



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GSE/24

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO – VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

DESAFIOS PARA O SECCIONAMENTO DE BARRAMENTOS 230 KV EM SUBESTAÇÕES ENERGIZADAS: UM ESTUDO DE CASO NAS SUBESTAÇÕES DE RECIFE II, CAMAÇARI II, PAULO AFONSO III E FORTALEZA II DA CHESF

Fabio N. Fraga (*)
Chesf

Cynthia S. D. S. Xavier
Chesf

Eduardo A. de S. L. Filho
Chesf

João R. P. de Barros
Consultor

Karina M. Tavares
Chesf

Luciano R. do V. J. da Costa
Chesf

Paulo R. L. de N. Coutinho
Chesf

Santhiago G. Montenegro
Chesf

RESUMO

O presente trabalho apresentará os desafios para a realização de seccionamento de barramentos energizados de 230 kV em subestações existentes do Sistema Interligado Nacional (SIN), bem como apresentará um estudo de caso apresentando a metodologia utilizada para esse processo de upgrading na subestação e as dificuldades encontradas no processo.

PALAVRAS-CHAVE

Subestações, Upgrading, Confiabilidade, Proteção, Comando, Controle

1.0 - INTRODUÇÃO

A realização de estudos para o seccionamento de barramentos 230 kV em subestações existentes foi motivado pelo relatório ONS REL 0049/2013 – Propostas para melhoria da segurança das instalações estratégicas do sistema interligado nacional – Avaliação dos aspectos relacionados aos arranjos de barramentos – Volume I - Instalações do Protocolo do MME – Versão Final 26/02/2015, que recomendou o seccionamento de barramentos de várias subestações do SIN com o objetivo de melhorar a segurança operacional do sistema, e dos ofícios 267/2015-DR/ANEEL e 219/2016 SCT/ANEEL que solicitaram a Chesf o envio de informações, de acordo com o submódulo 9.7 dos procedimentos de regulação tarifária, para a abertura de procedimentos autorizativos de reforços em instalações de transmissão.

Com a publicação dos referidos ofícios a Chesf foi solicitada à estudar a viabilidade técnica do projeto de seccionamento dos barramentos 230 KV através da instalação de disjuntores nas subestações de 500-230 kV de Recife II, Camaçari II e Fortaleza II, as quais apresentam configuração barra dupla a quatro chaves no setor de 230 kV, e na subestação 230 kV de Paulo Afonso III, que apresenta a configuração barra tripla. Todas estas subestações atendem às regiões metropolitanas de importantes capitais do Nordeste, nos estados do Ceará, Bahia e Pernambuco. Adicionalmente a instalação de Paulo Afonso III é uma subestação seccionadora que atende ao complexo das usinas hidroelétricas de Paulo Afonso I, II e III.

Como estas instalações são antigas, faz-se necessário considerar os requisitos técnicos do procedimento de Rede do ONS vigente, além dos Requisitos da Agência reguladora conforme ofícios citados. Quando o contexto geral abrange estes requisitos, os benefícios do projeto de reforma das subestações representam um upgrading. Assim sendo, a viabilidade técnica necessária deve analisar aspectos de manutenibilidade, confiabilidade e segurança dentro das condições de execução da obra disponíveis.

Os resultados dos estudos de confiabilidade demonstraram quais os impactos da alteração proposta para as subestações após o seccionamento e uma comparação com a configuração atual, ressaltando qual tecnologia dos equipamentos proposta é a mais benéfica.

Os estudos realizados para determinar a melhor solução para a implementação das modificações necessárias nas subestações foram divididos nos seguintes pontos principais:

- a) Impactos no projeto eletromecânico;
- b) Impacto nos sistemas de medição, proteção, comando, controle e supervisão (MPCCSR) das instalações;

2.0 - IMPACTOS NO PROJETO ELETROMECÂNICO DAS INSTALAÇÕES

Para a realização do estudo para seccionamento dos barramentos 230 kV das subestações existentes de Recife II, Camaçari II, Fortaleza II e Paulo Afonso III foi necessário avaliar as opções disponíveis e considerar fatores que poderiam influenciar o desenvolvimento do projeto. Desta maneira, alguns estudos de viabilidade das opções selecionadas foram realizados abordando os seguintes pontos principais:

- Levantamento de informações no Local;
- Integração de todas as áreas envolvidas (projeto, construção, manutenção, operação, etc);
- Avaliação dos ativos existentes (idade, histórico de manutenção, histórico de falhas e defeitos, etc.);
- Considerações sobre segurança;
- Planejamento do sistema e requisitos regulatórios;
- Requisitos de construção:
 - ✓ Restrições de interrupção;
 - ✓ Restrições de espaço;
 - ✓ Restrições operacionais durante o processo;
 - ✓ Prazo para implantação;
- Análise de viabilidade de construção do projeto;
- Interrupção e restrições operacionais (as subestações atendem às regiões metropolitanas de importantes capitais do Nordeste, nos estados do Ceará, Bahia e Pernambuco);
- Estudos de confiabilidade para as soluções.

Embora o foco de qualquer projeto deva ser encontrar a melhor solução, no caso destes projetos de seccionamento de barras, um grande conjunto de fatores influenciam o processo de tomada de decisão. Assim, foi necessário dedicar tempo e esforço durante as fases iniciais do projeto para garantir que a solução identificada atenda da melhor maneira às exigências da situação específica. Projetos dessa natureza costumam conduzir a engenharia para soluções novas e que devem ser cuidadosamente avaliadas para garantir uma implementação bem sucedida.

2.1 Projeto eletromecânico – Análise das instalações das subestações

Para verificarmos os impactos que o seccionamento dos barramentos, através da utilização de disjuntores, iria provocar nas instalações das subestações foi necessário verificar os seguintes pontos principais:

- a) Avaliação do projeto eletromecânico da subestação: verificação do espaço disponível, distâncias elétricas de segurança, facilidade de manutenção e instalação dos equipamentos de seccionamento;
- b) Avaliação da tecnologia a ser utilizada;
- c) Avaliação dos índices de confiabilidade resultante na instalação com o seccionamento das barras;
- d) Avaliação das características dos demais equipamentos da instalação e adequação dos mesmos as condições impostas pelo seccionamento dos barramentos (conforme item 3.0 a seguir);

Para cada instalação foi realizado um levantamento em campo verificando as diversas opções de posicionamento e suas dificuldades de instalação e manutenção. Embora as subestações de Recife II, Camaçari II e Fortaleza II possuam o arranjo barra dupla a quatro chaves, os projetos eletromecânicos são diferentes e possuem particularidades que demandam soluções diferentes para cada seccionamento. Solução específica também para a subestação de Paulo Afonso III, cujo projeto é bastante peculiar com três barramentos

2.2 Avaliação da tecnologia e da confiabilidade resultante na instalação com o seccionamento das barras

Após o levantamento realizado nas instalações e o mapeamento dos espaços disponíveis e das dificuldades de instalação e manutenção dos equipamentos necessários ao seccionamento, foram escolhidas duas tecnologias de equipamentos para realização dos estudos do projeto eletromecânico:

AIS (Air Insulated Switchgear) e HIS (Hybrid Insulated Switchgear).

As Figuras 1 e 2 a seguir apresentam os equipamentos utilizados nos estudos.

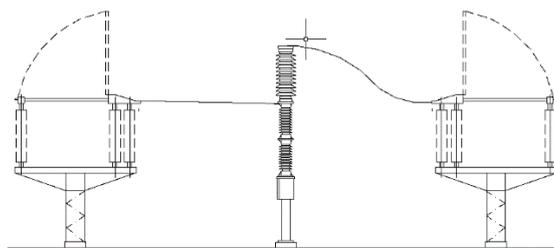
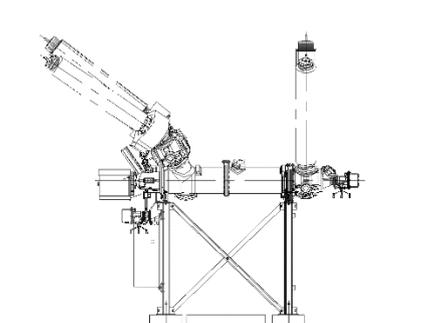
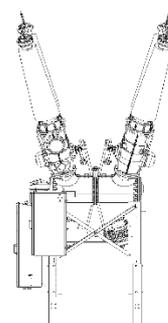


Figura 1 – Equipamentos AIS (Air Insulated Switchgear)



PASS MOS - ABB



3AP1 DTC - SIEMENS

Figura 2 – Equipamentos HIS (Hybrid Insulated Switchgear)

Para cada uma das subestações foram verificadas possibilidades de utilização dos equipamentos AIS ou HIS para implementação dos seccionamentos. Entretanto, a utilização de equipamentos AIS mostrou-se extremamente complexa face aos espaços necessários e em algumas subestações impossível de ser utilizado.

Adicionalmente aos projetos eletromecânicos a serem desenvolvidos verificou-se a necessidade de um estudo de confiabilidade das instalações para determinar o impacto da introdução de equipamentos em série nos barramentos das subestações. Esta necessidade surgiu do conhecimento de que os barramentos de subestações têm baixíssimas taxas de falhas e, portanto, a introdução de equipamentos em série com o mesmo, embora provocasse um aumento da flexibilidade operacional, também pudesse imputar à a configuração final um desempenho inferior em comparação à configuração atual do barramento sem seccionamento.

A confiabilidade da instalação é uma variável de projeto que pode verificar a função da instalação em análise, através da frequência, indisponibilidade e duração. Portanto, tais resultados, juntamente com o aspecto físico da instalação foram balizadores na escolha da solução final.

As Tabelas 1 e 2 a seguir apresentam os resultados dos estudos através dos índices de confiabilidade: Frequência de interrupção - F (falhas/ano), e Indisponibilidade de um dos pontos de carga do arranjo – U (Horas/ano) para as configurações propostas.

Tabela 1 – Comparação Índices de Confiabilidade – Frequência de interrupção - F (falhas/ano) x Configuração

Subestação	Configuração Original	Secionamento com AIS	Secionamento com HIS
Recife II	0,132 (100%)	0,157 (118,9%)	0,138 (104,5%)
Camaçari II	0,132 (100%)	0,157 (118,9%)	0,138 (104,5%)
Fortaleza II	0,149 (100,0%)	0,176 (118,1%)	0,151 (101,3%)
Paulo Afonso III	0,163 (100%)	0,190 (116,6%)	0,171 (104,9%)

Tabela 2 – Comparação Índices de Confiabilidade – Indisponibilidade (Horas/Ano) x Configuração

Subestação	Configuração Original	Secionamento com AIS	Secionamento com HIS
Recife II	0,114 (127,9%)	0,0973 (109,2%)	0,0891 (100,0%)
Camaçari II	0,114 (127,9%)	0,0973 (109,2%)	0,0891 (100,0%)
Fortaleza II	0,0776(100%)	0,0918 (118,1%)	0,0786 (101,3%)
Paulo Afonso III	0,133 (118,8%)	0,120 (107,1%)	0,112 (100,0%)

O critério adotado para avaliar a alternativa mais atrativa, sob o ponto de vista da confiabilidade, se baseou nas frequências e indisponibilidades, tal que: Se a relação entre a frequência de uma determinada alternativa (A_i) e a

alternativa de menor frequência de interrupção (A^*) for inferior a 5%, ou seja, $(F(A_i)/F(A^*)) < 5\%$, a relação entre os respectivos índices de indisponibilidade for superior a 5%, isto é, $(U(A_i)/U(A^*)) > 5\%$, então deve ser selecionada a alternativa de seccionamento que apresentar menor indisponibilidade.

Baseado neste critério a melhor alternativa para as subestações de Recife II, Camaçari II e Paulo Afonso III é a utilização do seccionamento com equipamentos HIS. Na subestação de Fortaleza II não teríamos melhoria nos indicadores de confiabilidade com modificação do arranjo de seccionamento do barramento.

Com os resultados apresentados nos estudos de confiabilidade e com as grandes dificuldades encontradas na utilização de equipamentos AIS foi decidido pela utilização de equipamentos com a tecnologias HIS e os projetos eletromecânicos foram desenvolvidos.

2.2 Adequação das características dos demais equipamentos da instalação

Em conjunto com o seccionamento dos barramentos, os ofícios 267/2015-DR/ANEEL e 219/2016 SCT/ANEEL, solicitaram também a instalação de proteção adaptativa de barras e adequação de toda a instalação para atendimento aos Procedimentos de Rede do ONS. Para atendimento a estes requisitos foi necessário avaliar todos os equipamentos existentes nas subestações (conforme indicado no item 3.3). Estas avaliações indicaram a necessidade de substituição de um número elevado de equipamentos tais como transformadores de corrente e disjuntores. Estas substituições provocaram a necessidade de grande quantidade de desligamentos e impactarão diretamente no tempo necessário para a execução do seccionamento. A Tabela 3 apresenta a quantidade de equipamentos a serem substituídos por instalação.

Tabela 3 – Quantitativo de equipamentos para substituição por Subestação

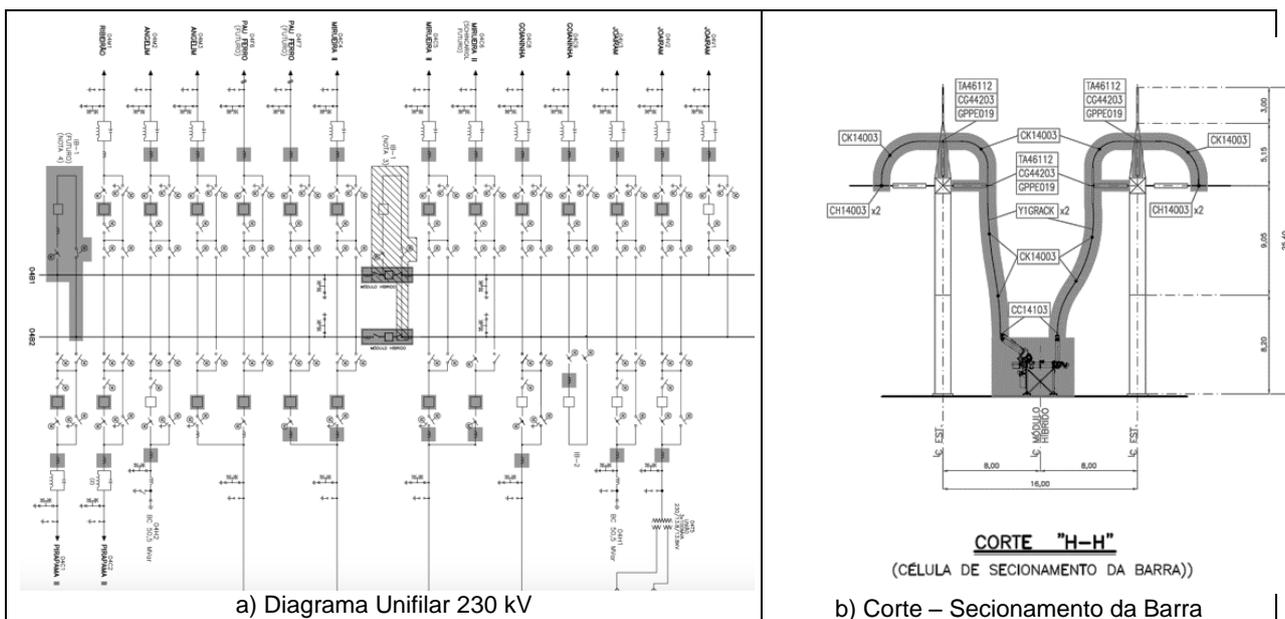
Subestação	Número de Equipamentos a Serem Substituídos	
	Transformadores de Corrente 230 kV	Disjuntores 230 kV
Recife II	72	21
Camaçari II	42	6
Fortaleza II	30	-
Paulo Afonso III	18	-

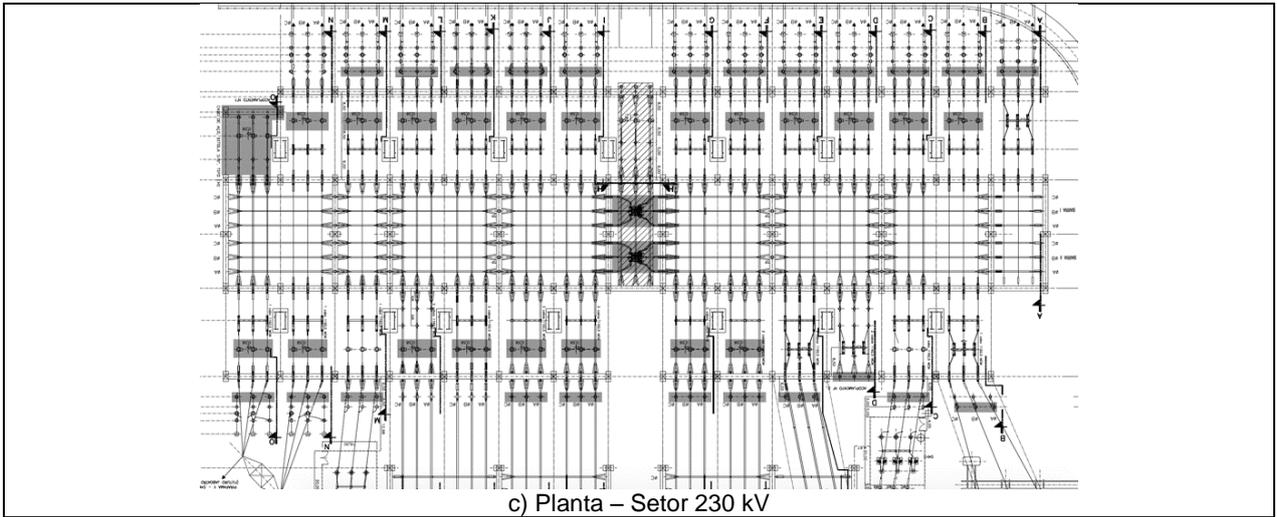
Além da substituição dos equipamentos apresentados na Tabela 3, em Recife II, Camaçari II e Fortaleza II será necessário instalar novas interligação de barras, cada uma delas com disjuntor, duas chaves seccionadoras e três transformadores de corrente.

2.3 Projeto desenvolvido para as subestações de Recife II, Camaçari II, Fortaleza II e Paulo Afonso III

Conforme as definições apresentadas no item 2.2 foram desenvolvidos projetos básicos das soluções a serem implementadas nas quatro subestações. As figuras a seguir apresentam os projetos.

a) Subestação de Recife II

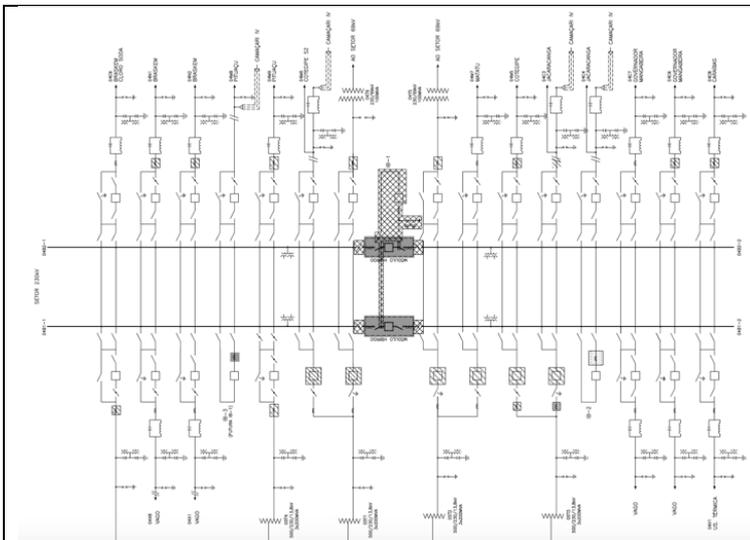




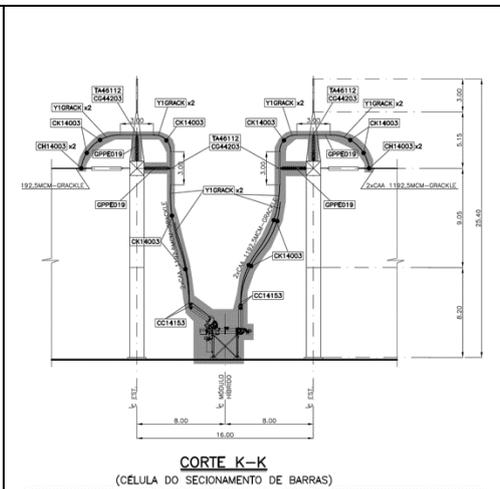
c) Planta – Setor 230 kV

Figura 3 – Projeto Básico – SE Recife II

b) Subestação de Camaçari II

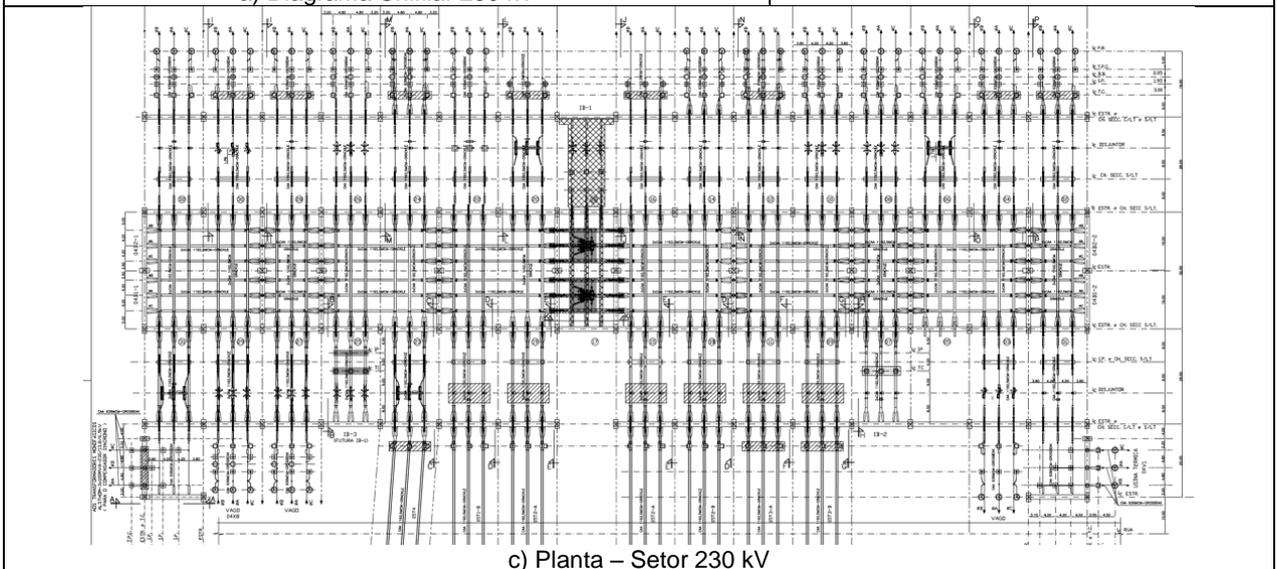


a) Diagrama Unifilar 230 kV



CORTE K-K
(CÉLULA DO SECCIONAMENTO DE BARRAS)

b) Corte – Seccionamento da Barra



c) Planta – Setor 230 kV

Figura 4 – Projeto Básico – SE Camaçari II

c) Subestação de Fortaleza II

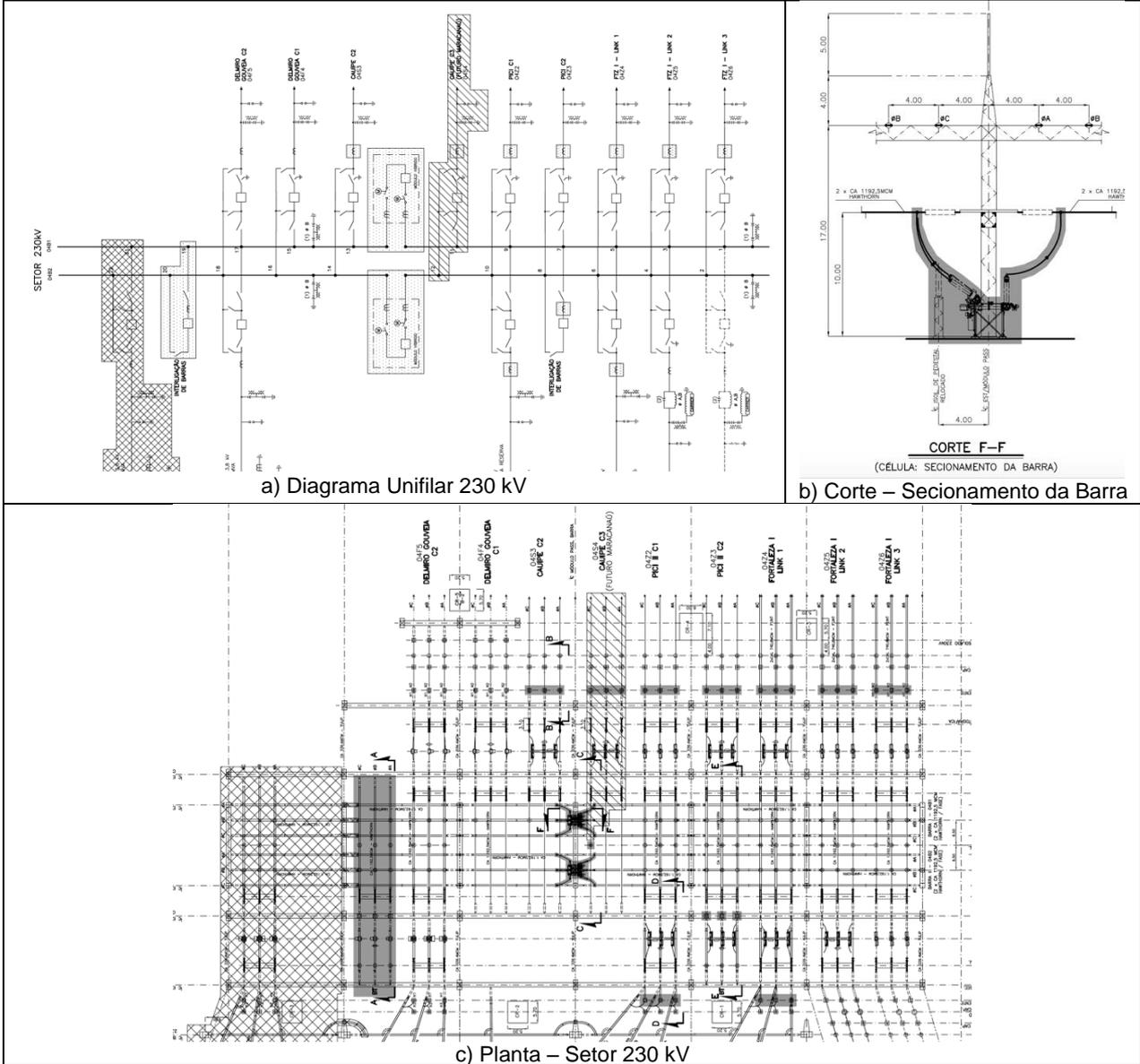
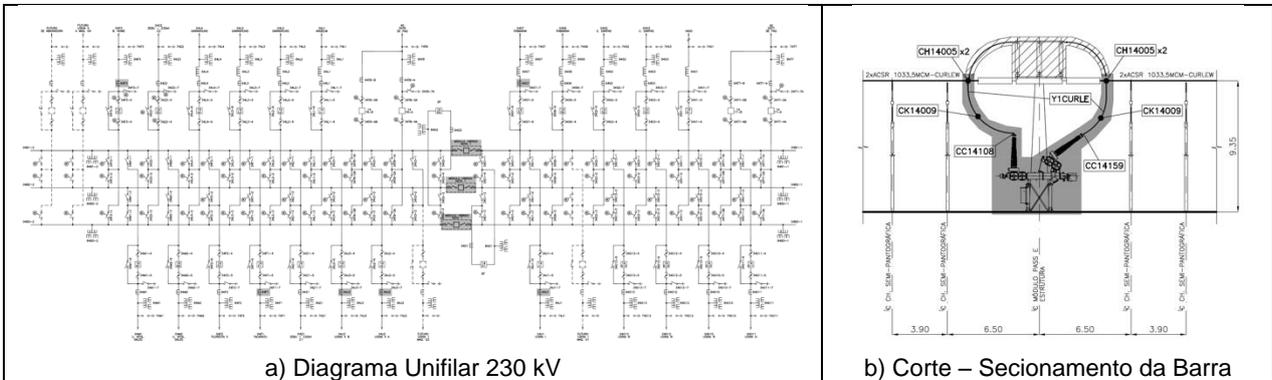


Figura 5 – Projeto Básico – SE Fortaleza II

d) Subestação de Paulo Afonso III



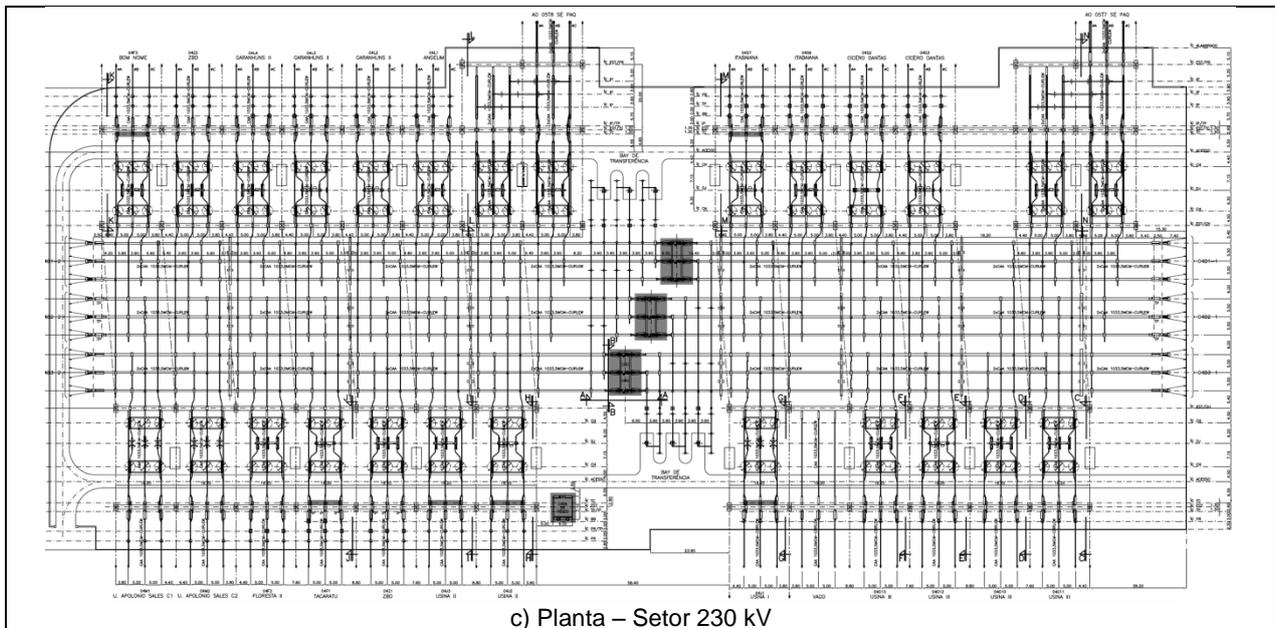


Figura 6 – Projeto Básico – SE Paulo Afonso III

3.0 - IMPACTO NOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO, PROTEÇÃO, COMANDO, CONTROLE E SUPERVISÃO (MPCCSR) DAS INSTALAÇÕES

O seccionamento do barramento das subestações 230 kV no esquema de manobra para barra dupla a quatro chaves, implica numa série de adequações nos sistemas de medição, proteção, comando, controle, supervisão e regulação – M.P.C.C.S.R e serviços auxiliares CA e CC das subestações, envolvendo inclusive a necessidade de implantação de novos sistemas e equipamentos na subestação. Estas modificações são necessárias e imperativas para o perfeito funcionamento do novo esquema de manobra seccionado, considerando também neste caso a obrigatoriedade de atendimento aos Procedimentos de Rede do ONS em suas últimas revisões, em especial os Submódulos 2.6 (Requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações), 2.7 (Requisitos de telessupervisão para a operação) e 2.3 (Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos) e Nota técnica 058/2013 SRT-SFE / ANEEL de 20 de Março de 2013. A seguir apresentamos principais necessidades e constatações:

- Verificação dos equipamentos existentes quanto ao atendimento ao quantitativo de enrolamentos de TCs para atendimento aos Procedimentos de Redes do ONS, submódulo 2.6;
- Verificação dos equipamentos existentes quanto ao atendimento ao quantitativo de enrolamentos de TCs para atendimento à Nota Técnica 058/2013-SRT-SFE/ANEEL em seu item 9.6.1.2 do Anexo II e aos Procedimentos de Rede do ONS, submódulo 2.6;
- Possibilidades de configurações e disposição de conexão dos vãos aos barramentos e respectivas implicações na adaptabilidade da proteção de barras para garantir a seletividade do desligamento em caso de sinistro, para atendimento aos Procedimentos de Rede do ONS, submódulo 2.6;
- Levantamento de disponibilidade de espaço nas estruturas civis existentes para acomodação dos novos painéis de proteção de barras ou levantamento de disponibilidade de espaço nos painéis existentes para acomodação dos novos IEDs;
- Levantamento de disponibilidade de estrutura de redes de comunicação para difusão das informações fornecidas pelo sistema de proteção de barras ao sistema de MPCCSR (medição, proteção, controle, comando, supervisão e regulação) e supervisorio existente;
- Levantamento de disponibilidade de GPS para sincronização horária dos IEDs;
- Estudo de impacto e redimensionamento dos serviços auxiliares AC e DC;
- Impactos no supervisorio existente e respectivo acréscimo de pontos a serem supervisionados e envio de comandos;
- Impactos no sistema de registro de perturbações;
- Levantamento das atuais condições dos contatos de posição dos equipamentos de pátio como disjuntores e principalmente seccionadoras e respectiva averiguação da disponibilidade destes contatos para atendimento à proteção de barras;
- Necessidades dos sequenciamentos dos serviços visando minimizar os desligamentos e otimizar o tempo de implantação das modificações;
- Levantamento de disponibilidade de veias nos cabos existentes para uso dos enrolamentos de TC e TP na proteção de barras e lançamentos de novos cabos.

4.0 - CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento do trabalho, com as análises realizadas seguindo os procedimentos indicados na referência (1) e atendendo os Procedimentos de Rede, os seguintes pontos podem ser destacados para o processo de adequação das subestações de Recife II, Camaçari II, Fortaleza II e Paulo Afonso III ao seccionamento do barramento 230 kV existente:

- Dificuldades na realização do empreendimento devido a quantidade de desligamentos necessários e a duração dos mesmos;
- Alto risco de desligamentos acidentais envolvendo o sequenciamento de atividades, a desativação dos sistemas antigos e a integração dos novos sistemas;
- Elevado tempo envolvido nas etapas de desativação e remoção dos antigos sistemas e equipamentos (pátio e MPCCSR) com necessidade de substituição, montagem dos novos sistemas e equipamentos, comissionamento, integração e energização;
- Indisponibilidade do bay de transferência durante um longo período diminuindo a confiabilidade operacional da subestação;
- Necessidade de recomissionamento da subestação inteira envolvendo os níveis 1, 2 e disponibilização para o centro de despacho de nível 3 (COS/ONS);
- Elevado custo envolvido com as contratações para adequações nos sistemas existentes e implantações de novos sistemas e equipamentos.

Diante dos pontos levantados, considerando o volume de recursos financeiros e humanos necessário e o pequeno ganho de confiabilidade alcançado com a modificação do esquema de manobra seccionando o barramento 230 kV das subestações, julgamos conveniente que, estudos mais aprofundados sejam realizados envolvendo não apenas a transmissora, mas também o ONS, ANEEL e EPE, e a solução final considere todos os aspectos exigidos pela sociedade.

Destacamos que em 29/11/2016 a ANEEL, através da Resolução Autorizativa 6137, foi autorizada a implementação dos empreendimentos de Recife II, Camaçari II, Fortaleza II e Paulo Afonso III com prazos de implantação variando entre 36 e 48 meses, dando início a novos desafios para implementação dos projetos.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Cigré, SB B3 – 532: The Substation Uprating and Upgrading, April 2013;
- (2) Cigré, SB B3 – 380: The Impact of New Functionalities on Substation Design, June 2009;
- (3) Cigré, SB B3 – 389: Combining Innovation with Standardisation, August 2009;
- (4) Cigré, SB B3 – 390: Evaluation of Different Switchgear Technologies for Rated Voltages of 52 kV and above, August 2009;
- (5) ONS, Submódulo 2.3 - Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos;
- (6) ONS, Submódulos 2.6 - Requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações;
- (7) ONS, Submódulos 2.7 - Requisitos de telessupervisão para a operação;
- (8) Albuquerque, L.M.; Fraga, F.N.; Godoy, A.V.; Arcon, A.B. - Análise comparativa para tomada de decisão na escolha da tecnologia para implantação de novas subestações, XXII SNPTEE – Brasília, Outubro 2013;
- (9) ONS, Relatório 0163/2013 - Propostas para melhoria da segurança das instalações do sistema interligado nacional - avaliação dos aspectos relacionados aos arranjos de barramentos - VOLUME III – Subestações complementares da região Nordeste, 04 de novembro de 2013;
- (10) Nota técnica 058/2013 SRT-SFE / ANEEL de 20 de Março de 2013;
- (11) Fraga, F. N.; Costa, L.R.V.J.; Simões, P.R.P; Montenegro, S.G – “Uprating e upgrading de subestações: Apresentação dos conceitos básicos do Working Group B3.23 e aplicação em um estudo de caso na Chesf”, XXIII SNPTEE – Foz do Iguaçu, Outubro 2015;
- (12) Xavier, C.S.S; Fraga, F. N.; Godoy, A.V; Simões, P.R.P - “Applying mixed technology switchgear (MTS) for adaptation of substations to meet new Brazilian power system requirements of availability”, CIGRE Session 46, Paris, França, 2016;
- (13) Barros, J. R. P – Proposta de Seccionamentos dos Barramentos do Setor 230 kV da SE Recife II; Fortaleza II; Camaçari II e Paulo Afonso III – Recife, 2017.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Fabio Nepomuceno Fraga**

Nascido em Recife-PE no ano de 1975. Formado em Engenharia Elétrica, pela UFPE em 1998, Mestre em Engenharia Elétrica, pela UFPE em 2008. Trabalhou no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) onde atuou na área de normatização da operação e qualidade. Em 2002 ingressou na Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) onde atua na área de projetos de subestação. Em 2003 passou a coordenar o subcomitê CE-B3.01 (Novas Concepções) do comitê de estudo CE-B3 do Cigré-Brasil. Em 2012 passou a coordenar do Comitê de Estudos de Subestações B3 do Cigré Brasil. Entre suas áreas de interesse estão sistemas de aterramento, compatibilidade eletromagnética, projetos e novas concepções de subestação e suas tecnologias.