

GAT/017

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

GRUPO IV
GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA – GAT

REQUISITOS MÍNIMOS FUNCIONAIS QUANTO A CONFIGURAÇÕES DE BARRAS PARA SUBESTAÇÕES DA REDE BÁSICA DO SISTEMA INTERLIGADO BRASILEIRO

Roberto Rocha*, Dalton de O. C. do Brasil e Carlos Gama
ONS

Roberto del Giúdice e George Palmer
Energy Choice

RESUMO

No âmbito dos requisitos mínimos para novas instalações da Rede Básica, os Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS estabelece as características funcionais das subestações, quanto a configurações de barras em duas etapas. A primeira etapa usa dois grupos diferenciados por classe de tensão. Na segunda etapa, será proposta uma sistemática de definição das configurações de barras, baseada nos aspectos de segurança e flexibilidade operativa e de confiabilidade, compatíveis com o grau de importância da subestação na Rede Básica, do ponto de vista sistêmico. São apresentados os resultados já alcançados e as ações em desenvolvimentos.

PALAVRAS-CHAVE

Configurações de barras. Flexibilidade operativa. Segurança operativa. Confiabilidade.

1.0 - INTRODUÇÃO

No novo modelo do setor elétrico brasileiro, o ONS vem estabelecendo, dentro de um processo participativo junto aos diversos agentes, os Procedimentos de Rede.

O Módulo 2[1] dos Procedimentos de Rede estabelece as características mínimas funcionais das subestações quanto a configurações de barras em duas etapas. Na primeira etapa, os pátios das subestações de 765, 500, 440 e 345 kV, com isolamento em ar, a princípio, devem adotar a configuração de barra dupla com disjuntor e meio e para os pátios 230 e 138 kV a configuração de barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves.

De modo geral, os requisitos de configuração de barras, das novas subestações, são estabelecidos

para sua fase final, prevista no seu planejamento de expansão. Para a fase inicial, das subestações, são aceitas variantes que permitam evoluir para os requisitos da primeira etapa, como definidos no Módulo 2. Por exemplo, a adoção, inicial, da configuração de barras em anel simples para os pátios em 765, 500, 440 e 345 kV, o arranjo físico das instalações deve permitir a evolução para configuração de barras com barra dupla, disjuntor e meio na fase final.

Configurações de barras alternativas podem ser utilizadas, desde que seja comprovado, através de estudos, que tenham desempenho operativo igual ou superior aos das configurações da primeira etapa do Módulo 2. Porém, os novos equipamentos e instalações não podem comprometer o desempenho ou limitar a operação das instalações existentes, nem impor restrições às instalações da Rede Básica e demais Agentes a ela conectados. Também não podem ser utilizados equipamentos que inviabilizem o uso de outras tecnologias em futuras ampliações.

Para subestações de sistemas radiais da Rede Básica é permitida a opção da configuração de barra principal e transferência, para os pátios de 230 e 138 kV, ressaltando o atendimento aos padrões de desempenho da Rede Básica, estabelecidos nos Procedimentos de Rede e a previsão da evolução para configuração de barras estabelecida na primeira etapa.

Estes requisitos se aplicam para novas subestações da Rede Básica. Para subestações existentes estes requisitos mínimos não se aplicam diretamente. De modo geral, o desempenho das instalações existentes deverão ser monitorados de forma a se identificar a distância entre os padrões de desempenho verificados e os requisitos que estão sendo estabelecidos nos Procedimentos de Rede para as novas instalações.

A sistemática de definição das configurações de barras, com base na ponderação dos aspectos de

segurança e flexibilidade operativa e confiabilidade, a ser adota na segunda etapa, em desenvolvimento, é descrita mais adiante.

2.0 - FUNDAMENTOS

2.1 Geral

De modo geral, conceituar e analisar os fatores considerados de maior importância na definição e comparação de configurações de barras de subestações, não é uma tarefa simples. Pode-se reconhecer "a priori" que alguns dos fatores são difíceis de serem quantificados com precisão, revestindo-se então de uma avaliação parcialmente subjetiva. Nesse sentido, pode-se citar os fatores: confiabilidade/disponibilidade, segurança e flexibilidade operativa, evolução de configuração e manutenibilidade.

Nesse sentido, para estabelecer a sistemática da segunda etapa do Módulo 2, a análise destes fatores deve ser realizada considerando as principais configurações de barras adotadas pelas concessionárias brasileiras:

- barra simples, disjuntor simples sem e com *by-pass*,
- barra simples seccionada (c/disjuntor), disjuntor simples sem e com *by-pass*;
- barra principal + barra de transferência, disjuntor simples, variante: barra principal seccionada com chaves;
- barra dupla, disjuntor simples a quatro chaves, vide Figura 1, variante: a cinco chaves;
- barra dupla principal + barra de transferência, disjuntor simples, variantes:
 - com disjuntor único para transferência / acoplamento;
 - com disjuntor transferência + disjuntor acoplamento;
 - barra principal seccionada com chaves ou disjuntor;
- barra dupla seccionada, disjuntor simples a quatro chaves variante: a cinco chaves;
- barra em anel simples;
- barra em anel duplo ou múltiplo;
- barra dupla, disjuntor e um terço;
- barra dupla, disjuntor e meio, variante: disjuntor e meio modificado;
- barra dupla, disjuntor duplo, variante: disjuntor duplo modificado;

Cabe observar que as subestações isoladas a ar (AIS) se distinguem tanto construtivamente quanto em desempenho das subestações isoladas a gás SF6 (GIS).

2.2 Aspectos conceituais

São apresentados a seguir os aspectos conceituais que norteiam as análises dos fatores na comparação de configurações de barras.

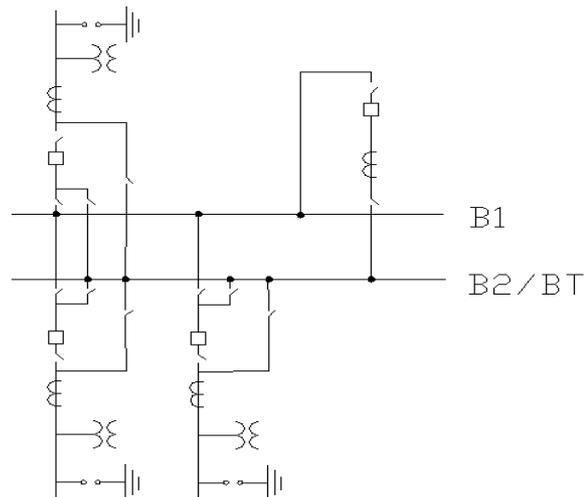


FIGURA 1 - Barra dupla, disj. simples a quatro chaves

◆ Confiabilidade

A confiabilidade de uma instalação ou de um sistema, isto é, a probabilidade de cumprir satisfatoriamente suas funções durante sua vida útil, pode ser calculada a partir de índices de estatística do desempenho dos componentes (disjuntores, chaves, transformadores de potência, transformadores de corrente (TC), transformadores de potencial (TP), pára-raios, sistemas de proteção, etc.), observados ao longo de um período, geralmente anual. A avaliação fundamenta-se na análise do ciclo médio do processo opera-falha-repara, onde se definem como ponto de partida, os tempos médios e taxas para a falha e o reparo de cada componente e finalmente os índices de disponibilidade e indisponibilidade.

◆ Flexibilidade Operativa

O entendimento da flexibilidade operativa pode ser visto como sendo formado por dois conjuntos distintos, mas de características interrelacionadas, senão vejamos: a) as características que constituem a flexibilidade intrínseca ou interna à própria subestação e b) aquelas que a natureza do sistema elétrico na qual a subestação está inserida impõe à mesma.

Características desejáveis do conjunto a):

- A condição de se isolar qualquer elemento, após falha intempestiva ou para manutenção programada, sem perda permanente de quaisquer outros elementos internos ou externos à subestação;
- Uma variante do item anterior são as facilidades para se colocar ou tirar de serviço equipamentos que são freqüentemente manobrados para atender a condições impostas pelo sistema, por exemplo: reatores em derivação, bancos de capacitores, etc.;
- Atender ao acima com um número mínimo de manobras, principalmente de chaves seccionadoras;
- Em situações de desligamentos oriundos de rejeições ou de alívios de carga, facilidades para que o processo de restabelecimento possa ser feito de forma automática.

Características desejáveis do conjunto (b):

- reduzir ao máximo em tempo e alcance (instalações remotas) a repercussão de falhas internas à subestação. Para isto contribuem tanto a configuração de barras (número de barras de operação) quanto os esquemas de proteção adotados;
- possibilidade de operar subestação, permanentemente ou não, de forma dividida visando segurança do sistema, direcionamento e controle de fluxos (vinculação fontes com cargas), limitar níveis de corrente de curto-circuito, executar um controle mais adequado da tensão, etc..

◆ Segurança Operativa

O conceito de segurança operativa está, fortemente, associado ao nível de desempenho da rede perante, principalmente, as condições de falta sob duas situações operativas: disjuntor em manutenção e com falha na abertura. Do mesmo modo, pode-se afirmar que o grau de importância da subestação, diante o desempenho operativo da rede, para estas condições de falta, está diretamente ligado aos requisitos mínimos quanto a configuração de barras da subestação. Por exemplo, para falta no circuito com disjuntor em manutenção, a configuração de barras, permite apenas perda do circuito.

Alguns procedimentos operativos são diretamente ligado a segurança e flexibilidade operativa intrínseca ou interna à própria subestação:

- Ações de isolamento de equipamentos que exijam muitas manobras de chaves seccionadoras contribuem negativamente para a segurança da subestação e por consequência do sistema;
- Configurações de barras que exigem esquemas de controle e proteção simples contribuem positivamente;
- A padronização de configurações de barras é considerado fator importante na redução do erro operativo.

O item 3.0 concretiza o conceitos sobre segurança e flexibilidade operativa.

◆ Evolução de Configuração

O contínuo processo de expansão é uma das marcas do sistema elétrico brasileiro, tanto no passado como se antevê para o futuro, tendo um impacto particular nas suas subestações, qual seja: é raro uma subestação na sua primeira etapa atinja já sua configuração plena. O mais freqüente é ocorrer um processo de sucessivas ampliações ao longo dos anos.

◆ Manutenibilidade

É a característica de uma instalação, expressa como sendo a probabilidade que um elemento será mantido ou retornado a uma condição especificada em um período de tempo determinado (tempo de indisponibilidade), quando a sua manutenção for executada de acordo com os procedimentos e recursos previstos. Pode-se inferir então que

manutenibilidade se vincula a tempos de indisponibilidade.

3.0 - SISTEMÁTICA ADOTADA

3.1 Primeira etapa do Módulo 2

Foram analisados os aspectos técnicos para definição e comparação de configurações de barras de subestações, pelos atributos confiabilidade, segurança e flexibilidade operativa, evolução de configuração de barras e facilidade para expansão. Neste contexto, foi realizada uma análise comparativa, destes atributos, das configurações de barras de subestações[2] e consolidada em uma hierarquização, por nível de tensão versus configuração de barras, para subestações nas tensões de 138 a 765 kV do tipo isolada a ar e 138 a 500 kV do tipo isolada a gás, apresentada na Tabela 1. Esta hierarquização serviu de base para o estabelecimento dos requisitos mínimos, na primeira etapa, quanto a configuração de barras das novas subestações da Rede Básica, conforme consta no Módulo 2.

3.2 Segunda etapa do Módulo 2

Conforme exposto anteriormente, para a segunda etapa, será proposta uma sistemática de definição das configurações de barras, com base na ponderação dos aspectos: segurança e flexibilidade operativa e confiabilidade, compatíveis com o grau de importância da subestação na Rede Básica sob o ponto de vista de desempenho sistêmico.

Para avaliar o grau de importância das subestações é necessário verificar o impacto da saída da mesma no desempenho do sistema. Este procedimento tem sido adotado pela "COMISSÃO MISTA GCOI/ONS/ELETOBRÁS/CEPEL PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO S/SE/CO", apresentando uma classificação das subestações em quatro categorias, em função do grau do impacto provocado na Rede de Operação¹, para condição de contingências múltiplas e para cenário de carga pesada, conforme consta no relatório "Identificação das Subestações Críticas do Sistema Interligado, no Tocante à Possibilidade de Ocorrência de Contingências Múltiplas" [3], descritas a seguir:

- Subestações em que a ocorrência da contingência múltipla ocasiona um comportamento instável do sistema, seja do ponto de vista eletromecânico (transitório ou dinâmico), ou depressão acentuada de tensão;
- Subestações em que a ocorrência de contingência múltipla ocasiona um comportamento estável do sistema, mas cuja topologia e distribuição final de fluxos, pode levar a pelo menos mais um outro desligamento de circuito no sistema, ou a possível atuação de esquema de emergência. Isto pode indicar o início de uma série de desligamentos, e eventualmente conduzir o sistema ao colapso;

¹ Definida nos Procedimentos de Rede do ONS

- Subestações em que a contingência múltipla ocasiona, em princípio, um comportamento estável e sem outras conseqüências danosas. No entanto sugere-se uma análise considerando outros cenários de carga, assim como distintos modelos para sua representação e tipos de faltas.
- Subestações em que a contingência múltipla ocasiona, em princípio, um comportamento estável do sistema e sem quaisquer outras conseqüências danosas.

A sistemática adotou três categorias de subestações (A, B, C), diferenciadas pelos efeitos causados no sistema de transmissão, quando submetido a curto monofásico seguido de falha de disjuntor com perda de todos circuitos:

- Categoria "A": corresponde a subestações de maior importância, uma vez, quando submetida a condições acima citada pode levar o sistema a uma condição instável ou afundamento acentuado de tensão, podendo provocar colapso em uma ou mais regiões ou mesmo colapso total do sistema. Desta forma, exigindo o grau mais elevado de desempenho funcional mínimo quanto a segurança operativa do sistema. Estas subestações devem ter uma configuração de barras que minimize ao máximo o risco de ocorrência desse evento.
- Categoria "B": corresponde a subestações em que o sistema comporta uma maior tolerância a contingências múltiplas, provocada pela condição citada acima, ou seja, apresenta um comportamento do sistema marginalmente estável com afundamento acentuado de tensão e atuação do sistema de alívio de carga ou abertura de interligações de grande porte. Desta forma, requer um desempenho funcional mínimo um pouco mais relaxado.
- Categoria "C" corresponde a subestações em que o sistema permite a maior tolerância a contingências múltiplas, ou seja, apresenta um comportamento do sistema estável sem afundamento acentuado de tensão com apenas corte local de carga.

Esta classificação serviu como base para definição do desempenho funcional mínimo, da configuração de barras.

3.2.1 Análise dos atributos: segurança, flexibilidade operativa e confiabilidade

◆ Segurança Operativa

- O desempenho funcional mínimo da configuração de barras, requerido quanto a segurança operativa do sistema, versus a classificação do enquadramento da subestação, no grau de importância no desempenho sistema da Rede Básica, para as três categorias é apresentado na Tabela 2.

- Por exemplo, uma subestação de maior grau de importância para desempenho sistêmico da Rede Básica, categoria A, conforme Tabela 2, deve ter uma configuração de barras que atenda a seguinte condição de operação: disjuntor de uma conexão de linha de transmissão, em manutenção e falta na barra, não admite perda linha.

◆ Flexibilidade Operativa

- Da mesma forma, como para segurança operativa, é apresentado na Tabela 3 a vinculação do desempenho funcional mínimo para configuração de barras, requerido quanto a flexibilidade operativa do sistema versus requisito operativo para as três categorias de subestação.

◆ Confiabilidade

- A sistemática estabelece valores de referências para taxa média de falha/ano, duração média de interrupção e indisponibilidade para as subestações dos tipos A, B, e C, assumindo as configurações de barras: barra dupla com disjuntor e meio, barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves e barra principal e transferência respectivamente, considerando-se todos os modos de falhas e número de eventos, que possam levar ao colapso do sistema/instalação.

Em resumo, a sistemática deve analisar se a configuração de barras proposta para subestação atende aos requisitos dos atributos de segurança e flexibilidade operativa e confiabilidade, na categoria enquadrada, pelo critério do grau de importância. O diagrama, apresentado na Figura 2, ilustra o enquadramento, satisfatório, da configuração de barras para uma subestação de categoria B.

4.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio atual do Módulo 2 dos Procedimentos de Rede do ONS define os requisitos mínimos, quanto a configurações de barras das subestações, de forma pouco flexível, mesmo admitindo condições especiais, conforme já apresentados neste trabalho.

Consideramos que esta sistemática é um avanço em relação a primeira etapa, proposta no Módulo 2. Neste sentido, é importante perseguirmos nesta direção. Como desafio é verificar a possibilidade de se estabelecer um "*Índice de Desempenho para as Subestações*" apto a permitir a definição da configuração de barras, das novas subestações a da Rede Básica, de modo que permita introduzir tecnologias de barramentos/equipamentos, mantendo o desempenho desejado de segurança e flexibilidade operativa, confiabilidade e manutenibilidade das subestações.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Procedimentos de Rede: Módulo 2 " Padrões de Desempenho da Rede Básica e Requisitos Mínimos para suas Instalações" Relatório ONS.
- (2) Configurações de Barras para Subestações da Rede Básica, RT-GAT-002-2000, Relatório ONS.
- (3) Identificação das Subestações Críticas do Sistema Interligado, no Tocante à Possibilidade de Ocorrência de Contingências Múltiplas. Relatório 1 da COMISSÃO MISTA ONS/ELETOBRÁS/CEPEL PARA AVALIAÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO.

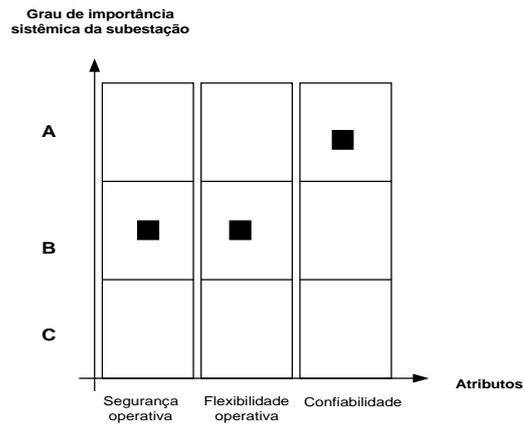


FIGURA 2: Diagrama ilustrativo do enquadramento satisfatório da configuração de uma subestação

TABELA 2: Desempenho mínimo da configuração de barras segurança versus condição de operação para as 3 categorias de subestação

Condição de operação	Categoria		
	A	B	C
1 Disjuntor em manutenção: ♦ Operação normal	Não admite perda de circuito	Não admite perda de circuito	Não admite perda de circuito
♦ Falta em circuito	Perda do circuito	Perda do circuito	Perda do circuito e da barra
♦ Falta em barra	Não admite perda de circuito	Perda da barra e de circuito com abertura terminal remoto	Perda total da subestação
2 Barra em manutenção: ♦ Operação normal	Não admite perda de circuito	Não admite perda de circuito	Perda total da subestação
♦ Falta em circuito	Perda do circuito	Perda do circuito	Perda total da subestação
♦ Falta em barra	Não admite perda de circuito	Perda total da subestação	Perda total da subestação
3 Falta em circuito c/falha em disj.	Perda de até dois circuitos com abertura dos terminais remotos	Perda de todos circuitos conectados na barra do circuito em falta e inclusive da barra, com abertura do terminal remoto	Perda total da subestação
4 Falta em barra	Perda da barra	Perda de todos circuitos conectados na barra	Perda total da subestação
5 Falta em barra c/ falha de disj.	Perda da barra mais circuito, com abertura terminal remoto	Perda total da subestação.	Perda total da subestação

TABELA 3: Desempenho mínimo da configuração de barras flexibilidade versus requisito de operativo para as 3 categorias de subestação

Requisito operativo	Categoria		
	A	B	C
Isolar disjuntor	Sem transferência de proteção	Com transferência da proteção do circuito p/disj. de interligação	Admite transferência da proteção do circuito p/disj. de interligação
Nº de seccionadoras p/isolar disj.	Duas	Superior a duas	Superior a duas
Isolar barra	Sem transferência de proteção	Sem transferência de proteção	Admite subestação fora de operação
Nº de intervenções p/isolar barra	1 disj. e 2 seccionadoras p/circuito barra	1 seccionadora p/circuito mais retirada do disjuntor	Admite subestação fora de operação
Proteção	Proteção de barras seletiva e proteção para falha de disj.	Proteção de barras seletiva e proteção para falha de disj.	Proteção de barras e proteção para falha de disj.

TABELA 1 Aplicação de configurações de barras em subestações da rede básica

CONFIG. TENSÃO (kV)	BS - DS s/ by pass	BS - DS SEC. s/ by pass	BS - DS SEC. c/ by pass	BP + T- DS	BP +T- DS SEC.	BD - DS 4 CH	BDP +T c/1 DISJ.	BDP +T c/2 DISJ.	BD - DS SEC. 4 CH.	ANEL SIMPL..	ANEL DUPLO	BD-D1/2 MODIF.	BD-D1/2	BD - DD MODIF.	BD - DD
765 AIS										(1)	(2)				
500 / 440 AIS										(1)	(2)				
500 / 440 GIS										(1)	(2)				
345 AIS										(1)	(2)				
345 GIS						(3)	(4)			(1)	(2)				
230 AIS PRIMÁRIO				(5)	(5)		(4)			(1)	(2)				
230 GIS PRIMÁRIO				(5)	(5)					(1)	(2)				
230 AIS SECUNDÁRIO															
230 GIS SECUNDÁRIO															
138 AIS SECUNDÁRIO															
138 GIS SECUNDÁRIO															

Configuração permitida

- (1) aceita como 1ª etapa, limitada ao máximo seis circuitos, devendo obrigatoriamente permitir a evolução para as demais configurações relacionadas na mesma classe de tensão;
- (2) aceita como 1ª etapa, limitada ao máximo oito circuitos, devendo obrigatoriamente permitir a evolução para as demais configurações relacionadas na mesma classe de tensão;
- (3) aceita-se até oito circuitos;
- (4) aceita-se até nove circuitos.
- (5) poderá ser adotada em subestações cuja primeira e última etapas se confundam

BS: barra simples DS: disjuntor simples
SEC.: seccionada T: transferência

BT: barra principal BD: barra dupla
CH: chave seccionadora

BPP: barra dupla principal
BD1/2: disjuntor e meio

MODIF.: modificado