Universidade Federal do Rio de Janeiro

# Ampliação de uma subestação de 500 kV associada à expansão do sistema elétrico

Bruno Calzavara Xavier

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

**Rio de Janeiro – RJ**
**2007**

Universidade Federal do Rio de Janeiro

# Ampliação de uma subestação de 500 kV associada à expansão do sistema elétrico

Bruno Calzavara Xavier

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Área de concentração:Sistemas de potência
Orientador: Ivan Herszterg

**Rio de Janeiro – RJ**
**2007**

Universidade Federal do Rio de Janeiro

# Ampliação de uma subestação de 500 kV associada à expansão do sistema elétrico

Bruno Calzavara Xavier

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

_____

Prof. Ivan Herszterg, M.Sc. (Orientador)

_____

Engº Fernando Hector Russo

_____

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

**Rio de Janeiro – RJ**
**2007**

Xavier, Bruno Calzavara. **Ampliação de uma subestação de 500 kV associada à expansão do sistema elétrico** -Rio de Janeiro 2007. 65 páginas. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

À minha mãe (*in memorian*) e pai, família e futura noiva que sempre me apoiaram durante toda minha jornada.

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer a todos de minha família, futura noiva e amigos que sempre me ajudaram no decorrer da minha graduação. Quero também agradecer ao meu supervisor Fernando Hector Russo pelo suporte dado durante meu estágio.

Este trabalho é dedicado especialmente a minha mãe, Teresinha Calzavara Xavier e meu pai Sebastião Xavier Rodrigues que tenho certeza que estão orgulhosos e satisfeitos pelo caminho trilhado pelo seu filho.

CALZAVARA, BRUNO CALZAVARA. **Ampliação de uma subestação de 500 kV associada à expansão do sistema elétrico** – Rio de Janeiro 2007. 65 páginas. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Resumo

Este trabalho foi baseado em um processo de pesquisa e estudo da ampliação de um vão de uma subestação associada ao processo de expansão do sistema elétrico brasileiro. Foram caracterizados aspectos das instalações existentes da subestação a ser ampliada, foi feita uma análise de aspectos técnico – econômicos referentes à viabilidade da expansão e por último foram expostos itens que compreendem um detalhamento básico deste empreendimento.

Palavras chave: Expansão, subestação, aspectos técnico – econômicos, viabilidade, desenvolvimento, equipamentos.

## Lista de Figuras


- Figura 1 – Esquema Disjuntor e meio.....2
- Figura 2 – Mapa do sistema interligado Norte-Nordeste / Norte – Sul..... 18
- Figura 3 – Diagrama unifilar do projeto de expansão previsto pela ANEEL....19
- Figura 4 – Cenário para critério de carga leve (Norte exportador e Nordeste importador).....22
- Figura 5 – Cenário para critério de carga pesada (Norte exportador e Nordeste importador).....23
- Figura 6 – Cenário para critério de carga leve (Norte e Nordeste importadores e Sudeste exportador).....24
- Figura 7 – Cenário para critério de carga pesada (Norte e Nordeste importadores e Sudeste exportador).....24
- Figura 8 – Visão geral do pátio da SE Colinas.....31
- Figura 9 – Obtenção da constante k.....54
- Figura 10 – Obtenção da relação entre potência máxima de partida equivalente do sistema e potência nominal do gerador.....55
- Figura 11 – Curva de descarga da bateria.....58

## Lista de tabelas


- Tabela 1 – Requisitos: discordância de fases..... 4
- Tabela 2 – Requisitos: falta terminal.....5
- Tabela 3 – Obras na Transmissão.....16
- Tabela 4 – Obras em subestações.....17
- Tabela 5 – Empreendimentos hidráulicos nas regiões em estudo.....20
- Tabela 6 – Empreendimentos térmicos nas regiões em estudo.....21
- Tabela 7 - Previsão de mercado 2007.....21
- Tabela 8 – Intercâmbio entre regiões N-NE e SE-NE.....22
- Tabela 9 – Intercâmbio entre regiões N-NE e SE-NE.....23
- Tabela 10 – Custos de implantação: Horizonte presente e futuro.....26
- Tabela 11 – Investimentos: ano inicial.....28
- Tabela 12 – Investimentos: anos posteriores.....29
- Tabela 13 – Características isolamento – Reator de fase (enrolamentos).....34
- Tabela 14 – Características isolamento – Reator de fase (Buchas).....35
- Tabela 15 – Suportabilidade de sobretensões temporárias.....36
- Tabela 16 – Cargas estimadas em 480 Vca.....46
- Tabela 17 – Características disjuntores de alimentação.....47
- Tabela 18 – Características disjuntores de distribuição.....48
- Tabela 19 – Características contatores.....48
- Tabela 20 – Características transformadores de corrente.....48
- Tabela 21 – Características transformadores de potencial.....49
- Tabela 22 – Características relé subtensão trifásica.....49
- Tabela 23 – Características Voltímetro.....49
- Tabela 24 – Características Amperímetro.....50
- Tabela 25 – Características Chave Seletora.....50
- Tabela 26 – Cargas estimadas em 125 Vcc com 1 (um) minuto de duração.....56
- Tabela 27 – Cargas estimadas em 125 Vcc com 10 (dez) minutos de duração.....57

- Tabela 28 – Cargas básicas em 125 Vcc com 5 (cinco) horas de duração.....57

- Tabela 29 – Cargas básicas em 125 Vcc com 10 (dez) minutos de duração ao final do ciclo.....58

- Tabela 30 – Características dos disjuntores de alimentação quadro em corrente contínua.....60

- Tabela 31 – Características dos disjuntores de distribuição quadro em corrente contínua.....60

- Tabela 32 – Características Voltímetro.....61

- Tabela 33 – Características Amperímetro.....61

- Tabela 34 – Características relé de subtensão.....61

- Tabela 35 – Características relé de sobretensão.....61

- Tabela 36 – Características relé de fuga à terra.....62

**SUMÁRIO**

Resumo..... vii
Lista de Figuras.....viii
Lista de tabelas.....ix
Considerações Iniciais.....1
**Capítulo 1 – Características das instalações existentes.....2**
1.1 – Características Gerais.....2
1.2 - Características dos equipamentos principais existentes.....3
1.2.1 Reatores em derivação.....3
1.2.2 Disjuntores.....4
1.2.3 Seccionadores, com e sem lâmina de terra.....5
1.2.4 Pára-raios.....6
1.2.5 Transformador de Potencial Capacitivo.....6
1.2.6 Transformador de Corrente.....7
1.2.7 Capacitor série fixo de 500kV.....8
1.3 Sistema de Proteção, Controle e Supervisão.....9
1.3.1 Sistema de Proteção.....9
1.3.1.1 Proteção de linha de 500kV.....9
1.3.1.1.1 Proteção Primária (PP).....9
1.3.1.1.2 Proteção Alternada.....10
1.3.1.2 Proteção de Reator de 500kV (linha ou barra).....10
1.3.1.3 Esquema de religamento automático (79).....10
1.4 Sistema de Controle.....10
1.5 Esquema de Controle de Emergência.....11
1.6 Sistema de Supervisão e Operação.....11
1.7 Sistema de Comunicação.....11
1.8 Sistema de Sincronismo.....11
1.9 Características Básicas Serviços Auxiliares.....11
1.10 Características – Sistema Corrente Alternada.....12
1.10.1 Sistema de 13,8 kV.....12
1.10.2 Sistema de 460 e 380/220 V.....12
1.10.2.1 Operação dos quadros.....13
1.10.2.2 Critérios obedecido na distribuição das tensões.....13

1.11 Sistema de Corrente Contínua.....13
1.11.1 Sistema de 125 Vcc.....13
1.11.2 Baterias – Características.....14
1.11.3 Retificadores Carregadores – Características.....14
1.11.4 Operação dos quadros.....14
**Capítulo 2 – Análise da viabilidade técnica – econômica do empreendimento... .....15**
2.1 Considerações Iniciais.....15
2.2 Caracterização da expansão.....16
2.3 Análise da alternativa.....19
2.3.1 Previsões de geração e demanda de carga.....19
2.3.2 Análise do cenário de Intercâmbio.....21
2.3.2.1 Região Norte exportadora com a região Nordeste importadora (1º Cenário).....22
2.3.2.2 Região Sudeste exportadora com a regiões Norte e Nordeste importadoras (2º Cenário).....23
2.3.3 Análise econômica da expansão da interligação Norte-Nordes-te.....25
2.3.3.1 Visão atual do empreendimento e Previsões Futuras.....25
2.3.3.2 Custos da implantação.....25
2.3.3.3 Atualização dos custos da implantação.....26
**Capítulo 3 – Desenvolvimento Técnico da Expansão da SE Colinas.....30**
3.1 Considerações iniciais.....30
3.2 Arranjo Físico.....30
3.2.1 Barramentos e estruturas Suporte.....31
3.2.2 Espaçamentos Elétricos.....31
3.2.3 Aterramento.....32
3.3 Lista de Equipamentos Principais.....32
3.3.1 Memória descritiva dos Equipamentos.....33
3.3.1.1 Reatores Monofásicos.....33
3.3.1.2 Seccionadores.....37
3.3.1.3 Disjuntores.....39
3.3.1.4 Pára-raios.....41

3.3.1.5 Transformadores de Potencial Capacitivo.....42
3.3.1.6 Transformadores de Corrente.....43
3.3.1.7 Isoladores do tipo Pedestal.....44
3.3.1.8 Bobinas de Bloqueio.....45
3.4 Memória de cálculo dos Serviços Auxiliares.....45
3.4.1 Serviços Auxiliares em corrente alternada.....45
3.4.1.1 Estimativas de cargas em corrente alternada (estimativa de cargas).....45
3.4.1.2 Especificação quadros CA.....47
3.4.1.3 Especificação transformadores de serviços auxiliares.....51
3.4.1.4 Dimensionamento do Grupo Motor Gerador Diesel (GMG).....51
3.4.2 Serviços Auxiliares em corrente contínua.....56
3.4.2.1 Estimativas de cargas em corrente contínua (memória de cálculo).....56
3.4.2.2 Consumo do carregador de baterias.....59
3.4.2.3 Especificação quadros CC.....59
3.5 Filosofia da Proteção.....62
3.5.1 Considerações Gerais.....62
3.5.1.1 Proteção Falha do Disjuntor.....63
3.5.1.2 Proteção Terminal da linha de transmissão.....63
3.5.1.3 Proteção Barramento 500 kV.....63
3.5.1.4 Proteção Reator.....64
3.5.1.5 Proteção Oscilações de Tensão.....64
**Capítulo 4 – Conclusões**.....65
Referências Bibliográficas.....66
Anexos .....68

# Considerações Iniciais

Este projeto final tem como objetivo a caracterização básica da expansão de um vão de uma subestação de energia elétrica 500kV pertencente a ELETRONORTE, integrante de um empreendimento de expansão do sistema elétrico brasileiro, determinado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em edital de licitação de energia.

Em um primeiro momento, será feita uma descrição das instalações já existentes nesta subestação da ELETRONORTE (características gerais, características dos equipamentos principais, sistema de proteção e controle e supervisão e serviços auxiliares).

Em um segundo momento será feita uma análise da viabilidade técnico-econômica do empreendimento de expansão do sistema elétrico no qual este projeto de ampliação da subestação está imerso. Também serão analisados as características e requisitos básicos da implantação do empreendimento que fará o fortalecimento da interligação entre as regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Como um terceiro momento será feito o desenvolvimento técnico da expansão da subestação que compreende uma etapa integrante do projeto determinado pela ANEEL. Deve-se observar que tal projeto dará enfoque ao desenvolvimento da área elétrica; características do setor civil, mecânico entre outros, não serão abordadas por não estarem em foco no curso de engenharia elétrica/eletrotécnica.

# Capítulo 1 – Características das instalações existentes (SE 500kV – padrão ELETRONORTE)

## 1.1 Características Gerais

Trata-se de uma subestação da ELETRONORTE localizada no município de Colinas do Tocantins no estado de Tocantins, a 8 km da cidade de Colinas, junto à BR- 153 (Belém – Brasília), sendo denominada SE Colinas.

A SE Colinas é composta de um setor de 500kV, com previsão de um setor 138kV no futuro. O setor de 500kV é composto de:

(a) 1 vão completo: circuito1 Imperatriz / Miracema;
(b) 1 vão completo: circuito2 Imperatriz / Miracema;
(c) 1 vão completo : circuito Marabá / Miracema;

Neste setor é utilizado o esquema de manobra tipo “disjuntor e meio” conforme mostrado a seguir:

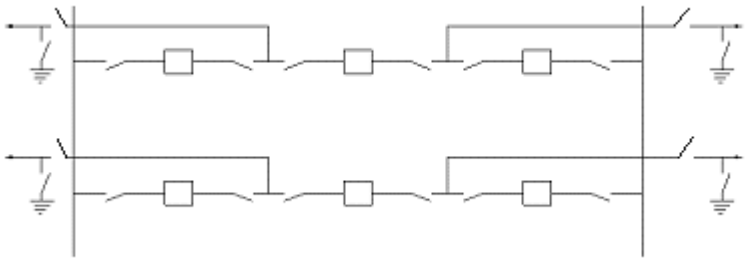


Figura 1 – Esquema “Disjuntor e meio”

Este esquema disjuntor e meio acima é normalmente utilizado em subestações de extra-alta tensão, sobretudo aquelas de interconexão que formam parte de um sistema em anel. Podemos citar suas características principais:

(a) Há uma boa continuidade de serviço;
(b) A cada seção do diagrama unifilar chamamos de módulo. Neste caso, cada módulo consta de três disjuntores, cada um dos quais tem um conjunto de transformadores de corrente, um de cada lado e dois jogos de chaves, também uma de cada lado. Os disjuntores externos conectam as barras. Entre os dois disjuntores externos e o central se observa uma conexão de linha ou cabo de um lado; e do outro uma conexão a um transformador;
(c) Efetua-se a manutenção de qualquer disjuntor neste esquema, sem afetar a continuidade de serviço;
(d) Efetua-se a manutenção de barra do esquema sem afetar a continuidade de serviço.

## 1.2 Características básicas dos equipamentos principais existentes

São apresentadas a seguir as características básicas dos equipamentos atualmente instalados na subestação em estudo.

### 1.2.1 Reatores em derivação

Norma aplicável: ABNT 5119

- Tensão nominal / máxima operativa: 500/√3 kV (fase-terra);
- Freqüência nominal: 60 Hz;
- Potência nominal: 55 MVAr por fase a 550/√3 kV;
- Nível de isolamento dos enrolamentos:

(1) Tipo de isolamento : progressivo;
(2) Tensão suportável a impulso atmosférico pleno na AT: 1550 kV;
(3) Tensão suportável a impulso cortado a 3us na AT: 1780 kV;
(4) Tensão suportável a impulso atmosférico pleno no neutro: 350 kV;

(5) Tensão suportável à freqüência industrial no neutro: 140 kV;

### 1.2.2 Disjuntores

Norma aplicável: ABNT 7118/94 e IEC 56/1987.

- Tensão nominal: 550 kV;
- Freqüência nominal: 60 Hz;
- Distância de escoamento mínima: 20 mm/kV;
- Corrente nominal: 3150 A;
- Corrente de interrupção nominal: 40 kA;
- Corrente suportável nominal de curta duração (1s): 40kA;
- Tempo de interrupção nominal: 2 ciclos (60Hz);
- Ciclo de operação nominal: O – 0,3s CO – 3 min – CO;
- Requisitos para interrupção em discordância de fases

| | |
|---|---|
| Capacidade de interrupção (kA, ef.) | 10 |
| u1 (kV) | 898 |
| ti (us) | 583 |
| uc (kV) | 1123 |
| t2 (us) | 1749 |
| u1/ t1 (kV, ef.) | 1,54 |
| Capacidade de interrupção (kA, ef.) | 6 |
| u1 (kV) | 1632 |
| ti (us) | 2352 |

Onde: u - tensão (kV) ; t – tempo de duração

Tabela 1 – Requisitos: discordância de fases

- Requisitos para falta terminal

Corrente interrompida em percentagem da componente periódica da capacidade de interrupção nominal

| Condições | U1 (kV) | t1 (us) | uc (kV) | t2 t3 (us) | td (us) | u'(kV) | t'(us) | t3 (us) | U1/t1 (kV/us) | fi (kV/kA) | ti (us) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100% Icc | 694 | 337 | 943 | 1010 | 2 | 377 | 170 | 1010 | 2 | 0,139 | 1,0 |
| 60% Icc | 694 | 225 | 1011 | 1013 | 2(56) | 337 | 114 (168) | 1013 | 3 | 0,139 | 1,0 |
| 30% Icc | 702 | 117 | 1053 | 878 | 5(29) | 351 | 64 (85) | 878 | 6 | 0,139 | 1,0 |
| 10% Icc | - | - | 1066 | 82 | 10 | 355 | 37 | 82 | 13 | 0,139 | 1,0 |

Tabela 2 – Requisitos: falta terminal

- Níveis de isolamento

(a) Tensão suportável a impulso atmosférico pleno à terra e entre pólos: 1550kV;

(b) Tensão aplicada à freqüência industrial fase-terra: 650 kV;

(b) Tensão aplicada à freqüência industrial entre terminais: 720 kV;

(c) Tensão suportável à freqüência industrial no circuito auxiliar: 3kV.

### 1.2.3 Seccionadores, com e sem lâmina de terra

Norma aplicável : ABNT 6935/85, IEC 129/84.

- Tensão nominal: 550 kV;
- Freqüência: 60 Hz;
- Distância mínima de escoamento: 20 mm/kV;

- Tensão mínima para início e fim do corona visual: 380 kV;
- Corrente nominal: 3150 A;
- Corrente suportável nominal de curta duração (1s): 40kA;
- Níveis de isolamento:

(a) Tensão suportável a impulso atmosférico pleno à terra e entre pólos: 1550kV;
(b) Tensão aplicada a freqüência industrial (t= 60s), a seco e sob chuva, fase-terra: 650 kV;
(c) Tensão aplicada a freqüência industrial (t= 60s), a seco e sob chuva, entre terminais: 720 kV;
(d) Tensão suportável à freqüência industrial no circuito auxiliar: 2kV;

### 1.2.4 Pára-raios

Norma aplicável: IEC 99-4/91.

- Óxido metálico. Tipo estação;
- Freqüência nominal: 60 Hz;
- Tensão nominal: 420 kV;
- Corrente de descarga nominal: 20 kA;
- Máxima tensão residual a 20 kA: 1085 kV;

### 1.2.5 Transformador de Potencial Capacitivo

Norma aplicável: ABNT 6855/92 e IEC 60044-2/95.

- Tensão nominal: 500/√3 kV;
- Tensão máxima operativa: 550 kV;
- Freqüência: 60 Hz;
- Distância de escoamento mínima: 20mm/kV;
- Tensão mínima para início e fim do corona visual: 380 kV;
- Níveis de isolamento:

(a) Tensão suportável a impulso atmosférico pleno: 1550kV;
(b) Tensão suportável a impulso de manobra a seco/sob chuva:1175 kV;
(c) Tensão aplicada a freqüência industrial fase-terra: 650 kV;
(d) Tensão suportável à freqüência industrial no circuito auxiliar: 3kV;

- Capacidade de acoplamento carrier: 5000 pF;
- Enrolamentos secundários e cargas nominais:

(a) Enrolamento nº 1: 2600/4500:1 – 200 VA, classe 0,5;
(b) Enrolamento nº 2: 2600/4500:1 – 200 VA, classe 1 e 3P;
(c) Enrolamento nº 3: 2600/4500:1 – 200 VA, classe 1 e 3P;
(d) Carga simultânea: 200 VA;
(e) Tensão nominal secundária: 115 V.

### 1.2.6 Transformador de Corrente

Norma aplicável: ABNT 6856/92 e IEC 60044-1/96.

- Tensão nominal: 550kV;
- Freqüência: 60 Hz;
- Tensão mínima para início e fim do corona visual: 380 kV;
- Níveis de isolamento:

(a) Tensão suportável a impulso atmosférico pleno: 1550kV;
(b) Tensão suportável a impulso de manobra a seco/sob chuva:1175 kV;
(c) Tensão aplicada a freqüência industrial fase-terra: 650 kV;
(d) Tensão suportável à freqüência industrial no circuito auxiliar: 3kV;

- Fator térmico:

(a) Núcleo de medição: 1,58;
(b) Núcleo de proteção: 1,05.

- Núcleos secundários e cargas nominais:

(a) Núcleo nº 1: 2000/1000:1A; 0,3 C2,5
(b) Núcleo nº 2: 2000/1000: 1A; 0,3 C2,5
(c) Núcleo nº 3: 3000/2000/1500/1000:1A; 10B160
(d) Núcleo nº 4: 3000/2000/1500/1000:1A; 10B160
(e) Núcleo nº 5: 3000/2000/1500/1000:1A; 10B160
(f) Núcleo nº 6: 3000/2000/1500/1000:1A; 10B160

### 1.2.7 Capacitor série fixo de 500kV

Norma aplicável: IEC 143.

- Tensão nominal: 550 kV;
- Sobretensão admissível: 605 kV;
- Freqüência: 60 Hz;
- Distância de escoamento: 20 mm/kV fase-fase;
- Tensão mínima para extinção de corona visual: 380 kV (fase-terra);
- Potência nominal: 161 MVAr;
- Corrente nominal: 1500 A;
- Sobrecorrente nominal: 2250 A (30 min) e 3000 A (10s);
- Reatância capacitiva nominal do banco: 23,8 ohm;
- Níveis de isolamento:

(a) Tensão suportável a impulso atmosférico: 1550 kV;
(b) Tensão suportável a impulso de manobra a seco/sob chuva: 1175 kV;
(c) Tensão aplicada a freqüência industrial, a seco: 650kV.

## 1.3 Sistema de Proteção, Controle e Supervisão

Na subestação em estudo existem dois sistemas de proteção, controle e supervisão distintos para cada circuito e funcionalmente acoplados.

Podemos observar que os dois sistemas trocam informações digitais entre si, permitindo a implantação das estratégias de proteção das linhas de transmissão e dos intertravamentos dos equipamentos de manobra.

O resumo do sistema de proteção, controle e supervisão descrito neste capítulo foi feito através da análise de um vão existente na subestação em estudo. Tal sistema é constituído por relés numéricos e unidades de controle integrados ao sistemas digitais da subestação.

### 1.3.1 Sistema de Proteção

No sistema de proteção os relés acionam os disjuntores com dois circuitos de disparo independentes, acionamento monopolar e tripolar, bem como ciclo de operação compatível com a utilização de esquemas de religamento automático monopolar e tripolar com uma única tentativa.

#### 1.3.1.1 Proteção de linha de 500kV

O sistema de proteção de linha utilizado consta de:

##### 1.3.1.1.1 Proteção Primária (PP)

(a) Proteção de distância de fase e terra;
(b) Religamento automático mono e/ou tripolar de disjuntores com verificação de sincronismo;
(c) Esquema de proteção contra oscilação de potência;
(d) Localizador de defeito.

#### 1.3.1.1.2 Proteção Alternada

(a) Proteção de distância de fase e terra;
(b) Religamento automático mono e/ou tripolar de disjuntores (barra + central) com verificação de sincronismo;
(c) Esquema de proteção contra oscilação de potência;
(d) Localizador de defeito.

#### 1.3.1.2 Proteção de Reator de 500kV (linha ou barra)

As proteções existentes atuando em conjunto com as proteções internas dos reatores são as seguintes:

(a) Proteção diferencial;
(b) Proteção de sobrecorrente de fases e neutro.

#### 1.3.1.3 Esquema de religamento automático (79)

Em cada saída de linha existem dispositivos de religamento automático, os quais estão condicionados a atuação das proteções rápidas da linha.

## 1.4 Sistema de Controle

O Controle é feito por seis unidades de controle que estão conectadas através de uma rede de fibras ópticas.

Estas unidades são responsáveis por:

(a) Implementar os intertravamentos entre os equipamentos de manobra da subestação para termos uma operação segura;
(b) Adquirir as informações analógicas e digitais do processo permitindo a manutenção de uma base de dados em tempo real.

## 1.5 Esquema de Controle de Emergência

Tal esquema é implementado em unidades de proteção e controle específicas para o processamento deste controle. Tais unidades têm funções independentes e são conectadas ao centro de supervisão e controle para enviarem e receberem informações do sistema.

## 1.6 Sistema de supervisão e Operação

O Sistema de supervisão e operação da subestação em estudo é conduzido a partir de três níveis distintos:

(a) Operação Local: operação a partir dos painéis de proteção e controle instalados na sala de relés da subestação;

(b) Operação Central: operação a partir da sala de controle da subestação;

(c) Operação Remota: operação a partir do sistema de supervisão e controle instalado no centro de operação local.

## 1.7 Sistema de Comunicação

O Sistema de proteção, controle e supervisão é dotado de duas estações de comunicação que permitem a sua conexão com uma outra subestação interligada. Tais estações executam o envio das informações coletadas da subestação e processam os comandos recebidos do sistema com desempenho e segurança compatíveis a uma adequada telesupervisão da subestação.

## 1.8 Sistema de sincronismo

O Sistema de sincronismo é feito através de uma rede de receptor de sinais GPS (comunicação), tendo uma resolução de um milissegundo (1 ms).

## 1.9 Características básicas – Serviços Auxiliares

A subestação em estudo possui serviços auxiliares atendidos em corrente alternada nas tensões 460 e 380/220 V e corrente contínua em 125 V.

## 1.10 Características – Sistema Corrente Alternada

### 1.10.1 Sistema de 13,8 kV

A alimentação do sistema em CA é feita através de 1 (um) alimentador em 13,8 kV; os cubículos são constituídos de 3 (três) unidades:

(a) Duas unidades para controle, proteção e manobra dos alimentadores;
(b) Uma unidade fazendo a alimentação de dois transformadores de 13800-460 V.

Os cubículos têm como características principais:

(a) Tensão nominal: 15 kV;
(b) Corrente nominal:1250 A;
(c) Freqüência nominal: 60 Hz;
(d) Capacidade de curto-circuito: 20 kA.

Os transformadores possuem as seguintes características:

(a) Potência nominal: 750 kVA;
(b) Tensão primária nominal: 13,8 kV;
(c) Tensão secundária nominal: 460 V;
(d) Freqüência: 60 Hz;
(e) Nível básico de impulso: 110 kV;
(f) Ligação: triângulo (primário) – estrela (secundário).

### 1.10.2 Sistema de 460 e 380/220 V

Tal sistema é alimentado por 2 (dois) transformadores de distribuição de 13800-460 V, ou por 2 (dois) grupos gerador diesel de 300 kVA, no caso de perda dos alimentadores de 13,8 kV.

#### 1.10.2.1 Operação dos quadros de Serviços Auxiliares

Para a perfeita continuidade de serviços dos equipamentos da subestação, os serviços auxiliares trabalham com quadros de distribuição com barramentos independentes.

Um quadro (interno na casa de comando), faz a distribuição radial para os quadros 460 V e transformadores dos quadros 380/220 V.

#### 1.10.2.2 Sistemas 460 e 380/220 V : distribuição das tensões

**(a) Sistema de 460 V**

(1) Equipamentos do pátio de 500 kV (seccionadores, disjuntores, transformadores de potência e reatores);

(2) As tomadas de tratamento de óleo dos reatores;

(3) O sistema de ar condicionado da casa de comando e das casas de relés;

(4) Os transformadores 460 – 380/220 V;

(5) Sistema anti-incêndio.

**(b) Sistema de 380/220 V**

(1) Iluminação da casa de comando, das casas de relés, do pátio e das vias de acesso;

(2) Alimentação dos equipamentos do pátio de 138 kV ( para futura ampliação);

(3) Carregadores de baterias;

(4) Tomadas do pátio.

## 1.11 Sistema de Corrente Contínua

### 1.11.1 Sistema de 125 Vcc

O sistema é composto de 2 (dois) conjuntos de baterias e 2 (dois) retificadores, ligados a um quadro principal. A partir deste, é feita a distribuição através de quadros auxiliares localizados na casa de relés.

As variações de tensão permissíveis são::

(a) Tensão máxima: 125 + 10%;

(b) Tensão mínima: 125 – 20%.

Temos que os retificadores, baterias e quadro de distribuição principal são interligados através de disjuntores motorizados, considerando a possibilidade da existência de falha do sistema retificador.

### 1.11.2 Baterias – Características

(a) Tipo: Chumbo ácidas, reguladas a válvula;

(b) Tensão nominal: 125 V;

(c) Capacidade nominal: 600 Ah/10h;

(d) Número de elementos: 60;

(e) Tensão final por elemento: 1,75 V.

### 1.11.3 Retificadores Carregadores – Características

(a) Corrente nominal: 150 A;

(b) Tensão nominal: 125 V;

(c) Tensão de alimentação: 380 V.

### 1.11.4 Características dos quadros

Os quadros são constituídos por dois barramentos independentes com operação manual/automática local e remota. Assim, em condições normais de operação o barramento recebe alimentação de um retificador e uma bateria, que atuam de forma independente.

Na falha de um sistema retificador, um automatismo faz com que haja uma transferência de barras, colocando as duas fontes em paralelo ($t < 10s$); com relação à operação remota dos quadros temos que é feita através do sistema digital existente, seguindo os critérios do automatismo local.

# Capítulo 2 – Análise da viabilidade técnico – econômica do empreendimento

## 2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será feito uma abordagem técnico – econômica do empreendimento em estudo e dar-se-á enfoque na relação das principais motivações desta expansão fazendo uma correlação com o processo de planejamento e expansão do sistema elétrico brasileiro.

Em um primeiro momento devemos observar alguns fatos relevantes no sistema elétrico do Brasil. Estudos anteriores voltados para o processo de ampliação do setor elétrico, indicaram haver a necessidade de um fortalecimento na interligação das regiões Norte – Nordeste. Tal fortalecimento de intercâmbio é necessário uma vez que a total automatização da usina de Tucuruí (2006) permitiu uma disponibilidade de geração 3 (três) vezes maior que em tempos anteriores (aproximadamente 8370 MW).

Sendo assim, a energia excedente deste processo poderia ser exportada para atender a demanda existente na região Nordeste. Tal suprimento seria dado pela entrada de mais dois circuitos de 500 kV, havendo o processo de expansão e construção de novas subestações e linhas de transmissão.

Na expansão do sistema, além do fortalecimento das regiões Norte – Nordeste, também há previsão do fortalecimento entre as regiões Norte – Sul, além de apresentar uma solução para um problema conjuntural da região nordeste (energia versus mercado), que tem como projetos de expansão a implantação de geração térmica a gás, usinas hidrelétricas no estado do Tocantins, além da ampliação das interligações. Tendo os dois primeiros projetos alto grau de imprecisão e prazos de execução longos, devemos optar para a expansão das interligações como forma de garantir o fortalecimento de intercâmbio entre as regiões.

## 2.2 Caracterização da expansão

O reforço da interligação Norte – Nordeste feita através do circuito desde a SE Colinas (SE em estudo) à SE Sobradinho, faz com que a região Nordeste aumente sua capacidade de recebimento das regiões Norte e Sudeste em 1200 MW e que também haja um progresso na estabilidade de tensão do sistema em períodos de contingências.

Conforme relatório do CCPE (Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos), o empreendimento Colinas-Sobradinho mostra-se técnica e economicamente mais atrativo para implantação e é caracterizado como mostrado nas tabelas seguintes.

| **Linhas de Transmissão** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Origem** | **Destino** | **Circuito** | **kV** | **km** |
| Colinas | R. Gonçalves | C1 | 500 | 379 |
| R. Gonçalves | S.J.Piauí | C1 | 500 | 353 |
| S.J.Piauí | Sobradinho | C2 | 500 | 210 |

Tabela 3 – Obras na Transmissão

| **Subestação** | **kV** | **Equipamentos** |
|---|---|---|
| Colinas | 500 | 1 entrada de linha |
| | 500 | 1 interligação de barras |
| | 500 | (3+1) reatores de linha (60MVAr) |
| R. Gonçalves | 500 | 1 Módulo Geral |
| | 500 | 2 entradas de linha |
| | 500 | 2 interligações de barra |
| | 500 | Compensação série LT Col - Rgo (462 Mvar) |

| | | |
|---|---|---|
| | 500 | Compensação série LT Rgo - SJP (425 Mvar) |
| | 500 | (6+1) reatores de barra (60 Mvar) |
| | 500 | 2 conexões de reatores |
| | 500 | 6 reatores de linha (60 Mvar) |
| S.J.Piauí | 500 | 2 entradas de linha |
| | 500 | 2 interligações de barra |
| | 500 | Compensação série LT SJP - Sob (374 Mvar) |
| | 500 | (3+1) reatores de barra (33,3 Mvar) |
| | 500 | (3+1) reatores de linha (33,3 Mvar) |
| | 500 | 4 reatores de linha (60MVAr) |
| | 500 | 1 conexão de reator |
| Sobradinho | 500 | 1 entrada de linha |
| | 500 | 1 interligação de barras |
| | 500 | 6 reatores de linha (33,3 Mvar) |
| | 500 | 1 conexão de reator |

Tabela 4 – Obras em subestações

A seguir está exposto o mapa eletrogeográfico do sistema elétrico brasileiro, mostrando, de uma forma geral, o empreendimento que fortalecerá a interligação Norte – Nordeste, assim como seu diagrama unifilar. Neste projeto se dá um enfoque na expansão da SE Colinas, conforme indicado.

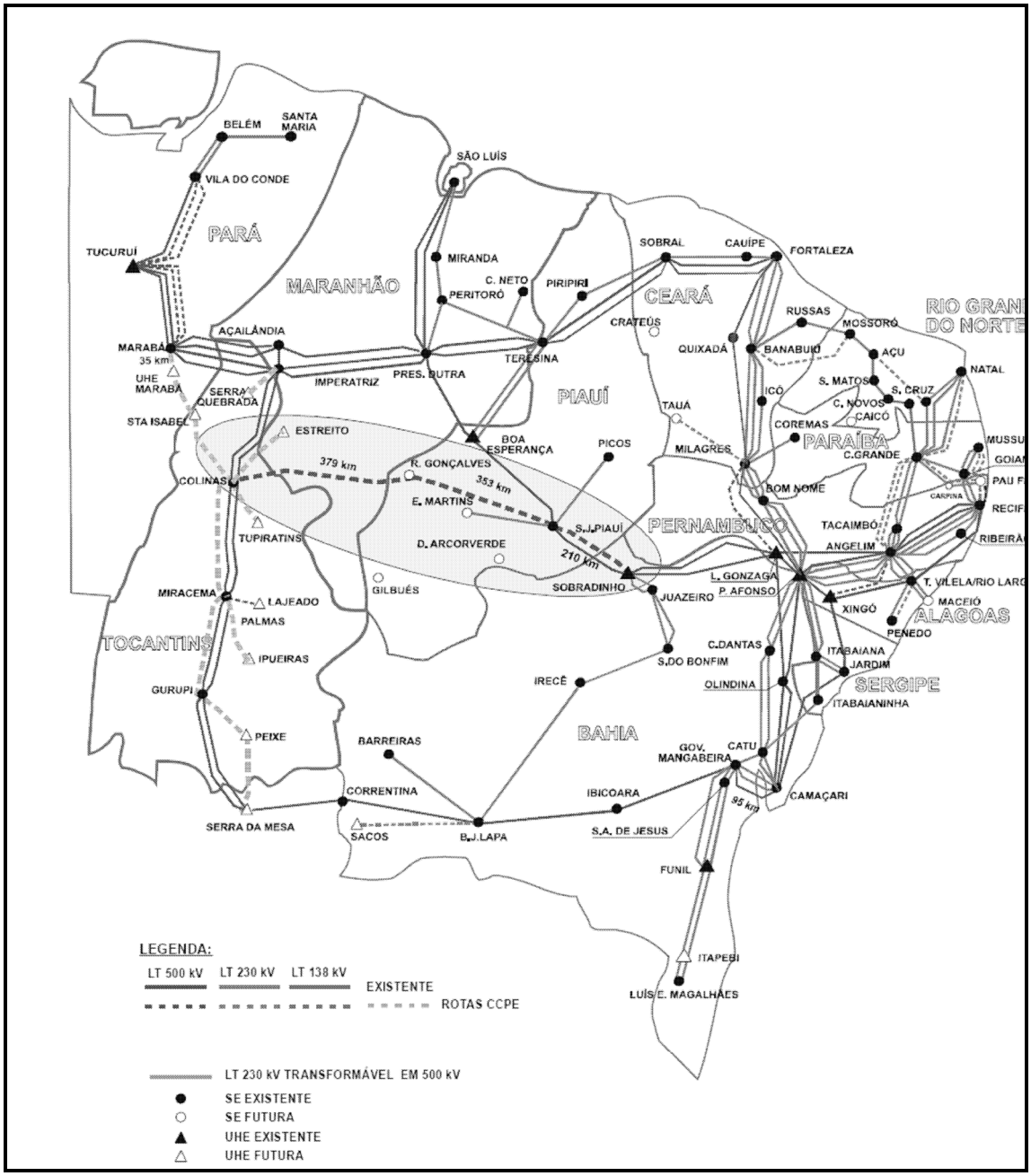



Figura 2 – Mapa do sistema interligado Norte - Nordeste / Norte – Sul [4]

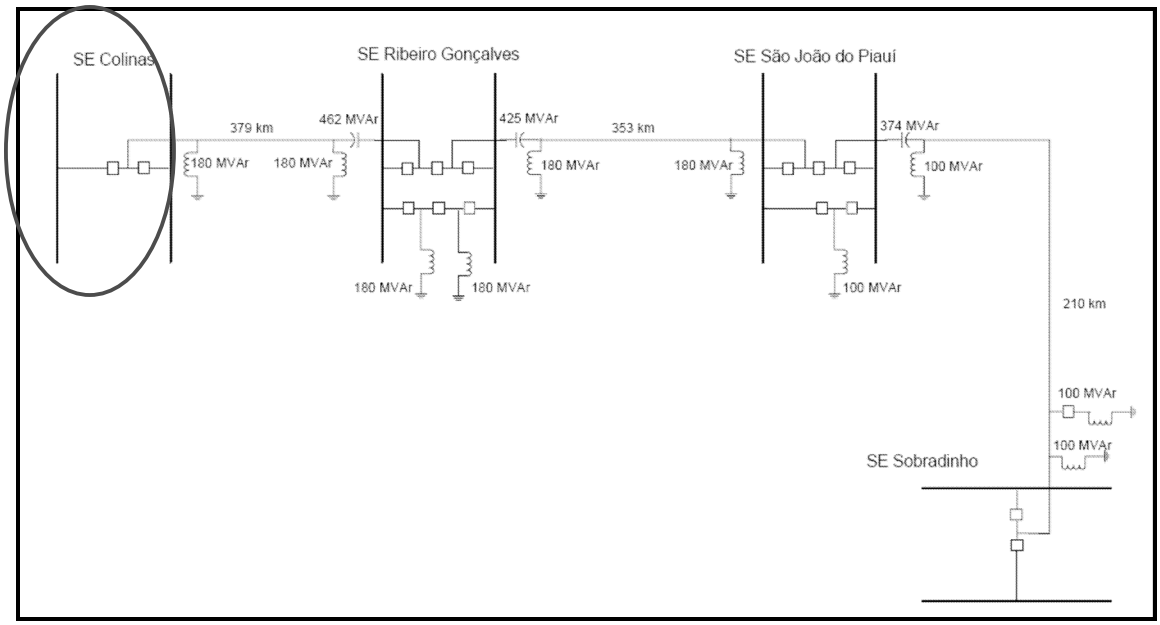



Figura 3 – Diagrama unifilar do projeto de expansão previsto pela ANEEL [4]

Para melhor entendimento o diagrama unifilar simplificado contendo a expansão da SE Colinas pode ser observado no anexo deste trabalho.

## 2.3 Análise da alternativa

Tal interligação Norte – Nordeste em discussão, foi concebida visando a criação de um novo traçado em nível de 500kV entre estas regiões, havendo a criação de uma subestação seccionadora entre os estados do Maranhão e Piauí (SE Ribeiro Gonçalves).

### 2.3.1 Previsões de geração e demanda de carga

Utilizando-se a configuração de referência do sistema interligado Norte - Nordeste 2002-2006, podemos expor algumas previsões nas regiões a serem analisadas:

**a) Geração (Hidráulica e Térmica)**

Nas regiões Norte e Nordeste analisadas, devemos ter a conclusão de alguns empreendimentos hidráulicos e térmicos conforme listados nas tabelas descritas a

seguir. Tal prospecção é chamada de programa de geração do sistema elétrico, com previsão de conclusão até meados de 2010.

| Usinas | Potências (MW) | Sistema |
|---|---|---|
| Araçá | 4x30 | Nordeste |
| Santa Isabel | 8x135 | Norte |
| Serra Quebrada | 9x166 | Norte |
| Estreito | 7x150 | Norte |
| Tupiratins | 7x142,9 | Norte |
| Marabá | 8x120 | Norte |
| Ipueiras | 4x150 | Norte |
| Gatos I | 3x11 | Nordeste |
| Santa Clara | 3x20 | Nordeste |
| Lajeado | 5x170 | Norte |
| Tucuruí - Fase II | 11x375 | Norte |
| Itapebi | 3x150 | Nordeste |
| Pedra do Cavalo | 2x85 | Nordeste |
| Sacos | 3x30 | Nordeste |
| Peixe Angical | 4x112,5 | Norte |
| CanaBrava | 3x150 | Sudeste |
| S. Salvador | 3x93,3 | Norte |

Tabela 5 – Empreendimentos hidráulicos nas regiões em estudo [4]

| Usinas | Potências (MW) | Sistema |
|---|---|---|
| Termo Bahia | 190 | Nordeste |
| Termo Ceará | 270 | Nordeste |
| Fafen - Gás | 56 | Nordeste |
| Termo Pernambuco | 500 | Nordeste |
| Termo Fortaleza | 345 | Nordeste |
| Camaçari | 350 | Nordeste |
| TermoAçu | 350 | Nordeste |

Tabela 6 – Empreendimentos térmicos nas regiões em estudo [4]

**b) Mercado**

Nos recentes estudos feitos com relação à expansão Norte - Nordeste, foram verificados alguns montantes de carga (carga leve e pesada) através de uma previsão de mercado, conforme é exposto na tabela a seguir.

| Carga Pesada | | Carga Leve | |
|---|---|---|---|
| Norte | Nodeste | Norte | Nodeste |
| 3350 | 9639 | 3376 | 5939 |

Tabela 7 - Previsão de mercado 2007 [4]

### 2.3.2 Análise do cenário de Intercâmbio

Nos cenários de intercâmbio em estudo, foram utilizadas premissas de despacho mínimo nas usinas de forma a aumentar a energia que é importada pela região Nordeste. Os estudos indicam que temos um total de 4820 MW na região

Nordeste. Com isso, podemos analisar dois cenários de intercâmbio conforme segue:

#### 2.3.2.1 Região Norte exportadora com a região Nordeste importadora (1º Cenário)

Neste cenário, devemos ter a máxima transferência de despacho pela região Norte para a região Nordeste. A sobra desta exportação será enviado para a região Sudeste. Sendo assim, temos a configuração de intercâmbio equivalente descrito a seguir:

| Carga leve (MW) | CargaPesada (MW) |
|---|---|
| 1440 | 4330 |

Tabela 8 – Intercâmbio entre regiões N-NE e SE-NE

Os esquemas do cenário analisado para os critérios de carga leve e carga pesada podem ser observados nos dois esquemas a seguir:

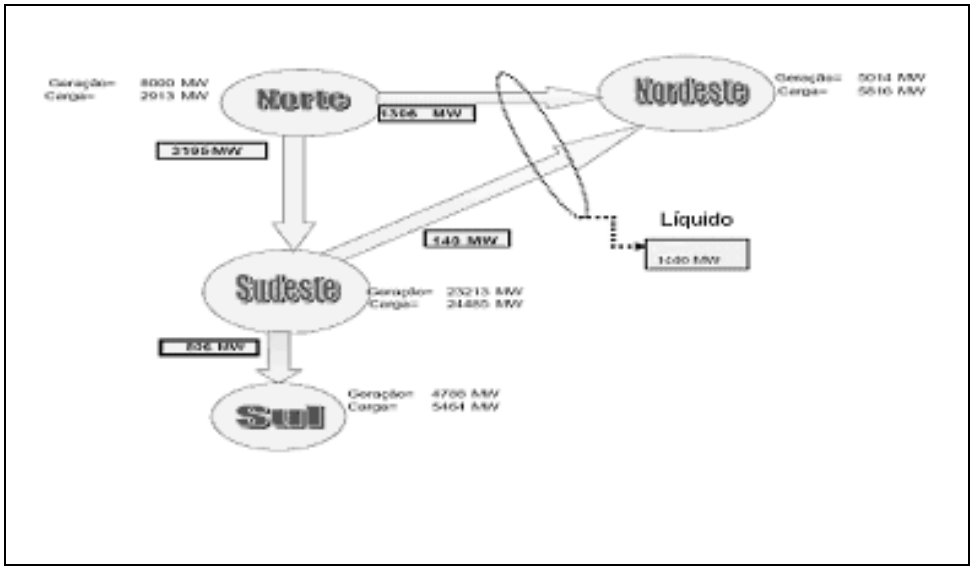



Figura 4 – Cenário para critério de carga leve (Norte exportador e Nordeste importador) [4]

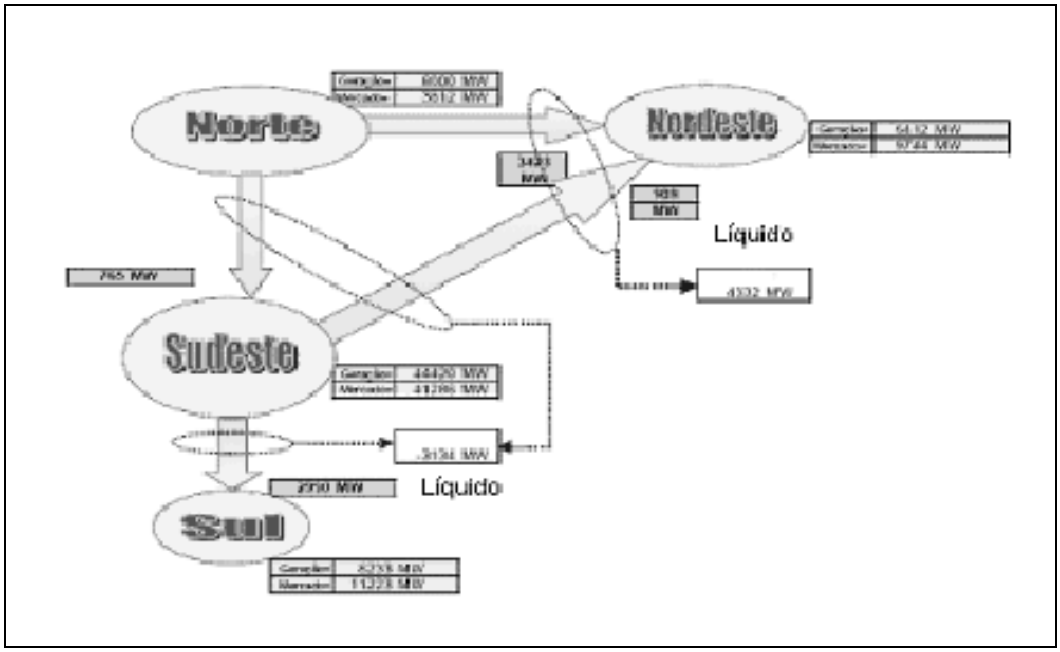



Figura 5 – Cenário para critério de carga pesada (Norte exportador e Nordeste importador) [4]

**2.3.2.2 Região Sudeste exportadora com a regiões Norte e Nordeste importadoras (2º Cenário)**

Esta configuração foi feita a premissa que as usinas de Tucuruí I e II foram despachadas com 2000 MW, o que representa aproximadamente 25% de sua potência total instalada. Sendo assim, temos a configuração de intercâmbio equivalente descrito a seguir:

| Carga leve (MW) | Carga Pesada (MW) |
|---|---|
| 1347 | 2955 |

Tabela 9 – Intercâmbio entre regiões N-NE e SE-NE

Os esquemas do cenário analisado para os critérios de carga leve e carga pesada podem ser observados nos dois esquemas a seguir:

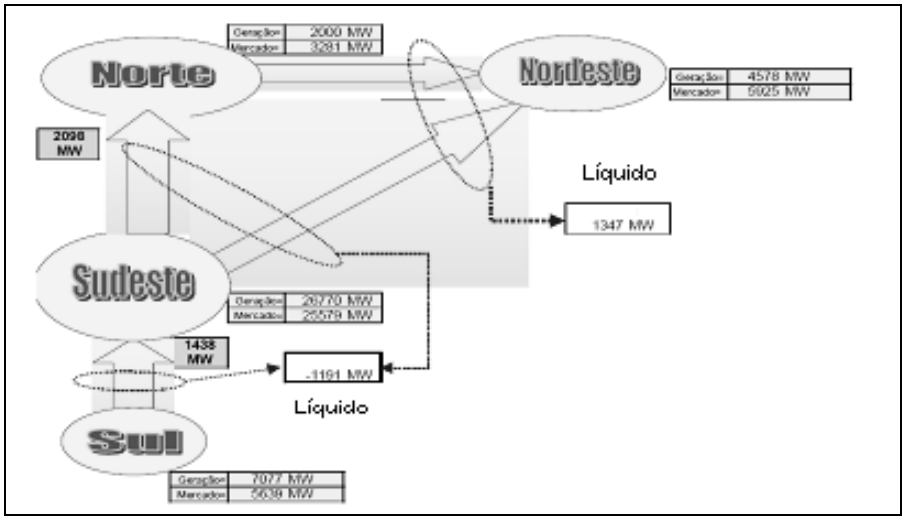



Figura 6 – Cenário para critério de carga leve (Norte e Nordeste importadores e Sudeste exportador) [4]

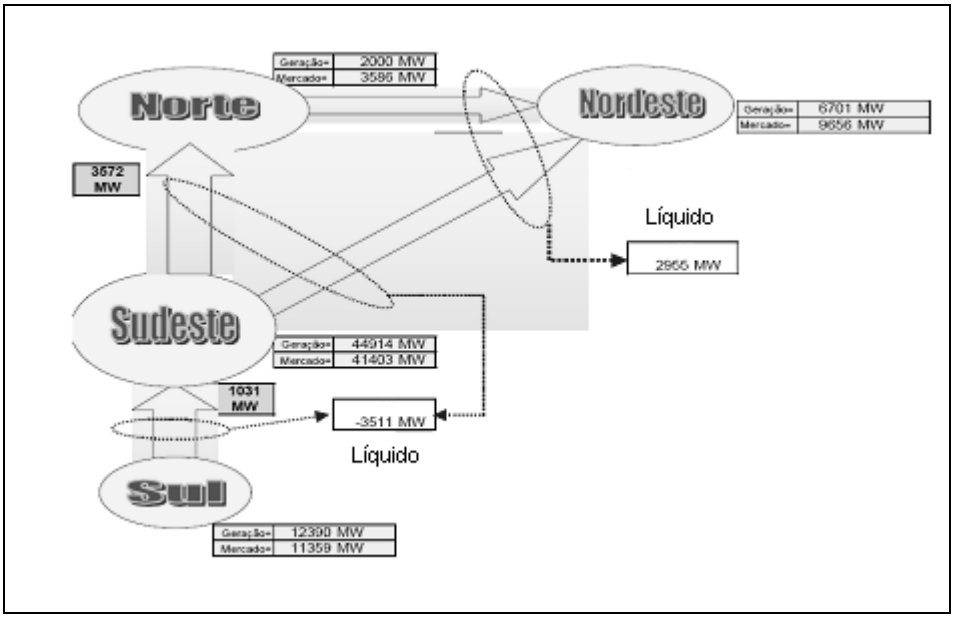



Figura 7 – Cenário para critério de carga pesada (Norte e Nordeste importadores e Sudeste exportador) [4]

### 2.3.3 Análise econômica da expansão da interligação Norte-Nordeste

Neste momento, faremos uma breve exposição dos custos provenientes da implantação deste empreendimento (interligação Norte – Nordeste entre as subestações Colinas e Sobradinho). Far-se-á uma atualização dos valores presentes deste investimento, assim como mostraremos uma previsão para os anos subseqüentes.

#### 2.3.3.1 Visão atual do empreendimento e Previsões Futuras

O empreendimento, como antes dito, é composto de 3 (três) linhas de transmissão em 500 kV conforme descrito a seguir:

(a) LT 500 kV Colinas – Ribeiro Gonçalves – São João do Piauí (C1);
(b) LT 500 kV São João do Piauí – Sobradinho (C2).

Obs: Tal projeto em estudo é representado pelo ano de 2006, marco de seu desenvolvimento conforme ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Para efeito de análise econômica, foram também levados em consideração os reforços nas interligações até o horizonte de 2010. Tal previsão de fortalecimento da interligação Norte - Nordeste é dada a seguir:

(a) LT 500 kV Colinas – R. Gonçalves – S. J. Piauí (C2);
(b) LT 500 kV S. J. Piauí – Milagres.

#### 2.3.3.2 Custos da implantação

Primeiramente deve ser observado que no desenvolvimento econômico do empreendimento, foi feita uma valoração das perdas considerando um custo de energia na faixa de US$ 35/MWh, baseado no custo marginal da expansão de médio prazo da geração determinado pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE).

Através de dados obtidos em relatórios desenvolvidos pelo CCPE, são apresentados resultados dos cálculos do valor presente do investimento relacionando os respectivos custos referentes às linhas de transmissão e subestações nos horizontes 2006 e 2010 (futuro).

| Empreendimento Colinas - Sobradinho | | |
|---|---|---|
| Ano | Linhas (US$) | Subestações (US$) |
| 2006 | 312.442 | 180451 |
| 2010 | 228.520 | 88320 |

Tabela 10 – Custos de implantação: Horizonte presente e futuro [4]

Sendo assim, teremos nos cinco primeiros anos, um investimento na faixa de US$ 809,73 milhões de dólares para o fortalecimento da interligação Norte – Nordeste, levando em conta esta alternativa Colinas – Sobradinho e previsões de futuras expansões, já expostas anteriormente.

Temos que observar que, segundo dados obtidos pelo CCPE, tal interligação se mostrou mais atrativa economicamente com relação ao valor presente (ano de 2006) apresentado, assim como ao investimento inicial do projeto de cerca de US$ 492 milhões de dólares.

#### 2.3.3.3 Atualização dos custos da implantação

Nesta seção serão apresentadas atualizações de custos da implantação nos anos iniciais e subseqüentes. Tais dados foram obtidos segundo custos previstos pela base de dados da Eletrobrás e tomados como base pelo CCPE. Sendo assim, tais custos poderão sofrer mudanças de acordo com as variações dos traçados das linhas de transmissão, tipos de equipamentos e materiais empregados no projeto, custos de serviços de comissionamento etc.

A seguir são expostas duas tabelas que correlacionam os investimentos previstos para o ano inicial e para os posteriores. Temos um total de investimentos da ordem de US$ 280 milhões iniciais e US$ 570 milhões para futura expansão do empreendimento.

| Obras | Qtde | Ano | Unitário (US$ MIL) | Total US$ Milhão |
|---|---|---|---|---|
| **SE Colinas 500 kV** | | | | 0,92 |
| Interligação de Barra em 500 kV | 1 | 2007 | 922,2 | 0,92 |
| **LT Colinas - Ribeiro Gonçalves** | | | | 99,24 |
| Circuito # 1, Colinas - R. Gonçalves 500 kV | 379 | 2007 | 195,7 | 74,17 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Colinas | 1 | 2007 | 2.229,27 | 2,23 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Ribeiro Gonçalves | 1 | 2007 | 2.229,27 | 2,23 |
| Compensação série - 48% - LT Colinas - R. Gonçalves, em R. Gonçalves | 462 | 2007 | 26,68 | 12,32 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE Colinas C1 | 4 | 2007 | 1036 | 4,14 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE R. Gonçalves C1 | 4 | 2007 | 1036 | 4,14 |
| **SE Ribeiro Gonçalves 500 kV** | | | | 19,12 |
| Módulo Geral SE 500 kV, porte médio, SE R. Gonçalves | 1 | 2007 | 7032 | 7,03 |
| Interligação de Barra em 500 kV, SE R. Gonçalves | 2 | 2007 | 922,2 | 1,84 |
| Reator de 60 Mvar, 500 kV, SE R. Gonçalves | 6 | 2007 | 1036 | 6,22 |
| Conexão de 500 kV do reator R. Gonçalves | 2 | 2007 | 2014 | 4,03 |
| **LT Ribeiro Gonçalves - São João do Piauí 500 kV** | | | | 92,56 |
| Circuito # 1, R. Gonçalves - S.J. Piauí 500 kV | 353 | 2007 | 195,7 | 69,08 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Ribeiro Gonçalves | 1 | 2007 | 2229,27 | 2,23 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE S.J. Piauí | 1 | 2007 | 2229,27 | 2,23 |
| Compensação série - 48% - LT Colinas - R. Gonçalves - S.J. Piauí, em R. Gonçalves | 425 | 2007 | 27,68 | 11,76 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE Ribeiro Gonçalves C1 | 3 | 2007 | 1036 | 3,11 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE S.J.Piauí C1 | 4 | 2007 | 1036 | 4,14 |
| **SE S.J.Piauí 500 kV** | | | | 6,78 |
| Interligação de Barra em 500 kV, SE S.J. Piauí | 2 | 2007 | 922,2 | 1,84 |
| Reator de 33,3 Mvar, 500 kV, SE S.J. Piauí | 4 | 2007 | 732 | 2,93 |
| Conexão de 500 kV do reator S.J. Piauí | 1 | 2007 | 2014 | 2,01 |
| **LT São João do Piauí - Sobradinho 500 kV** | | | | 65,17 |
| Circuito # 2, S.J. Piauí - Sobradinho 500 kV | 210 | 2007 | 195,7 | 41,1 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE S.J. Piauí | 1 | 2007 | 2229,27 | 2,23 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Sobradinho | 1 | 2007 | 2229,27 | 2,23 |
| Compensação série - 63,5% - LT S.J. Piauí - Sobradinho, em S.J. Piauí | 374 | 2007 | 29,45 | 11,02 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Reator linha 33,3 Mvar, 500 kV, monofásico, SE S.J. Piauí C1 (Manobrável) | 3 | 2007 | 732 | 2,2 |
| Conexão de 500 kV do reator Sobradinho | 1 | 2007 | 2014 | 2,01 |
| Reator linha 33,3 Mvar, 500 kV, monofásico, SE Sobradinho C1 | 6 | 2007 | 732 | 4,39 |
| **SE Sobradinho 500 kV** | | | | 0,92 |
| Interligação de Barra em 500 kV - SE Sobradinho | 1 | 2007 | 922,2 | 0,92 |

Tabela 11 – Investimentos: ano inicial [4]

| Obras | Qtde | Ano | Unitário (US$ MIL) | Total US$ Milhão |
|---|---|---|---|---|
| **SE Colinas 500 kV** | | | | 0,92 |
| Interligação de Barra em 500 kV | 1 | 2010 | 922,2 | 0,92 |
| **LT Colinas - Ribeiro Gonçalves** | | | | 101,2 |
| Circuito # 2, Colinas - R. Gonçalves 500 kV | 379 | 2010 | 195,7 | 74,17 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Colinas | 1 | 2010 | 2.229,27 | 2,23 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Ribeiro Gonçalves | 1 | 2010 | 2.229,27 | 2,23 |
| Compensação série - 48% - LT Colinas - R. Gonçalves, em R. Gonçalves | 462 | 2010 | 26,68 | 12,32 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE Colinas C1 | 3 | 2010 | 1036 | 3,11 |
| Conexão de 500 kV do reator | 1 | | 2014 | 2,01 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE R. Gonçalves C1 | 3 | 2010 | 1036 | 3,11 |
| Conexão de 500 kV do reator | 1 | | 2014 | 2,01 |
| **SE Ribeiro Gonçalves 500 kV** | | | | 6,04 |
| Interligação de Barra em 500 kV, SE R. Gonçalves | 1 | 2010 | 922,2 | 0,92 |
| Reator de 180 Mvar, 500 kV, SE R. Gonçalves | 3 | 2010 | 1036 | 3,11 |
| Conexão de 500 kV do reator | 1 | 2010 | 2014 | 2,01 |
| **LT Ribeiro Gonçalves - São João do Piauí 500 kV** | | | | 91,52 |
| Circuito # 2, R. Gonçalves - S.J. Piauí 500 kV | 353 | 2010 | 195,7 | 69,08 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Ribeiro Gonçalves | 1 | 2010 | 2229,27 | 2,23 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE S.J. Piauí | 1 | 2010 | 2229,27 | 2,23 |
| Compensação série - 48% | 425 | 2010 | 27,68 | 11,76 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE Ribeiro Gonçalves C2 | 3 | 2010 | 1036 | 3,11 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE S.J.Piauí C2 | 3 | 2010 | 1036 | 3,11 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **SE S.J.Piauí 500 kV** | | | | 0,92 |
| Interligação de Barra em 500 kV, SE S.J. Piauí | 1 | 2010 | 922,2 | 0,92 |
| **LT São João do Piauí - Sobradinho 500 kV** | | | | 91,95 |
| Circuito # 1, S.J. Piauí - Milagres 500 kV | 410 | 2010 | 195,7 | 80,24 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE S.J. Piauí | 1 | 2010 | 2229,27 | 2,23 |
| Vão de linha 500 kV (Disjuntor e meio), SE Milagres | 1 | 2010 | 2229,27 | 2,23 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE S.J. Piauí C1 | 3 | 2010 | 1036 | 3,11 |
| Reator linha 60 Mvar, 500 kV, monofásico, SE Milagres C1 | 4 | 2010 | 1036 | 4,14 |
| **SE Milagres 500 kV** | | | | 0,92 |
| Interligação de Barra em 500 kV - SE Milagres | 1 | 2010 | 922,2 | 0,92 |

Tabela 12 – Investimentos: anos posteriores [4]

# Capítulo 3 – Desenvolvimento Técnico da Expansão da SE Colinas

## 3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo será feita uma análise básica dos principais tópicos relativos a expansão do vão de 500 kV da subestação de Colinas, na configuração básica descrita a seguir:

(a) 1 entrada de linha;
(b) 1 interligação de barras;
(c) (3+1) reatores de linha (60 MVAr).

Constam neste desenvolvimento, memórias de cálculo, conceitos teóricos aplicáveis, cálculo para dimensionamento dos equipamentos e os seguintes desenhos, que encontramos no anexo a este trabalho:

- ✓ Arranjo físico – Cortes;
- ✓ Diagrama Unifilar com sistema de proteção;
- ✓ Diagrama unifilar simplificado;
- ✓ Diagramas Unifilares dos serviços auxiliares (CA e CC);
- ✓ Diagrama Unifliar de Medição e Proteção.

Deve-se observar que o projeto de expansão da referida subestação está em conformidade com as últimas revisões da ABNT (no que se aplica). Na falta destas, basear-se-á nas últimas revisões das normas IEC e ANSI.

## 3.2 Arranjo Físico

Trata-se de uma expansão de um vão de 500 kV da subestação Eletronorte de Colinas com arranjo de barras do tipo disjuntor e meio conforme descrito no item 1.1 deste trabalho, com um banco de reatores de linha de 4x60 MVAr. Com relação ao tipo construtivo ela é classificada como convencional e exposta ao tempo.

A figura 8 a seguir mostra uma visão geral de parte do pátio da SE Colinas

Para melhor entendimento deve-se observar o anexo deste trabalho contendo o arranjo físico (cortes) da SE Colinas.

Figura 8 – Visão geral do pátio da SE Colinas [20]

### 3.2.1 Barramentos e estruturas Suporte

Na expansão da subestação em análise em 500kV, os barramentos principais são flexíveis e deverão ser ampliados. As novas estruturas para os barramentos flexíveis seguirão o padrão das estruturas já existentes.

Temos também que os suportes para equipamentos são metálicos.

### 3.2.2 Espaçamentos Elétricos

Nesta ampliação serão considerados os espaçamentos fase-fase e fase-terra existentes. As distâncias efetivamente consideradas levarão em conta os acréscimos requeridos para segurança do pessoal de manutenção.

A seguir podemos observar os espaçamentos elétricos adotados [28]

(a) Espaçamentos entre linhas de centro de condutores, fase-fase: 8,30 m;

(b) Altura dos condutores sobre a passagem de pedestres: 8,20 m;

(c) Altura dos condutores sobre a passagem de veículos: 17,00 m.

### 3.2.3 Aterramento

Será feita uma malha de aterramento no vão que será executado a expansão, fazendo uma expansão da malha de aterramento já existente.

## 3.3 Lista de Equipamentos Principais

Nesta seção far-se-á uma descrição completa dos equipamentos principais presentes na expansão.

Neste projeto será feita uma compatibilização dos equipamentos que serão instalados, com os já existentes.

(a) Reator Derivação Monofásico, 500/√3 kV, 60 MVAr, NBI 1550 kV, 60 Hz = **4 unidades**;

(b) Reator de Aterramento Monofásico, 72,5 kV, 180 kVAr, 800Ω, 60 Hz = 1 unidade;

(c) Disjuntor 500 kV, Tripolar, SF6, NBI 1550 kV, In 3150 A, I int. sim. 40 kA, Ciclo de Operação 0 – 0,3s – CO – 3 min – CO, Comando Tripolar = **2 unidades**;

(d) Seccionador Tripolar, 500 kV, Semipantográfico horizontal, S/LT, In = 3150 A, NBI 1550 kV, I térmica = 50 kA (1s), lâmina principal – acionamento motorizado, comando tripolar = **5 unidades**;

(e) Seccionador Tripolar, 500 kV, Semipantográfico vertical, C/LT, In = 3150 A, NBI 1550 kV, I térmica = 50 kA (1s), lâminas principal e de terra – acionamento motorizado, comando tripolar = **1unidade**;

(f) Transformador de Potencial Capacitivo, 500 kV, NBI 1550 kV, 517500/√3 – 115/ 115/√3 -115/115/√3 V, 3 núcleos secundários (sendo 01 núcleo exatidão e cargas normais 0,2P100/0,5P200 e os demais 0,5P200) = **3 unidades**;

(g) Transformador de corrente 500 kV, NBI 1550 kV, I térmica = 40 kA (1s), 4 núcleos secundários de proteção (relação 3000RM – 1 A, exatidão 10B160), 2 núcleos de medição (relação 3000 RM-1 A, exatidão 0,3C50) = **6 unidades**;

(h) Pára – raios 420 kV, tipo estação, ZNO, In = 20 kA, com base isolante, contador de descarga e miliamperímetro = **7 unidades**;

(i) Pára – raios 60 kV, tipo estação, ZNO, In = 20 kA, com base isolante, contador de descarga e miliamperímetro = **1 unidade**;

(j) Isolador de Pedestal de 550 kV, NBI 1550 kV, tipo suporte cilíndrico multicorpo, com anel anticorona = **3 unidades**;
(k) Coluna de isoladores pedestal de 69 kV, NBI 350 kV = **12 unidades**.

### 3.3.1 Especificação resumida dos Equipamentos

Temos como características básicas do sistema:
(a) Tensão Máxima Operativa do Sistema – fase - fase (kV – eficaz): 550;
(b) Freqüência Nominal (Hz): 60.

#### 3.3.1.1 Reatores Monofásicos

Na subestação Colinas 500 kV, as linhas existentes possuem bancos de reatores de derivação. A instalação do novo banco de reatores monofásicos será feita de forma similar a dos bancos existentes, com a instalação de uma unidade reserva. O deslocamento dos reatores será feito por meio de via de circulação existente

Os reatores serão colocados na área externa da subestação, afastados das edificações e paredes. Temos que considerar, para perfeito funcionamento do equipamento, condições como:

(a) Altitude em relação ao nível do mar: até 1000 m;
(b) Temperatura mínima anual: - 5ºC;
(c) Umidade relativa média anual: maior que 90 %;
(d) Velocidade máxima do vento: 120 km/h.

As unidades principais dos reatores serão ligadas em paralelo e serão conectadas em estrela com neutro solidamente aterrado.

No empreendimento, como já exposto no item anterior, temos reatores de derivação monofásicos e reator de aterramento. As principais características elétricas dos reatores são descritas a seguir.

- Reator de fase:
(a) Potência Nominal Contínua (base 500/√3 kV) 60 Mvar e 33,3 Mvar;
(b) Freqüência : 60 Hz;

(c) Resfriamento : Natural;

(d) Tensão nominal (kV, eficaz) : 500/√3;

(e) Tensão Máxima de operação (kV, eficaz) : 550/√3;

(f) Características do isolamento

(g.1) Enrolamentos (tabela 13);

(g.2) Buchas (tabela 14) ;

| Características | Alta tensão | Neutro | Reator de Neutro |
|---|---|---|---|
| Tensão Suportável Nominal a Impulso atmosférico, onda completa (kV, crista) | 1550 | 350 | 350 |
| Tensão Suportável Nominal a Impulso atmosférico, onda cortada (kV, crista) | 1705 | 385 | 385 |
| Tensão Suportável Nominal a Impulso de Manobra (kV, crista) | 1300 | - | - |
| Tensão Aplicada (kV, eficaz) | - | 140 | 140 |

Tabela 13 – Características isolamento – Reator de fase (enrolamentos)

| Características | Alta tensão | Neutro | Reator de Neutro |
|---|---|---|---|
| Tensão Suportável Nominal a Impulso atmosférico, onda completa (kV, crista) | 1675 | 450 | 450 |
| Tensão Suportável Nominal a Impulso atmosférico, onda cortada (kV, crista) | 1842 | 495 | 495 |
| Tensão Suportável Nominal a Impulso de Manobra sob chuva (kV, crista) | 1300 | - | - |
| Tensão Suportável Nominal a 60 Hz, 1 min a seco (kV ef.) | 680 | 185 | 185 |
| Tensão Suportável Nominal a 60 Hz, 1 min sob chuva (kV ef.) | 680 | 185 | 185 |
| Distância mínima de escoamento externa (mm) - 20 kV/mm | 11000 | 2720 | 2720 |
| Forças Transversais estáticas suportáveis (kgf) | 360 (topo) 545 (baixo) | 135 (topo) 135 (baixo) | 135 (topo) 135 (baixo) |

Tabela 14 – Características isolamento – Reator de fase (Buchas)

(g) Óleo Isolante: o óleo isolante do reator deverá ter características ácidas, refinado a partir de óleo cru, isento de aditivo de qualquer espécie;

(h) Intercambialidade: os reatores deverão ser física e eletricamente intercambiáveis entre si;

(i) Tensão de rádio interferência máxima: 2500uV/m a 1000 Hz (tensão fase – terra 550/√3 kV);

(j) Nível de ruído: máximo de 82 dB (valor de ensaio);

(k) Nível de vibração: amplitude máxima de 200um (pico a pico, qualquer ponto);

(l) Sobretensões temporárias: os reatores deverão suportar sobretensões sem que sofram nenhum tipo de dano, conforme descrito na tabela 15 a seguir:

| Sobretensão (pu de 550/√3 kV) | Duração |
|---|---|
| 1,8 | 0,17 s |
| 1,65 | 0,33 s |
| 1,43 | 2 s |
| 1,1 | 1 hora |

Tabela 15 – Suportabilidade de sobretensões temporárias

(m)Transformadores de corrente de bucha:

(n.1) 2 TC´s 1200RM – 1 A 10B800 (proteção) – bucha H1;

(n.2) 1 TC 1200 RM – 5 A 10B800 (proteção) e 1 TC 600RM – 5 A 0,3C50 (medição) - bucha H0.

- Reator de Aterramento de Neutro:

(a) Tensão nominal: 72,5 kV;

(b) Tensão nominal das buchas: 92,4 kV;

(c) Impedância Nominal: 800 Ω;

(d) Potência Nominal contínua: 180 kVAr;

(e) Freqüência: 60 Hz;

(f) Elevação de temperatura a tensão nominal:

(f.1) Média do enrolamento: 55 ºC;
(f.2) Ponto mais quente: 65 ºC;
(f.3) Elevação de temperatura do topo do óleo: 55 ºC;
(f.4) Resfriamento : Natural;
(g) Corrente de curta duração: 100 A eficaz;
(h) Duração da corrente de curta duração: 1 minuto;
(i) Corrente Nominal permanente: 15 A eficaz;
(j) Transformadores de corrente de bucha: bucha H1 – TC 50-1 A 10B200 (proteção).

**3.3.1.2 Seccionadores**

Os seccionadores serão colocados na área externa da subestação, afastados das edificações e paredes. Temos que considerar, para perfeito funcionamento do equipamento, condições como:

(a) Altitude em relação ao nível do mar: até 1000 m;
(e) Temperatura mínima anual: - 5 ºC;
(f) Temperatura máxima anual: 40 ºC;
(g) Temperatura média em 24 horas – máxima: 30 ºC;
(h) Umidade relativa média anual: maior que 80 %;
(i) Velocidade máxima do vento: 120 km/h.

Serão utilizados dois tipos de seccionadores na subestação:
(a) do Tipo II : 500 kV sem lâmina de aterramento, semi-pantográfica horizontal;
(b) do Tipo III : 500 kV com lâmina de aterramento, semi-pantográfica vertical.

-Características do sistema de 525 kV:
(a) Tensão Nominal (kV, eficaz): 500;
(b) Tensão Máxima operativa do sistema, fase - fase (Umáx, kV): 550;
(c) Tensão Máxima suportável em condições de emergência: 600;
(d) Freqüência nominal (Hz): 60;
(e) Neutro aterrado: efetivamente.

- Características Elétricas Principais do Equipamento para 500 kV:

(a) Tensão Nominal (kV, eficaz): 500;

(b) Freqüência nominal (Hz): 60;

(c) Corrente nominal (A, eficaz): 3150;

(d) Corrente suportável nominal de curta duração (1s), para o seccionador e para a lâmina de aterramento (kA, eficaz): 40;

(e) Valor de crista nominal da corrente suportável, para o seccionador e para a lâmina de aterramento (kA, crista): 100;

(f) Tensão suportável nominal a impulso atmosférico:

(f.1) Para a terra e entre pólos (kV, crista): 1550;

(f.2) Entre contatos abertos (kV, crista): 1550; (*)

(g) Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva:

(g.1) Para a terra e entre pólos (kV, crista): 1175;

(g.2) Entre contatos abertos (kV, crista): 900; (*)

(h) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, a seco e sob chuva,1 (um) minuto:

(h.1) Para a terra e entre pólos (kV, crista): 650;

(h.2) Entre contatos abertos (kV, crista): 720; (*)

(i) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, circuitos auxiliares, 1 (um) minuto (kV, eficaz): 2,0;

(*) Nota: Em um dos terminais é aplicada tensão impulsiva e no outro é aplicada tensão à freqüência industrial com polaridade oposta.

(j) Nível máximo de rádio – interferência para o seccionador energizado a 550/√3 kV eficazes, fase - terra (uV): 2500 a 1000 Hz;

(k) Tensão fase – terra de início e extinção de corona visual superior a (kV, eficaz): 350;

(l) Comprimento mínimo da linha de fuga (mm): 13750.

Podemos observar que os seccionadores deverão ter os circuitos de comando, controle e proteção alimentados através de tensão de alimentação de 125 Vcc (não – aterrado) proveniente através dos quadros de serviços auxiliares, com uma faixa de tensão entre 90 e 140 Vcc.

Os motores de corrente alternada terão tensão única de alimentação de 480 Vca proveniente de um sistema trifásico a 3 fios.

### 3.3.1.3 Disjuntores

Os disjuntores a serem utilizados na expansão devem ter as mesmas condições de ambiente descritas anteriormente:

(a) Altitude em relação ao nível do mar: até 1000 m;

(b) Temperatura mínima anual: - 5 ºC;

(c) Temperatura máxima anual: 40 ºC;

(d) Temperatura média em 24 horas – máxima: 30 ºC;

(e) Umidade relativa média anual: maior que 80 %;

(f) Velocidade máxima do vento: 120 km/h.

O disjuntor a ser instalado deve ser um disjuntor de 500 kV, tripolar, do tipo a gás SF6 (hexafluoreto de enxofre), de pressão única, com abertura livre (trip – free), tanto elétrica quanto mecânica, com dispositivo de antibombeamento e com câmaras de extinção ao nível do barramento (*live tank*).

- Características do sistema de 500 kV :

(a) Tensão nominal (kV, eficaz): 500;

(b) Tensão máxima operativa do sistema, fase – fase (Umax, kV): 550;

(c) Tensão máxima suportável em condições de emergência durante uma hora (Umax, kV); 600;

(d) Freqüência nominal (Hz): 60;

(e) Neutro: efetivamente aterrado;

- Características Elétricas Principais do Equipamento para 500 kV:

(a) Tensão nominal (kV, eficaz): 500;

(b) Freqüência nominal (Hz) : 60;

(c) Tensão máxima do sistema (kV, eficaz): 550;

(d) Freqüência nominal (Hz): 60;

(e) Fator de 1º pólo: 1,5;

(f) Corrente nominal (A, eficaz): 3150;

(g) Capacidade de interrupção nominal em curto – circuito:

(g.1) Componente alternada (kA, eficaz): 40;

(g.2) Porcentagem da componente contínua (%): 46;

(g.3) Constante de tempo (ms): 32;

(h) Capacidade de estabelecimento nominal em curto – circuito em valor de crista (kA, crista): 100;

(i) Corrente suportável nominal de curta duração, durante 1s (kA, eficaz): 40;

(j) Valor de crista nominal da corrente suportável (kA, crista) : 100;

(k) Seqüência nominal de operações: O-0,3s-CO-3min-CO;

(l) Tempo de interrupção nominal para corrente entre 10% e 100% da capacidade de interrupção nominal em curto – circuito e para todas as aberturas da seqüência nominal de operações: 25 ms;

(m) Tolerância máxima no valor do tempo nominal de interrupção (ms): +2;

(n) Diferença de tempo máxima entre pólos para o fechamento tripolar (ms): 5;

(o) Capacidade de abertura de correntes capacitivas (A, eficaz): 710;

(p) Tensão suportável nominal a impulso atmosférico:

(q.1) Para a terra e entre pólos (kV, crista): 1550;

(q.2) Entre contatos abertos (kV, crista): 1550;

(q) Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva:

(r.1) Para a terra e entre pólos (kV, crista): 1175;

(r.2) Entre contatos abertos (kV, crista): 1050;

(r) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, a seco e sob chuva, durante 1(um) minuto:

(s.1) Para a terra e entre pólos (kV, crista): 740;

(s.2) Entre contatos abertos (kV, crista): 830;

(s) Tensão suportável nominal à freqüência industrial dos circuitos auxiliares (1 min.) (kV, eficaz): 2;

(t) Comprimento mínimo da linha de fuga (mm): 13750;

(u) Nível máximo de interferência para disjuntor energizado: 2500 microvolts;

(v) Tensão fase – terra, de início e extinção de corona visual positivo (kV, eficaz): maior que 350;

(w) Constante de tempo do sistema (ms): 45;

(x) Tempo de abertura nominal: 1,5 ciclos;

(y) Os disjuntores deverão ser livres de reignição e reacendimento , para qualquer condição de interrupção;

(aa) Valores nominais e demais requisitos na freqüência de 60 Hz;

Os disjuntores deverão ser capazes de efetuar a energização e religamento da linha de transmissão, observando os limites de suportabilidade de sobretensão dos equipamentos envolvidos.

#### 3.3.1.4 Pára-raios

Conforme explicitado anteriormente, neste projeto existem pára-raios de 500 kV e de 72,5 kV.

Temos como características elétricas principais do Equipamento para 500 kV:

(a) Tensão máxima de operação do sistema (kV, eficaz): 550;
(b) Tensão nominal (kV, eficaz): 420;
(c) Freqüência Nominal (Hz): 60;
(d) Corrente nominal de descarga (kA, crista): 20;
(e) Corrente de curta duração (kA, crista): 100;
(f) Número de colunas: 1;
(g) Capacidade mínima de absorção de energia sob corrente retangular, ou equivalente (kJ/kV): 13;
(h) Tensão mínima fase-terra de início e extinção do corona visual (kV, eficaz): 350;
(i) Tensão de rádio interferência, medido com equipamento energizado (valor eficaz, fase – terra): 2500 microvolts;
(j) Distância de escoamento (mm): maior que 9000;
(k) Classe de alívio sob pressão interna (kA): 65;
(l) Momento mínimo de ruptura nos terminais de linha (kN.m): 18;
(m) Tensão suportável a impulso atmosférico (kV, crista): 1550;
(n) Tensão suportável a impulso de manobra (kV, crista): 1175;
(o) Tensão suportável à freqüência industrial (kV, eficaz): 650;

Para os pára-raios de 72,5 kV, temos as características elétricas principais descritas a seguir:

(a) Tensão máxima de operação do sistema (kV, eficaz): 72,5;
(b) Tensão nominal (kV, eficaz): 60;
(c) Freqüência Nominal (Hz): 60;
(d) Corrente nominal de descarga (kA, crista): 20;
(e) Corrente de curta duração (kA, crista): 100;

(f) Número de colunas: 1;

(g) Capacidade mínima de absorção de energia sob corrente retangular, ou equivalente (KJ/kV): 8;

(h) Classe de alívio sob pressão interna (kA): 65;

(i) Máxima tensão contínua de operação (kV, eficaz): 48;

(j) Classe (IEC) de capacidade de absorção de energia: 4.

**3.3.1.5 Transformadores de Potencial Capacitivo**

Na ampliação da subestação de Colinas serão utilizados transformadores de potencial capacitivo de 500 kV conforme características elétricas descritas a seguir:

(a) Tensão Nominal de operação contínua (fase-terra, kV, eficaz): 500;

(b) Tensão Máxima (kV, eficaz): 550;

(c) Freqüência (Hz): 60;

(d) Tensão suportável Nominal a impulso atmosférico – onda plena (kV, crista): 1550;

(e) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, a seco e sob chuva, durante 1(um) minuto (kV, eficaz): 650;

(f) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, a seco, nos enrolamentos secundários, durante 1(um) minuto (kV,eficaz): 3;

(g) Tensão máxima de rádio interferência quando o TPC estiver energizado: 2500 microvolts;

(h) Tensão fase-terra eficaz de início e extinção do corona visual (kV): 350;

(i) Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva (kV, crista): 1175;

(j) Nível máximo de descargas parciais quando o TPC estiver energizado: menor que 10;

(k) Fator de sobretensão:

(k.1) Contínuo: 1,2;

(k.2) Em 30s: 1,5;

(l) Enrolamentos:

(l.1) enrolamento nº 01: 100 VA classe 0,2 / 200 VA classe 0,5;

(l.2) enrolamento nº 02: 200 VA classe 0,5;

(l.3) enrolamento nº 03: 200 VA classe 0,5;

(m) Quando todos os enrolamentos estiverem operando simultaneamente, com carga nominal (ou inferior) em cada um deles, cada enrolamento deverá manter a sua própria classe de exatidão, para uma carga simultânea de até 300 VA;

(n) Capacidade térmica mínima para os enrolamentos em conjunto e para cada enrolamento separadamente:

(n.1) 1º Enrolamento: 288 VA;

(n.2) 2º Enrolamento: 288 VA;

(n.3) 3º Enrolamento: 288 VA;

(n.4) Conjunto dos enrolamentos: 432 VA.

#### 3.3.1.6 Transformadores de Corrente

Os transformadores de corrente a serem instalados na expansão da subestação em estudo, deverão ser adequados para instalação em ambientes externos, montagem vertical, tipo monopolar, imersos em óleo isolante e para a freqüência de 60 Hz. Também deve-se levar em conta que para a instalação desses equipamentos devem estar previstos fenômenos de alta freqüência, oriundos de manobras de equipamentos integrantes do sistema no qual estão inclusos.

Temos como características elétricas principais desses equipamentos da forma como segue:

(a) Tensão Nominal de operação contínua (fase-terra, kV, eficaz): 500;

(b) Tensão Máxima (kV, eficaz): 550;

(c) Tensão suportável Nominal a impulso atmosférico – onda plena (kV, crista): 1550;

(d) Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva (kV, crista): 1175;

(e) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, a seco e sob chuva, durante 1 (um) minuto (kV,eficaz): 650;

(f) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, a seco, nos enrolamentos secundários, durante 1(um) minuto (kV,eficaz): 3;

(g) Tensão máxima de rádio interferência quando o TC estiver energizado: 2500 microvolts;

(h) Tensão fase-terra eficaz de início e extinção do corona visual (kV): 350;

(i) Corrente primária nominal (A, eficaz): 3150;

(j) Corrente suportável nominal de curta duração (1s), em qualquer relação de transformação e em todas as derivações (kA, eficaz): 40;

(k) Valor de crista nominal da corrente suportável, em qualquer relação de transformação, em todas as derivações (kA, crista): 100;

(l) Nível máximo de descargas parciais totais quando o TC estiver energizado (pC): 10;

(m) Com carga secundária de 75 a 100% da carga de exatidão nominal máxima e com corrente primária de 40kA, a corrente secundária nos núcleos de medição deverá ser limitada a (A): 50;

(n) Fator de potência do isolamento do TC, a 20 ºC, menor que (%): 1,0;

(o) Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda cortada, corte em 3 us (kV, crista): 1705;

(p) Fator térmico nominal: 1,3;

(q) Os transformadores de corrente não deverão saturar durante curto-circuitos e religamentos rápidos.

**3.3.1.7 Isoladores do tipo Pedestal**

Temos as seguintes características elétricas principais descritas a seguir:

(a) Tensão nominal (kV, eficaz): 500;

(b) Tensão máxima de operação (kV, eficaz): 550;

(c) Freqüência nominal (Hz): 60;

(d) Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena de 1,2/ 50us (kV, crista): 1550;

(e) Tensão suportável nominal a impulso de manobra, a seco e sob chuva (kV, crista): 1175;

(f) Tensão suportável nominal à freqüência industrial, a seco e sob chuva durante 1 (um) minuto (kV, crista): 740/680;

(g) Tensão de rádio interferência máxima quando o isolador estiver energizado: 2500 microvolts;

(h) Cargas nominais de ruptura mecânica:

(h.1) Flexão (kgf): 1000;

(h.2) Torção (kgf.m): 500;

(h.3) Tração (kgf): 10000;

(h.3) Compressão (kgf): 34000;

(i) Características dimensionais da coluna completa:

(i.1) Distância mínima de escoamento (mm): 8800;

(i.2) Distância mínima de arco seco (mm): 3200;

(j) Flexão máxima permissível no topo do isolador, com carga de 2000 N, perpendicularmente ao mesmo (mm): 15.

#### 3.3.1.8 Bobinas de Bloqueio

A utilização das bobinas de bloqueio irá depender da existência de faixas de freqüência disponíveis, que atendam às necessidades de implantação.

As bobinas de bloqueio em 500 kV deverão ser adequadas para utilização em ambiente externo, constituídas por um indutor principal, monofásico, com núcleo de ar tipo seco e resfriamento natural, contendo em seu interior um dispositivo de proteção e um dispositivo de sintonia para acoplamento fase-fase.

Temos como características elétricas principais às descritas a seguir:

(a) Corrente nominal (A): 3150;

(b) Corrente suportável nominal de curta duração (kA): 40;

(c) Corrente de curto-circuito dinâmica (kA): 100.

## 3.4 Memória de cálculo dos Serviços Auxiliares

Esta seção tem como objetivo a obtenção das características nominais dos equipamentos para os serviços auxiliares. Será feito um desenvolvimento do dimensionamento dos serviços auxiliares para as cargas em corrente alternada e para as cargas em corrente contínua.

### 3.4.1 Serviços Auxiliares em corrente alternada

#### 3.4.1.1 Estimativas de cargas em corrente alternada (estimativa de cargas)

Será executado um dimensionamento das cargas em 480 Vca para o vão da linha Ribeiro Gonçalves. Para melhor entendimento deve-se observar os anexos dos serviços auxiliares 13,8 kV e 480 – 220/127 Vca deste trabalho.

Podemos observar que os circuitos elétricos de serviços auxiliares estão divididos em 2 (dois) grupos:

(a) Cargas essenciais: são as cargas que são supridas em condições normais pelo transformador de serviços auxiliares e, em caso de emergência, pelo grupo gerador diesel;

(b) Cargas não-essenciais: são as cargas supridas apenas pelo transformador de serviços auxiliares e, em caso de emergência, são desligadas.

Na tabela a seguir temos listadas as cargas estimadas em 480 Vca:

| EQUIPAMENTO | QUANT | kVA EQUIPAMENTO | | kVA TOTAL | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MOTOR | AQUEC. | MOTOR | AQUEC. | Iluminação e tomadas | TOTAL |
| DISJUNTOR DE 500 kV | 2 | 12 | 0,88 | 24 | 1,76 | - | 25,76 |
| SECIONADOR DE 500kV | 6 | 2,19 | 0,42 | 4,38 | 2,52 | - | 6,9 |
| AR CONDICIONADO | 1 | 30 | - | 30 | - | - | 30 |
| PAINEL / QUADRO | 22 | - | 0,27 | - | 5,94 | - | 5,94 |
| DCP | 3 | - | - | - | 0,5 | - | 0,5 |
| REATOR | 4 | - | 0,52 | - | 2,08 | - | 2,08 |
| REATOR DE NEUTRO | 1 | - | 0,16 | - | 0,16 | - | 0,16 |
| CARREGADOR DE BATERIAS | 2 | 15 | - | 30 | - | - | 30 |
| ILUMINAÇÃO / TOMADAS | - | - | - | - | - | 40 | 40 |
| BOMBA D'AGUA | - | - | - | 5 | - | - | 5 |
| TOMADA DE FORÇA | 4 | - | - | - | - | 124,70 | 124,70 |
| P.TOTAL (KVA) | - | - | - | - | - | - | 271,04 |

Tabela 16 – Cargas estimadas para tensão de 480 Vca

Deve-se observar que no cálculo das cargas acima citadas foram consideradas abertura simultânea de dois seccionadores e dois disjuntores e tomada de força de 150 A.

Sendo assim, tendo em vista o exposto acima, podemos verificar uma carga CA de 300 kVA.

### 3.4.1.2 Especificação quadros CA

Nesta seção iremos especificar os quadros de 480 Vca e 220/127 Vca tendo em vista a estimativa de cargas em corrente alternada feita para os serviços auxiliares.

Temos como características principais dos quadros:

(a) Classe de isolação: 600 V;

(b) Tensão nominal: 480 V;

(c) Freqüência nominal: 60 Hz;

(d) Tensão suportável nominal à freqüência industrial: 2,5 kV;

(e) Corrente nominal do barramento: 800 A;

(f) Corrente suportável nominal de curta duração (1s): 2 kA;

(g) Elevação de temperatura máxima do barramento, sob corrente nominal: 40º C.

Os quadros a serem instalados na expansão da subestação têm como componentes principais: disjuntores de alimentação, disjuntores de distribuição, contatores, transformadores de corrente, transformadores de potencial, relé de subtensão, voltímetro, amperímetro e chave seletora. Suas características principais estão descritas como segue:

- Disjuntores de alimentação dos quadros 480 Vca:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal | 480 | V |
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Número de pólos | 3 | |
| Corrente nominal | 800 | kA |
| Capacidade de interrupção simétrica | 2 | kA |
| Contatos auxiliares de posição | 5 NA+5 NF | |
| Acionamento | Motorizado | |
| Tensão do circuito de comando | 125 | Vcc |

Tabela 17 – Características disjuntores de alimentação

• Disjuntores distribuição e alimentação dos quadros 220 Vca:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal de operação | 220 | V |
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Número de pólos | 2 | |
| Corrente nominal | 200 | A |
| Capacidade de interrupção simétrica | 2 | kA |
| Contatos auxiliares de posição | 1 NAF | |
| Acionamento | Manual | |

Tabela 18 – Características disjuntores de distribuição

- Contatores para comando de iluminação externa:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal de operação | 220 | V |
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Corrente nominal | 150 | A |
| Contatos auxiliares de posição | 3 NA+3 NF | |
| Acionamento | Manual/Automático | |

Tabela 19 – Características contatores

- Transformadores de corrente:

| | | |
|---|---|---|
| Classe de isolamento | 600 | V |
| Tensão nominal | 127 | V |
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Tensão aplicada à freqüência industrial, 1 min | 4 | kV |
| Fator térmico nominal | 1,2 | |

Tabela 20 – Características transformadores de corrente

• Transformadores de potencial:

| | | |
|---|---|---|
| Classe de isolamento | 600 | V |
| Tensão nominal | 127 | V |
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Tensão aplicada à freqüência industrial, 1 min | 4 | kV |

Tabela 21 – Características transformadores de potencial

- Relé de subtensão trifásica:

| | | |
|---|---|---|
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Faixa de ajuste de tensão | 70 a 85% Vn | |
| Faixa de ajuste de tempo | 0 a 10 | s |
| Número de contatos (mínimo) | 2 NA + 2 NF | |
| Retorno da tensão ao normal | 100% | Vn |

Tabela 22 – Características relé subtensão trifásica

- Voltímetro:

| | | |
|---|---|---|
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Sobretensão permanente admissível | 170 | V |
| Sobretensão permissível durante 10s | 230 | V |
| Classe de precisão | 1,5 % | |

Tabela 23 – Características Voltímetro

- Amperímetro:

| | | |
|---|---|---|
| Corrente nominal | 5 | A |
| Freqüência nominal | 60 | Hz |
| Sobrecorrente permanente admissível | 6 | A |
| Sobrecorrente permissível durante 10s | 50 | A |
| Classe de precisão | 1,5 % | |

Tabela 24 – Características Amperímetro

- Chave seletora:

| | | |
|---|---|---|
| Classe de isolação | 600 | V |
| Número de contatos auxiliares | 3NA + 3NF | |
| Capacidade dos contatos | | |
| - Contínua | 5 | A |
| - 1s | 15 | A |
| Capacidade de interrupção mínima dos contatos, circuito indutivo L/R ≤ 40ms em 125Vcc | 40 | W |

Tabela 25 – Características Chave Seletora

Deve-se observar que os quadros devem ser feitos para recebimento de comando local e remoto; o comando local feito por botoeiras liga/desliga e o remoto através do sistema de supervisão e controle.

#### 3.4.1.3 Especificação transformadores de serviços auxiliares

Serão utilizados 3 (três) tipos de transformadores:

(a) 1 (um) transformador 13800 – 480Vca, 300 kVA;

(b) 1 (um) transformador 480 – 220/127 Vca, 50 kVA;

(c) 1 (um) transformador 480 – 220/127 Vca, 30 kVA.

- Características principais Transformador 13800 – 480 Vca, 300 kVA

(a) Instalação: externa;

(b) Número de fases: 3;

(c) Freqüência: 60 Hz;

(d) Tensão do enrolamento de AT: 13800 V;

(e) Tensão do enrolamento de BT: 480 V;

(f) Ligação AT: delta;

(g) Ligação BT: estrela com neutro acessível;

(h) Características das buchas:

(h.1) Alta tensão (classe de tensão): 25 kV;

(h.2) Baixa tensão e neutro: 1,2 kV;

(h.3) Transformador de corrente da bucha de neutro: 50-5A e classe de exatidão 10B20.

- Características principais Transformador 480 – 220/127 Vca, 30 kVA

(a) Tensão nominal primária: 480 Vca (ligação em delta);

(b) Tensão nominal secundária: 220/127 Vca (ligação em estrela com o neutro acessível);

(c) Classe de isolamento: 1,2 kV.

#### 3.4.1.4 Dimensionamento do Grupo Motor Gerador Diesel (GMG)

Nesta seção far-se-á o desenvolvimento do dimensionamento da potência do grupo gerador diesel de 480 V CA que, conforme já explicitado, fará o atendimento das cargas especiais em situações de emergência. Para melhor entendimento deve-se observar os anexos dos serviços auxiliares deste trabalho.

Para a expansão da subestação Colinas, teremos a instalação de 1 (um) grupo motor gerador para o atendimento das cargas do setor de 500 kV. O GMG

deverá ser dimensionado levando em conta a entrada dos compressores do sistema de ar condicionado (30 kVA) quando já estiver operando inicialmente com um carregamento igual a 201,04 kVA (condição crítica de operação do GMG). A lista das cargas consideradas pode ser observada no item 3.4.1.1 -tabela 16.

A tensão nos terminais do motor do sistema de ar condicionando durante a partida é dada pela relação exposta a seguir:

$$\boxed{Vm = Vg \ x \ \frac{Zm}{\sqrt{(Rc+Rm)^2+(Xc+Xm)^2}} \ \text{( Vg é a tensão nos terminais do gerador)}}$$

Sabendo que:

Rm = 0,30 pu , Xm = 0,999539 pu, Rc = 0,062344 pu, Xc = 0,065259 pu

$$Vm = Vg \ x \ \frac{100}{\sqrt{(6{,}2344+30)^2+(6{,}5259+95{,}39)^2}} = 0{,}925Vg$$

Deve-se observar que a tensão mínima nos terminais do motor deve ser de 75% de 480 V. Sendo assim temos que:

$$Vg = \frac{0{,}75x480}{0{,}925} = 389{,}2V \ \text{(tensão mínima nos terminais do gerador)}$$

Passando para pu temos que:

$$\frac{389{,}2}{480} = 0{,}8108 \text{ pu (81,08\%)}$$

A potência equivalente de partida do circuito do ramal do motor, referida à tensão nominal do gerador, será dada pela relação:

$$PPem = kVAp \ x \ \frac{Zm}{\sqrt{(Rc+Rm)^2+(Xc+Xm)^2}} \ x \ \frac{Vg^2}{Vm^2}$$

onde:

- kVAp = potência de partida do motor = 210 kVA ;

- Vg = tensão nominal do gerador = 480 V ;
- Vm = tensão nominal do motor = 480 V.

Assim temos que:

$$PPem = 210 \times \frac{100}{\sqrt{(6{,}2344+30)^2+(6{,}5259+95{,}39)^2}} \times \frac{480^2}{480^2}$$

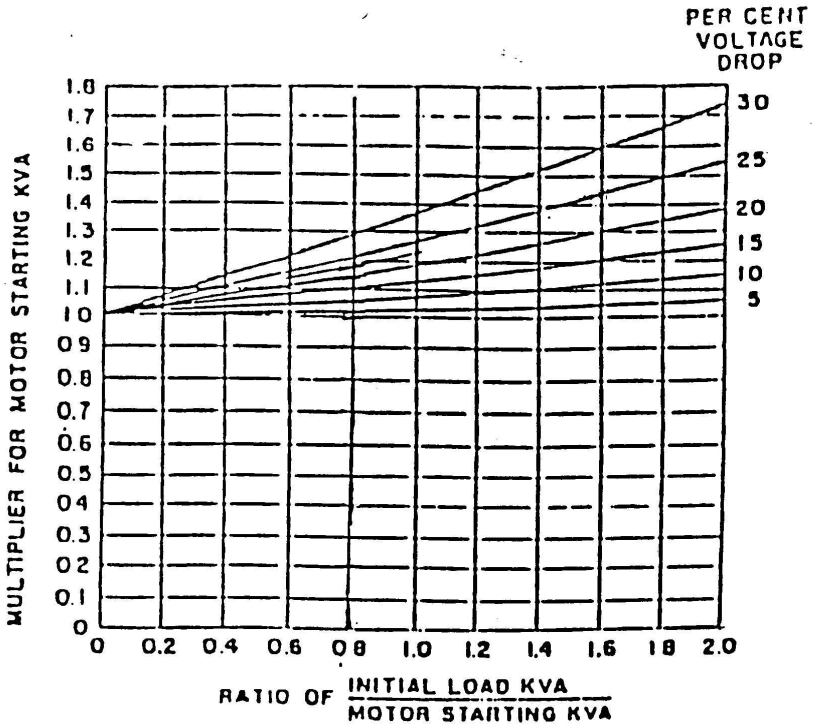
$$PPem = 194{,}15 \text{ kVA}$$

Visto que no instante da partida do motor do compressor do Sistema de Ar Condicionado (potência equivalente de partida de 210 kVA), o gerador já está alimentando uma carga inicial constante de 201,04 kVA, a potência de partida equivalente de todo o sistema será:

PPet = k x Ppem (onde k = Pcarga inicial / Ppem)

Então temos que $k = \frac{201{,}04}{194{,}15} = 1{,}035$

Para uma queda de tensão de (100 – 81,08)% = 18,92 %, encontramos o real valor de k através da figura abaixo obtida no Databook da General Electric, exposta na página a seguir :




INCREASE MOTOR STARTING KVA BY MULTIPLIER SHOWN BEFORE USING CURVES OF FIG. 4 AND FIG. 7 (INITIAL LOAD MAY THEN BE CONSIDERED AS CONSTANT CURRENT TYPE)

(Photo 1130973)

Fig. 108. Approximate effect of initial load consisting of fully loaded induction motors

Figura 9 – Figura para obtenção da constante k

Através da figura, verificamos que k = 1,2 , ou seja, PPet = 1,2 x 194,15 = 233 kVA

Partir-se o motor do compressor com o gerador alimentando uma carga constante de 201,04 kVA e ter-se uma tensão mínima nos terminais do motor de 75% de sua tensão nominal, equivale a partir um motor com potência de partida de 233kVA junto ao gerador com uma queda de tensão de 18,92%.

Para que a tensão nos terminais do gerador seja 81,08% da tensão nominal, considerando excitação estática, a potência máxima de partida equivalente de todo o sistema deverá ser aproximadamente 70% da potência nominal do gerador, conforme a figura 10 exposta na página seguir :

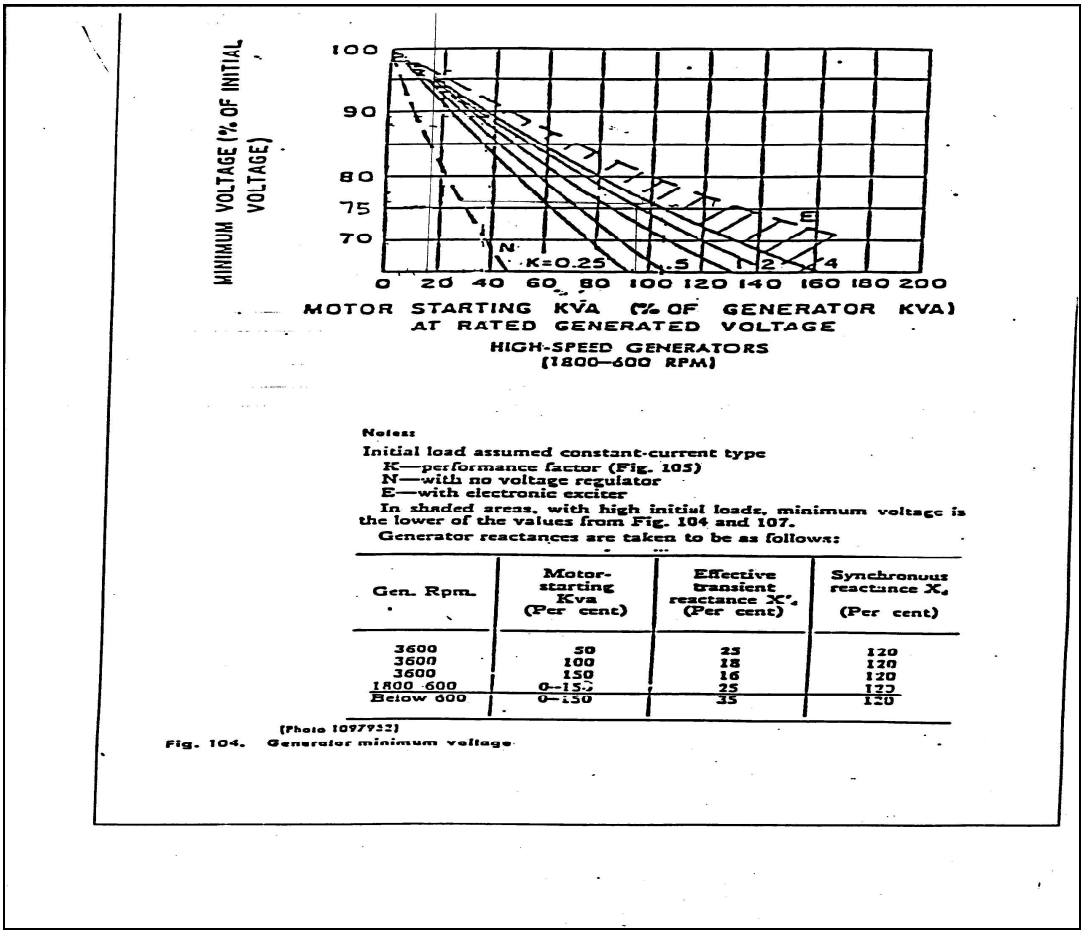



Figura 10 – Figura para obtenção da relação entre potência máxima de partida equivalente do sistema e potência nominal do gerador

Logo, temos que:

$\frac{PPet}{Png}$ = 0,70, sendo Png a potência nominal do gerador em kVA.

$$Png > \frac{201,04}{0,7}, \text{ então } Png > 287,2 \text{ kVA}$$

Sendo assim, adotaremos um gerador de 310 kVA, valor comercial mais próximo.

## 3.4.2 Serviços Auxiliares em corrente contínua

### 3.4.2.1 Estimativas de cargas em corrente contínua (memória de cálculo)

Os serviços auxiliares em corrente contínua são responsáveis pela alimentação dos sistemas de proteção, controle e iluminação de emergência da subestação em análise. Para melhor entendimento deve-se observar os anexo dos serviços auxiliares 125 Vcc deste trabalho.

Será executado um dimensionamento das cargas em corrente contínua para os serviços auxiliares 125 Vcc para o vão da linha Ribeiro Gonçalves.

Como um primeiro momento, devemos ter as seguintes considerações iniciais:

(a) O ciclo de emergência terá duração de 5 (cinco) horas;

(b) A tensão nominal do sistema em corrente contínua será 125 Vcc;

(c) A tensão mínima por elemento de bateria será de 1,75 V.

Nas tabela abaixo temos listadas as cargas estimadas em 125 Vcc para diversos intervalos de variação de tempo:

| DESCRIÇÃO | POTÊNCIA (WATTS) | EQUIVALENTE EM AMPERES (W x 0,00952) |
|---|---|---|
| Disparo dos disjuntores de 500kV 2 (n° de disjuntores) x 40A (corrente) | - | 80 |
| SDSC em período de impressão 575 Watts | 575 | 5,47 |
| Carga básica total obtida no item 3.3 | - | 45,26 |
| Corrente total (I1) | | 130,73 |

Tabela 26 – Cargas estimadas em 125 Vcc com 1 (um) minuto de duração

| DESCRIÇÃO | POTÊNCIA (WATTS) | EQUIVALENTE EM AMPERES (W x 0,00952) |
|---|---|---|
| Sistema Carrier 4 (n° de painéis) x 2,0A (corrente) | - | 8 |
| Carga básica total obtida no item 3.3 | - | 45,26 |

Corrente total (I2) 53,26

Tabela 27 – Cargas estimadas em 125 Vcc com 10 (dez) minutos de duração

| DESCRIÇÃO | POTÊNCIA (WATTS) | EQUIVALENTE EM AMPERES (W x 0,00952) |
|---|---|---|
| 1 (n° de RDP´s) x 335 Watts | 335 | 3,19 |
| Iluminação de emergência | 1500 | 14,28 |
| Painéis de 500kV 9 (n° painéis) x 120Watts | 1080 | 10,28 |
| Outros painéis 13 (n° painéis) x 50 Watts | 650 | 6,19 |
| Equipamento Carrier 2 (n° painéis) x 1 (n° receptores) x 0,3A | - | 0,6 |
| Equipamento Carrier 2 (n° painéis) x 1 (n° transmissores) x 0,6A | - | 1,2 |
| Inversor | 1000 | 9,52 |

Corrente total (I3) 45,26

Tabela 28 – Cargas básicas em 125 Vcc com 5 (cinco) horas de duração

| DESCRIÇÃO | POTÊNCIA (WATTS) | EQUIVALENTE EM AMPERES (W x 0,00952) |
|---|---|---|
| Corrente de fechamento de disjuntores | - | 21 |
| Carga total obtida com 5 h de duração | - | 45,26 |

Corrente total (I4) 66,26

Tabela 29 – Cargas básicas em 125 Vcc com 10 (dez) minutos de duração ao final do ciclo

Para o cálculo do consumo da bateria, será utilizada a curva de descarga de um fabricante tradicional conforme pode ser observada abaixo.

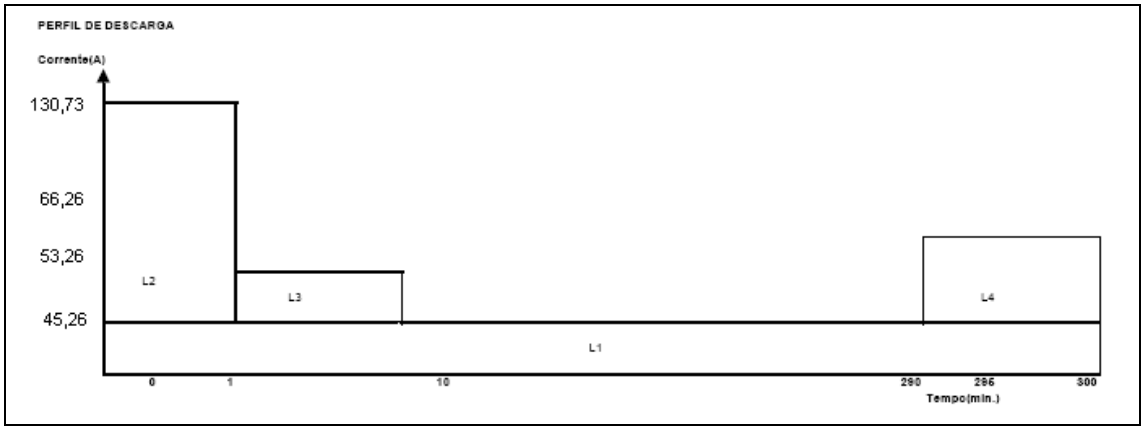



Figura 11 – Curva de descarga do banco de baterias

Esta curva indica diretamente a capacidade consumida em Ah para uma tensão final de 1,75V em todo o ciclo, através da seguinte expressão:

$$C_T = \frac{I_1}{k_1} + \frac{I_2 - I_1}{K_2} + \frac{I_3 - I_2}{K_3} + \frac{I_4 - I_3}{K_4}$$

Onde:

$T_1$ = 300 minutos; $V_T$ =1,75V (*)$K_1$ = 0,18

$T_2$ = 299 minutos; $V_T$ =1,75V (*)$K_2$ = 0,18

$T_3$ = 289 minutos; $V_T$ =1,75V (*)$K_3$ = 0,18

$T_4$ = 10 minutos; $V_T$ =1,75V (*) $K_4$ = 0,8

(*) O fator K representa a relação Ah de descarga da bateria, dada a corrente de carga e o tempo de duração da mesma.

Para as correntes I1, I2, I3 e I4 obtidas anteriormente, temos que a capacidade Ah da bateria será de: $C_T$ = 277,69 Ah.

Sendo assim, adotaremos um banco de baterias com capacidade nominal de 300 Ah, o valor comercial mais próximo do calculado.

### 3.4.2.2 Consumo do carregador de baterias

Para o dimensionamento do carregador de baterias devemos ter:

**I = Ipermanente + Icarga**

Ou seja, temos: I = Ipermanente + (1,1. Cbateria)/10h= 45,26 + (1,1 x 300)/10 = 78,26A

A potência em corrente contínua será dada por Pcc = V eq . n, onde Veq é a tensão de equalização. Então temos que Pcc = 125 x 78,26 = 9782,5 W;

A potência em corrente alternada á dada por: Pca = Pcc / cos$\varphi$ . $\eta$, onde cos$\varphi$ é o fator de potência de entrada mínimo e vale 0,7 e $\eta$ é a eficiência e vale 0,8. Sendo assim, temos que Pca = 17,469 kVA. Adota-se um valor de 20 kVA.

### 3.4.2.3 Especificação quadros CC

Nesta seção iremos especificar os quadros 125 Vcc tendo em vista a estimativa de cargas em corrente contínua feita para os serviços auxiliares.

Temos como características principais dos quadros:

(a) Classe de isolação: 300 Vcc;

(b) Tensão máxima operacional: 140 Vcc;

(c) Corrente nominal do barramento: 2 A;

(d) Corrente suportável nominal de curta duração (1s): 2 kA;

(e) Elevação de temperatura máxima do barramento, sob corrente nominal: 40º C.

Assim como exposto para os quadros em corrente alternadas, quadros em corrente contínua a serem instalados na expansão da subestação têm como componentes principais: disjuntores de alimentação, disjuntores de distribuição, relé de subtensão, relé de sobretensão, relé de fuga á terra, voltímetro e amperímetro Suas características principais estão descritas como segue:

- Disjuntores de alimentação do quadro:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal | 125 | Vcc |
| Tensão máxima de operação | 140 | Vcc |
| Número de pólos | 2 | |
| Capacidade de interrupção simétrica | 2 | kA |
| Contatos auxiliares | 5NA + 5NF | |
| Acionamento | Manual | |
| Tensão do circuito de comando | 125 | Vcc |

Tabela 30 – Características dos disjuntores de alimentação quadro em corrente contínua

- Disjuntores de distribuição (alimentadores) do quadro:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal de operação | 125 | V |
| Tensão máxima de operação | 140 | V |
| Número de pólos | 2 | |
| Capacidade de interrupção simétrica | 2 | kA |

| | |
|---|---|
| Contatos auxiliares de posição | 1NAF |
| Acionamento | Manual |

Tabela 31 – Características dos disjuntores de distribuição quadro em corrente contínua

- Voltímetro:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal | 125 | V |
| Escala | 0 – 150 | V |
| Classe de precisão | 1,5 % | |

Tabela 32 – Características Voltímetro

- Amperímetro:

| | | |
|---|---|---|
| Sinal de entrada | 60 | mV |
| Classe de precisão | 1,5 % | |

Tabela 33 – Características Amperímetro

- Relé de subtensão, monofásico:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal | 125 | Vcc |
| Faixa de ajuste da tensão | 70 a 85% | Vn |
| Faixa de ajuste de tempo | 0 a 5 | s |
| Retorno da tensão ao normal | 100% | Vn |
| Número mínimo de contatos | 2 NA + 2 NF | |

Tabela 34 – Características relé de subtensão

- Relé de sobretensão, monofásico:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal | 125 | Vcc |
| Faixa de ajuste da tensão | 100 a 150% Vn | |
| Faixa de ajuste de tempo | 0 a 5 | s |
| Retorno da tensão ao normal | 100% | Vn |
| Número mínimo de contatos | 2 NA + 2 NF | |

Tabela 35 – Características relé de sobretensão

- Relé de fuga à terra, bifásico:

| | | |
|---|---|---|
| Tensão nominal | 125 | Vcc |
| Número mínimo de contatos | 2 NA + 2 NF | |

Tabela 36 – Características relé de fuga à terra

## 3.5 Filosofia da Proteção

O sistema de proteção de uma subestação é de importância fundamental a respeito da segurança pessoal, continuidade de serviço e garantia da integridade dos equipamentos da própria subestação e do sistema em geral. Para melhor entendimento deve-se observar os diagramas unifilar contendo o sistema de proteção.

Um sistema de proteção tem como características funcionais quanto à eficácia:

(a) Sensibilidade: os relés deverão ser capazes de detectar qualquer operação indevida no sistema;

(b) Seletividade: a proteção deve operar isolando apenas os trechos defeituosos do sistema;

(c) Velocidade: os relés de proteção devem ser rápidos na detecção e isolamento (atuação dos disjuntores) de parte do sistema na ocorrência de falhas.

Nesta seção far-se-á uma breve descrição dos critérios básicos na implementação do sistema de proteção da expansão da subestação de Colinas. Deve-se observar que a metodologia aplicada é baseada nas características já

existentes da subestação em questão e nos requisitos pré – estabelecidos pela ANEEL.

### 3.5.1 Considerações Gerais

(a) Os relés a serem utilizados na expansão farão uso de tecnologia digital numérica com perfeitas condições de intervenção do homem (interface homem – máquina);
(b) Os circuitos de alimentação em CA e CC serão independentes para a proteção;
(c) As medidas de tensão e correntes para o sistema de proteção serão obtidas dos secundários dos TP´s e TC´s;
(d) O sistema de proteção será capaz de detectar qualquer tipo de ocorrência de faltas no sistema sob supervisão.

#### 3.5.1.1 Proteção Falha do Disjuntor

A filosofia adotada no esquema de proteção nos disjuntores far-se-á integrante do sistema da proteção dos vãos.

A proteção de falha do disjuntor se integrará ao sistema de proteção existente na subestação. Temos que os sensores de sobrecorrente serão ajustados na faixa de 0,1 a 2 vezes a corrente nominal, sendo o temporizador ajustado na faixa de 0 a 0,5 s. Podemos considerar uma falha no disjuntor se houver a atuação da proteção e após um determinado período de tempo o detector de corrente (50 BF) continuar em operação, ou seja, tendo ainda um estabelecimento de fluxo de corrente.

No caso do sistema de falha do disjuntor associado ao reator, temos que além da supervisão com relação ao estado do disjuntor (aberto ou fechado), o sistema de proteção fará a verificação de falhas no reator como aumento de temperatura (26 e 49) e acúmulo de gás (63 e 63V).

#### 3.5.1.2 Proteção Terminal da linha de transmissão

A proteção de linha será constituída por 2 (dois) subsistemas (proteção principal e alternada) que irão atuar de forma independente um do outro, ou seja, na ocorrência de não atuação de um deles, a proteção ainda será estabelecida.

Far-se-á uso de relés direcionais de sobrecorrente de neutro (67N) e relés de distância (21), de forma que os relés 21 farão a detecção de curtos trifásicos,

bifásicos e bifásicos para a terra. Os relés 67N serão sensibilizados para curtos para a terra. Podemos ainda observar que o terminal da linha de transmissão possuirá ainda relés de proteção para sobretensões (59), relés de bloqueio de oscilação de potência (68 OSB).

#### 3.5.1.3 Proteção Barramento 500 kV

O sistema de proteção de barra a ser implementado, se integrará ao esquema de proteção de barras existentes na subestação. Serão utilizados relés diferenciais (87B) que quando sensibilizados atuam em relés de bloqueio de modo a acionar os disjuntores conectados ao barramento.

Em condições normais de operação, todos os disjuntores estão fechados, cada jogo de barras tem sua própria proteção diferencial e, em caso de falha em qualquer uma das barras, esta desconecta todos os disjuntores associados ao jogo de barras afetado, sem deixar fora de serviço nenhuma linha.

#### 3.5.1.4 Proteção Reator

O sistema de proteção de reatores compreende o conjunto de 3 (três) tipos de proteção (proteção unitária, de retaguarda e intrínseca), conforme descritas a seguir:

(a) proteção unitária: compreenderá a proteção de sobrecorrente diferencial percentual (87R);

(b) proteção de retaguarda: compreenderá a proteção de sobrecorrente instantânea e temporizada de fase e neutro (50/51 e 50/51 N) localizada no lado da linha/barra, proteção de sobrecorrente instantânea e temporizada de terra (50/51G) no aterramento do neutro do reator;

(c) proteção intrínseca: compreenderá proteção por acúmulo ou detecção de gás (63) e proteção de sobretemperatura do óleo (26).

#### 3.5.1.5 Proteção contra oscilações de tensão

Tal filosofia de proteção é feita tendo em vista os danos que as flutuações de tensão possam provocar nos equipamentos do sistema. Serão utilizados relés de subtensão (27) e sobretensão (59), que atuarão de forma a acionar os alarmes (1º estágio) e desligar os disjuntores associados (2º estágio).

# Capítulo 4 – Conclusões

O processo de expansão do sistema elétrico brasileiro prevê o desenvolvimento de projetos sob diversos focos na área de sistemas de potência. A automatização de usinas geradoras, o estabelecimento de novas linhas de transmissão ou recapacitação das existentes, e a construção ou *expansão de subestações de energia*, são exemplos de processos constituintes para o fortalecimento do intercâmbio entre regiões e, consequentemente, a melhoria da qualidade da energia demandada.

Este projeto permitiu a análise de aspectos técnico – econômicos presentes em desenvolvimentos similares de ampliações do setor de energia: previsões de custos, estudos de viabilidade de casos, estruturação básica de um projeto de expansão de uma subestação com o seu referido desenvolvimento técnico.

A análise econômica exposta nos revelou a importância da previsão de investimento a curto e longo prazos, que exercem um caráter decisivo no planejamento da ampliação do sistema elétrico, uma vez que permite que comitês reguladores do sistema possam executar a análise e indicar as melhores alternativas desta expansão. Neste projeto, a expansão da subestação permite um melhor escoamento da energia gerada na região Norte do Brasil, fortalecendo a interligação Norte – Nordeste do país.

Deve-se observar que a ampliação do setor energético brasileiro tem de ser acompanhada por medidas legislativas que possam suportar de forma adequada a implantação contínua deste processo.

No Brasil a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é o órgão regulador do sistema, e anualmente promove licitações (leilões) de energia, prevendo a

implantação de novas linhas e subestações. Tal medida é de fundamental importância, uma vez que permite a ação de investimentos externos de diversas empresas e grupos, e contribui de forma decisiva para o sistema implantado, e melhoria nas condições de atendimento.

# Referências Bibliográficas


[1] Martín, José Raúll – Diseño de Subestaciones Eléctricas – McGraw-Hill/Interamericana de México – 1992

[2] Herszterg, Ivan – Notas de Aula – Disciplina de Subestações – UFRJ – 2006.

[3] Stevenson, William D. Jr – Elementos de Análise de Sistemas de Potência (Elements of Power System Analysis) – McGraw – Hill.

[4] Relatório CCPE – Comitê Coordenador do Planejamento de Expansão dos Sistemas Elétricos (Ministério das Minas e Energia) – 007/2004

[5] ANEEL, Edital de leilão 002/2004 ;

[6] Engenharia, Marte – Especificação Técnica - Pára – Raios - 2006.

[7] Engenharia, Marte – Especificação Técnica – Chaves Secionadoras – 2006.

[8] Engenharia, Marte – Especificação Técnica – Disjuntores – 2006

[9] Engenharia, Marte – Especificação Técnica – Isoladores de Pedestal – 2006.

[10] Engenharia, Marte – Especificação Técnica – Bobinas de Bloqueio – 2006.

[11] Engenharia, Marte – Especificação Técnica – Transformadores de Potencial – 2006

[12] Engenharia, Marte – Especificação Técnica – Transformadores de Corrente – 2006

[13] Engenharia, Marte – Especificação Técnica – Reatores – 2006.

[14] STEMAC - Catálogo Grupos Geradores – 2006

[15] Santana, Isoladores - Catálogos Isoladores do tipo Pedestal – 2005.

[16] ABB – Especificação Técnica – Reator 500 kV – 2006

[17] Coordenação de isolamento – NBR 5424 – 1981

[18] Engenharia, Marte – Critérios Básicos de Projeto para os Sistemas de Proteção, Comando, Supervisão e Telecomunicações - 2006.
[19] AREVA – Especificação Técnica Transformadores de Potencial e Transformadores de Corrente – 2006
[20] Fotos e anotações – Visita Técnica – SE Colinas (TO) – 2007
[21] Ingendesa – Cargas em corrente alternada – 2006
[22] Ingendesa – Cargas em corrente contínua – 2006

[23] WEG – Especificação Técnica de Quadros CA - 2006
[24] Araujo, Carlos Andre S. ; Candido, Jose Roberto ; Dias, Marcos Pereira ; De Sousa, Flavio Camara – Proteção de Sistemas Elétricos – 2005
[25] Nemésio, Jorge – Apostilas Disciplina de Equipamentos Elétricos – UFRJ – 2007.
[26] Engenharia, Marte – Especificação Técnica Grupo Motor Gerador – 2006;
[27] Itaipu – Transformadores - Folha de requisitos Técnicos – Transformadores de Serviços Auxiliares
[28] Tectrol – Folha de requisitos Técnicos – Baterias e Carregadores – 2006
[29] Furnas – Espaçamentos elétricos em subestações
[30] Eletrobrás – Diretrizes Básicas para Projeto de subestações – volume 3 – 1986.

# Anexos