos. Com isso, consegue-se realizar testes de manobras para:

- Desligamentos programados;
- Desligamentos imprevistos (ou contingenciais);
- Conexão ou desconexão de um equipamento ao sistema.

A figura 2.2 a seguir apresenta um simulador de manobra de operação, onde o usuário simula a abertura de um disjuntor de uma subestação de energia elétrica.

**Figura 2.2 - Usuário simulando manobra de equipamento**



Fonte: Eletrobras Eletronorte, 2015

## 2.2 SIMULADOR DE MANOBRAS E SUA APLICABILIDADE

Os simuladores de manobras de subestação são apropriados para serem utilizados no setor elétrico e sua aplicabilidade é amplamente verificada nas empresas de geração, transmissão e distribuição.

Um simulador de manobra pode ser utilizado de duas formas. A primeira geralmente apresenta uma rede fictícia e a segunda representa o sistema elétrico real de determinada subestação, como na figura 2.3. A primeira forma tem como desvantagem a não realização de recomposição desta rede por meio de simulação de recomposição da subestação real de trabalho do operador. Portanto, a segunda opção é a mais vantajosa, pois os simuladores devem apresentar de maneira mais fiel possível o diagrama real da instalação a qual os operadores devem ser treinados, tornando a ferramenta mais adequada à realidade. Este fator também é de extrema importância, tendo em vista as várias críticas feitas pelos operadores quanto à fidelidade da simulação, pois geralmente tendem a acreditar e aceitar estas ferramentas à medida que estas retratam fielmente o ambiente no qual trabalham.

**Figura 2.3 - Tela de um simulador de manobras**



Fonte: Leite et al, 2007

As instruções operacionais, elaboradas com o propósito de orientar os operadores de sistema e de subestações nas diferentes contingências que poderão

ocorrer em determinada subestação, nem sempre especificam por completo quais as sequências de manobras a serem realizadas em determinada situação contingencial e é exatamente por este motivo que se torna justificável a aplicabilidade dos simuladores de manobras.

A figura 2.4 apresenta um modelo de Instrução de Operação, geralmente utilizada nas empresas de energia elétrica a fim de auxiliar os operadores no processo de operação da instalação, tanto para situações normais de operação como para situações contingenciais. Há inúmeros tipos de instruções operacionais, cuja quantidade varia de acordo com as necessidades de cada empresa.

**Figura 2.4 – Modelo de Capa de uma Instrução de Operação**



Fonte: Autor do trabalho, 2015

Esta justificativa se torna ainda mais importante pelo fato de que há numerosas situações contingenciais em determinadas subestações do sistema elétrico, o que torna inviável inseri-las em uma única instrução de operação

contingencial. Ainda que fosse viável, a falta de um mecanismo de vivência de tais situações, em ambientes reais, faz com que essa única alternativa geralmente não apresente resultados satisfatórios no que diz respeito ao desempenho dos operadores quando da necessidade de sua atuação em ocorrências.

### 2.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE UM SIMULADOR DE MANOBRAS

Segundo site consultado (<http://conceito de/viabilidade>, acessado em 15.09.2015), entende-se por análise de viabilidade o estudo que procura prever/anteceder o eventual êxito ou fracasso de um projeto. Nesse sentido, tem por base dados empíricos (que possam ser contrastados) aos quais se tem acesso através de diversos tipos de investigações (inquéritos, estatísticas, etc). Pode-se falar de viabilidade técnica para fazer referência àquilo que obedece às características tecnológicas e naturais envolvidas em um projeto.

Este site ainda diz que o estudo da viabilidade técnica costuma prender-se com questões de segurança e de controle (por exemplo, se a ideia é construir uma ponte, a viabilidade técnica dirá respeito ao estudo do terreno em questão e às condições ambientais para evitar que a mesma desmorone/caia).

Levando em consideração tudo o que foi apresentado, para que seja efetuada uma análise da viabilidade técnica de um simulador de manobras de operação, deve-se levar os seguintes fatores em consideração:

- Muitas das falhas no sistema elétrico advêm da falta de qualificação necessária para que os operadores exerçam adequadamente suas funções (erros operacionais);
- Não são raros os casos de reclamações de operadores referentes à falta de um simulador de fácil manuseio para que sejam efetuadas diversas simulações de situações que venham a ocorrer no sistema, assunto este já enfatizado no decorrer deste trabalho;
- Os simuladores de manobras são geralmente softwares de fácil programação e tem por finalidade retratar o ambiente do trabalho dos operadores de sistema e instalações do sistema elétrico;

- Geralmente os simuladores são desenhados com base na estrutura das telas originais do sistema, ou seja, de uma interface familiar aos operadores, sendo este motivo de fácil aceitação por parte destes;
- Há uma imensa necessidade de que os operadores possuam meios de se aperfeiçoar constantemente no processo de recomposição das instalações, visando garantir o rápido e seguro restabelecimento da instalação operada e para que isso seja possível, devem prover de uma familiaridade muito grande com o seu ambiente de simulação.

Constata-se, portanto, a evidência de correlação de todos estes fatores, garantindo a viabilidade técnica dos simuladores de manobras para uso dos operadores.

Deve-se levar ainda em consideração que, para a garantia do sucesso do projeto de um simulador de manobras, os constantes treinamentos de simulação devem ser efetuados por técnicos qualificados para desempenhar a função de gerenciamento e instrução (de preferência Engenheiros ou Técnicos da área de Operação).

## 2.4 ANÁLISE DE ALGUNS SIMULADORES DE MANOBRA EXISTENTES

Em todo o contexto relacionado ao setor elétrico, principalmente na área de operação, sempre houve uma constante busca por mecanismos de treinamento e reciclagem dos operadores em realização de manobras programadas e manobras de recomposição em situações contingenciais.

Com a criação da Agência nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão responsável pela fiscalização dos Contratos de Prestação dos Serviços de Transmissão (CPST) nas instalações de geração e transmissão do setor elétrico nacional, esta busca tornou-se ainda mais evidente e necessária, pois a partir desse momento as empresas passaram a estar sujeitas a multas ocasionadas por não cumprimento do referido CPST, além da já existente preocupação no rápido e seguro restabelecimento na recomposição do sistema.

Com o passar dos anos vários simuladores foram desenvolvidos e não é difícil encontrar vários históricos com modelos de simuladores existentes, principalmente em sites de pesquisas.

Mesmo com todos esses recursos, o que se evidencia nos simuladores é a falta de roteiros detalhados de recomposição contingencial no próprio ambiente simulado, como por exemplo:

- Quando da atuação da proteção que desligue um transformador de determinada subestação;
- Quando da atuação da proteção que desligue um equipamento de compensação (reator/capacitor/compensador síncrono ou estático) de determinada subestação;
- Quando de atuação da proteção que desligue um barramento de determinada subestação;
- Quando de atuação de um desligamento de determinada linha de transmissão de uma subestação com a consequente falha de abertura de seu disjuntor, ocasionando um desligamento setorial da subestação.
- Quando de atuação de um desligamento de determinada linha de transmissão de uma subestação com a consequente falha de abertura de seu disjuntor, com falha de disjuntor adjacente, ocasionando um possível desligamento de toda a subestação.

Levando todos estes fatores em consideração, torna-se evidente a necessidade de criação de um simulador que contenha esses tipos de roteiros, a fim de possibilitar ao operador, tanto de sistema como de instalação, um treinamento direcionado, visando sua familiarização diante dessas situações.

## 2.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Verificou-se no decorrer deste capítulo, que a necessidade de simulação está presente em todos os setores empresariais, desde a área arqueológica até a área aeroespacial.



O setor elétrico vive diante dos simuladores de manobras de operação, necessários para possibilitar o constante treinamento dos operadores de sistema e instalações do sistema elétrico.

Também no decorrer deste capítulo foi apresentada a viabilidade técnica da aplicação dos simuladores de manobra e a expectativa dos operadores diante destes.

Com relação aos simuladores existentes, citou-se a falta de um direcionamento para treinamento de recomposição por meio de roteiro de manobras.

Entende-se, portanto que a simulação faz parte do cotidiano de muitas empresas dos mais diversos setores. No setor elétrico isso se torna evidente quando se verifica a necessidade de treinamento constante do colaborador responsável por garantir o fornecimento de energia elétrica, mais precisamente os operadores de sistema e de instalação.

Por fim, conclui-se que, apesar dos vários simuladores existentes no setor elétrico, verifica-se que apenas ter um Simulador de Treinamento com vários recursos, porém sem instruções e ou roteiros de recomposição nem sempre se torna algo suficiente para garantir a capacitação adequada dos Operadores de Sistema e de instalações.

# 3

## A SUBESTAÇÃO GUAMÁ E A RESOLUÇÃO 270 DA ANEEL

### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como propósito a apresentação da subestação Guamá, de propriedade da empresa Eletrobras Eletronorte, onde a partir dela foram desenhadas as telas do simulador, contendo as Instruções de Manobras Contingenciais utilizadas para treinamento dos operadores.

Neste capítulo serão apresentadas as características da Subestação Guamá, como os níveis de tensão de operação, as linhas de transmissão, transformadores e sistemas de compensação de reativo existentes.

A seguir serão apresentadas as instruções de operação, divididas em três volumes, além das proteções existentes da SE Guamá, cuja finalidade é assegurar a retirada rápida do elemento (equipamento, barra ou seção de linha) quando este está em curto curto-circuito ou operação anormal, impedindo que o problema se propague a outros elementos do sistema, protegendo o sistema elétrico interligado.

Por fim, serão descritos os principais tópicos da resolução 270 da ANEEL, fator preocupante às empresas do setor elétrico, tendo em vista que estas geralmente são oneradas em seus respectivos caixas pela indisponibilidade operativa dos seus conjuntos de equipamentos.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA SE GUAMÁ

A Subestação Guamá, construída e inaugurada da década de 80, compõe o sistema de transmissão de energia elétrica do Pará. Com capacidade instalada de 450 MVA, faz parte do Sistema Elétrico Nacional através de quatro linhas de transmissão. É do tipo seccionadora-abaixadora e opera com três níveis de tensão: 230, 69 e 13,8 kV, sendo responsável pelo suprimento de energia à cidade de Belém-PA.

Na figura 3.1, é apresentada a localização da Subestação no sistema Pará e sua associação ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

**Figura 3.1 - Localização da SE Guamá no SIN**



Fonte: Eletrobras Eletronorte, 2015.

A subestação Guamá, cuja responsabilidade de gerenciamento é atribuída à Divisão de Transmissão do Guamá – OTPG é uma instalação considerada estratégica para o setor elétrico, dada sua grande importância, sendo responsável pelo fornecimento de energia elétrica à cidade de Belém, capital do estado do Pará e conhecida por ser a metrópole da Amazônia Oriental, cuja população é de 1.532.844 habitantes (IBGE/2014).

Na figura 3.2 é apresentada a foto da subestação, onde se destacam uma das casas de relés existente na subestação e o edifício do serviço auxiliar da instalação, no canto esquerdo desta figura. O prédio da sala de controle fica localizado na parte de trás (levando em consideração o local onde foi tirada esta foto).

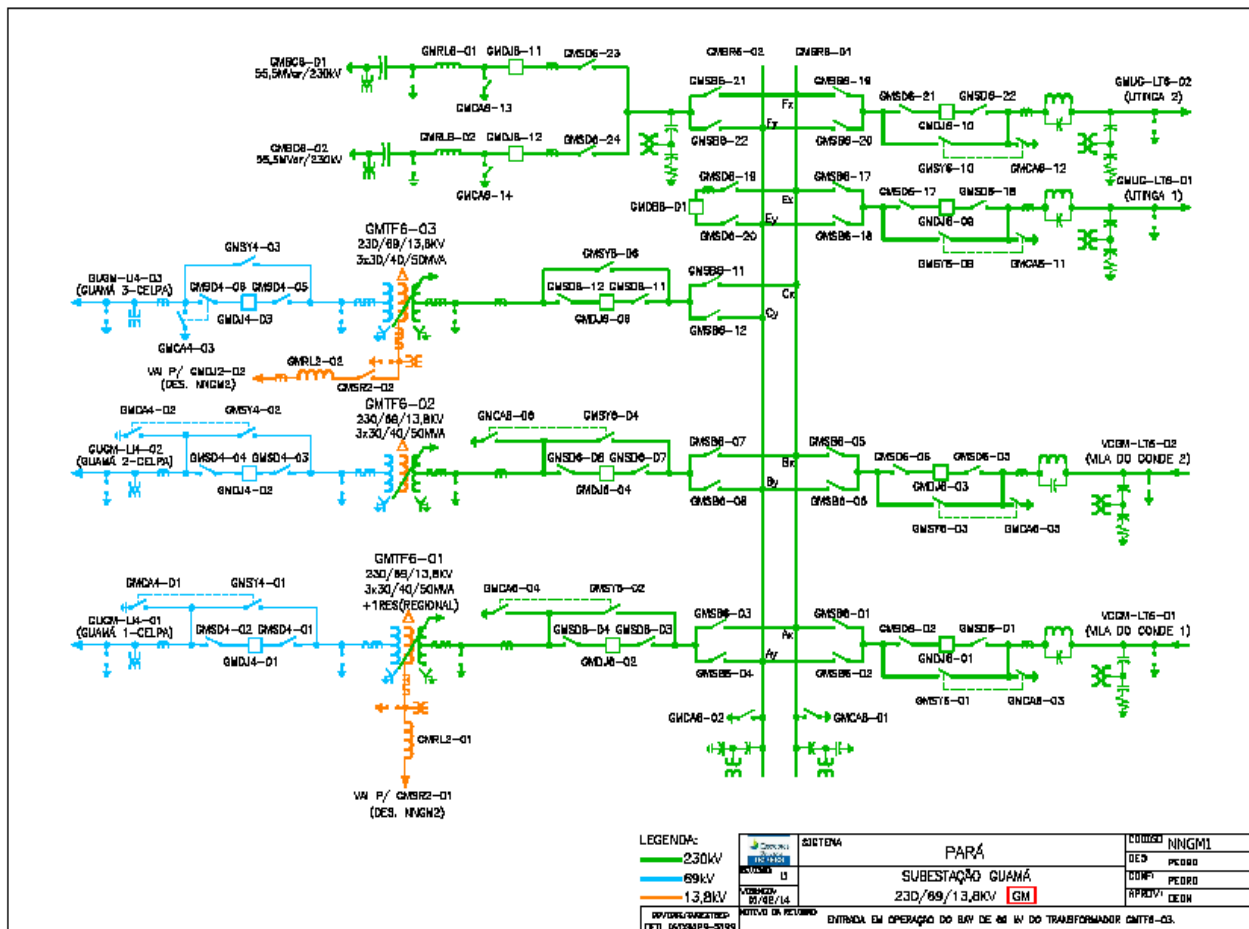
**Figura 3.2 - Subestação Guamá**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Na figura 3.3, é apresentado o diagrama unifilar da subestação, onde cada cor nele existente é associada a uma classe de tensão de operação.

**Figura 3.3 - Diagrama unifilar da Subestação Guamá**



Fonte: Eletrobras Eletronorte, 2015.

Como pôde-se verificar no diagrama unifilar apresentado na figura 3.3, a Subestação Guamá é composta de 4 linhas de transmissão em 230 kV, sendo duas provenientes da SE Vila do Conde, localizada na cidade de Abaetetuba-PA (onde por elas escoam a energia produzida pela Usina Hidrelétrica de Tucuruí, maior usina hidrelétrica genuinamente nacional e localizada na cidade de mesmo nome, no estado do Pará), duas linhas de transmissão que têm por finalidade o transporte de energia para a Subestação Utinga, na cidade de Ananindeua-PA (subestação responsável pelo fornecimento de energia à Grande Belém), 4 bancos de transformadores de 230/69/13,8 kV e potência de 150 MVA cada, onde neles são convertidas as tensões de 230 kV para 69 kV para fornecimento de energia à Celpa, concessionária de distribuição de energia elétrica, responsável pela distribuição de energia à cidade de Belém e 2 bancos de capacitores de 55,5MVar cada, cuja finalidade é manter em níveis aceitáveis os valores de tensão dos barramentos da Subestação.

Segue um breve resumo das linhas, transformadores, equipamentos de compensação e demais equipamentos pertencentes à Subestação Guamá (todos denominados de função transmissão, cuja denominação será melhor detalhada no item 3.4 deste capítulo):

Linhas de Transmissão provenientes de Vila do Conde, conforme figura 3.4:

- Função VCGM-LT6-01 – Linha de Transmissão de 230 kV Vila do Conde Guamá circuito 1
- Função VCGM-LT6-02 - Linha de Transmissão de 230 kV Vila do Conde Guamá circuito 2

**Figura 3.4 - Detalhe das linhas de transmissão Vila do Conde-Guamá 1 e 2**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Linhas de Transmissão responsáveis pelo transporte de energia à SE Utinga, conforme figura 3.5:

- Função GMUG-LT6-01 – Linha de Transmissão de 230 kV Guamá-Utinga circuito 1
- Função GMUG-LT6-01 – Linha de Transmissão de 230 kV Guamá-Utinga circuito 2



**Figura 3.5 - Detalhe das linhas de transmissão Guamá-Utinga 1 e 2**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Banco de Transformadores e suas respectivas linhas de interligação com a Celpa, conforme figura 3.6:

- Função GMTF6-01 – GUGM-LI4-01 – Banco de Transformadores nº 1 de 230kV/69/13,8 kV e respectiva Linha de Interligação de 69 kV Guamá Celpa-Guamá Eletronorte circuito 1
- Função GMTF6-02 – GUGM-LI4-02 – Banco de Transformadores nº 2 de 230kV/69/13,8 kV e respectiva Linha de Interligação de 69 kV Guamá Celpa-Guamá Eletronorte circuito 2
- Função GMTF6-03 – GUGM-LI4-03 – Banco de Transformadores nº 3 de 230kV/69/13,8 kV e respectiva Linha de Interligação de 69 kV Guamá Celpa-Guamá Eletronorte circuito 3

**Figura 3.6 - Detalhe dos bancos de transformadores e linhas de interligação**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Equipamentos de compensação de reativos, conforme figura 3.7:

- Função GMBC6-01 – Banco de capacitores nº 1 de 55 Mvar
- Função GMBC6-02 – Banco de capacitores nº 2 de 55 Mvar

**Figura 3.7 - Detalhe dos bancos de capacitores**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.



Interligação de barras, conforme figura 3.8:

- Função GMDB6-01 – Disjuntor de interligação de barras (bay que interliga as barras 1 e 2 de 230 kV da SE Guamá.

**Figura 3.8 - Detalhe do bay de interligação ao fundo**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Barras, conforme figura 3.9:

- Função GMBR6-01 – Barra 1 de 230 kV da SE Guamá
- Função GMBR6-02 – Barra 2 de 230 kV da SE Guamá

**Figura 3.9 - Detalhe das barras**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

### 3.3 INSTRUÇÕES E PROTEÇÕES EXISTENTES NA SE GUAMÁ

#### 3.3.1 - As Instruções de Operação

Em todas as Subestações de energia elétrica e Centros de Operação, são disponibilizadas as Instruções de Operação em regime normal e de contingência, com a finalidade de orientar aos operadores de Sistema e da instalação quanto à correta tomada de decisão diversas situações operacionais da instalação.

Na Subestação Guamá, são disponibilizadas três instruções operacionais:

**Operação da SE Guamá em regime normal**, cujo objetivo é orientar os operadores da SE Guamá e de Sistema, sobre os procedimentos a serem seguidos na operação em regime normal da subestação (BRASIL, 2014).

**Operação da SE Guamá em casos de desligamentos**, cujo objetivo é orientar os operadores da SE Guamá e do Sistema nos procedimentos a serem seguidos em caso de desligamento total ou parcial desta subestação (BRASIL, 2014).

**Principais proteções existentes na SE Guamá**, cujo objetivo é fornecer uma visão geral das funções e atuações das proteções dos equipamentos e linhas da SE Guamá (BRASIL, 2014).

Embora a Instrução “**Operação da SE Guamá em casos de desligamentos**”, que Instrução de Operação trata da operação da SE Guamá em casos de desligamentos, oriente os operadores de Sistema e da SE Guamá nas diferentes contingências que poderão ocorrer na referida Subestação, ela não especifica quais as sequências de manobras a serem realizadas pelos operadores quando de determinada situação contingencial.

### **3.3.2 - Proteções existentes**

São diversas as proteções, desde as mais simples (aquelas que acarretam desligamento de uma linha de transmissão) até as mais complexas (atuação de falha de disjuntor ou diferencial de barras) (BOZZI & SILVA, 2011), gerando as mais diversas necessidades de tomadas de decisão para o restabelecimento sistêmico.

Mais detalhes dessas proteções, como nomenclaturas e finalidades estão disponibilizados no anexo 3 desta dissertação.

## **3.4 A RESOLUÇÃO 270 DA ANEEL**

Em 26 de junho de 2007, foi instituída pela ANEEL a resolução 270 (BRASIL, 2007), associando a qualidade dos serviços prestados de energia elétrica à disponibilidade operativa dos equipamentos das instalações, conforme artigo 1º:

**Art. 1º** Estabelecer as disposições relativas à qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica, associada à disponibilidade das instalações integrantes da Rede Básica que compõem o Sistema Interligado Nacional - SIN.

O Artigo 2º, itens 1 e 7, fala da Receita Anual Permitida (RAP) que corresponde a receita da disponibilidade operativa dos equipamentos de determinada instalação e da definição de Função Transmissão respectivamente, conforme a seguir:

**Art. 2º** Para os fins e efeitos desta Resolução ficam estabelecidos os seguintes termos e respectivas definições:

I - Adicional à RAP: valor a ser adicionado à Receita Anual Permitida - RAP estabelecido pela ANEEL como incentivo à melhoria da disponibilidade das instalações de transmissão, tendo como referência a receita da Parcela Variável Por Indisponibilidade;

VII – Função Transmissão – FT: conjunto de instalações funcionalmente dependentes, considerado de forma solidária para fins de apuração da prestação de serviços de transmissão, compreendendo o equipamento principal e os complementares, conforme estabelecido na Resolução Normativa nº 191, de 12 de dezembro de 2005;

O tempo de indisponibilidade de determinada função transmissão e ou transformação onera às empresas de energia elétrica a parcela variável, que é o desconto da receita da instalação por esta indisponibilidade da função, conforme artigo 2º item XV:

XV - Parcela Variável Por Indisponibilidade – PVI: parcela a ser deduzida do Pagamento Base por Desligamentos Programados ou Outros Desligamentos decorrentes de eventos envolvendo o equipamento principal e/ou os complementares da FT, de responsabilidade da concessionária de transmissão, consideradas as exceções e as condições definidas nesta Resolução.

Conclui-se, portanto, que a instalação é onerada em sua receita, pelo tempo de indisponibilidade de determinada função transmissão.

Segue o cálculo da parcela variável (perda de receita) por indisponibilidade operativa, conforme anexo 3:

### **3.4.1 Cálculo da Parcela Variável Por Indisponibilidade (PVI)**

A PVI a ser descontada do Pagamento Base de uma FT, será calculada por meio da seguinte fórmula, expressa pela equação 3.1:

**Equação 3.1 – Equação da PVI de desconto do Pagamento Base da FT**

$$PVI = \frac{PB}{1440D} K_P \left( \sum_{i=1}^{NP} DVD P_i \right) + \frac{PB}{1440D} \left( \sum_{i=1}^{NO} K_{O_i} DVOD_i \right) \quad (3.1)$$

Onde:

$PB$  Pagamento Base da FT;

$\Sigma DVD P$  e  $\Sigma DVOD$  Somatórios da Duração Verificada de Desligamento Programado e da Duração Verificada de Outros Desligamentos de uma FT: correspondem aos somatórios das durações, em minutos, de cada Desligamento Programado e de Outros Desligamentos da FT ocorridos durante o mês, consideradas as condições a seguir:

- a. se, no período contínuo de onze meses anteriores ao referido mês, a duração acumulada dos Desligamentos Programados ou dos Outros Desligamentos for igual ou superior que a duração do correspondente padrão, será considerado, para efeito de desconto da PVI, o valor do respectivo somatório das durações ocorridas no mês;
- e
- b. se, no período contínuo de onze meses anteriores ao referido mês, a duração acumulada dos Desligamentos Programados ou dos Outros Desligamentos for inferior que a duração do correspondente padrão, será considerado, para efeito de desconto da PVI, o valor positivo da diferença entre a duração acumulada acrescida do respectivo somatório das durações ocorridas no mês e a duração do correspondente padrão;

$K_P$  Fator multiplicador para Desligamento Programado;

$K_O$  Fator multiplicador para Outros Desligamentos com duração de até 300 minutos. Nesta fórmula, este fator será reduzido para  $K_P$  após o 300º minuto, observadas as condições a. e b. estabelecidas;

$D$  Número de dias do mês da ocorrência;

$N_P$  Número de Desligamento Programado da FT ocorrido ao longo do mês; e

$N_O$  Número de Outros Desligamentos da FT ocorridos ao longo do mês

A tabela 3.1 a seguir apresenta o pagamento base mensal das funções transmissão e transformação da SE Guamá:

**Tabela 3.1 - Receitas básicas das funções da Subestação Guamá**

<b>SE GUAMÁ</b>	<b>Pag. Base Mensal</b>	<b>1 minuto indisponível (Desligamento Programado)</b>	<b>1 hora indisponível (Desligamento Programado)</b>	<b>1 minuto indisponível (Outros Desligamentos)</b>	<b>1 hora indisponível (Outros Desligamentos)</b>
VCGM-LT6-01	64.090,02	14,83	890,13	222,53	13.352,09
VCGM-LT6-02	64.090,02	14,83	890,13	222,53	13.352,09
GMUG-LT6-01	42.187,35	9,76	585,93	146,48	8.789,03
GMUG-LT6-02	42.187,35	9,76	585,93	146,48	8.789,03
GMTF6-01	46.072,45	10,66	639,89	159,97	9.548,42
GMTF6-02	46.072,45	10,66	639,89	159,97	9.548,42
GMTF6-03	54.492,59	12,61	756,84	189,21	11.352,62
GMBC6-01	21.229,63	2,46	147,43	49,14	2.948,56
GMBC6-02	21.229,63	2,46	147,43	49,14	2.948,56

Fonte: Eletrobras Eletronorte, 2015.

Pela tabela, fica claro que as funções de transmissão VCGM-LT6-01 e VCGM-LT6-02, pelo fato de serem linhas de transmissão exclusivamente necessárias ao transporte de energia elétrica à cidade de Belém, são as que mais geram receitas à Divisão responsável pelo gerenciamento da Subestação.

### 3.5 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Observou-se no decorrer deste capítulo, as características técnicas da SE Guamá, onde foram apresentadas suas classes de tensão, seus conjuntos de equipamentos, contendo o equipamento principal e seus equipamentos associados, denominados de função transmissão.

Dada à sua grande importância e ao fornecimento a uma capital com milhares de habitantes, também se observa que a SE Guamá é considerada uma subestação estratégica ao Sistema Interligado Nacional.

Foram apresentadas as Instruções de Operações e seus sistemas de proteção associados a cada função transmissão existente na instalação.

Por fim, foi apresentado um fator de extrema preocupação das empresas do setor na atualidade, a resolução 270 da ANEEL, que associa a qualidade dos serviços de energia elétrica à disponibilidade operativa do conjunto de equipamentos de uma instalação.

Conclui-se, portanto, que a SE Guamá é uma instalação considerada de extrema importância para a ANEEL e para a sociedade, especificamente a sociedade paraense, face à sua importância estratégica ao sistema elétrico, e em virtude disso, é de vital importância a necessidade de possuir em seu quadro profissionais extremamente qualificados, tanto da área de operação, como da área de manutenção, para que os serviços sejam realizados da melhor forma possível, evitando grandes prejuízos à empresa proprietária e responsável pelos serviços de O&M da subestação.

# 4

## DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE MANOBRAS DE RECOMPOSIÇÃO

### 4.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo descrever os resultados preliminares do desenvolvimento de uma ferramenta para simulação de situações contingenciais para a subestação Guamá da Eletronorte, descrita tecnicamente no capítulo anterior.

A subestação Guamá conta com operadores, que dentre suas atividades, devem avaliar e depurar as ações para recompor o sistema sempre que ocorrer uma falha.

Neste cenário, Tocuzato (2000, p. 160) aponta que uma subestação de energia caracteriza-se por possuir um sistema complexo de ser operado. Não obstante a este ponto, sabe-se que os operadores de rede são responsáveis pela execução das manobras de contingências.

Já as Manobras de Contingência são interrupções não programadas (emergenciais) em uma rede de energia elétrica. Quando ocorrem, exigem conhecimento e habilidades do operador, conhecimento este que por sua vez pode ser adquirido previamente com treinamentos.

Em levantamento realizado através de entrevistas, observou-se que a citada subestação muitas vezes encontra dificuldades para recompor uma linha de energia frente a grandes perturbações sistêmicas.

Não obstante, um fato comum é que tais atividades de recomposição são esporádicas, não ocorrendo, portanto, com frequência, o que gera, segundo os próprios operadores, dificuldades de ação pela falta de treinamento e constância na realização das manobras.

Neste contexto, este capítulo abordará o desenvolvimento de uma ferramenta que tem por finalidade simular as condições operacionais em subestações utilizando manobras contingencias, propondo-se, para tanto, ser um instrumento capaz de



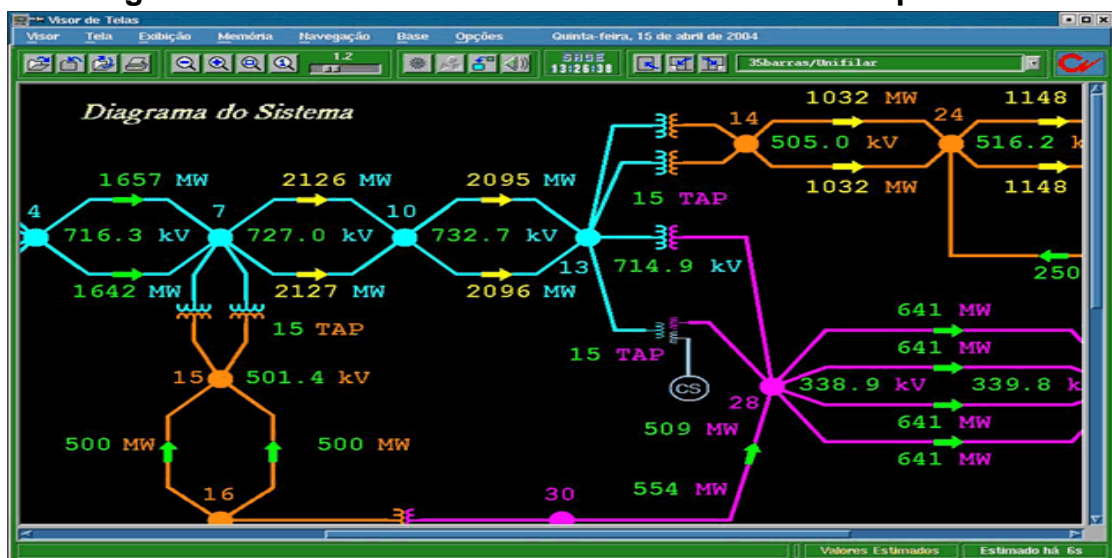
orientar os operadores nos procedimentos a serem seguidos em caso de desligamento total ou parcial desta subestação.

#### 4.2 O SAGE – SISTEMA ABERTO DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA

O Sistema SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) (BRASIL, 2007) é um sistema de supervisão e controle desenvolvido pelo CEPEL (Centro de Pesquisa de Energia Elétrica) e tem por finalidade produzir alguma configuração do sistema elétrico para fins de simulação, mais especificamente as subestações, a fim de proporcionar um ambiente de telas para que o usuário (no caso operadores de sistema e instalações) realize as operações, tanto de forma sistêmica, como de forma localizada.

A Figura 4.1 ilustra uma tela do SAGE referente a um sistema elétrico de potência interligado, geralmente operada por operadores de sistema das empresas de energia elétrica. Nota-se, em particular nesta tela um sistema composto de várias subestações, com as grandezas elétricas tensão e fluxo de potência ativa que saem e entram na respectiva subestação.

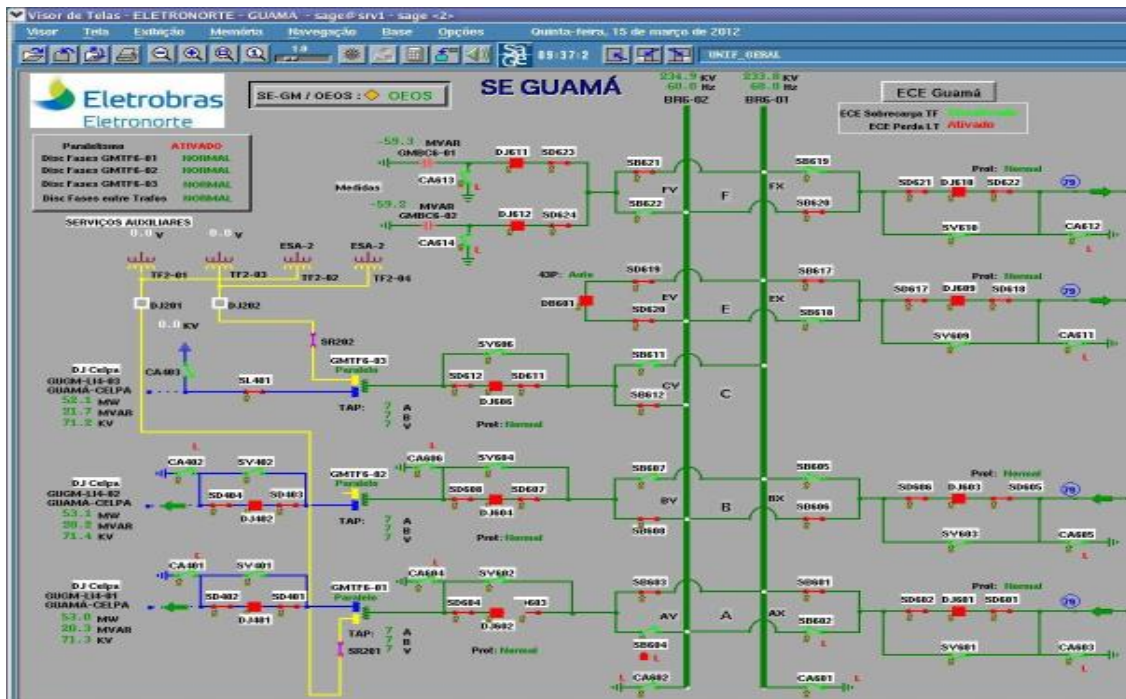
**Figura 4.1 - Tela do SAGE de um sistema elétrico de potência**



Fonte: Eletrobras Cepel (2015)

A Figura 4.2, importante no escopo do presente trabalho, ilustra uma tela do Sistema referente à subestação do Guamá da Eletronorte.

Figura 4.2 - Tela do SAGE da Subestação Guamá



Fonte: Eletrobras Eletronorte, 2015.

Em uma breve descrição da tela IHM SAGE da SE Guamá, por exemplo, pode-se mostrar que os componentes em vermelho são referentes aos disjuntores em estado fechado do sistema, já os contatos em verde claro são as seccionadoras em estado aberto e os contatos em vermelho são seccionadoras em estado fechado. As linhas em tom mais escuro de verde condizem que nelas passam tensão de 230 kV, as linhas em azul a tensão é de 69 kV e as amarelas a tensão de 13,8 kV.

A interface do SAGE da subestação Guamá foi projetada de acordo com o seu diagrama unifilar, o qual representa a posição física dos equipamentos da subestação. Sendo assim, o diagrama unifilar bem como o diagrama lógico do sistema lógico da rede elétrica adequou-se como fonte de dados para este projeto.

O SAGE também utiliza outros visores, não menos importantes do que o visor de telas do sistema ou da subestação em questão, nos quais pode-se destacar o visor de alarmes e o visor de log de eventos.

O Visor de Alarmes, conforme figura 4.3, permite o monitoramento de alarmes do sistema elétrico, de determinada subestação e do sistema de supervisão, bem como de eventuais aplicações computacionais.

Figura 4.3 - Visor de alarmes

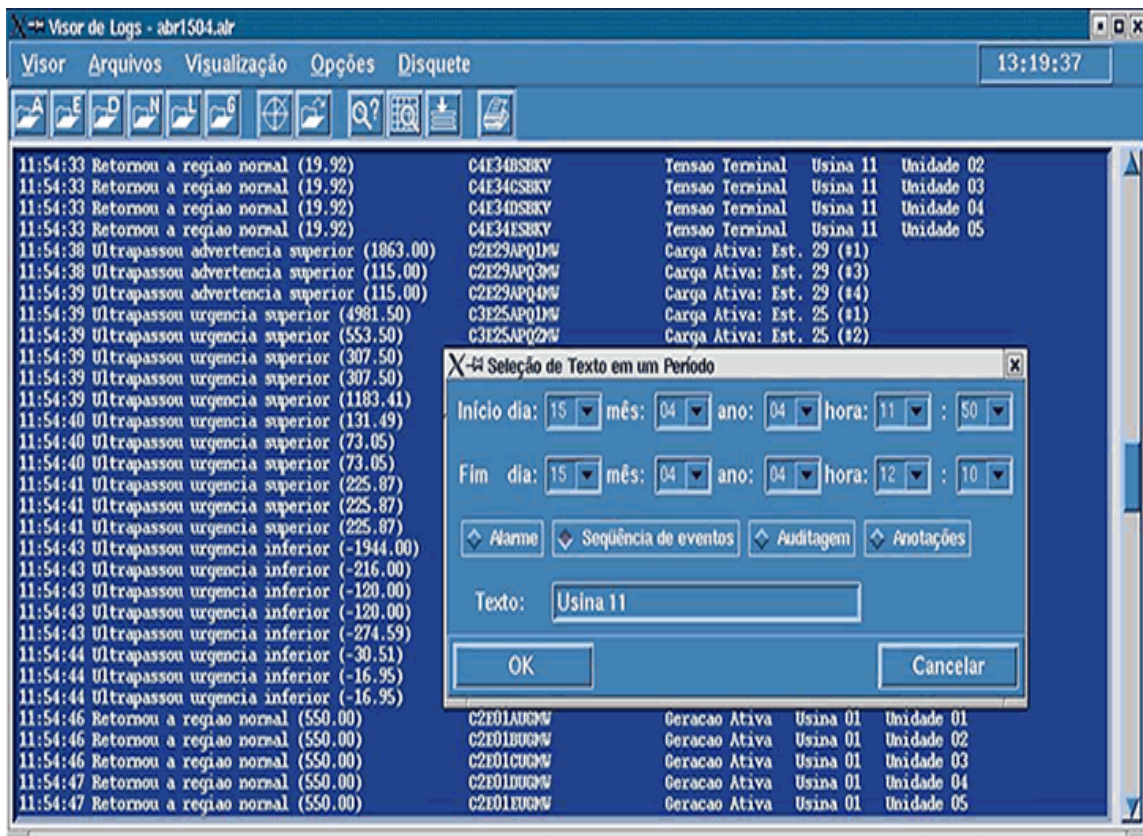
Tempo	Descrição	ID	Status
11:55:52	Ultrapassou urgencia superior (300.00)	C4S08I32ATR21PW	Fluxo Ativo no Trafo: Est. 32 A
11:55:46	Ultrapassou advertencia superior (1045.70)	C4E18AI19ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 18 > Est. 19 (#1)
11:55:46	Ultrapassou advertencia inferior (-1038.80)	C4E19AI18ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 19 > Est. 18 (#1)
11:55:42	Ultrapassou urgencia inferior (-555.20)	C4S06E30ATR21PW	Fluxo Ativo no Trafo 500/345: Est. 30
11:55:42	Ultrapassou urgencia superior (555.20)	C4S06E16ATR21PW	Fluxo Ativo no Trafo 500/345: Est. 16
11:55:41	Ultrapassou urgencia superior (645.00)	C1U17E36FTR20PW	Fluxo Ativo no Trafo: Est. 36 F
11:55:41	Ultrapassou urgencia superior (645.00)	C1U17E36FTR25PW	Fluxo Ativo no Trafo: Est. 36 F
11:55:40	Ultrapassou urgencia superior (645.00)	C1U17E36GTR20PW	Fluxo Ativo no Trafo: Est. 36 D
11:55:40	Ultrapassou urgencia superior (645.00)	C1U17E36GTR23PW	Fluxo Ativo no Trafo: Est. 36 C
11:55:40	Ultrapassou urgencia superior (645.00)	C1U17E36GTR22PW	Fluxo Ativo no Trafo: Est. 36 B
11:55:39	Ultrapassou urgencia superior (645.00)	C1U17E36ATR21PW	Fluxo Ativo no Trafo: Est. 36 A
11:55:39	Ultrapassou urgencia superior (1935.00)	C1E26AI25ALT2PW	Fluxo Ativo: Est. 25 > Est. 25 (#2)
11:55:39	Ultrapassou urgencia inferior (-1932.60)	C1E25AI26ALT2PW	Fluxo Ativo: Est. 25 > Est. 25 (#2)
11:55:38	Ultrapassou urgencia superior (1935.00)	C1E26AI25ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 25 > Est. 25 (#1)
11:55:38	Ultrapassou urgencia inferior (-1932.60)	C1E25AI26ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 25 > Est. 25 (#1)
11:55:38	Ultrapassou advertencia superior (831.40)	C3E25AI24ALT2PW	Fluxo Reativo: Est. 25 > Est. 24 (#2)
11:55:38	Ultrapassou advertencia inferior (-779.40)	C3E24AI25ALT2PW	Fluxo Reativo: Est. 24 > Est. 25 (#2)
11:55:38	Ultrapassou advertencia inferior (-1142.40)	C3E25AI24ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 25 > Est. 24 (#2)
11:55:38	Ultrapassou advertencia superior (1147.50)	C3E24AI25ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 24 > Est. 25 (#2)
11:55:38	Ultrapassou advertencia superior (831.40)	C3E25AI24ALT1PW	Fluxo Reativo: Est. 25 > Est. 24 (#1)
11:55:38	Ultrapassou advertencia inferior (-779.40)	C3E24AI25ALT1PW	Fluxo Reativo: Est. 24 > Est. 25 (#1)
11:55:38	Ultrapassou advertencia inferior (-1142.40)	C3E25AI24ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 25 > Est. 24 (#1)
11:55:38	Ultrapassou advertencia superior (1147.50)	C3E24AI25ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 24 > Est. 25 (#1)
11:55:38	Ultrapassou advertencia superior (860.20)	C3E24AI27ALT1PW	Fluxo Reativo: Est. 24 > Est. 27 (#1)
11:55:38	Ultrapassou advertencia inferior (-853.60)	C3E27AI24ALT1PW	Fluxo Reativo: Est. 27 > Est. 24 (#1)
11:55:37	Ultrapassou urgencia inferior (-396.60)	C2S14E23ATR22PW	Fluxo Reativo no Trafo: Est. 29 (#2)
11:55:37	Ultrapassou urgencia superior (426.80)	C2S14E27ATR22PW	Fluxo Reativo no Trafo: Est. 27 (#2)
11:55:36	Ultrapassou urgencia inferior (-396.60)	C2S14E23ATR21PW	Fluxo Reativo no Trafo: Est. 29 (#1)
11:55:36	Ultrapassou urgencia superior (426.80)	C2S14E27ATR21PW	Fluxo Reativo no Trafo: Est. 27 (#1)
11:55:31	Ultrapassou advertencia inferior (-1021.80)	C2E14AI14ALT2PW	Fluxo Ativo: Est. 24 > Est. 14 (#2)
11:55:31	Ultrapassou advertencia superior (1031.10)	C2E14AI24ALT2PW	Fluxo Ativo: Est. 14 > Est. 24 (#2)
11:55:30	Ultrapassou advertencia inferior (-1021.80)	C3E24AI14ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 24 > Est. 14 (#1)
11:55:30	Ultrapassou advertencia superior (1031.10)	C2E14AI24ALT1PW	Fluxo Ativo: Est. 14 > Est. 24 (#1)
11:55:29	Ultrapassou advertencia inferior (-1022.00)	C2S05E28ATR23PW	Fluxo Ativo no Trafo 750/345: Est. 28 (#1)
11:55:29	Ultrapassou advertencia superior (1022.00)	C2S05E13ATR23PW	Fluxo Ativo no Trafo 750/345: Est. 13 (#1)
11:55:28	Ultrapassou advertencia inferior (-1031.10)	C2S05E14ATR22PW	Fluxo Ativo no Trafo 750/500: Est. 14 (#2)
11:55:28	Ultrapassou advertencia superior (1031.10)	C2S05E13ATR22PW	Fluxo Ativo no Trafo 750/500: Est. 13 (#2)
11:55:27	Ultrapassou advertencia inferior (-1031.10)	C2S05E14ATR21PW	Fluxo Ativo no Trafo 750/500: Est. 14 (#1)
11:55:26	Ultrapassou advertencia superior (1031.10)	C2S05E13ATR21PW	Fluxo Ativo no Trafo 750/500: Est. 13 (#1)

Fonte: Eletrobras Eletronorte, 2015.

O Visor de Logs, conforme figura 4.4, permite a visualização de arquivos históricos contendo as mensagens de alarmes e eventos do sistema elétrico e do sistema computacional. Vale ressaltar que este visor permite o filtro de eventos por data e hora.



Figura 4.4 - Visor de log de eventos



Fonte: Eletrobras Eletronorte, 2015.

#### 4.3 SIMULADOR DE MANOBRA DESENVOLVIDO

Para desenvolvimento do simulador a ser apresentado na presente dissertação, foram adotadas quatro etapas, a saber:

- Desenvolvimento das telas similares as já utilizadas;
- Definição da estrutura lógica;
- Integração com o banco de dados;
- Cadastramento das manobras de recomposição no banco de dados.

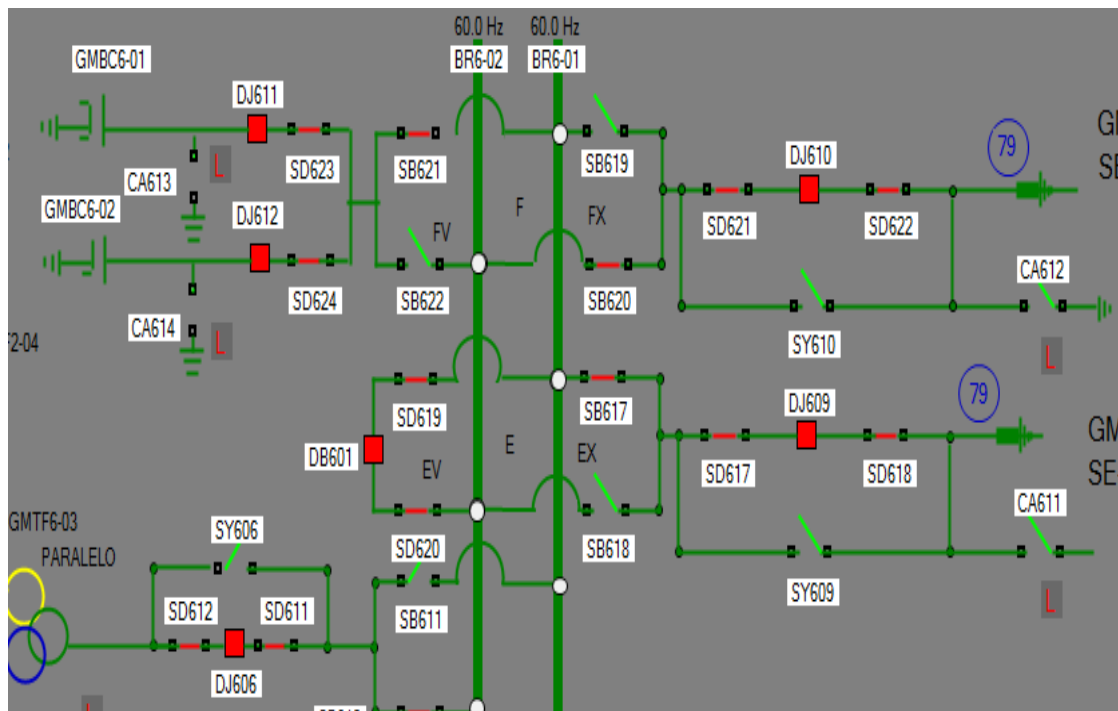
Tal simulador foi desenvolvido utilizando a linguagem C# e banco de dados SQL Server, permitindo em sua estrutura que o operador possa solucionar os problemas através das manobras, e supervisão do controle dos equipamentos.

### 4.3.1 - Desenvolvimento das telas

Na primeira etapa, foram desenhadas todas as telas do simulador, utilizando recursos da ferramenta de desenvolvimento Visual Studio 2012. Esta interface seguiu como base a estrutura da subestação Guamá, definindo todos os equipamentos e suas relações intrínsecas.

Verifica-se que, mesmo com a utilização do Visual Studio para desenvolvimento, a tela criada contemplou fielmente todos os equipamentos contidos na tela do SAGE da SE Guamá, conforme figura 4.5.

**Figura 4.5 - Desenvolvimento da tela da Subestação Guamá**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

### 4.3.2 - Definição da estrutura lógica

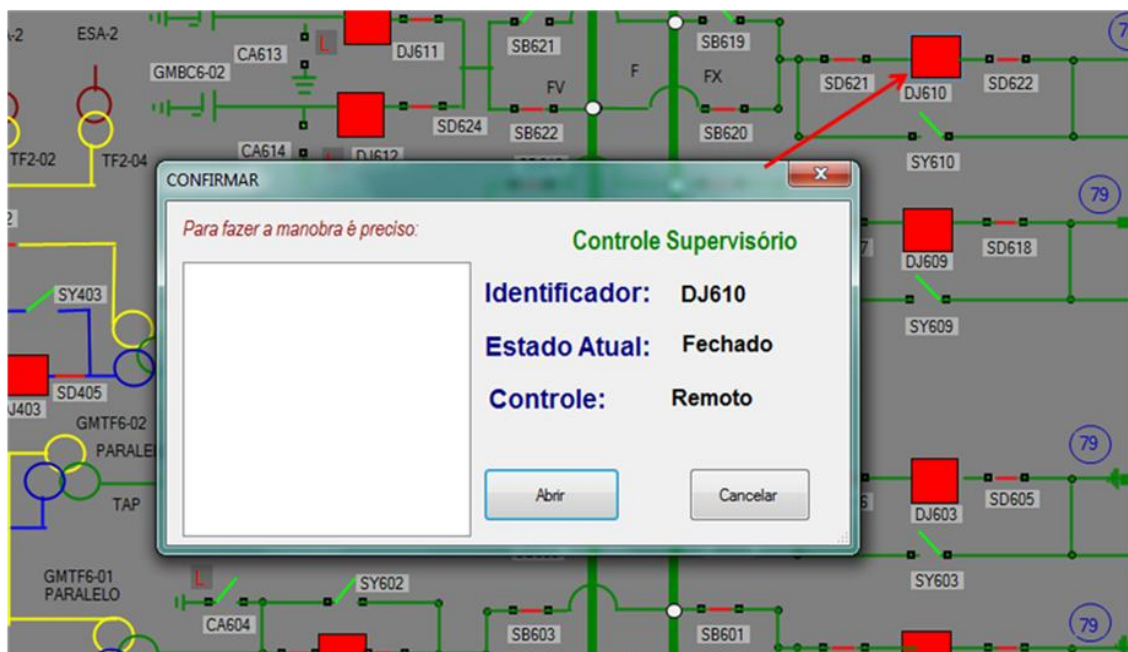
Para a definição da estrutura lógica do simulador optou-se por utilizar a linguagem de programação visual C#, tendo em vista seu notável crescimento, bem como sua robustez para desenvolvimento de soluções complexas.

Com isso, foi possível definir todas as ações comportamentais do simulador, tais como o movimento e controle das seccionadoras e disjuntores, apresentado na

figura 4.6, bem como suas inter-relações. Assim, utilizando as regras da linguagem foi possível definir vários aspectos, tais como:

- Verificação de relações entre equipamentos ao abrir ou fechar uma seccionadora.
- Alertas personalizados de acordo com as manobras selecionadas
- Acionamento de alarmes e comportamento dos equipamentos, sendo possível limitar a falta de tensão nos alimentadores.

**Figura 4.6 - Tela apresentando o controle supervisorio de um disjuntor**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Para um melhor entendimento, o detalhamento desta janela será apresentado no item 5.2 dessa dissertação.

#### 4.3.3 - Integração com o banco de dados

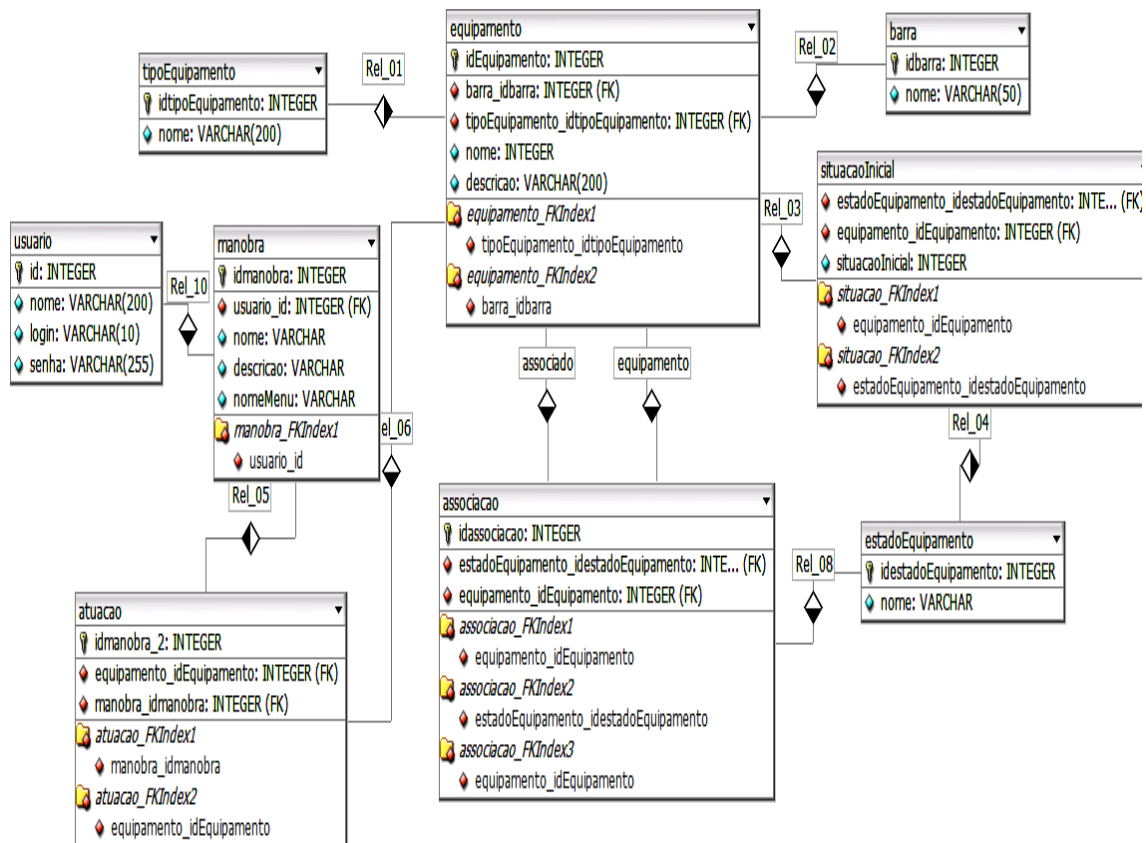
Um Sistema Gerenciador de Banco de Dados, ou SGCB, é um software projetado para auxiliar a manutenção e utilização de grandes volumes de dados.

Para este projeto é necessário a criação de uma base de dados para controlar e gerenciar as informações referentes a estrutura do diagrama unifilar de uma subestação de energia elétrica.

Para tanto, preliminarmente foi elaborado um estudo para avaliar a organização dos elementos internos, tais como seccionadoras, disjuntores e transformadores, e em seguida esta estrutura foi disposta em tabelas em banco de dados, de tal forma a possibilitar que o desenho da subestação pudesse ser elaborado dinamicamente através do uso de estruturas de dados.

A proposta aqui apresentada pretende ser dinâmica e adaptável, ou seja, de acordo com a estrutura da subestação o simulador deverá se moldar aquela necessidade. Para tanto, utilizou-se das técnicas de banco de dados de forma que todos os atributos relacionados à dinâmica da subestação sejam definidos na de dados, conforme figura 4.7.

**Figura 4.7 - Diagrama do banco**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Como ilustrado na figura 4.7, a solução possui o cadastro de equipamentos onde estarão dispostas as seccionadoras, disjuntores, transformadores e barras, bem como todas as suas relações com equipamentos associados.

Sendo assim, é possível realizar mudanças na estrutura, equipamentos, ou lógica de manipulação, sem a necessidade de alterações na estrutura interna do simulador, bastando somente alterar alguns parâmetros na base de dados.

Tal ação é possível pelo fato do simulador realizar uma checagem em todas as relações em banco a cada operação realizada no simulador. Por exemplo, ao abrir uma seccionadora é analisado o estado dos equipamentos relacionados a essa seccionadora, caso essa verificação não seja satisfatória é emitido um alerta ao operador sobre o erro que está ocorrendo.

#### **4.3.4 - Cadastramento de manobras**

Antes da realização dos cadastros de manobras no software em questão, houve a necessidade de criação das instruções de manobras. Para isso, foram constatados mais de 200 tipos de situações contingenciais, que poderiam ocorrer na SE Guamá, considerando, claro, essas ocorrências isoladas por meio da correta atuação do sistema de proteção.

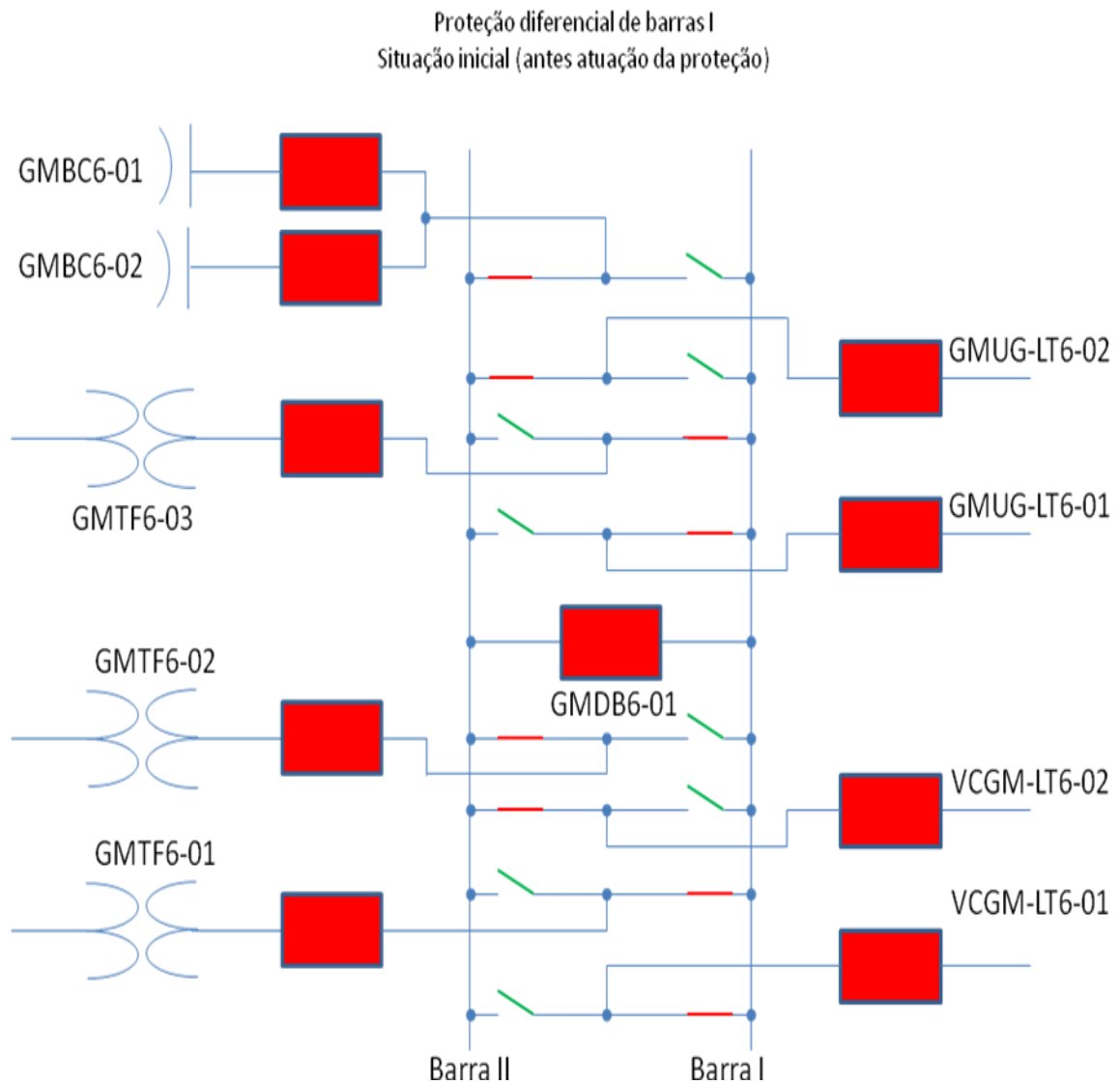
Baseado nestas constatações foram elaboradas mais de 200 Instruções de Manobras Contingenciais de recomposição da subestação, sendo que nelas é previsto desde situações mais simples, como desligamentos de linhas de transmissão, desligamentos setoriais da instalação, até a atuação de proteção diferencial de barras, seguido de atuação de falha de disjuntor de algum equipamento conectado a esta barra.

Utilizando como exemplo a SE Guamá (KAWAKATSU & ALVES, 2014), será apresentada uma ocorrência, que embora rara, costuma sempre trazer muitos transtornos a qualquer empresa de energia elétrica, que corresponde ao desligamento de barra por atuação de proteção diferencial. Esta ocorrência será apresentada primeiramente em desenho unifilar. Posteriormente mostrada sua instrução de manobras contingenciais, meio de apoio aos operadores para utilização no simulador. Primeiramente serão apresentadas as figuras 4.8, de configuração da subestação antes da atuação da proteção e 4.9, após a atuação da proteção diferencial de barras. Vale lembrar que esta é uma das mais de 200 situações contingenciais previstas para possivelmente ocorrerem na subestação Guamá, dos



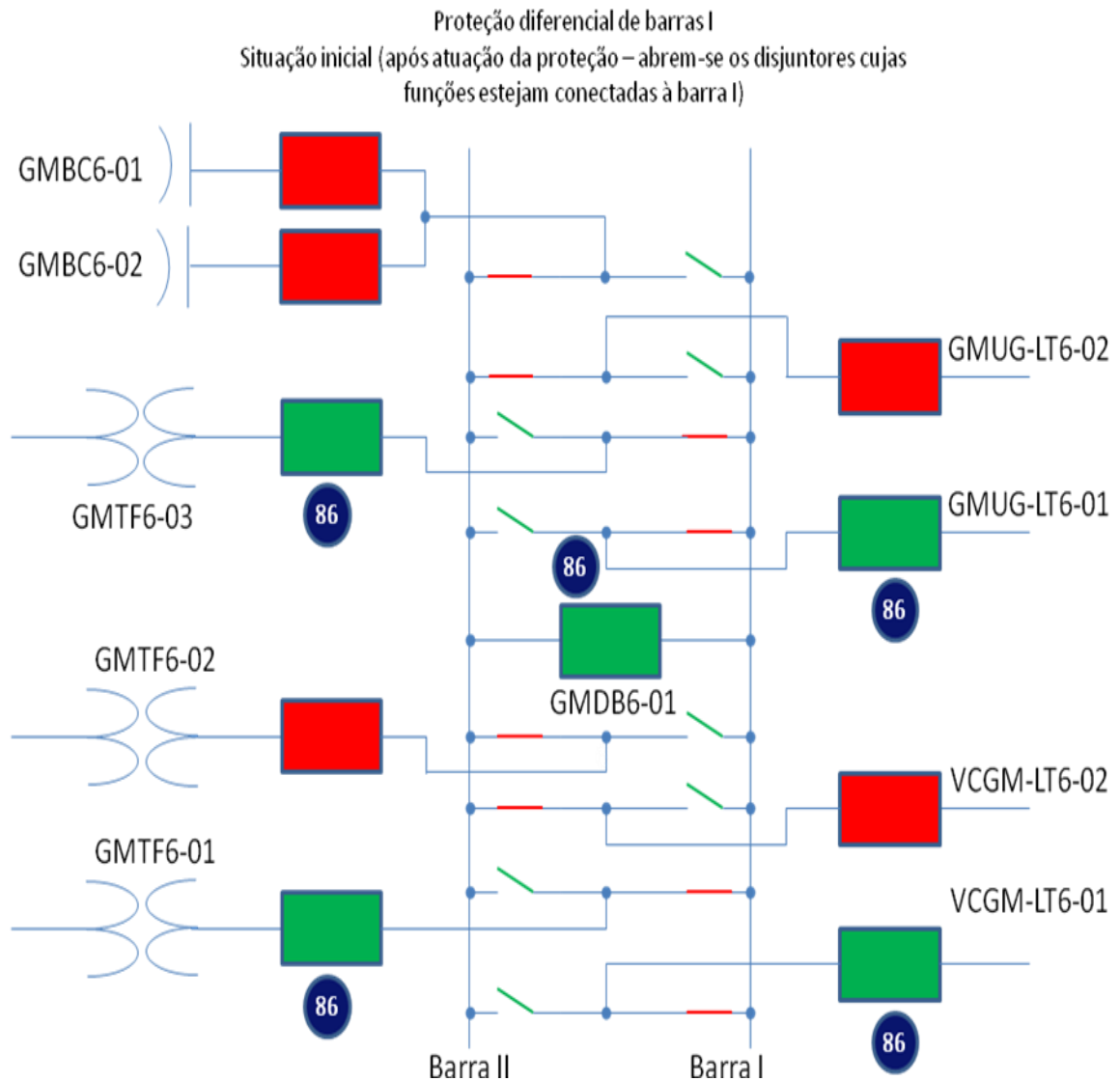
mais variados tipos, números de etapas para recomposição, quantidade de funções a serem recompostas, necessidade de acionamento da equipe de manutenção para tomada de decisão, etc.

**Figura 4.8 - Configuração da subestação antes da atuação da proteção**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

**Figura 4.9 - Configuração da subestação após a atuação da proteção**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

## CONTINGÊNCIA (DIFERENCIAL DE BARRA)

### ATUAÇÃO DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE BARRA I

**Abrem-se os seguintes disjuntores:**

- GMDJ6-01, referente à Função VCGM-LT6-01**
- GMDJ6-02, referente à Função GMTF6-01**
- GMDJ6-06, referente à Função GMTF6-03**
- GMDJ6-09, referente à Função GMUG-LT6-01**
- GMDDB6-01, referente à Função Interligação DJ de Interligação da Celpa**

Disjuntores que ficam com bloqueios atuados:

**GMDJ6-01, referente à Função VCGM-LT6-01**  
**GMDJ6-02, referente à Função GMTF6-01**  
**GMDJ6-06, referente à Função GMTF6-03**  
**GMDJ6-09, referente à Função GMUG-LT6-01**  
**GMDB6-01, referente à Função Interligação**  
**DJ de Interligação da Celpa**

Disjuntores que deverão ser abertos manualmente:

**GMDJ4-01, referente à Função GUGM-LI4-01**  
**GMDJ4-03, referente à Função GUGM-LI4-03**  
**DJ da Celpa, referente à GUGM-LI4-01**  
**DJ da Celpa, referente à GUGM-LI4-03**

Em seguida é realizada a Atuação do operador da Instalação e Sistema, o qual executa os seguintes procedimentos:

**1 – Realizar a inspeção detalhada, conforme já descrita em instruções operacionais**

**2 – Após a inspeção e constatado que realmente a barra está defeituosa (defeito constatado em qualquer trecho da barra defeituosa até as seccionadoras seletoras de barras I e II dos bay's abertos pela proteção), transferir equipamentos que estavam na barra I para a barra II de 230 kV:**

Comutar na tela do SAGE o “MODO PARALELISMO – ATIVADO”, transformadores em modo paralelo, para “MODO PARALELISMO – DESATIVADO”, transformadores em modo individual, a fim de ajustar os tapes dos transformadores nas mesmas posições para permitir o desbloqueio de fechamento dos respectivos disjuntores de 230 kV. Nesta condição os comandos de AUMENTAR / DIMINUIR os tapes serão executados individualmente.

a) – Transferir para barra II e normalizar Função GMTF6-01

- Abrir GMSB6-03 (Operador da Instalação).
- Fechar GMSB6-04 (Operador da Instalação).

- Rearmar bloqueio e fechar GMDJ6-02 energizando GMTF6-01 com Tap no 5 ou máximo 9 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Colocar o Tap dos transformadores energizados e ou em operação no máximo até o 10 e fechar GMDJ4-01, energizando GUGM-LI4-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Desbloquear fechamento do DJ da Celpa (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

b) – Transferir para barra II e normalizar Função GMTF6-03

- Abrir GMSB6-11 (Operador da Instalação).
- Fechar GMSB6-12 (Operador da Instalação).
- Rearmar bloqueio e fechar GMDJ6-06 energizando GMTF6-03 com Tap no 5 ou máximo 9 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Colocar o Tap dos transformadores energizados e ou em operação no máximo até o 10 e fechar GMDJ4-03, energizando GUGM-LI4-03 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Desbloquear fechamento do DJ da Celpa (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

c) – Transferir para barra II e normalizar Função VCGM-LT6-01

- Abrir GMSB6-01 (Operador da Instalação).
- Fechar GMSB6-02 (Operador da Instalação).
- Rearmar bloqueio e fechar GMDJ6-01, normalizando VCGM-LT6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

d) – Transferir para barra II e normalizar GMUG-LT6-01

- Abrir UGSB6-17 (Operador da Instalação).
- Fechar UGSB6-18 (Operador da Instalação).
- Rearmar bloqueio e fechar GMDJ6-09, normalizando a GMUG-LT6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

Após o paralelismo dos transformadores através da barra da SE Utinga (Celpa), comutar na tela do SAGE o “MODO PARALELISMO –

DESATIVADO”, transformadores em modo individual, para o “MODO PARALELISMO – ATIVADO”, transformadores em modo paralelo.

### **3 – Isolar barra I de 230 kV:**

- Abrir GMSD6-19 e GMSD6-20 (Operador de Instalação).
- Bloquear e colocar C/S na GMSD6-20, GMSB6-01, GMSB6-03, GMSB6-05, GMSB6-07, GMSB6-17, GMSB6-19 e GMSB6-21 (Operador da Instalação).

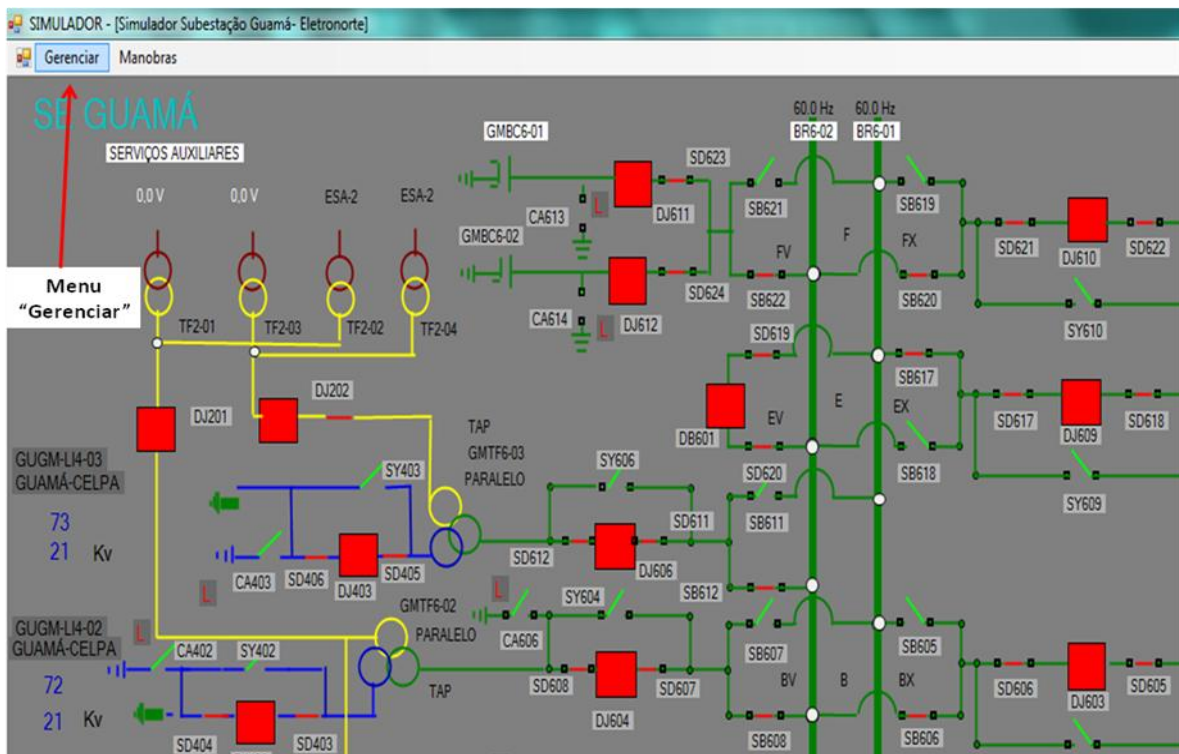
### **4 – Aterrizar barra I de 230 kV:**

- Fechar GMCA6-01 (Operador de Instalação).
- Bloquear e colocar C/S na GMCA6-01 (Operador da Instalação).

Pode-se observar a quantidade de manobras necessárias para serem executadas pelo operador, o que estabelece claramente a necessidade do apoio proporcionado pelo simulador de manobras para o devido treinamento destes técnicos.

Nota-se também claramente que as instruções foram primeiramente elaboradas em arquivo Word. Esta opção veio pelo fato de ser um software de fácil manuseio e bastante conhecido, onde provavelmente não seriam encontradas dificuldades de elaboração, o que de fato realmente ocorreu. Após a elaboração de todas as instruções de manobras contingenciais, no arquivo Word, já mencionado, foi criado um banco de dados no próprio simulador permitindo o cadastramento desta manobra a manobra, de acordo com cada situação contingencial com abertura automática dos disjuntores previstos quando de determinada ocorrência, por meio do menu “gerenciar”, como mostram a seguir as figuras 4.10 e 4.11.

**Figura 4.10 - Tela do simulador selecionando o menu “Gerenciar”**



Fonte: Autor do trabalho. 2015.

**Figura 4.11 - Tela de cadastro de manobras no menu “Gerenciar”**

Fonte: Autor do trabalho. 2015.

Cadastradas as Ocorrências com suas referidas Instruções de Manobras Contingenciais, consegue-se simular as ocorrências desejadas, por meio do menu “Manobras”, conforme mostra a figura 4.12.

**Figura 4.12 - Tela do simulador selecionando o menu “Manobras”**



Fonte: Autor do trabalho. 2015.

#### 4.4 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta para simular as condições operacionais em subestações utilizando manobras contingenciais.

Primeiramente foi apresentado o sistema de gerenciamento de energia utilizado pela Subestação Guamá, da Eletrobras Eletronorte, onde foram destacados seus principais visores, tais como telas, alarmes e log de eventos.

Para o desenvolvimento da proposta e certos da necessidade de que o simulador seguisse fielmente o sistema utilizado na SE Guamá, houve a necessidade da busca de um aplicativo de criação de telas que atendesse à necessidade em questão. O aplicativo encontrado e que mais atendeu sem quaisquer problemas estas necessidades foi o Visual Studio.

Para a definição da estrutura lógica do simulador foi utilizada a linguagem de programação C#, pela sua robustez no quesito de desenvolvimento de soluções complexas, fato já salientado na introdução deste capítulo.

Para o completo desenvolvimento da ferramenta foram integrados as Instruções de Manobras de Contingências, nas quais foram encontradas e elaboradas mais de 200 situações consideradas contingenciais para cadastramento no banco de dados do simulador.

As Instruções de Manobras foram elaboradas, considerando todos os intertravamentos existentes entre seccionadoras e disjuntores, o correto desempenho do sistema de proteção e as Instruções Operacionais da instalação.

Conclui-se, portanto, que o simulador aqui apresentado seja um instrumento capaz de orientar os operadores nos procedimentos a serem seguidos em caso de desligamento total ou parcial desta a fim de oferecer a possibilidade de administrar de maneira mais rápida e eficaz tais situações contingenciais.



# 5 RESULTADOS

## 5.1 INTRODUÇÃO

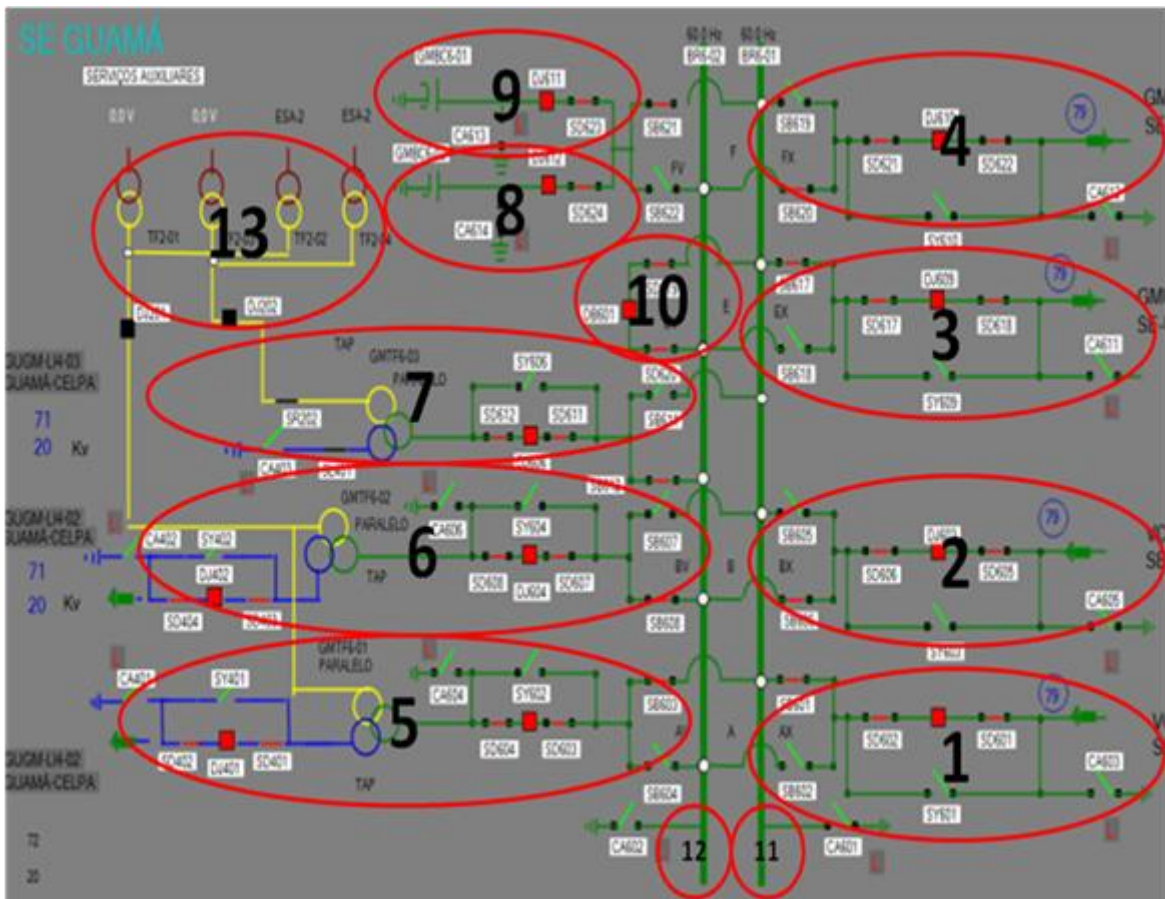
Este capítulo apresenta a solução de problemas na subestação através das manobras necessárias para cada contingência, simulando as ações do ambiente real, como ilustra a Figura 5.1. Nesta tela, onde é mostrado o diagrama unifilar da Subestação Guamá, o posicionamento dos equipamentos elétricos e sua codificação operacional são similares a IHM (Interface Homem Máquina) do Sistema Supervisório SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia).

Cabe ressaltar aqui que, levando em consideração a dificuldade apresentada pelos operadores, no que tange a uma falta de orientação detalhada de como normalizar determinada contingência, este trabalho tem sua importância justamente por fornecer aos operadores esta orientação, de como normalizar a subestação contendo instruções de manobras contingenciais detalhadas, algumas com diversas etapas de sequência de recomposição. A tela elaborada apresenta as seguintes funções transmissão, circuladas em vermelho na figura 5.1.

1. Linha de transmissão VCGM-LT6-01
2. Linha de transmissão VCGM-LT6-02
3. Linha de transmissão GMUG-LT6-01
4. Linha de transmissão GMUG-LT6-02
5. Transformador 230/69/13,8 kV GMTF6-01 e sua saída de linha)
6. Transformador 230/69/13,8 kV GMTF6-02 e sua saída de linha
7. Transformador 230/69/13,8 kV GMTF6-03 e sua saída de linha
8. Banco de capacitor GMBC6-01
9. Banco de capacitor GMBC6-02
10. Interligação de barras

11. Barra 1 de 230 kV
12. Barra 2 de 230 kV
13. Saída para os serviços auxiliares

**Figura 5.1 - Tela inicial do simulador**



Fonte: Autor do trabalho. 2015.

Como exposto anteriormente, os seguintes equipamentos são mostrados como “em posicionamento” e que por este motivo recebem codificação operacional, são os seguintes:

- Disjuntores
- Seccionadoras
- Transformadores
- Banco de capacitores
- Banco de reatores

- Compensadores síncronos e ou estáticos
- Barras

Esses equipamentos recebem esta codificação pelo fato de, diretamente ou indiretamente, sofrerem alguma ação operacional de manobra, seja por mudança de estado aberto/fechado, seja conexão/desconexão para controle de grandezas do sistema (geralmente tensão e potência).

Além destes, há os equipamentos chamados de periféricos, tais como:

- Capacitivo de Potencial (DCP)
- Transformador de Potencial (TP)
- Transformadores de corrente (TC)
- Bobinas de Bloqueio (BB)
- Para-raios (PR)

Estes não recebem esta codificação pelo fato de não sofrerem qualquer tipo de ação de manobra no sistema e em alguns casos são até dispensados de aparecerem nas telas dos sistemas supervisórios, como o SAGE, por exemplo.

Na Eletrobras Eletronorte há a norma operacional 12TR03 (BRASIL, 2005) que detalha todos estes aspectos abrangidos anteriormente. Seus anexos detalham como são representados estes componentes nos diagramas unifilares.

## 5.2 CONTROLE DE ESTADO DE EQUIPAMENTO

Já a Figura 5.2 ilustra a caixa de diálogo para fechamento e abertura de um disjuntor ou seccionadora. Nesta etapa é possível avaliar as correlações entre os equipamentos, verificar o seu estado atual e se o controle do equipamento está em remoto ou manual.

Foram criadas caixas de diálogos para todos os equipamentos passíveis de manobras na instalação.

Nesta há três opções de tela com os seguintes dizeres:

- **Identificador:** Esta opção refere-se à denominação (ou codificação operacional) do equipamento a ser manobrado;
- **Estado Atual:** Refere-se ao estado do equipamento a ser manobrado, onde estará com a indicação de equipamento “aberto”, caso o mesmo se encontre na posição aberta ou estará com a indicação de equipamento “fechado” caso o mesmo se encontre na posição fechado;
- **Controle:** Tem por finalidade a indicação de avisar ao operador que o controle de comando do equipamento a ser manobrado está pelo modo remoto, ou seja, o usuário poderá efetuar o comando por esta tela e não pela UCD (Unidade de Controle Digital) localizada nas casas de relés da Subestação Guamá, cuja finalidade é uma segunda opção de operação em caso de perda do sistema supervisor SAGE.

Nota: Considerando que o simulador em questão tem por finalidade a demonstração de um cenário praticamente idêntico ao sistema supervisor SAGE, optou-se por manter este campo, porém sempre será mantido com a indicação “remoto”.

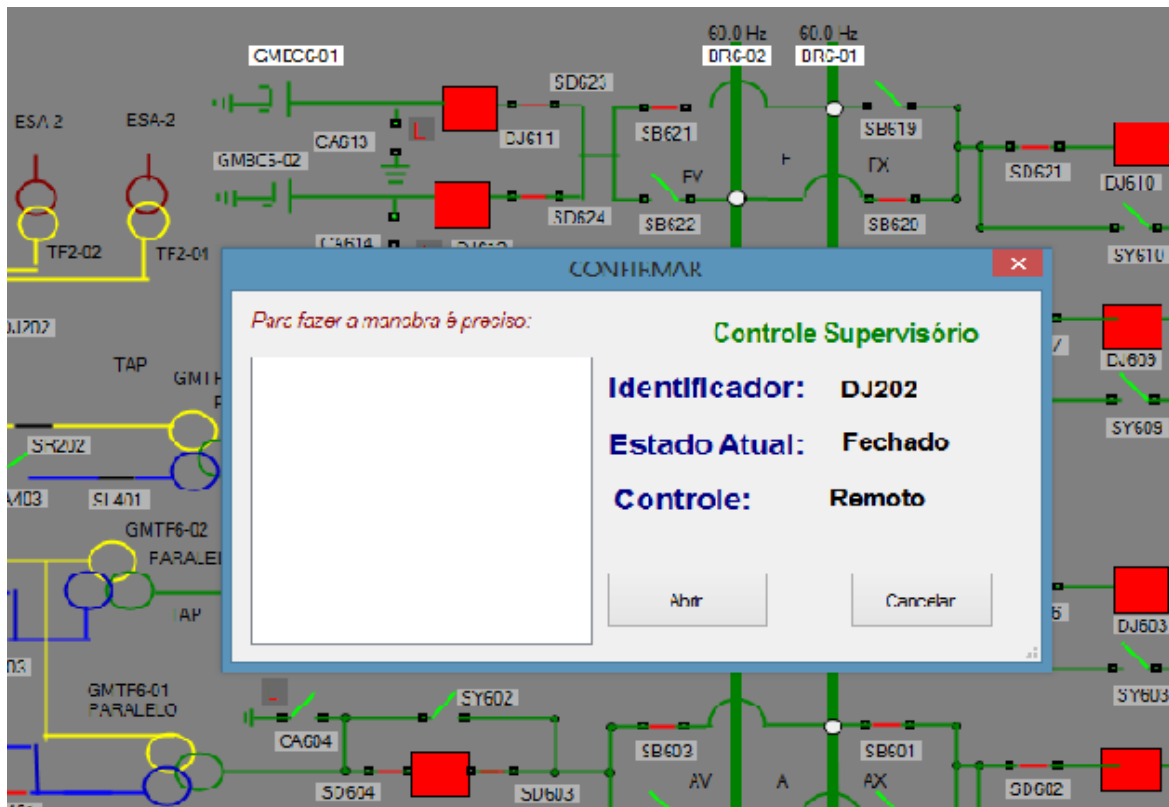
Pode-se observar que, quando um equipamento encontra-se na posição “fechado”, ao abrir a caixa de diálogo correspondente, automaticamente aparecerá a opção de comando “abrir” na parte inferior esquerda da caixa de diálogo e quando um equipamento encontra-se na posição “aberto”, ao abrir a caixa correspondente, aparecerá automaticamente a opção de comando “fechar”, também na parte inferior esquerda, semelhante ao que ocorre na realidade, ou seja, na tela do SAGE da subestação em questão, no caso a SE Guamá. Caso o usuário deseje cancelar a ação de comando, há a opção “cancelar” na parte inferior da caixa de diálogo cujo equipamento foi acionado para efetuar ação de manobra, cancelando a possível ação de manobra. Esta opção, semelhante à existente na tela do SAGE, serve para que seja evitado qualquer tipo de ação de manobra indevida, a fim de evitar erros operacionais de manobra, garantindo a segurança operacional, segurança de equipamentos e de pessoas.

O campo denominado “para fazer a manobra é preciso”, foi elaborado para permitir mostrar ao usuário as condições (intertravamento) para que a manobra possa ser efetuada.

Um exemplo: para manobrar a SD623 é o DJ611 aberto. Nesta tela estará a indicação “DJ611 aberto”.

Na tela, que se referente ao DJ202, não há equipamentos que intertravem esta manobra, daí o fato de nada constar neste campo.

**Figura 5.2 - Controle de estado de equipamento**



Fonte: Autor do trabalho. 2015.

### 5.3 SITUAÇÕES CADASTRADAS E SIMULADAS

Por conta de o cadastro dos equipamentos ser dinâmico e mutável, basta incluí-los juntamente com as manobras contingenciais para a atualização do simulador, ação que o operador terá permissão de acordo com seu grau de hierarquia.

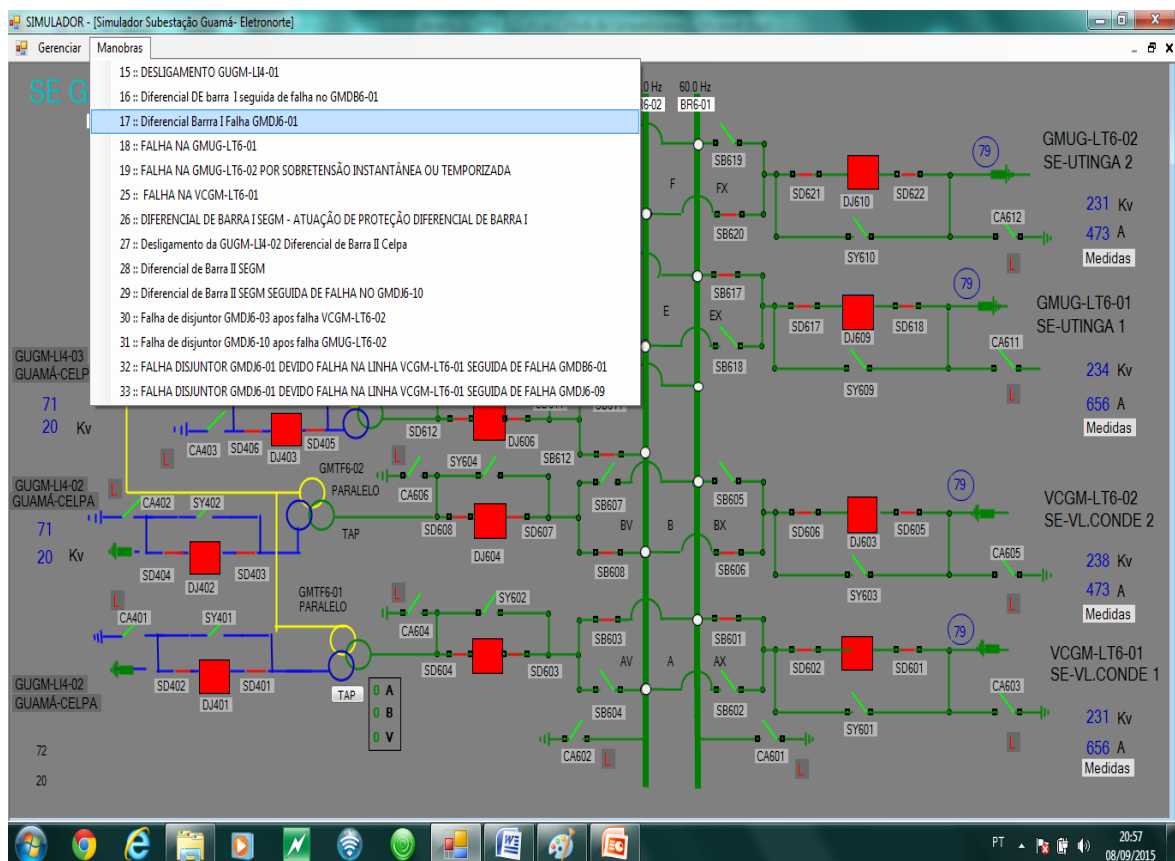
O processo de inclusão das manobras ocorreu por etapas. Até a finalização deste trabalho foram incluídas 14 manobras de recomposição consideradas emergenciais (ou contingenciais), justamente para testar e analisar o grau de aplicabilidade junto com os operadores da subestação Guamá, cuja finalidade será

verificar o comportamento do usuário perante o sistema e também a proposição de melhorias a fim de que sejam totalmente integradas ao sistema buscando o mínimo de alterações possíveis.

Cabe ressaltar que, ao ser diagnosticado qualquer necessidade de alteração em uma situação contingencial, há necessidade de alterar as demais situações contingenciais com características semelhantes, porém em funções transmissão diferentes.

A figura 5.3 a seguir tem por finalidade demonstrar uma situação cadastrada com sua simulação a ser executada. Nela pode-se verificar que a situação a ser simulada é a seguinte: Atuação de proteção diferencial de barra I seguida de falha no GMDJ6-01. Quando de atuação desta proteção, abrem-se todos os disjuntores conectados à barra I, com falha no GMDJ6-01 (conectado a esta barra), abrindo a linha VCGM-LT6-01 também na subestação Vila do Conde.

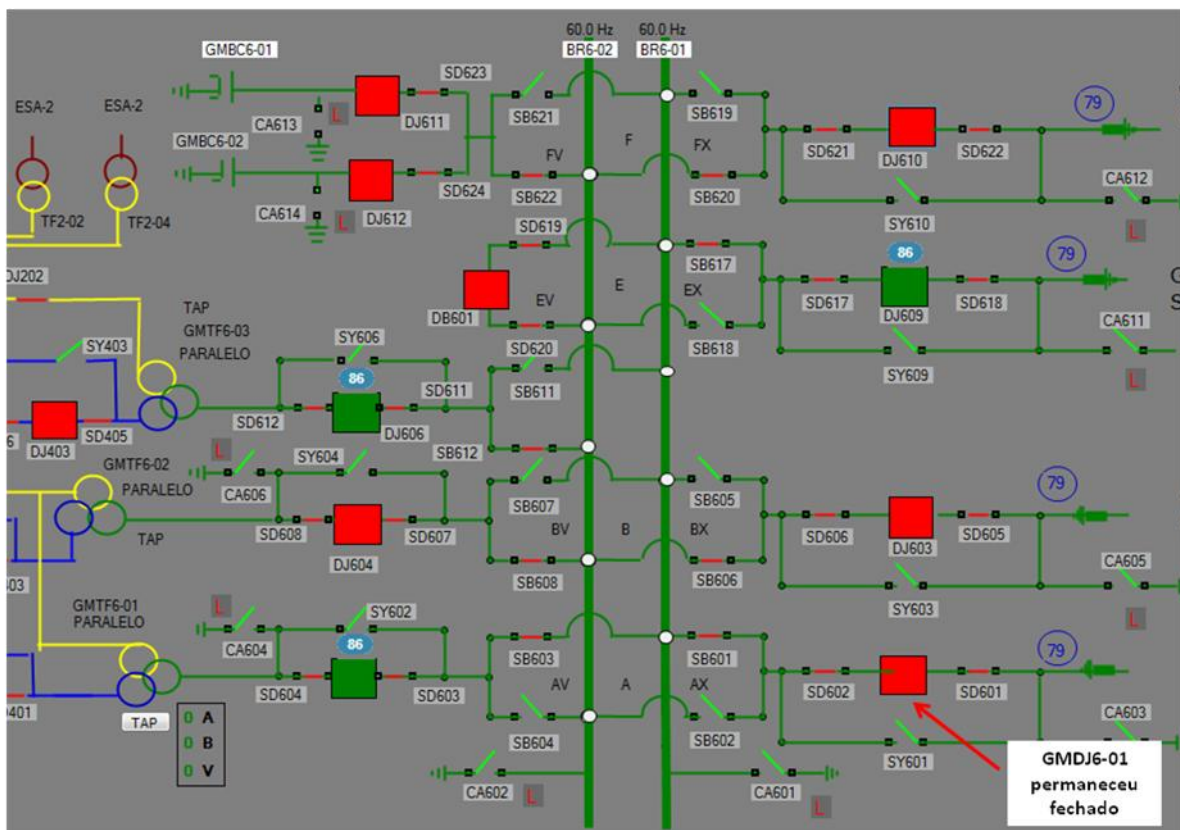
**Figura 5.3 - Situação cadastrada a ser simulada**



Fonte: Autor do trabalho. 2015.

Continuando a explanação, tal situação ocorre quando o relé de proteção, interligado a um TC (transformador de corrente), detectar um diferencial de corrente na barra de transmissão, assim o relé é acionado bloqueando os disjuntores interligados na barra. Na figura 5.4, há a esquematização dos disjuntores bloqueados para proteger o sistema elétrico. A nomenclatura 86 dispõem na tabela ANSI (Padronização de termos do setor elétrico de Operação, de acordo com as normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas), que simboliza a atuação do relé auxiliar de bloqueio. Vale ressaltar que neste simulador, a ação de desbloqueio do disjuntor se realiza juntamente com o fechamento do disjuntor (embora essa situação seja realizada e forma separada no ambiente SAGE), ou seja, embora não haja influência significativa, ainda não se dispõe de uma ação de desbloqueio separada da ação de fechamento do disjuntor.

**Figura 5.4 - Diferencial de barra I com falha no GMDJ6-01**



Fonte: Autor do trabalho. 2015.

O operador de subestação diante da situação descrita necessita atuar para normalizar e recompor o sistema elétrico. Com o auxílio deste simulador para

realização de treinamento, terá a possibilidade de identificar e solucionar com maior agilidade a situação.

#### 5.4 CAMPO INSTRUÇÕES E TELA DE AÇÕES

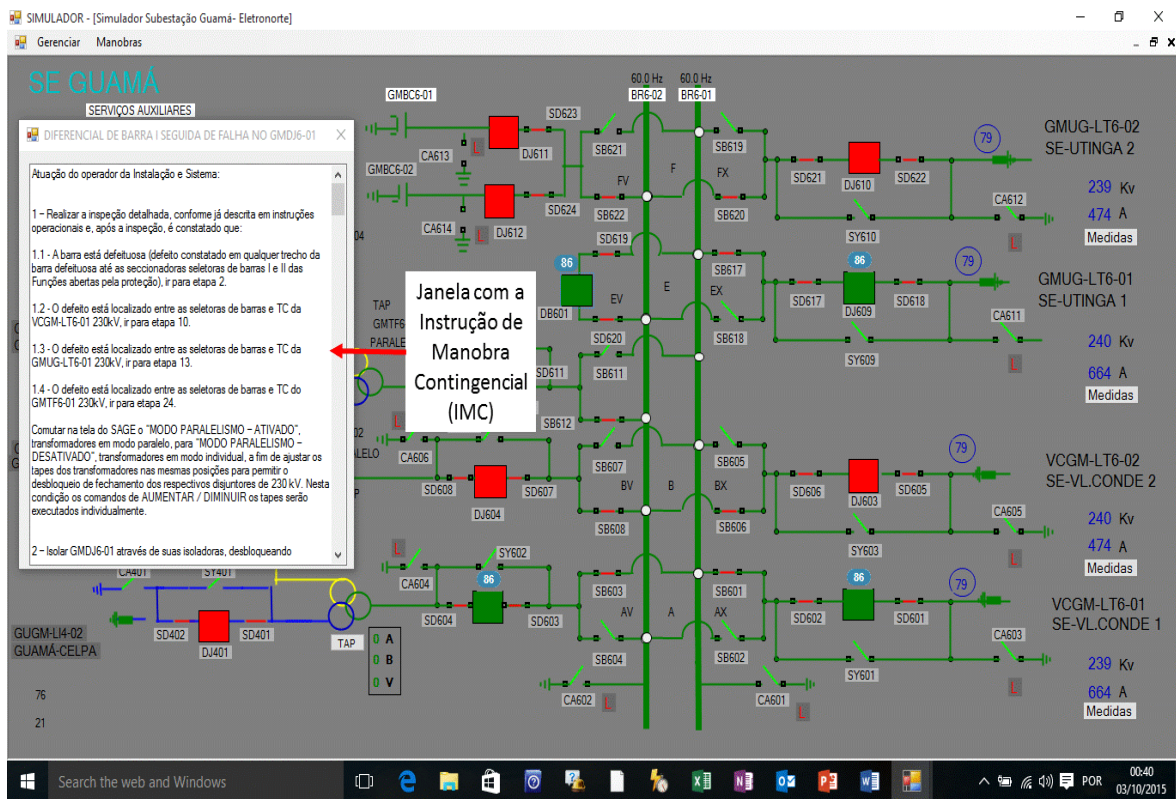
A Figura 5.5 ilustra o campo instruções que disponibilizará o passo a passo para a recomposição da subestação a simulação escolhida para recomposição, no caso a situação “diferencial de barra I seguida de falha no GMDJ6-01”. Neste campo é apresentada a Instrução de Manobra Cotingencial (IMC) para esta situação, que será utilizada para que operador recomponha a subestação em seus exercícios de simulação. Mais exemplos de IMC’s estão disponíveis no anexo desta dissertação

Vale ressaltar que a esmagadora maioria dos simuladores existentes e que os apresentados na referência bibliográfica desta dissertação não dispõe de instruções de manobras contingenciais, o que torna este simulador um diferencial.

Ele se torna diferencial pelo fato de que as instruções de manobras contingenciais geralmente demandam tempo para elaboração, pois são muitas as situações a serem simuladas (dependendo da subestação, mais de 500), somadas à necessidade de conhecimento de intertravamentos existentes, necessidade de conhecimento dos sistemas de proteção e controle da subestação e dos processos de recomposição contidos nas instruções de operação (geralmente não detalhados, pois nestas geralmente orienta-se a ação genérica do “o que fazer”, sem detalhar o “como fazer” do processo). Portanto, face ao que foi explicitado neste parágrafo, os simuladores de manobras existentes não vem com estas instruções de manobras contingenciais.



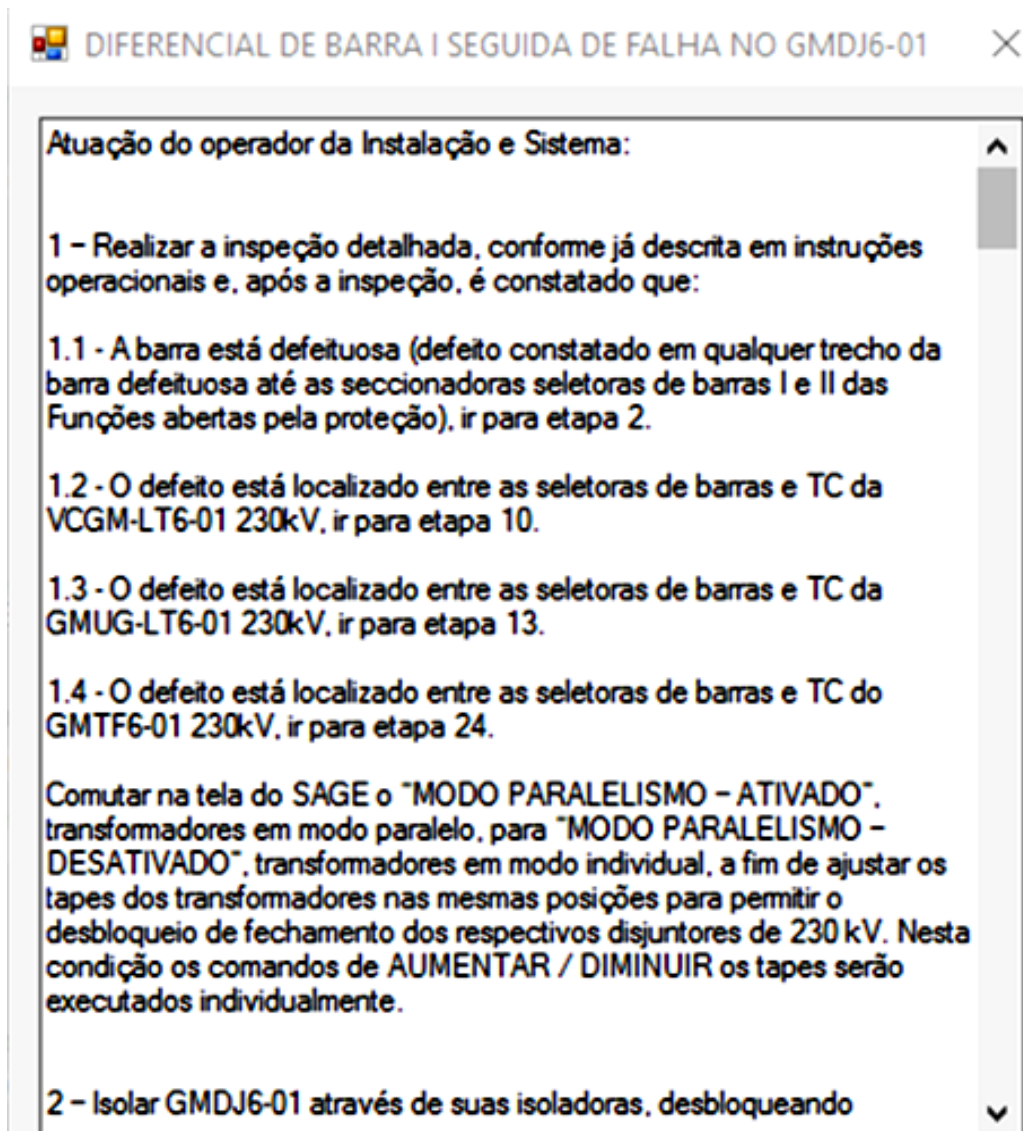
**Figura 5.5 - IMC da contingência “Diferencial de barra I com falha no GMDJ6-01”**



Fonte: Autor do trabalho, 2015

A tela de instrução da figura anterior está destacada a seguir, conforme figura 5.6, para melhor visualização

**Figura 5.6 - Detalhe da tela de IMC da contingência "Diferencial de Barra I com falha no GMDJ6-01"**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Nesta solução foi incluída também uma interface para informar as ações ocorridas e escolhidas pelo operador no sistema, como o fechamento e a abertura de um disjuntor ou quais manobras foram executadas, conforme ilustrado na tela de ações, conforme figura 5.7.

**Figura 5.7 - Interface de log de eventos do simulador**

14:41:01	O Disjuntor DJ603 foi aberto
14:41:42	O Disjuntor DJ609 foi aberto
14:41:48	O Disjuntor DJ609 foi fechado
14:42:28	A seccionadora SY609 foi fechada
14:42:33	A Seccionadora SY609 foi aberta
14:42:38	O Disjuntor DJ603 foi fechado
14:42:50	Desligamento GUGM-LI4-01
14:42:50	Valor para TAP 0
14:43:04	O Disjuntor DJ401 foi fechado
14:43:14	FALHA NA GMUG-LT6-01
14:43:14	Valor para TAP 0
14:43:20	O Disjuntor DJ609 foi fechado
14:43:28	A Seccionadora SB617 foi aberta
14:43:48	FALHA NA GMUG-LT6-02 POR SOBRETENSÃO INSTANTÂNEA
14:43:48	Valor para TAP 0
14:43:52	O Disjuntor DJ610 foi fechado
14:50:06	FALHA NA GMUG-LT6-02 POR SOBRETENSÃO INSTANTÂNEA
14:50:06	Valor para TAP 0

Fonte: Autor do trabalho, 2015.

Tendo em vista a conclusão do simulador mencionado, optou-se por implantá-lo inicialmente nas instalações da Divisão de Transmissão do Guamá (OTPG), com projeto de replicá-lo, primeiramente para toda a Regional de Transmissão do Pará e futuramente para todas as instalações da Eletrobras Eletronorte, respeitando a condição de cada subestação existente, com suas respectivas manobras de recomposição em situações contingenciais, pois a plataforma de desenvolvimento permite a construção do desenho unifilar para qualquer arranjo de subestação.

Tal ação é possível por conta do cadastro de equipamentos ser elaborado de forma dinâmica, sendo possível incluí-los onde as manobras contingenciais integram-se com a subestação em questão.

É importante ressaltar aqui que este trabalho foi apresentado no V SBSE (Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos) e XIII SEPOPE (Seminário de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica), ambos em Foz de Iguaçu, em abril e maio respectivamente, do ano de 2014.

Cabe ressaltar também que no dia 22/07/2015 as Instruções de Manobras Contingenciais contidas neste simulador foram apresentadas à Diretoria de Operação da Eletrobras Eletronorte, onde no dia 23/07/2015 a Eletronorte, por meio desta mesma Diretoria de Operação solicitou às áreas responsáveis a possibilidade de sua utilização no OTS (Operator Training Simulator), software de simulação de manobras adquirido pela empresa para treinamento de operadores de sistemas, visto que não há a existências das referidas instruções no software supracitado.

## 5.5 OUTROS EXEMPLOS

Visando um melhor entendimento, serão mostrados neste item mais dois exemplos de simulações:

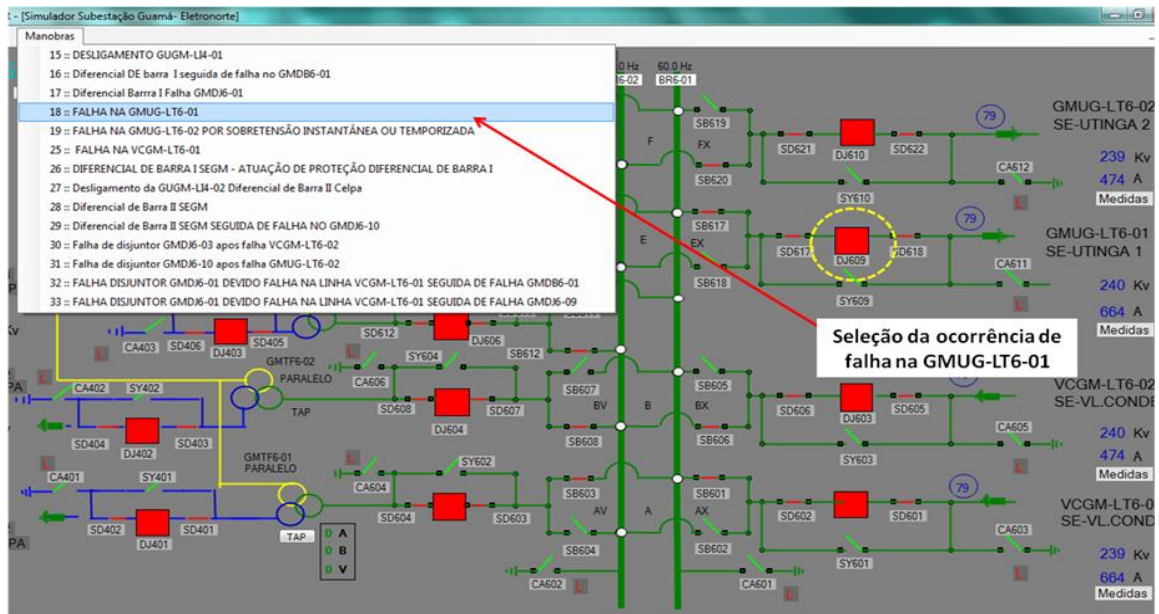
- Falha na linha de transmissão Guamá-Utinga circuito I (GMUG-LT6-01) e;
- Falha no GMDJ6-01 por falha na linha de transmissão Vila do Conde-Guamá circuito I (VCGM-LT6-01) seguida de falha no disjuntor de interligação (GMDB6-01).

### 5.5.1 – Falha na linha de Transmissão Guamá-Utinga circuito I

A figura 5.8 apresenta a seleção da simulação de **falha na linha de transmissão Guamá-Utinga circuito I (GMUG-LT6-01)**, ocasionado por um curto-circuito, que virá a desligar seu respectivo disjuntor, no caso o GMDJ6-09 e a simulação de **falha na linha de transmissão Vila do Conde-Guamá circuito I (GMUG-LT6-01)**, com falha no GMDJ6-01 seguida de falha no GMDB6-01.



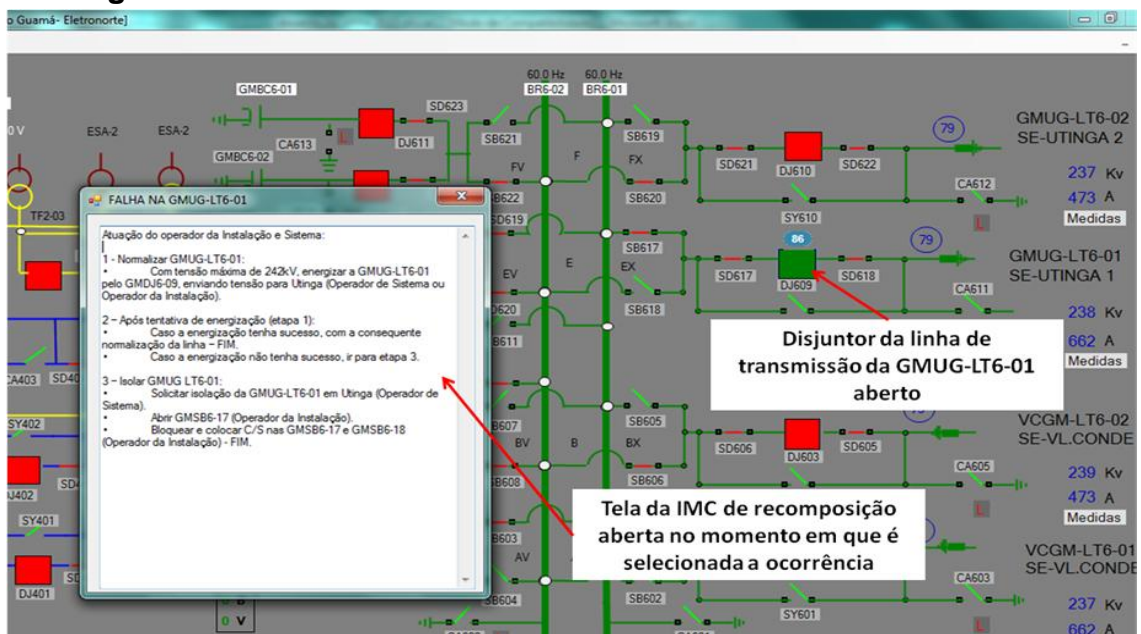
**Figura 5.8 - Seleção da contingência “falha na GMUG-LT6-01”**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

A figura 5.9 apresenta o disjuntor da linha de transmissão Guamá-Utinga circuito I (GMUG-LT6-01) aberto após a simulação da ocorrência já com a tela da Instrução de Manobra Contingencial para recomposição da subestação para esta ocorrência.

**Figura 5.9 - Ocorrência “falha na GMUG-LT6-01” com tela da IMC**

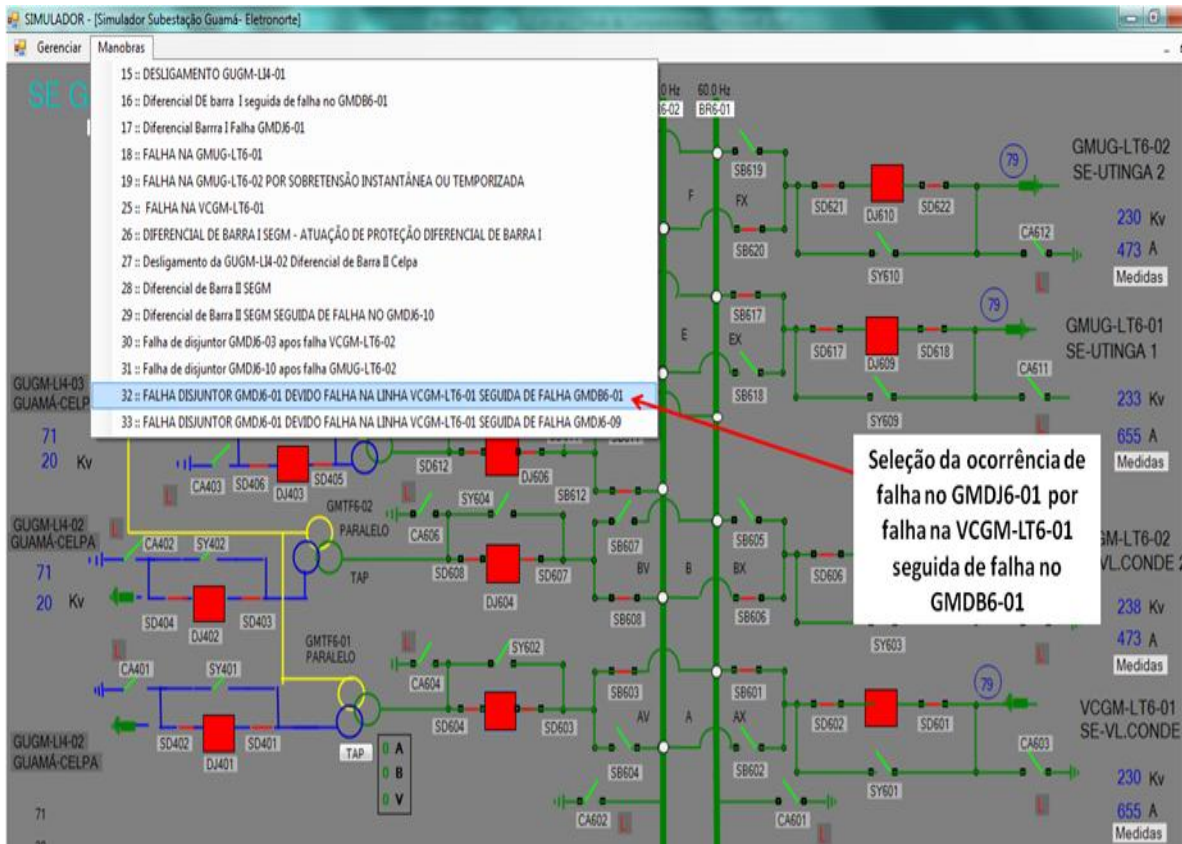


Fonte: Autor do trabalho, 2015.

### 5.5.2 – Falha na linha de Transmissão Vila do Conde-Guamá circuito I (VCGM-LT6-01), com falha no seu respectivo GMDJ6-01 seguido de falha no disjuntor de interligação (GMDB6-01)

A figura 5.10 apresenta a seleção da simulação de falha na linha de transmissão Vila do Conde-Guamá circuito I (GMUG-LT6-01), causada por um curto-circuito na linha de transmissão, ocasionando falha no seu disjuntor GMDJ6-01, que virá a abrir os disjuntores conectados à barra I da subestação, porém falhando também o disjuntor de interligação da subestação, o GMDB6-01, abrindo também os disjuntores conectados à barra II, pois este disjuntor é normalmente conectado às duas barras (daí a sua denominação de disjuntor de interligação).

**Figura 5.10 - Seleção da contingência “falha no GMDJ6-01 por falha na VCGM-LT6-01 seguido de falha no GMDB6-01”**

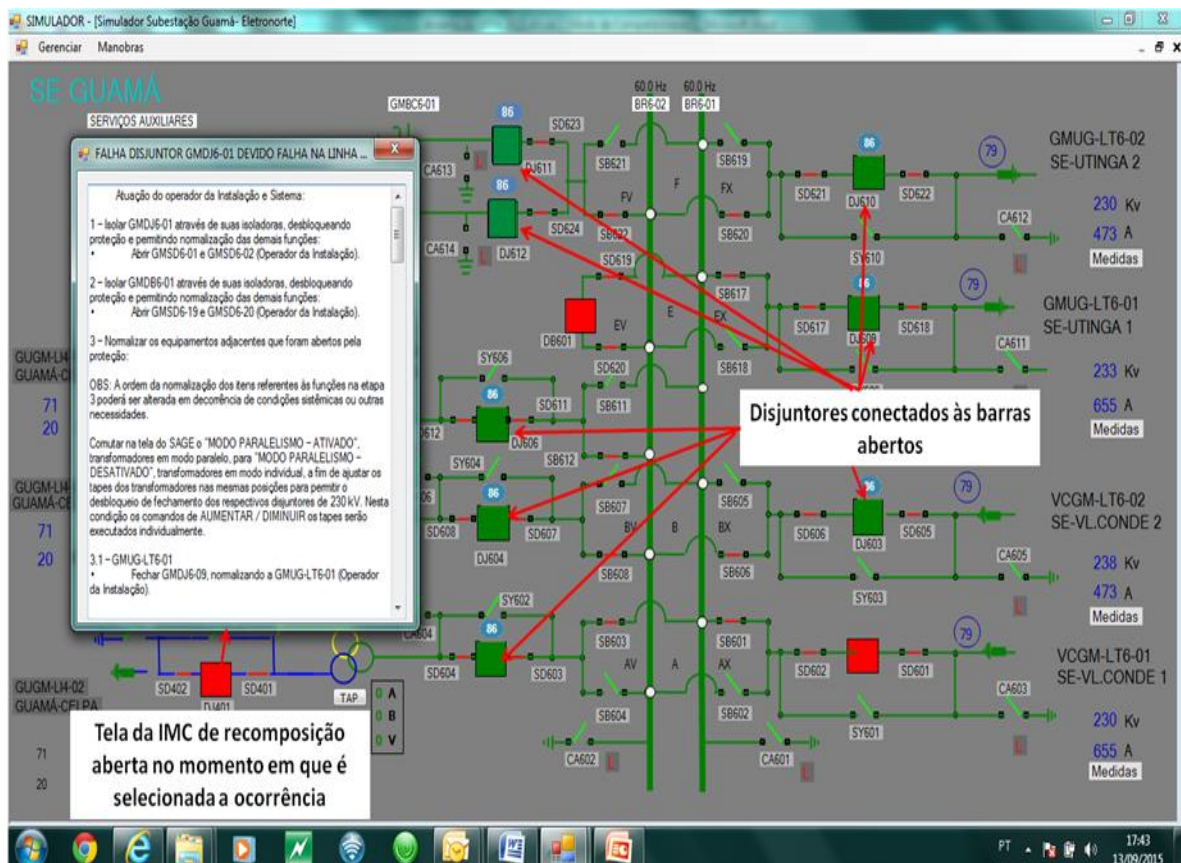


Fonte: Autor do trabalho, 2015.

A figura 5.11 apresenta os disjuntores conectados à barra já abertos, exceto os disjuntores GMDJ6-01 e GMDB6-01 que não vieram a abrir por falha, onde esta

simulação também já apresenta a tela da Instrução de Manobra Contingencial para recomposição da subestação para esta ocorrência.

**Figura 5.11 - Ocorrência “falha no GMDJ6-01 por falha na VCGM-LT6-01 seguido de falha no GMDB6-01” com tela da IMC**



Fonte: Autor do trabalho, 2015.

## 5.6 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Este capítulo teve como objetivo apresentar desenvolvimento de telas referente à ferramenta proposta no capítulo 4 para simular as condições operacionais em subestações utilizando manobras contingenciais.

Primeiramente foi apresentada a ferramenta já com a tela da SE Guamá, contendo seus 13 conjuntos de equipamentos, denominados funções transmissão, divididos em 4 linhas de transmissão, 3 transformadores 230/69/13,8 kV, 2 bancos de transformadores, 1 bay de interligação de barras e 2 barras de operação, além da saída para o serviço auxiliar da instalação.

Vale reforçar novamente que esta tela tem por finalidade demonstrar o cenário real da tela do sistema supervisorio (SAGE) da instalação, fazendo com que o usuário usufrua de um ambiente praticamente similar ao de trabalho.

Atendendo à necessidade de similaridade ao sistema supervisorio SAGE, foram criadas caixas de diálogos para todos os equipamentos de manobras da instalação, disposto de três opções de ação, denominadas “identificador”, “estado atual” e “controle”, cujas finalidades foram explicitadas no decorrer deste capítulo.

Embora já elaboradas e prontas para utilização, foram integradas 5 situações contingenciais no sistema em questão, cuja finalidade será verificar a adaptabilidade do usuário ao sistema e proposição de melhorias a fim de que sejam totalmente integradas ao sistema buscando o mínimo de alterações possíveis.

Como já explicitado também no capítulo anterior, vale novamente reforçar que as Instruções de Manobras Contingenciais foram elaboradas, considerando intertravamentos existentes, o correto desempenho do sistema de proteção e as Instruções Operacionais da instalação em questão. Há duas opções de disponibilidade em tela, uma disponibilizada e outra em estudo. A utilizada atualmente é a disponibilizada campo “Instruções” e a outra, em estudo, seria uma tela disponibilizada apenas para esta finalidade.

Conclui-se, portanto, que em nada adianta elaborar um simulador sem que este possua todas (ou praticamente todas) as particularidades existentes no ambiente real.

A simulação em ambiente real (ou próximo do real) de simulações é muito importante e deve ser sempre levado em consideração, visto que o usuário, no caso o operador da instalação, tem a necessidade da percepção real da situação vivenciada para o correto desempenho de suas atribuições.

Embora este simulador não apresente uma tela totalmente idêntica ao ambiente SAGE, em momento algum perde sua funcionalidade e sua aplicabilidade, pois a disposição do diagrama, cores das classes de tensão e nomenclatura dos equipamentos são idênticas e refletem exatamente a disposição real do que se encontra em campo e principalmente na tela do sistema SAGE já supracitado.



# 6 CONCLUSÕES

## 6.1 CONCLUSÕES PRINCIPAIS DA DISSERTAÇÃO

Os simuladores de manobras, tanto de centros de operação como de instalação, são ferramentas essenciais para promover o treinamento, capacitação e aperfeiçoamento da equipe responsável pelo mantimento da energia elétrica com qualidade à sociedade. Como explicado no decorrer desta dissertação, os operadores de sistema (ou de centro de operação) e os operadores de instalação (ou subestação), são as pessoas responsáveis por esta responsabilidade.

Primeiramente, e para melhor entendimento, a dissertação buscou em sites, como o sempre consultado por diversos usuários de internet, Wikipédia, os conceitos de um simulador de determinada área de trabalho e definir no finalmente o conceito de simulador de operação do sistema elétrico.

A dissertação teve por objetivo apresentar um simulador de manobras de determinada subestação utilizando das possíveis situações operacionais contingenciais que poderão ocorrer em subestações do sistema elétrico, cujo plano piloto foi a elaboração destas para atendimento às recomposições setoriais da SE Guamá.

O referido trabalho apresentou as características da SE Guamá e suas IO's de operação da Instalação. Foram apresentadas, as diversas proteções atuantes nas linhas e equipamentos da SE Guamá, as dificuldades por parte do operador em normalizar a operação da Subestação quando de determinadas contingências, geralmente complexas e raras, porém que geralmente causam blecautes na cidade de Belém. Foram apresentadas as diversas proteções atuantes nas linhas e equipamentos da SE Guamá.

Foi apresentada uma síntese da resolução 270 da ANEEL, estabelecida em 2007, que associa a qualidade dos serviços de energia elétrica associado à disponibilidade operacional dos equipamentos em determinada Subestação

(denominadas funções transmissão) e explicitado de forma bem simples a maneira em que as empresas são oneradas pela indisponibilidade operativa de seus equipamentos. Por fim apresentaram-se alguns exemplos de manobras de contingências da Subestação Guamá como instrumento de estudo, consulta e até orientação aos operadores quando de situações severas de contingências, além da análise de custos, apresentando determinados cálculos provenientes de ações operacionais que poderão beneficiar a empresa economicamente, reduzindo possíveis prejuízos.

São várias as situações contingencias no sistema elétrico e torna-se essencial a preparação dos operadores, tanto tecnicamente quanto psicologicamente, para que esses possam administrar, de maneira mais eficaz, essas situações.

A principal contribuição desta dissertação, e considerando o que foi dito no parágrafo anterior é proporcionar ao operador, além de um simulador de operação simples de se manusear, a utilização das manobras de contingencias, ou instruções de manobras contingenciais (para cada situação que poderá vir a ocorrer) para estudo e treinamento, visando à tranquilidade e ação rápida por parte destes quando da real necessidade de recomposição da subestação.

## 6.2 PLANOS FUTUROS

Atualmente o desenho da subestação é realizado manualmente, incluindo um a um os componentes. No entanto é possível, como trabalho futuro, tornar a construção da interface sem a necessidade de desenhar cada equipamento, mas sim criá-los como componentes, uma vez que tal ação já é prevista em Banco de Dados. Assim os componentes podem ser inseridos e realocados tornando o simulador extremamente mutável a qualquer subestação em todas as suas funções.

Propõe-se também uma análise estatística dos acertos, erros e atividades realizadas no simulador, ação que se torna possível por conta da organização aqui proposta.

Por fim, acredita-se que a solução ilustrada neste trabalho é potencialmente aplicável no estudo de caso aqui apresentado. Sendo possível também readequar

suas estruturas lógicas e físicas para aplicação em ambientes diferentes, ou seja, a criação do diagrama de outras subestações, bem como permitir a criação de instruções de manobras contingenciais relacionadas a essa subestação, para cada situação que possa ocorrer.

Espera-se que este simulador seja bastante difundido e bastante utilizado para treinamento aos operadores de instalação da Eletronorte, e se caso haja interesse, às varias empresas de geração, transmissão e distribuição do sistema elétrico nacional.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA J. S.; FILHO, J. C.; COUTO, J.M.B. **Simulador Power World**. 3º SENOP. Agosto de 2006

ALVES, W. J. R.; PARENTE R. L.; RIBEIRO, R. B. P.; BRITO, B. S.; WANZELLER, R. N. C.; MARTINS, V.S.D.; NUNES, M.V.A.; BECK, J.A.P.M.; SILVA, R. R.; BEZERRA, U.H. **Simulador de operação contendo instruções de recomposição em situações contingenciais**: estudo de caso subestação GUAMÁ ELETROBRAS ELETRONORTE, XIII SEPOPE, Foz do Iguaçu-PR, 2014

ALVES, W. J. R.; PARENTE, R. L.; RIBEIRO, R. B. P.; BRITO, B. S.; WANZELLER, R. N. C.; MARTINS, V.S.D.; NUNES, M.V.A.; BECK, J.A.P. M.; SILVA, R. R.; BEZERRA, U.H.: **Simulador de operação contendo instruções de recomposição em situações contingenciais: estudo de caso subestação GUAMÁ ELETROBRAS ELETRONORTE**, V SBSE, Foz do Iguaçu-PR, 2014

ANDRADE, M. G. **Ferramenta Computacional de Apoio ao Treinamento de Operadores na Execução de Manobras para Sistemas Elétricos de Potência da Cia. Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica- CEEE-G**. São Leopoldo-RS, 2011.

ARAUJO, A.S. **Treinamento de Operadores utilizando simulador amigável no Centro de Operação de Sistema Leste – CHESF**. XVII SNPTEE, Uberlândia-MG, 2003

BOZZI, F.A.; SILVA, R.F. **Trabalho de Subestação**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011. 03 p.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **ANEEL** - LEI Nº 12.783 DE 11 DE JANEIRO DE 2013. 2013.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **ANEEL** - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 270 DE 26 DE JUNHO DE 2007. 2007.

BRASIL. CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL – **ELETROBRAS ELETRONORTE** – IO23GM01 OPERAÇÃO DA SE GUAMÁ EM REGIME NORMAL DE 14 DE AGOSTO DE 2014. 2014.

BRASIL. CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL – **ELETROBRAS ELETRONORTE** – IO23GM02 OPERAÇÃO DA SE GUAMÁ EM CASO DE DESLIGAMENTOS DE 14 DE AGOSTO DE 2014. 2014.

BRASIL. CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL – **ELETROBRAS ELETRONORTE** – IO23GM03 PRINCIPAIS PROTEÇÕES E ESQUEMAS ESPECIAIS DA SE GUAMÁ DE 01 DE FEVEREIRO DE 2014. 2014.

BRASIL. CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL – **ELETOBRAS** ELETRONORTE – NO12TR03 CODIFICAÇÃO OPERACIONAL DE 15 DE FEVEREIRO DE 2005. 2005

BRASIL. Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – **Eletrobras** CEPEL - Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia - SAGE. 2014.

BRASIL. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - **ONS**: DISPONÍVEL EM <http://www.ons.org.br> acessado em 01 de junho de 2015.

CASTRO, H. S. **Especificação funcional de simulador para treinamento de operadores de centros de controle de geração e transmissão**. Belo Horizonte, MG, Brasil. 2007.

CAVELLUCCI, C.; Lyra .C. **Um sistema baseado em conhecimento para auxílio de manobras em redes de distribuição de energia elétrica**. 2008

DONADUZZI, V. **Simulador de Subestações para Treinamento de Operadores**. Porto Alegre-RS. 2013.

KAWAKATSU, Williams Massayuki; ALVES, Wilson José Reça. **Manobras de recomposição da subestação Guamá**. Relatório Técnico. 2014.

LEITE, C. R. R.; OLIVEIRA, J. J. R.; OLIVEIRA, J. G. **O uso de simuladores no treinamento de operadores da CHESF como ferramenta para disseminação de conhecimentos na operação do sistema elétrico, II Seminário Internacional: Reestruturação e Regulação do Setor de Energia Elétrica e Gás Natural**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil 2007.

METSUL Metrologia, 2006.

MOREALE, M. D. **Técnicas para treinamento de operadores de sistema elétrico utilizando simulador com base na interface de tempo real**. Florianópolis, SC, Brasil. 2007.

**REVISTA** Info Abril, 2012

SILVA NETO, A. V. da; VIEIRA, M. de F. Q. e DIAS, Sérgio E. C. **Estrutura de referência para elaboração de Cenários de Treinamento na Operação de Sistemas Elétricos**, IV SBSE, Goiânia-GO, 2012.

SILVA, A. P. **Pré-Operação de Centros de Controle de Transmissão e Geração de Energia Elétrica – Procedimento para Validação de Manobras de Equipamentos da Rede Elétrica**. Belo Horizonte-MG, 2011.

TOCUZATO, M. **Manual de operação da Subestação de energia da ALBRAS**. 2ª Ed. Barcarena, PA, 2000. 160p.

**Sites consultados**

<http://conceito.de/viabilidade>, acessado em 15 de julho de 2015.

<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,pouca-agua-e-consumo-recor-de-de-energia-explicam-apagao,163226e>, acessado em 20 de maio de 2015.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Simulador>, acessado em 10 de agosto de 2015.

[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao\\_da\\_populacao/2014/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2014/default.shtm), acessado em 01 de julho de 2015.

## **ANEXOS**

## **Anexo: 1**

### **Exemplo 1: FALHA NA GMUG-LT6-01**

#### **MANOBRAS DE SITUAÇÃO DE CONTINGÊNCIA**

#### **CONTINGÊNCIA (FALHA NA GMUG-LT6-01):**

**- Abrem-se os seguintes disjuntores:**

**GMDJ6-09, referente à Função GMUG-LT6-01**

**Envio ou recepção TDD para Utinga, com a linha sendo desligada em Utinga**

**SÓ HAVERÁ NECESSIDADE DE ATUAÇÃO DO OPERADOR CASO NÃO HAJA SUCESSO NA ATUAÇÃO DO RELIGAMENTO AUTOMÁTICO OU CASO APÓS A ATUAÇÃO DO RELIGAMENTO AUTOMÁTICO, ESTA VENHA A DESLIGAR NOVAMENTE**

Atuação do operador da Instalação e Sistema:

#### **1 - Normalizar GMUG-LT6-01:**

- Com tensão máxima de 242 kV, energizar a GMUG-LT6-01 pelo GMDJ6-09, enviando tensão para Utinga (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### **2 – Após tentativa de energização (etapa 1):**

- Caso a energização tenha sucesso, com a consequente normalização da linha – FIM.
- Caso a energização não tenha sucesso, ir para etapa 3.

#### **3 – Isolar GMUG LT6-01:**

- Solicitar isolação da GMUG-LT6-01 em Utinga (Operador de Sistema).
- Abrir GMSB6-17 (Operador da Instalação).
- Bloquear e colocar C/S nas GMSB6-17 e GMSB6-18 (Operador da Instalação) - FIM.



**Exemplo 2: FALHA NO DISJUNTOR GMDJ6-01 POR FALHA NA LINHA  
VCGM-LT6-01 SEGUIDA DE FALHA GMDB6-01**

**MANOBRAS DE SITUAÇÃO DE CONTINGÊNCIA**

**CONTINGÊNCIA (FALHA NO DISJUNTOR GMDJ6-01 POR FALHA NA LINHA  
VCGM-LT6-01 SEGUIDA DE FALHA GMDB6-01):**

**- Abrem-se os seguintes disjuntores:**

**GMDJ6-02, referente à Função GMTF6-01**

**GMDJ6-04, referente à Função GMTF6-02**

**GMDJ6-06, referente à Função GMTF6-03**

**GMDJ6-03, referente à Função VCGM-LT6-02**

**GMDJ6-09, referente à Função GMUG-LT6-01**

**GMDJ6-10, referente à Função GMUG-LT6-02**

**GMDJ6-11, referente à Função GMBC6-01**

**GMDJ6-12, referente à Função GMBC6-02**

**Envio de TDD mantido para Vila do Conde, abrindo DJ referente à VCGM-LT6-01**

Disjuntores que ficam com bloqueios atuados:

**GMDJ6-02, referente à Função GMTF6-01**

**GMDJ6-04, referente à Função GMTF6-02**

**GMDJ6-06, referente à Função GMTF6-03**

**GMDJ6-03, referente à Função VCGM-LT6-02**

**GMDJ6-09, referente à Função GMUG-LT6-01**

**GMDJ6-10, referente à Função GMUG-LT6-02**

**GMDJ6-11, referente à Função GMBC6-01**

**GMDJ6-12, referente à Função GMBC6-02**

**DJ referente à VCGM-LT6-01**

Disjuntores que deverão ser abertos manualmente:

**GMDJ4-01, referente à Função GUGM-LI4-01**

**DJ da Celpa, referente à GUGM-LI4-01**

**GMDJ4-02, referente à Função GUGM-LI4-02**

**DJ da Celpa, referente à GUGM-LI4-02**

**DJ da Celpa, referente à GUGM-LI4-03**

Atuação do operador da Instalação e Sistema:

**1 – Isolar GMDJ6-01 através de suas isoladoras, desbloqueando proteção e permitindo normalização das demais funções:**

- Abrir GMSD6-01 e GMSD6-02 (Operador da Instalação).

**2 – Isolar GMDB6-01 através de suas isoladoras, desbloqueando proteção e permitindo normalização das demais funções:**

- Abrir GMSD6-19 e GMSD6-20 (Operador da Instalação).

**3 – Normalizar os equipamentos adjacentes que foram abertos pela proteção:**

**OBS: A ordem da normalização dos itens referentes às funções na etapa 3 poderá ser alterada em decorrência de condições sistêmicas ou outras necessidades.**

3.1 – GMUG-LT6-01

- Fechar GMDJ6-09, normalizando a GMUG-LT6-01 (Operador da Instalação).

Comutar na tela do SAGE o “MODO PARALELISMO – ATIVADO”, transformadores em modo paralelo, para “MODO PARALELISMO – DESATIVADO”, transformadores em modo individual, a fim de ajustar os tapes dos transformadores nas mesmas posições para permitir o desbloqueio de fechamento dos respectivos disjuntores de 230 kV. Nesta condição os comandos de AUMENTAR / DIMINUIR os tapes serão executados individualmente.

3.2 – GMTF6-01 e GUGM-LI4-01

- Colocar GMTF6-01 no tap 5 ou máximo no 9 e fechar GMDJ6-02, energizando GMTF6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Colocar o Tap dos transformadores energizados e ou em operação no máximo até o 10 e fechar GMDJ4-01, energizando GUGM-LI4-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Desbloquear fechamento do DJ da Celpa, referente à GUGM- LI4-01 (operador da Instalação).

3.3 – GMTF6-03 e GUGM-LI4-03

- Colocar GMTF6-03 no tap 5 ou máximo no 9 e fechar GMDJ6-06, energizando GMTF6-03 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

- Colocar o Tap dos transformadores energizados e ou em operação no máximo até o 10 e fechar GMDJ4-03, energizando GUGM-LI4-03 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Desbloquear fechamento do DJ da Celpa, referente à GUGM- LI4-03 (operador da Instalação).

#### 3.4 – GMBC6-01

- Fechar GMDJ6-11, normalizando GMBC6-01 - lembrar sempre de energizar este banco de capacitores após dez minutos de desligamento deste (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### 3.5 – GMBC6-02

- Fechar GMDJ6-12, normalizando GMBC6-02 - lembrar sempre de energizar este banco de capacitores após dez minutos de desligamento deste (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### 3.6 – VCGM-LT6-02

- Fechar GMDJ6-03, normalizando a VCGM-LT6-02 (Operador da Instalação).

#### 3.7 – GMUG-LT6-02

- Fechar GMDJ6-10, normalizando a GMUG-LT6-02 (Operador da Instalação).

#### 3.8 – GMTF6-02 e GUGM-LI4-02

- Colocar GMTF6-02 no tap 5 ou máximo no 9 e fechar GMDJ6-04, energizando GMTF6-02 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Colocar o Tap dos transformadores energizados e ou em operação no máximo até o 10 e fechar GMDJ4-02, energizando GUGM-LI4-02 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).
- Desbloquear fechamento do DJ da Celpa, referente à GUGM- LI4-02 (operador da Instalação).

Após o paralelismo dos transformadores através da barra da SE Utinga (Celpa), comutar na tela do SAGE o “MODO PARALELISMO – DESATIVADO”, transformadores em modo individual, para o “MODO PARALELISMO – ATIVADO”, transformadores em modo paralelo.

**4 - Realizar inspeção nos disjuntores GMDJ6-01 e GMDB6-01 e realizar os seguintes procedimentos:**

4.1 – Caso seja possível o retorno dos GMDJ6-01 e GMDB6-01, ir para a etapa 5.

4.2 – Caso seja possível o retorno do GMDJ6-01 e não seja possível o retorno do GMDB6-01, ir para a etapa 9.

4.3 – Caso seja possível o retorno do GMDB6-01 e não seja possível o retorno do GMDJ6-01, ir para a etapa 13.

4.4 – Caso não seja possível o retorno dos GMDJ6-01 e GMDB6-01, ir para a etapa 11.

#### **5 – Normalizar GMDB6-01:**

- Fechar GMSD6-19 e GMSD6-20 (Operador da Instalação).
- Fechar GMDB6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### **6 – Normalizar VCGM-LT6-01:**

- Fechar GMSD6-01 e GMSD6-02 (Operador da Instalação).
- Após receber tensão de Vila do Conde, Fechar o GMDJ6-01, normalizando a VCGM-LT6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### **7 – Após tentativa de energização da VCGM-LT6-01 (etapa 6):**

- Caso a energização das VCGM-LT6-01 tenha sucesso, com a conseqüente normalização das linhas – FIM.
- Caso a energização da VCGM-LT6-01 não tenha sucesso, ir para etapa 8.

#### **8 – Isolar VCGM-LT6-01:**

- Solicitar isolamento da VCGM-LT6-01 em Vila do Conde (Operador de Sistema).
- Abrir GMSB6-01 (Operador da Instalação).
- Bloquear e colocar C/S nas GMSB6-01 e GMSB6-02 (Operador da Instalação) - **FIM**.

#### **9 – Normalizar VCGM-LT6-01:**

- Fechar GMSD6-01 e GMSD6-02 (Operador da Instalação).
- Após receber tensão de Vila do Conde, fechar o GMDJ6-01, normalizando a VCGM-LT6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### **10 – Após tentativa de energização das VCGM-LT6-01 (etapa 9):**

- Caso a energização das VCGM-LT6-01 tenha sucesso, com a conseqüente normalização da linha, ir para etapa 12.

- Caso a energização da VCGM-LT6-01 não tenha sucesso, ir para etapa 11.

#### **11 – Isolar VCGM-LT6-01:**

- Solicitar isolação da VCGM-LT6-01 em Vila do Conde (Operador de Sistema).
- Abrir GMSB6-01 (Operador da Instalação).
- Bloquear e colocar C/S nas GMSB6-01 e GMSB6-02 (Operador da Instalação).

#### **12 – Isolar GMDB6-01**

Bloquear e colocar C/S nas GMSD6-19 e GMSD6-20 (Operador da Instalação) - **FIM.**

#### **13 – Normalizar GMDB6-01:**

- Fechar GMSD6-19 e GMSD6-20 (Operador da Instalação).
- Fechar GMDB6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### **14 - Transferir equipamentos da barra I para a barra II de 230 kV:**

##### **14.1 – GMUG-LT6-01**

- Fechar GMSB6-18 (Operador da Instalação).
- Abrir GMSB6-17 (Operador da Instalação).

##### **14.2 – GMTF6-01 e GUGM-LI4-01**

- Fechar GMSB6-04 (Operador da Instalação).
- Abrir GMSB6-03 (Operador da Instalação).

#### **15 – Abrir novamente o disjuntor de interligação:**

- Abrir GMDB6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### **16 – Baipassar GMDJ6-01, referente à Função VCGM-LT6-01 pela barra I:**

- Fechar GMSY6-01 (Operador da Instalação).

#### **17 - Normalizar VCGM-LT6-01:**

- Após receber tensão de Vila do Conde, Fechar o GMDB6-01, normalizando a VCGM-LT6-01 (Operador de Sistema ou Operador da Instalação).

#### **18 – Após tentativa de energização das VCGM-LT6-01 (etapa 17):**

- Caso a energização das VCGM-LT6-01 tenha sucesso, com a conseqüente normalização da linha – **FIM**.
- Caso a energização da VCGM-LT6-01 não tenha sucesso, ir para etapa 19.

#### **19 – Retirar Bay-Pass do GMDJ6-01:**

- Abrir GMSY6-01 (Operador da Instalação).

#### **20 - Transferir equipamentos da barra II para a barra I de 230 kV:**

##### **20.1 – GMUG-LT6-01**

- Fechar GMSB6-17 (Operador da Instalação).
- Abrir GMSB6-18 (Operador da Instalação).

##### **20.2 – GMTF6-01 e GUGM-LI4-01**

- Fechar GMSB6-03 (Operador da Instalação).
- Abrir GMSB6-04 (Operador da Instalação).

#### **21 – Complementar isolamento da VCGM-LT6-01:**

- Bloquear e colocar C/S nas GMSD6-02 e GMSY6-01 (Operador da Instalação) - **FIM**.

**OBS: No tempo que os GMTF6-01 e GMTF6-03 estiverem fora de operação, o serviço auxiliar da SEGM estará sendo alimentado pelo gerador diesel.**

## Anexo: 2

<b>PROTEÇÕES DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO 230 KV DA SE GUAMA</b>	
<b>21/21N</b>	Proteção de distância entre fases e entre fase e neutro, onde é utilizada a razão entre a tensão e linha de transmissão no local exato do curto-circuito da linha de transmissão para cálculo da impedância. É baseada nesta impedância que é feito o ajuste de atuação desta função
<b>67N</b>	Proteção direcional de neutro temporizada, que atua como retaguarda da função 21/21N, para faltas de alta resistência de arco, caso a função 21/21N não “enxergue” a falta devido a esta resistência de arco
<b>50N</b>	Sobrecorrente instantânea de neutro, atua como retaguarda, porém tanto da função 21/21N como da 67, pois entra em operação quando da perda de informação de tensão da linha de transmissão para o sistema de proteção, ocasionada por defeito nestes circuitos de informação de tensão
<b>51/51N</b>	Sobrecorrente temporizada entre fases e fase e neutro, também atua como retaguarda, porém tanto da função 21/21N como da 67, pois entra em operação quando da perda de informação de tensão da linha de transmissão para o sistema de proteção, ocasionada por defeito nestes circuitos de informação de tensão. A diferença desta proteção à função 50N é que esta atua também entre fases e de maneira temporizada
<b>59IT</b>	Sobretensão instantânea e temporizada, cuja

	<p>atuação é feita de forma instantânea, quando de sobretensão em todas as fases da linha de transmissão ou de forma temporizada quando da atuação de sobretensão em uma ou duas fases da linha de transmissão</p>
<b>50HS</b>	<p>Energização sob falta, onde ocorre quando da energização imediata da linha de transmissão. Quando ocorre, geralmente é por esquecimento de retirada de cabos de aterramento utilizados para segurança de pessoas durante trabalhos de desligamentos</p>
<b>27WI</b>	<p>Fraca alimentação (Week Infeed), que atua como permissão de abertura quando uma das extremidades não possui fonte geradora, substituindo a função 21/21N devido à sua inoperância ocasionada pela não circulação de corrente de contribuição para o curto-circuito, necessária para atuação da função 21/21N</p>
<b>Lógica ECO</b>	<p>Permissão de abertura quando uma das extremidades já se encontra aberta e a outra permanece fechada, ou seja, e uma função que substitui a função 21/21N devido à sua inoperância pela não circulação de corrente nesta extremidade necessária para atuação da função 21/21N nesta mesma extremidade quando de curto-circuito na linha de transmissão. Algumas empresas do setor elétrico utilizam linhas de transmissão nesta configuração (como função de capacitância paralela) para controle de tensão das barras das subestações envolvidas</p>



<b>PROTEÇÕES DAS LINHAS DE INTERLIGAÇÃO 69 KV DA SE GUAMÁ</b>	
<b>51V</b>	Sobrecorrente por restrição de tensão, onde esta opera para curtos-circuitos bifásico ou trifásico na linha de interligação e sua atuação somente ocorrerá quando de um curto-circuito com queda considerada de tensão, a fim de que ela não atue por simples elevação de corrente (daí o nome restrição de tensão), porém sem queda de tensão, o que caracterizaria uma sobrecarga em transformadores
<b>51N</b>	Sobrecorrente temporizado de neutro, onde esta opera para curtos-circuitos fase terra na linha de interligação
<b>PROTEÇÕES DOS TRANSFORMADORES 230/69/13,8 KV DA SE GUAMÁ</b>	
<b>63</b>	Relé de gás operado, cuja atuação é devido a um súbito aumento de pressão no transformador, desligando o referido transformador
<b>63VS</b>	Válvula de segurança operada, cuja operação é devido à formação de gases no tanque principal do transformador, onde o aumento súbito de pressão ocasiona abertura desta válvula para aliviar a pressão neste tanque. Não desliga o transformador. Apenas informa ao operador sua atuação mediante alarme
<b>63VSC</b>	Válvula de segurança do comutador, cuja operação é devido à formação de gases no tanque do comutador sob carga do transformador, onde o aumento súbito de pressão ocasiona abertura desta válvula para aliviar a pressão neste tanque. Desliga o transformador quando de sua atuação

<b>26</b>	Sobretensão de óleo, onde ocorre primeiramente alarme quando o transformador atinge um certo valor de temperatura de óleo e posteriormente, desligamento do mesmo quando este valor atinge um segundo patamar de temperatura, superior ao valor de temperatura de alarme
<b>49</b>	Sobretensão de enrolamento, onde ocorre primeiramente alarme quando o transformador atinge um certo valor de temperatura de enrolamento e posteriormente, desligamento do mesmo quando este valor atinge um segundo patamar de temperatura, superior ao valor de temperatura de alarme
<b>51/51N 230 kV</b>	Sobrecorrente temporizado entre fases e entre fase e neutro, quando este atinge um certo valor de corrente de curto-circuito no lado de 230 kV do transformador
<b>51/51 13,8 kV</b>	Sobrecorrente temporizado entre fases, quando este atinge um certo valor de corrente de curto-circuito no lado de 13,8 kV do transformador
<b>87</b>	Diferencial do transformador, onde este opera mediante comparação de correntes entre os lados de alta, baixa e terciário do transformador, devido a curto-circuito entre espiras e entre o enrolamento e tanque do transformador
<b>59T</b>	Falha para terra no terciário, quando de uma falha fase-terra no terciário do transformador

<b>PROTEÇÕES DOS BANCOS DE CAPACITORES 55 Mvar DA SE GUAMÁ</b>	
<b>50/51</b>	Proteção de sobrecorrente instantâneo e temporizado, onde esta opera para curto-circuitos bifásicos e trifásicos e é coberto para atuar numa zona de atuação não somente no banco de capacitor, mas sim na área compreendida entre o TC desta função até o próprio banco de capacitor
<b>59IT</b>	Proteção de sobretensão (instantâneo e temporizado), onde atua para sobretensões no banco, ocasionado por possível queima de célula capacitiva
<b>87V</b>	Proteção de desbalanço de tensão, onde é realizada uma comparação de tensão entre as tensões de entrada do banco de capacitor e da última caixa capacitiva que contém o último conjunto de células capacitivas. A partir daí é possível verificar um desbalanço de tensão por queima de célula capacitiva
<b>PROTEÇÕES DE BARRAS DA SUBESTAÇÃO GUAMÁ</b>	
<b>87B</b>	Proteção diferencial de barras, onde sua atuação ocorre por um curto circuito na barra protegida, compreendendo toda a barra até o trecho das funções transmissão a ela conectada, até o TC de cada função
<b>50/6BF</b>	Falha de disjuntor, onde sua atuação, como o próprio nome diz, atua quando de falha de abertura de um

	<p>disjuntor de determinada função quando de um curto nesta. Para evitar que o curto-circuito permaneça pela não abertura do disjuntor, são abertos os disjuntores adjacentes ao que entrou em falha de abertura</p>
<b>87B/EFB</b>	<p>Proteção End Fault, onde sua atuação se dá apenas quando de um disjuntor de uma função fica aberto, visando a utilização desta linha para controle de tensão de barramento da subestação. Esta proteção tem a finalidade de evitar a abertura desnecessária da barra, pois com essa configuração e em caso de curto-circuito na função, não haveria contribuição das demais funções para o curto, visto que o disjuntor da função supracitada se encontra aberto</p>

**Anexo: 3**

**Autorização Eletrobras Eletronorte**

**De:** Frederico Rodolfo Parente Doerner

**Enviada em:** quarta-feira, 30 de setembro de 2015 11:24

**Para:** Wilson Jose Reça Alves

**Cc:** Joaquim Pinheiro de Oliveira Neto; Otacilio Borges Junior

**Assunto:** RES: Dissertação de mestrado

Prezado Wilson,

Não vislumbramos impedimentos quanto a publicação e defesa de tese de mestrado de sua autoria no sentido que a Propriedade Intelectual envolvida no trabalho é pertencente ao autor, Lei 9609/98, por se tratar de desenvolvimento de ferramenta/software para simulação de uma subestação, referencia a SE Guamá.

grato

**Frederico Rodolfo Parente Doerner**

GER. DOS PROG. DE PESQUISA E DESENVOLV. - OIEP

55 (00) (61) 3429-5048

[frederico.doerner@eletronorte.gov.br](mailto:frederico.doerner@eletronorte.gov.br)



**De:** Wilson Jose Reça Alves  
**Enviada em:** quarta-feira, 30 de setembro de 2015 09:02  
**Para:** Otacilio Borges Junior  
**Cc:** Frederico Rodolfo Parente Doerner  
**Assunto:** Dissertação de mestrado

Bom dia,

Ontem foi realizada minha defesa de tese de mestrado na UFPA e meu trabalho foi um simulador de manobras da operação.

Solicito verificar se este pode ser divulgado, considerando que para a realização do trabalho.

Caso tenha itens que não possa Sr divulgado, retiro do trabalho.

Desde já agradeço.

**Wilson Jose Reça Alves**

REGIONAL DE TRANSMISSÃO DO PARÁ - OTP  
55 (00) (91) 3210-8353  
[Wilson.Alves@eletronorte.gov.br](mailto:Wilson.Alves@eletronorte.gov.br)

