

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - UFMG**

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

**ELÉTRICA**

**PPGEE**

**APLICABILIDADE DE SUBESTAÇÕES COMPACTAS ISOLADAS**

**A GÁS EM GRANDES CENTROS URBANOS: PROPOSTA DE**

**PROCEDIMENTO APLICADO À EXPANSÃO DO**

**SISTEMA ELÉTRICO**

**ALUNA:** Denise Meireles

**ORIENTADORA:** Maria Helena Murta Vale

**Belo Horizonte, Fevereiro de 2010**

**Denise Meireles**

**“APLICABILIDADE DE SUBESTAÇÕES COMPACTAS ISOLADAS A GÁS  
EM GRANDES CENTROS URBANOS: PROPOSTA DE PROCEDIMENTO  
APLICADO À EXPANSÃO DO SISTEMA ELÉTRICO”**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

**Área de Concentração: Engenharia de Potência**

**Linha de Pesquisa: Sistemas de Energia Elétrica**

**Orientadora: Profa. Maria Helena Murta Vale**

**Universidade Federal de Minas Gerais**

**Belo Horizonte**

**Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG**

**2010**

---

# DEDICATÓRIA

À minha mãe, pelo seu esforço para que suas filhas estudassem;

Ao meu tio, Almir, pelo seu incentivo e exemplo constantes;

Ao meu avô, Jaime, por ter me ensinado as lições mais importantes;

A Deus, por todas as oportunidades que me oferece, todos os dias.

---

# AGRADECIMENTOS

Uma história nunca é escrita por apenas duas mãos. Ninguém pode dizer que é auto-suficiente, a ponto de não depender da ajuda dos outros. Muitas vezes as contribuições são simples, como uma palavra de incentivo, dita num momento de desânimo. Neste trabalho, como em toda minha vida, recebi ajuda de muitas pessoas. Tantas, que não creio conseguir relacionar seus nomes, sem me esquecer de contribuições importantes. Mas vou me atrever a relacionar alguns nomes que tornaram este caminho bem menos árduo.

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora, Maria Helena Murta Vale, pois sem o seu apoio, incentivo, contribuições ao texto e, principalmente, sua paciência, este trabalho não chegaria ao seu termo.

Ao professor Alexandre Bracarense, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG, que plantou esta idéia. Apesar de eu ter escolhido dissertar sobre um tema da engenharia elétrica, lhe sou muito grata por ter me incentivado a iniciar o mestrado.

Ao meu amigo e colega de trabalho, Anderson Neves Cortez, cujo estudo de planejamento para implantação de uma subestação compacta serviu como base à minha pesquisa inicial.

Ao meu amigo e colega de trabalho Antônio José Betel R. Gomes por ceder, gentilmente, os desenhos utilizados em sua dissertação.

Aos meus gerentes, na Cemig, Amauri Reigado, Arnaldo Magela Moraes, Paulo Márcio Nepomuceno de Souza, Denys Cláudio Cruz e Souza e Beline Quintino Araújo Fonseca, por incentivarem o desenvolvimento acadêmico dos seus funcionários.

Aos meus colegas de equipe de trabalho na Cemig, Valério, Jackson, Stefano e Rodrigo Valadão pelo apoio nas minhas atividades profissionais, durante o período em que eu cursava as disciplinas.

À minha mãe e irmãs que sempre acreditaram na minha capacidade e me incentivaram a trilhar este caminho, confiando em minhas decisões.

Finalmente, não exatamente um agradecimento, mas quase um pedido de desculpas, ao meu companheiro, Thiago, e à minha filhinha, Ana Beatriz, pelo tempo que tive de privá-los da minha presença, para que fosse possível elaborar este texto/trabalho.

---

# RESUMO

Este trabalho propõe um procedimento para avaliação da aplicabilidade de subestações compactas blindadas isoladas a gás em centros urbanos, estabelecendo um comparativo à utilização de subestações convencionais ou híbridas. Para tanto, são relacionadas características de cada tipo de instalação, de forma a levantar os principais fatores que influenciam na implantação de uma subestação. A aplicação da estratégia se dá por meio de uma planilha onde fatores relevantes, tais como, meio ambiente, recursos financeiros, sociais e políticos, dentre outros, são ponderados conforme sua influência, permitindo a indicação da melhor opção. Ressalta-se o caráter inovador da pesquisa e a sua contribuição para o processo de planejamento da expansão do sistema elétrico de distribuição, trazendo ganhos para as empresas e a sociedade.

---

## **ABSTRACT**

The purpose of this study is to present an approach to the assessment of the applicability of gas insulated substations in urban centers, thus establishing a basis for comparison with the air insulated substations and hybrid substations. In order to do so, the characteristics of each type of substation are related, so that the main factors influencing their respective implementation can be raised. For the purpose of the application of the strategy, a spread sheet is used, in which the following relevant factors are analyzed, in accordance with their respective influence: environmental factors, social, financial and political resources, thus allowing for the definition of the best option to be chosen. The application of an innovative study design for the purpose of this study shall be stressed, as well as its contribution to the planning process aimed at the expansion of electric systems of distribution, thus bringing returns to companies and the society as a whole.

---

# SUMÁRIO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | INTRODUÇÃO .....  | 1  |
| 2       | ATIVIDADE DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA ELÉTRICO .....                             | 6  |
| 2.1     | CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....   | 6  |
| 2.2     | PASSOS DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO .....  | 7  |
| 2.3     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 12 |
| 3       | A SUBESTAÇÃO.....   | 14 |
| 3.1     | CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....   | 14 |
| 3.2     | CLASSIFICAÇÃO DAS SUBESTAÇÕES .....   | 15 |
| 3.2.1   | Classificações Gerais das Subestações .....   | 15 |
| 3.2.2   | Classificação segundo o Arranjo da Subestação.....  | 19 |
| 3.2.2.1 | Tipos de Arranjos.....  | 19 |
| 3.2.2.2 | Escolha do Tipo de Arranjo – Fatores Relevantes.....  | 22 |
| 3.3     | EQUIPAMENTOS DAS SUBESTAÇÕES .....  | 24 |
| 3.4     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 29 |
| 4       | ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS TIPOS DE SUBESTAÇÕES .....                                     | 30 |
| 4.1     | CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....   | 30 |
| 4.2     | SUBESTAÇÃO CONVENCIONAL .....   | 32 |
| 4.3     | SUBESTAÇÃO COMPACTA BLINDADA ISOLADA A GÁS .....  | 35 |
| 4.4     | SUBESTAÇÃO HÍBRIDA .....  | 38 |
| 4.5     | COMPARAÇÃO ENTRE SUBESTAÇÕES CONVENCIONAIS, GIS E HÍBRIDAS .....                            | 39 |
| 4.5.1   | Fator Meio Ambiente .....   | 39 |
| 4.5.2   | Fator Espaço .....  | 41 |
| 4.5.3   | Fator Recursos Financeiros .....  | 42 |
| 4.5.4   | Fatores Técnicos .....  | 43 |
| 4.5.5   | Fatores Sociais .....   | 46 |
| 4.5.6   | Fatores Políticos.....  | 47 |
| 4.6     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 48 |
| 5       | PROPOSTA DE PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DAS SUBESTAÇÕES<br>TIPO GIS ..... | 49 |
| 5.1     | CONSIDERAÇÕES INICIAIS - AVALIAÇÃO DA RELEVÂNCIA DOS ASPECTOS PESQUISADOS.....              | 49 |
| 5.1.1   | Classificação da Relevância dos Aspectos Pesquisados.....                                   | 50 |
| 5.1.2   | Pontuação da Influência dos Aspectos .....  | 52 |
| 5.2     | PROCEDIMENTO PROPOSTO .....   | 53 |

---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.3   | USO DA PLANILHA DE ANÁLISE DE APLICABILIDADE DE SUBESTAÇÕES COMPACTAS ISOLADAS A GÁS – GIS..... | 53 |
| 5.4   | APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO .....  | 54 |
| 5.4.1 | Caso Exemplo # 1 - Substituição de uma SE existente.....  | 54 |
| 5.4.2 | Caso Exemplo # 2 - Nova SE com Doação de Terreno.....   | 57 |
| 5.4.3 | Caso Exemplo # 3 - Nova SE em Distrito Industrial.....  | 60 |
| 5.5   | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....  | 64 |
| 6     | CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE DO TRABALHO.....   | 65 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 67 |
|       | APÊNDICE .....  | 70 |



# 1

## INTRODUÇÃO

As equipes de Planejamento da Expansão, responsáveis pela definição das obras que serão implantadas no Sistema de Energia Elétrica (SEE), a fim de garantir o atendimento do mercado futuro, procuram a melhor solução técnico-econômica para os problemas identificados no horizonte de planejamento. A obra escolhida para execução deve garantir, além da solução dos problemas identificados, o reconhecimento dos investimentos pelo órgão regulador e, ao mesmo tempo, a minimização dos impactos na tarifa de energia [ANEEL 10].

Várias são as alternativas de expansão do sistema elétrico, incluindo: construção de novas linhas, recapacitação de linhas já existentes; ampliação ou construção de subestações (SE); instalação de compensação reativa série ou *shunt*, dentre outras.

No que diz respeito às subestações, vários têm sido os questionamentos relacionados ao tipo de subestação a ser especificado, ou seja, a convencional, a compacta ou a híbrida. Tais categorias de SE possuem características distintas (custos, impactos ambientais, etc.) que merecem ser identificadas e analisadas, para que a escolha de qual delas especificar seja feita de forma adequada.

Tradicionalmente, as subestações convencionais têm sido as mais utilizadas, por diversas razões (domínio da tecnologia, padronização, facilidade de fornecimento de equipamentos, custo de implantação normalmente favorável, dentre outras). Sendo assim, indentifica-se um claro domínio deste tipo de instalação dentre as subestações existentes. Entretanto, algumas questões têm surgido, dificultando sua implantação conforme comentado a seguir.

Atualmente, verifica-se o *envelhecimento e obsolescência* das SE convencionais implantadas no sistema elétrico na década de 70 e, portanto, com mais de 30 anos de operação. Algumas delas se localizam em grandes centros urbanos, onde é exigido um grau de confiabilidade e qualidade de energia incompatível com equipamentos obsoletos, sujeitos a falhas, falta de peças de reposição e manutenções constantes. Uma das opções que se apresentam é a *reforma das subestações convencionais*. Entretanto, tal opção nem sempre se torna viável, devido a diversos fatores, dentre os quais podem ser citados: aspecto econômico; riscos envolvidos em se realizar obra dentro de uma instalação energizada; dificuldade encontrada pelas equipes de operação do sistema elétrico em transferir as cargas atendidas pela subestação, de forma a possibilitar o seu desligamento, ainda que por curtos períodos de tempo, durante a reforma da instalação.

Em muitos centros urbanos, verifica-se que o *grau de ocupação e a especulação imobiliária* tornam impeditiva a implantação de uma nova SE no modelo convencional, em função das dimensões da área necessária. Adicionalmente, a crescente conscientização dos governos e da população com relação aos *impactos gerados* por estas instalações (ruídos, riscos de explosões, poluição visual, dentre outros) tem exigido ações por parte das empresas de distribuição de energia no sentido de minimizá-los. Estes fatos têm sugerido o uso de equipamentos encapsulados.

O desenvolvimento da tecnologia tem permitido obter a compactação de equipamentos, reduzindo significativamente a área necessária para implantação de uma SE. Adicionalmente, equipamentos encapsulados permitem uma instalação com menor necessidade de manutenção e melhorias para a operação, em função da redução de interrupções. Em situações específicas, como as citadas acima, a instalação de uma subestação compacta pode se tornar atrativa, conforme demonstrado neste trabalho.

Dentre as SE compactas, destaca-se a *Subestação Compacta Blindada Isolada a Gás SF<sub>6</sub>* que, neste texto, é identificada por **GIS (Gas Insulated Substation)**. Apesar dos custos elevados para sua implantação, tal tecnologia permite a redução da área necessária para os arranjos da SE, minimiza a emissão de ruídos, reduz os impactos visuais, além de prover a modernização compatível com as necessidades atuais das

equipes de operação do sistema elétrico. Além disso, por necessitarem de uma menor área para implantação, podem permitir a negociação do terreno de uma subestação existente, ou de parte dele, resultando em recursos financeiros para alavancar o investimento de uma nova SE. As subestações GIS também apresentam um menor custo de manutenção e maior confiabilidade, possibilitando uma maior disponibilidade dos equipamentos para o sistema elétrico.

Apesar dos benefícios mencionados e da tecnologia das subestações GIS não ser totalmente nova (os equipamentos já estão disponíveis em diversos fornecedores), ainda são poucas as instalações deste tipo existentes no Brasil. Sob o ponto de vista do planejamento da expansão, os critérios para avaliação da implantação de uma subestação GIS, em nova instalação ou em substituição a uma convencional, ainda não estão claramente definidos, existindo carência de referências sobre o assunto.

Na realidade, a revisão bibliográfica realizada durante a elaboração desta dissertação mostrou que a literatura técnica relacionada às subestações GIS é relativamente vasta. Inclui trabalhos relativos a aspectos construtivos, tais como *componentes* [Cemig 02] e [Eletrobrás 90], *isolamento* [Fröhlich 03] e [Kuffel 00], *confiabilidade de subestações* [Corssen 79] e [Gomes 02], *otimização da área ocupada pela SE* [Peixoto 05] e [Lopes 09]. Dentre estas, vale comentar que os livros e apostilas [Eletrobrás 82], [Eletrobrás 85] e [Cemig 06] constituem referência básica aos estudos sobre subestações em geral, não restritos às GIS. No que concerne à tecnologia das GIS, podem ser citadas as referências [Peled 86] e [Jacobsen 01]. Especificamente com respeito aos documentos de fabricantes, as referências [Siemens 07] e [Vatech 01] mostram-se interessantes, pois ilustram em detalhes os equipamentos compactados e encapsulados na SE tipo GIS, bem como as vantagens da aplicação desta tecnologia. Finalmente, vale destacar as normas nacionais, internacionais e procedimentos de órgãos reguladores que fizeram parte desta revisão [ABNT 87-1], [ABNT 87-2], [ABNT 92], [ANEEL 10] e [IEC02].

Contudo, não são encontrados trabalhos direcionados aos procedimentos que auxiliem os planejadores na sua decisão sobre a implantação das GIS. A escolha pelo seu uso tem se baseado muito mais na experiência dos profissionais envolvidos nos projetos, ou em função da total indisponibilidade de terreno para implantação de uma

SE convencional, do que em aspectos tais como: atendimento de cargas concentradas, custos de aquisição e manutenção, prazos de construção ou confiabilidade.

Esta situação decorre do grau de complexidade envolvido no processo de decisão, onde várias questões se apresentam: Quais são as diferenças básicas entre as SE convencionais, GIS e híbridas? Quais benefícios podem ser advindos da substituição de uma SE convencional por uma GIS? Quais os impactos dessas substituições na atividade de planejamento da expansão do sistema elétrico?

A percepção destas questões e a possibilidade de contribuir de forma significativa para a área constituíram a principal **motivação** para a elaboração deste trabalho. De forma mais específica, esta dissertação tem por **objetivo** *apresentar uma estratégia inovadora para subsidiar análises relacionadas à escolha do tipo de SE, a ser indicado no planejamento do sistema de distribuição, em especial à aplicabilidade das subestações GIS, em centros urbanos*<sup>1</sup>.

Para cumprir seu objetivo, o trabalho apresenta uma análise comparativa entre as subestações convencionais, híbridas e GIS. Tal comparação é realizada com base na definição de fatores relevantes à implantação das mesmas, tais como: Meio-ambiente, Espaço, Recursos Financeiros, Técnicos, Sociais e Políticos.

A partir desta análise é proposto um procedimento que, utilizando uma ponderação aplicada aos fatores próprios de cada caso estudado, aponta, ao planejador, a opção que se mostra a mais adequada.

Espera-se que este trabalho constitua material de consulta quanto aos aspectos comparativos entre os tipos de subestações (composição, características, flexibilidade, desempenho, confiabilidade, impactos da implantação, etc.), bem como ao uso da estratégia proposta na prática de planejamento.

Com relação à dissertação, esta se encontra estruturada da seguinte maneira:

---

<sup>1</sup> Neste trabalho, são considerados centros urbanos as grandes cidades organizadas que se diferenciam das demais por serem caracterizadas pelo predomínio de edifícios (verticalizadas), com áreas verdes restritas, predomínio de ruas asfaltadas dotadas de tráfego intenso e alto grau de ocupação do solo.

- Após este Capítulo introdutório, o Capítulo 2 descreve o processo de planejamento da expansão do sistema elétrico de distribuição, identificando os pontos onde se iniciam as definições sobre o tipo de subestação a ser utilizado.
- O Capítulo 3 apresenta o levantamento realizado sobre as características gerais das subestações, tipos de arranjos utilizados e componentes mais comuns.
- No Capítulo 4, são abordadas as SE convencionais, GIS e híbridas, com suas características diferenciais, e as análises comparativas entre as mesmas.
- No Capítulo 5, a partir das análises comparativas, é proposto um procedimento cuja meta é indicar a melhor alternativa para implantação de uma SE, dentre os tipos de subestações passíveis de serem utilizados. Quando há mais de uma subestação a ser substituída ou construída, o procedimento permite identificar as SE convencionais que apresentem melhores condições para serem substituídas por GIS ou híbridas.
- No Capítulo 6, são apresentadas as conclusões do trabalho e as propostas de continuidade do mesmo. O texto inclui um Apêndice e as Referências Bibliográficas.

# 2

## ATIVIDADE DE PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

*O objetivo deste capítulo é apresentar o processo de Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico e contextualizar, em suas etapas, a escolha do tipo de subestação a ser implantado.*

### 2.1 Considerações Iniciais

São várias as atividades associadas aos SEE. Tradicionalmente, tais atividades se caracterizam como sendo de Expansão e de Operação. A Expansão é responsável por determinar os novos recursos que garantam a manutenção da qualidade de energia fornecida, conforme o crescimento do mercado, e promover a inclusão destes recursos no sistema. A Operação gerencia os recursos já implantados no SEE. A Expansão inclui etapas de Planejamento (estudos) e de Implementação dos Planos. Assim, há a etapa de Planejamento da Expansão, para onde esta dissertação de mestrado está direcionada.

O planejamento da expansão do SEE é de suma importância para se definir as obras que serão realizadas no sistema, para manutenção da qualidade e disponibilidade da energia, visando sempre a escolha da melhor alternativa técnica e econômica. O processo de planejamento inclui vários passos essenciais, os quais são relacionados e detalhados neste capítulo:

- (i) Diagnóstico e prognóstico do sistema elétrico;
- (ii) Definição de alternativas para solução dos problemas identificados;

- (iii) Seleção da melhor alternativa técnico-econômica;
- (iv) Elaboração de documentação básica das obras.

O objetivo de mostrar tais passos é indicar onde, no processo, é realizada a escolha do tipo de subestação a ser adotado.

É relevante mencionar que, atualmente, as diretrizes para realização de estudos de planejamento da expansão no âmbito do sistema de distribuição são norteadas pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST [ANEEL 10].

## **2.2 Passos do Processo de Planejamento da Expansão**

### **(i) Diagnóstico e prognóstico do Sistema Elétrico**

A *etapa de diagnóstico* inclui, dentre as análises de regime permanente, simulações de fluxo de potência e de curto-circuito no sistema elétrico utilizando-se de recursos computacionais. Tais análises devem partir de critérios previamente definidos pelo planejamento, no que diz respeito a valores limite aceitáveis para: carregamentos em linhas, carregamentos em transformações das SE, tensões nas barras do SEE, perdas verificadas, valores de curto-circuito identificados, regulação em linhas, etc. Os valores referentes à qualidade de energia são definidos pelo órgão regulador [ANEEL 10]. Inicialmente, são elaborados casos base do SEE, partindo dos dados de configuração (topologia) atual da rede e se valendo, também, de medições atualizadas, efetuadas no sistema elétrico em níveis de carga leve, média e pesada. Todos estes dados são considerados nas simulações permitindo representar o sistema da forma mais próxima da realidade.

As simulações, assim, procuram exibir um “retrato” do sistema elétrico, considerando um determinado nível de carga (leve, média ou pesada) e topologia, visando identificar os problemas existentes que exijam reforços ou ações para exploração do sistema existente, tendo em vista o prazo necessário para implantação de reforços. O SEE é avaliado visando identificar problemas tais como, tensões fora da

faixa adequada, sobrecarga em equipamentos e elevados níveis de perda ou de curto-circuito.

Após a etapa de *diagnóstico*, onde são detectados os problemas atuais do sistema elétrico, são elaborados os casos base futuros, anuais, para um horizonte típico de 10 anos. São levantados os dados de projeção do mercado de energia e demanda, com índices de crescimento anual regional e por subestação e, partindo-se destes, elaborase o *prognóstico* do SEE para o horizonte de análise. Após a inserção dos dados previstos de mercado e de alterações na topologia da rede, são feitas simulações, dentre elas, as de fluxo de potência e de curto-circuito, considerando os novos casos base, e são identificados os possíveis problemas.

Este diagnóstico/prognóstico é imprescindível para a atividade de planejamento, pois os problemas identificados servirão de base para a proposição de novas obras. Assim sendo, esta etapa merece uma grande atenção por parte do planejador, quanto à coleta de dados e inserção dos mesmos nos programas simuladores, de forma que os problemas sejam identificados corretamente e dêem origem às obras adequadas ao melhor desempenho do sistema elétrico. Vale ressaltar a importância da atividade de previsão de crescimento do mercado de energia elétrica, pois, no caso de previsões incorretas, todo o planejamento da expansão fica comprometido. Esta previsão de mercado deve considerar, além dos dados históricos da carga verificada no sistema elétrico, os planos diretores municipais e regionais, consultas de acessos ou pedidos de fornecimento de energia presentes e futuros que possam provocar impactos no SEE no horizonte de análise [ANEEL 10].

## **(ii) Definição de alternativas para solução dos problemas identificados**

Concluída a etapa de diagnóstico/prognóstico, inicia-se a fase de elaboração de alternativas de solução para cada um dos problemas identificados. As alternativas são elaboradas através de um processo de geração de idéias, conhecido como *brainstorm*, sempre considerando as soluções com menor custo.

Obtida a série de alternativas a serem avaliadas, faz-se um levantamento preliminar da possibilidade de aplicação de cada uma delas, eliminando as que não sejam



tecnicamente viáveis. Os fatores que impossibilitam a implantação de uma determinada alternativa podem ser de vários tipos, tais como:

- Limitações na expansão de subestações por ausência de área livre ou por esta já estar em etapa final;
- Impossibilidade de transposição de linhas de distribuição por obstáculos naturais;
- Existência de reservas ambientais que tornem impeditiva a implantação da alternativa;
- Impossibilidade de obtenção de área para implantação de uma nova SE em regiões densamente povoadas.

Este primeiro descarte de alternativas é muito importante, pois são eliminadas aquelas inviáveis, evitando o esforço de montagem de casos base e de simulação para alternativas que sequer poderão ser implantadas. Após este trabalho, obtém-se a relação de alternativas tecnicamente viáveis que serão simuladas nos programas de fluxo de potência e curto-circuito. Preparam-se, então, os casos a serem analisados, incluindo as obras previstas em cada alternativa, para o horizonte de análise.

Vale destacar que todas as alternativas simuladas deverão atender integralmente aos critérios técnicos estabelecidos para o sistema no horizonte de estudo, respeitando os critérios mínimos de qualidade no fornecimento, definidos pelo órgão regulador. As alternativas que porventura não cumpram este requisito também serão descartadas, por não serem tecnicamente equivalentes às demais. Finalmente, após simular os casos para todas as alternativas de solução, pode-se passar à etapa seguinte que consiste na comparação entre as mesmas.

*Em relação à escolha do tipo de SE a ser implantado, nas análises elaboradas nesta etapa, já são identificadas algumas condições que podem influenciar a decisão (área disponível, densidade de ocupação da região, tipo de ocupação do solo, existência de restrições ambientais, do patrimônio histórico ou de zoneamento urbano, etc.).*

### **(iii) Seleção da melhor alternativa técnico-econômica**

Na etapa de seleção da melhor alternativa técnico-econômica, comparam-se as alternativas tecnicamente equivalentes, ou seja, que atendam aos critérios previamente definidos pelo planejamento para o sistema, no horizonte de análise.

O Módulo 2 do PRODIST [ANEEL 10] também prevê a realização de uma avaliação ambiental prévia de cada uma das alternativas selecionadas, de forma a verificar os possíveis impactos causados ao meio-ambiente pelas mesmas, propondo medidas mitigadoras para estes impactos. Estas informações devem ser consideradas na etapa de seleção da melhor alternativa para implantação.

Um procedimento bastante utilizado consiste em elaborar uma tabela que inclua os aspectos técnicos, tais como: melhoria dos níveis de tensão, solução de problemas de carregamento elevado em equipamentos (transformações e linhas), redução de perdas e queda de tensão nas linhas. Além disso, são relacionados aspectos da avaliação econômica das alternativas, identificados como: Custos de Implantação, Valor Presente Líquido<sup>2</sup> e Relação Custo-Benefício<sup>3</sup>. A organização destes dados em uma tabela permite uma melhor visualização dos diversos aspectos a serem avaliados e, assim, selecionar com mais facilidade aquela alternativa que apresente um bom desempenho técnico e, ao mesmo tempo, buscando reduzir o custo de implantação.

Ressalta-se que a redução de custos para implantação das obras é necessária para permitir uma melhor modicidade tarifária, trazendo benefícios não apenas para as empresas concessionárias como, também, para a sociedade. Assim, a alternativa selecionada deve apresentar um desempenho técnico satisfatório com menores custos a serem repassados à tarifa de energia elétrica.

Nem sempre identificar a “melhor” solução constitui tarefa trivial. O planejador, algumas vezes, se depara com situações onde, apesar de todas as alternativas

---

<sup>2</sup> Valor Presente Líquido ou VPL é a fórmula matemático-financeira que permite determinar o valor atual de pagamentos futuros, descontados a uma taxa de juros determinada (típica do investimento avaliado) e subtraindo-se, também, o custo do investimento inicial.

<sup>3</sup> Relação Custo Benefício ou RBC é um indicador que relaciona os benefícios de um determinado projeto, calculado em termos monetários (entradas de fluxo de caixa), com os seus custos (saídas de fluxo de caixa), onde todos os benefícios ou custos são expressos em valores presentes.

atenderem tecnicamente às necessidades do sistema elétrico, a opção mais adequada, sob o aspecto de planejamento, é uma alternativa que não possui o melhor desempenho sob o aspecto econômico/financeiro. Isto pode ocorrer quando a alternativa apresenta vantagens sob outros aspectos, tais como: ganhos em confiabilidade do sistema, modernização de instalações, melhoria de condições operativas ou facilidade para expansões futuras no SEE.

Nestas situações, procura-se contabilizar os ganhos das alternativas por meio da elaboração de análises de longo prazo (20 anos), onde passam a ser consideradas as obras de expansão futura do sistema, sendo que os custos dessas expansões passam a ser computados para a seleção da alternativa [Gomes 02]. Entretanto, esta análise não é normalmente válida nos casos de ganhos em confiabilidade e modernização de instalações. Apenas em casos muito críticos, onde as interrupções no fornecimento de energia já comprometem a imagem da empresa ou resultam em multas por parte do agente regulador, ou quando os custos anuais com manutenção já indicam a substituição de uma instalação, sendo possível justificar economicamente a adoção de uma alternativa que apresente ganhos em confiabilidade e modernização de instalações.

*Do exposto acima, verifica-se que a escolha adequada do tipo de SE é uma das questões a serem analisadas nesta etapa. Tal escolha impacta diretamente, por um lado, os aspectos de confiabilidade e modernização de instalações e, por outro, os custos de implantação.*

#### **(iv) Elaboração de documentação básica das obras**

Finalmente, após a seleção da melhor alternativa técnico-econômica, prepara-se a documentação própria daquela selecionada, para encaminhamento às áreas de viabilidade, projeto e execução de obras. São elaboradas documentações básicas referentes às obras contendo, conforme o caso: diagramas unifilares da configuração básica das novas subestações, diagramas unifilares das ampliações de subestações existentes, especificações das novas linhas a serem implantadas, especificações de linhas existentes a serem recapitadas, especificações de desmontagem de linhas e

subestações existentes, documentos básicos referentes às funções de proteção a serem implantadas ou alteradas nos elementos do sistema e descrição das obras.

*Observa-se que a documentação elaborada é basicamente a mesma para os tipos de subestações a serem implantados. Entretanto, merece destaque a seleção do arranjo a ser utilizado, pois este irá definir os equipamentos que serão utilizados e a área ocupada por cada tipo de subestação, influenciando diretamente nos custos de implantação.*

## **2.3 Considerações Finais**

Uma vez descritos os passos do processo de planejamento, pode-se contextualizar a proposta desta dissertação de forma mais específica: propor um procedimento que trate da escolha do tipo de SE a especificar, considerando tanto a implantação de SE novas quanto a ampliação de existentes com enfoque à instalação em centros urbanos. Tal enfoque decorre da consequência natural de maior aplicabilidade das GIS nesta situação.

Nos grandes centros urbanos, devido ao envelhecimento das instalações do SEE e à especulação imobiliária, muitas vezes, o planejador se depara com algumas situações do tipo:

- Necessidade de implantação de subestação em região onde o custo de aquisição do lote para uma SE convencional eleva grandemente o custo do empreendimento;
- Necessidade de implantação de SE em região que exija mínimo impacto visual, de forma a não comprometer o conjunto arquitetônico do entorno;
- Necessidade de substituição de subestações, nas quais os equipamentos tornaram-se obsoletos e o custo de reforma mostra-se tão elevado, que justifica a implantação de uma nova SE.

Nestes casos, pode ser indicada a análise sobre a utilização de subestações do tipo GIS, como forma de minimizar o terreno requerido para a instalação da SE, apesar

destas possuírem elevado custo de implantação. Assim, a atividade de planejamento encontra alguns questionamentos adicionais na etapa de definição e seleção da melhor alternativa:

- Considerando-se a implantação de uma SE em uma área densamente urbanizada, com poucos terrenos disponíveis, a do tipo GIS torna-se, realmente, a melhor opção técnica?
- Considerando-se terrenos de alto custo, em áreas valorizadas ou em regiões que apresentem dificuldades relativas a restrições ambientais, estéticas e de convivência com patrimônio histórico e cultural, como justificar a escolha de uma solução técnica que não é a de menor custo de implantação?
- Considerando-se a necessidade de substituição de uma subestação em função de obsolescência, tendo em vista que as instalações são projetadas para um período de vida estimado em 30 anos, esta deverá ser implantada em uma área próxima da SE existente, visando minimizar os custos de conexão com a rede já implantada. Também neste caso, pode-se caminhar para uma melhor solução sob o aspecto técnico que não tenha o mesmo desempenho na avaliação econômica. Como justificar esta escolha?

A complexidade do processo de planejamento e das questões abordadas neste capítulo relativas à decisão sobre a escolha do tipo de SE confirma a *motivação* para escolha do tema desta dissertação e enfatiza a relevância da *contribuição* do procedimento proposto como instrumento de tomada de decisões por parte do planejador na seleção e justificativa da implantação de SE GIS em grandes centros urbanos.

Para subsidiar as decisões, a estratégia elaborada se baseia na consideração das *características* principais dos diferentes tipos de SE e dos diversos *fatores* envolvidos na implantação das mesmas, avaliando a *relevância* e o *grau de influência* de cada um deles, favoráveis ou não à implantação. Sendo assim, dando subsídio à compreensão da proposta, o próximo capítulo aborda as principais características das subestações.

# 3

## A SUBESTAÇÃO

*Neste capítulo são abordados os critérios de classificação das subestações e os equipamentos que as compõem. Destaque é dado aos Arranjos das SE. Tais temas são relevantes para a concepção do procedimento proposto na dissertação.*

### 3.1 Considerações Iniciais

Uma subestação consiste em um número de circuitos conectados a um barramento comum de forma a possibilitar o desempenho das funções de transformação de tensão, manobra e proteção do sistema de energia elétrica.

A principal função de uma subestação no SEE é prover um ponto onde são instalados os equipamentos de transformação de níveis de tensão, manobra e de proteção. Os equipamentos de transformação permitem a conexão de circuitos com níveis de tensão diferenciados, os equipamentos de manobra são responsáveis pela distribuição do fluxo de potência através dos diversos circuitos conectados à subestação e os equipamentos de proteção têm a função de garantir a segurança de pessoas e equipamentos e restringir a abrangência da área afetada do SEE em situações de falha [Eletrobrás 82].

Inicialmente, este capítulo apresenta um levantamento acerca das classificações de subestações disponíveis na literatura estudada. Tal levantamento é de suma importância para o trabalho, pois permite definir os tipos de subestações e, também, vários termos que são utilizados no decorrer deste texto. Destaca-se, em especial, a classificação das subestações segundo o arranjo adotado.

Em seguida, são identificados os principais equipamentos integrantes de uma subestação, visando dar apoio à análise comparativa entre os tipos de SE.

## 3.2 Classificação das Subestações

As subestações podem ser classificadas segundo diversos critérios. Dentre eles destacam-se aqueles relacionados a:

- função no SEE;
- posição no SEE;
- tensão de operação;
- relação entre os níveis de tensão de entrada e saída;
- tipo de instalação;
- natureza da corrente elétrica;
- aspectos construtivos dos equipamentos;
- arranjo adotado.

Para melhor descrever as diferentes classificações, optou-se por tratá-las em duas seções separadas: a primeira dedica-se às diversas classificações gerais das SE; a segunda aborda de forma mais detalhada a classificação das SE segundo o arranjo adotado. Esta separação decorre da relevância do tipo de arranjo para o processo de decisão envolvido no procedimento proposto na dissertação.

### 3.2.1 Classificações Gerais das Subestações

**Classificação segundo a função que a SE desempenha no sistema elétrico:**

- Geração - controla o fluxo de potência fornecido ao sistema elétrico;

- Transformação - permite a conexão de circuitos com níveis de tensão diferentes;
- Seccionamento - permite a conexão ou desconexão de circuitos de mesmo nível de tensão;
- Conversão CA/CC - permite a conexão de circuitos de corrente alternada (CA) com circuitos de corrente contínua (CC).

As subestações podem acumular mais de uma das funções relacionadas anteriormente.

#### **Classificação segundo a posição da SE no sistema elétrico [ANEEL 10]:**

- Transmissão - subestação ligada às linhas de transmissão, ou seja, destinadas ao transporte de grandes blocos da energia, com tensão de operação igual ou acima de 230 kV;
- Distribuição de Alta Tensão (AT) – subestação ligada às linhas de distribuição AT que são destinadas ao transporte da energia elétrica para as subestações de distribuição, bem como, ao atendimento aos grandes consumidores de alta tensão, com tensão de operação na faixa  $69 \text{ kV} \leq V < 230 \text{ kV}$ ;
- Distribuição de Média Tensão (MT) e de Baixa Tensão (BT) – subestações que recebem a energia das linhas de distribuição e a transferem, com abaixamento de tensão, para as redes de distribuição que, por sua vez, alimentam os consumidores diretamente em média tensão ou através de uma transformação adicional para baixa tensão ( $\leq 1000\text{V}$ ), com tensões abaixo de 69 kV.

#### **Classificação segundo a tensão de operação da SE [IEC 02]:**

- Baixa Tensão (BT) – tensão menor ou igual a 1000V;
- Média Tensão (MT) –  $1000\text{V} < \text{tensão} \leq 35 \text{ kV}$ ;
- Alta Tensão (AT) –  $35 \text{ kV} < \text{tensão} \leq 230 \text{ kV}$ ;



- Extra-Alta Tensão (EAT) –  $230 \text{ kV} < \text{tensão} \leq 800 \text{ kV}$ ;
- Ultra-Alta Tensão (UAT) – acima de 800 kV.

No caso de existirem mais de uma tensão na SE, esta será designada pelas duas siglas das tensões ou pela sigla da tensão mais elevada. Por exemplo: SE de AT/MT ou SE de AT.

#### **Classificação segundo a relação dos níveis de tensão da SE [Eletrobrás 82]:**

- Manobra - apresenta o mesmo nível de tensão na entrada e saída;
- Transformadora - apresenta mudança de nível de tensão.

Dentre as subestações classificadas como transformadoras existem as SE *elevadoras*, quando o nível da tensão de saída é superior ao de entrada, e as SE *abaixadoras*, quando o nível da tensão de saída é inferior àquele de entrada.

#### **Classificação segundo o tipo de instalação da SE [Eletrobrás 82]:**

- Externa - instalada ao tempo;
- Abrigada - instalada com a proteção de um teto;
- Interna - instalada no interior de uma edificação;
- Móvel - instalada permanentemente em veículo automotor, permitindo a sua movimentação de um ponto a outro do SEE, conforme a necessidade.

#### **Classificação segundo a natureza da corrente elétrica da SE [Eletrobrás 82]:**

- Corrente Alternada: sem ressalvas, quando não há alteração de frequência nem do número de fases;

- Conversora de Frequência: quando se destina a converter a energia de uma determinada frequência para outra;
- Conversora de Fases: quando se destina a converter energia de um determinado número de fases para outro diferente;
- Defasadora: quando se destina a promover a defasagem nos sinais de tensão e corrente, atrasando ou adiantando o sinal de saída da transformação, em relação ao sinal de entrada;
- Alternadora: quando se destina a converter energia CC para energia CA sem previsão para conversão no sentido oposto. Às vezes, utiliza-se o termo inversora para este tipo de subestação;
- Retificadora: quando se destina à conversão de energia CA para energia CC sem previsão de conversão para o sentido oposto;
- Comutadora: quando se destina a converter energia CA em energia CC e vice-versa, numa mesma instalação.

**Classificação pelo tipo construtivo dos equipamentos da SE [Eletrobrás 82]:**

- Convencional: composta por equipamentos construtivamente independentes que são interconectados na instalação, tendo o ar como meio isolante;
- Compacta: composta por equipamentos isolados a ar que foram compactados, com redução das distâncias entre eles, e que, muitas vezes, passam a desempenhar mais de uma função;
- Cubículo Metálico: composta por equipamentos e suas ligações montados em fábrica, produzindo um único conjunto abrigado e pronto para ser ligada aos circuitos externos;
- Blindada: composta por barramentos e componentes principais cobertos por um invólucro, exigindo um isolamento diferente do convencional (ar);

- Híbrida: composta por partes distintas, caracterizadas por diferentes tipos construtivos de equipamentos.

*A classificação segundo o tipo construtivo dos equipamentos é de suma importância para este trabalho, uma vez que as análises comparativas serão realizadas considerando alguns destes tipos de SE. Destacam-se as definições de SE convencional, híbrida, compacta e blindada. Conforme já salientado, no caso das compactas, neste trabalho é considerada a do tipo GIS.*

### **3.2.2 Classificação segundo o Arranjo da Subestação**

#### **3.2.2.1 Tipos de Arranjos**

O arranjo da SE identifica o esquema elétrico utilizado nas instalações. Dentre os mais comumente utilizados, podem ser citados aqueles indicados abaixo, os quais estão apresentados em ordem crescente de complexidade [Eletrobrás 82]. Tais arranjos são apresentados com maior detalhamento, incluindo seus diagramas esquemáticos, no apêndice ao final deste texto:

1) Barra Simples: É o arranjo que apresenta a máxima simplicidade possível, sendo composto de um barramento e as saídas de linhas conectadas a ele. Cada saída é dotada de um disjuntor e duas seccionadoras. Verificam-se baixa flexibilidade e confiabilidade uma vez que requer o desligamento total para manutenções e para expansão;

2) Barra Simples com Seccionamento: Considerando-se o arranjo anterior, o seccionamento aumenta discretamente o investimento inicial e a área necessária para implantação. A subestação continua sendo composta por apenas um barramento ao qual são interligadas duas linhas fontes e as saídas necessárias, todas dotadas de um disjuntor e duas chaves seccionadoras. No centro do barramento, há um disjuntor e duas chaves seccionadoras. Este arranjo permite manter uma parte da SE em operação no caso de falha, manutenção e ampliação;

3) Barra Dupla Disjuntor Simples: Em relação aos dois arranjos já descritos, este apresenta vantagens para condições de manutenção, falhas ou ampliações, sendo

desnecessário o desligamento, mas requer maior área para implantação. É composto de dois barramentos sendo cada saída ou fonte conectada a ambos através de chaves seccionadoras e um disjuntor. Também dispõe de um disjuntor de interligação entre as barras e duas seccionadoras;

4) Barra Dupla Disjuntor Simples com *By-Pass*: Considerando-se o arranjo sem *by-pass*, este apresenta a vantagem de permitir a manutenção do disjuntor de determinada saída sem desligamento, que é substituído pelo disjuntor de interligação. Semelhantemente ao arranjo anterior, é composto de dois barramentos sendo cada saída ou fonte conectada a ambos através de chaves seccionadoras e um disjuntor instalado entre duas outras chaves seccionadoras e ainda um *by-pass* com seccionadora em cada disjuntor. Também conta com um disjuntor de interligação entre as barras e duas seccionadoras;

5) Barra Principal e Transferência: Apresenta vantagens sobre os esquemas já apresentados anteriormente, pois permite a substituição e manutenção de disjuntor sem desligamento da carga, com um menor número de seccionadoras no arranjo e conseqüente simplicidade de operação. É composto de duas barras sendo uma denominada principal e a outra barra de transferência. As saídas de linha são conectadas à barra principal através de um disjuntor e duas chaves seccionadoras e à barra de transferência através de uma seccionadora. Entre as duas barras existe uma interligação dotada de um disjuntor e duas seccionadoras;

6) Barra Dupla Disjuntor Duplo: Apresenta a mesma vantagem do arranjo em barra principal e transferência, permitindo a manutenção de disjuntor sem desligamento da saída. As saídas de linha são conectadas a cada uma das barras através de um disjuntor e duas chaves seccionadoras;

7) Disjuntor-e-meio: Aplicável a um mínimo de quatro saídas, sendo um arranjo muito empregado no Brasil e nos Estados Unidos para SE de EAT. O custo é inferior ao arranjo em barra dupla disjuntor duplo, e requer maior espaço para implantação. É composto de duas barras que são interligadas através de dois segmentos onde são instaladas as saídas de linha. Cada saída de linha conta com uma chave seccionadora e é conectada à outra saída de linha e aos barramentos sempre intercalando com um

conjunto chave seccionadora-disjuntor-chave seccionadora. A visualização deste arranjo é um pouco mais complexa;

8) Disjuntor-e-um-terço: Apresenta alguma economia de equipamentos em relação ao arranjo disjuntor-e-meio, com o acréscimo de mais uma saída de linha ao segmento que interliga os dois barramentos. Entretanto, isto implica uma maior complexidade para operações de manobra, sendo, por isso, pouco recomendado;

9) Anel Simples: Somente aplicável a um pequeno número de saídas, pois em caso de manutenção de um disjuntor, a abertura de algum outro não adjacente irá dividir o anel, o que causa transtornos operacionais. Consiste basicamente em interligar cada saída de linha à outra, através do conjunto chave seccionadora-disjuntor-chave seccionadora, formando um anel. Em cada saída existe uma chave seccionadora para isolamento da linha.

É importante observar que as normas [ABNT 87-1] [ABNT 92] definem que a forma de interligação dos equipamentos é chamada de esquema elétrico e a disposição dos equipamentos fisicamente é denominada arranjo. Entretanto, neste trabalho, o termo arranjo será adotado como o esquema de interligação elétrica dos equipamentos por ser esta denominação a mais utilizada, na prática, pelos profissionais das empresas de energia elétrica.

Conforme visto, a disposição dos diversos componentes e a forma como são interligados caracterizam o arranjo da subestação. Os arranjos foram desenvolvidos visando obter melhorias na segurança do SEE, maior flexibilidade na operação, redução nos custos de implantação, facilidade de manutenção, maior confiabilidade, melhor aproveitamento do espaço disponível e preservação da viabilidade de expansão da subestação.

Conforme já citado no início deste item, os arranjos descritos são os mais utilizados pelas empresas de energia elétrica e encontram-se mais detalhados no apêndice, ao final deste texto.

### 3.2.2.2 Escolha do Tipo de Arranjo – Fatores Relevantes

Todos os pontos relevantes citados anteriormente influenciam a escolha do tipo de arranjo a ser adotado na subestação. A escolha deve seguir a avaliação criteriosa dos seguintes fatores [Eletrobrás 82]:

- Fatores técnicos: requisitos de continuidade do suprimento de energia, facilidades para as equipes de operação e manutenção da subestação em se tratando de manobras de transferência, intertravamentos, seletividade da proteção, religamento de elementos do sistema para falhas temporárias e facilidade de expansão [Corssen 79];
- Fatores econômicos: recursos financeiros disponíveis, custos estimados para implantação e manutenção, custo das perdas elétricas, custos de interrupções de serviço;
- Fatores locais: área disponível, condições climáticas, implicações ambientais e ecológicas e, por vezes, aspectos estéticos;
- Fatores sociais e políticos (principalmente em sistemas pioneiros);
- Previsões de expansão futura da subestação.

Tais fatores normalmente apresentam-se interrelacionados e nem sempre é possível separá-los. Além disso, não há possibilidade de um confronto meramente quantitativo, uma vez que somente alguns fatores são quantificáveis e os pesos de cada um podem ser variáveis conforme o projeto em questão, sendo um ou outro mais preponderante.

Apenas para ilustrar os critérios de escolha de arranjos, são aqui apresentados dois exemplos. No primeiro caso, a escolha foi o arranjo tipo “barra simples” que é utilizado em subestações menores onde as exigências de confiabilidade não são tão restritivas. No segundo caso, utiliza-se um arranjo um pouco mais elaborado, que é conhecido como “barra principal e transferência”.

A figura 3.1 mostra o diagrama unifilar do arranjo do tipo “barra simples”. Este é normalmente utilizado no estágio inicial de implantação de uma subestação ou em arranjos provisórios. Apresenta o mínimo de investimento inicial, máxima simplicidade e

grande facilidade para identificação de defeitos. Entretanto, possui baixa confiabilidade, pequena flexibilidade e requer desligamento total da SE no caso de necessidade de manutenção em qualquer dos componentes.

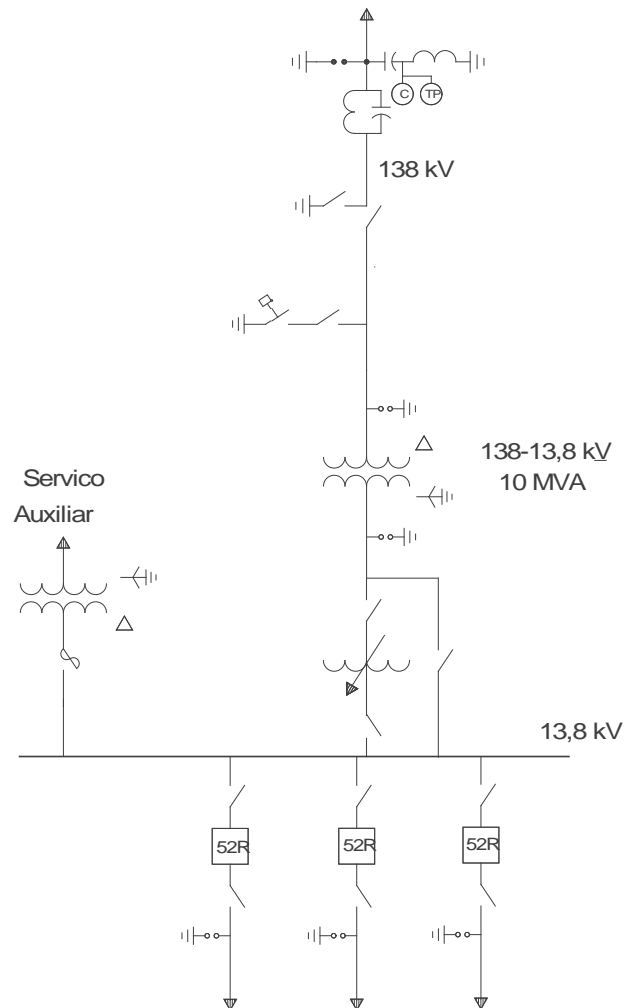


Figura 3.1 – Arranjo em Barra Simples [Gomes 02]

Já o arranjo “barra principal e transferência”, mostrado na figura 3.2, permite a substituição e manutenção de disjuntores (um de cada vez) sem o desligamento das cargas, apresentando uma grande confiabilidade do barramento principal, em função da

possibilidade de transferência. Além desses fatores, apresenta simplicidade operacional com pequeno número de seccionadores.

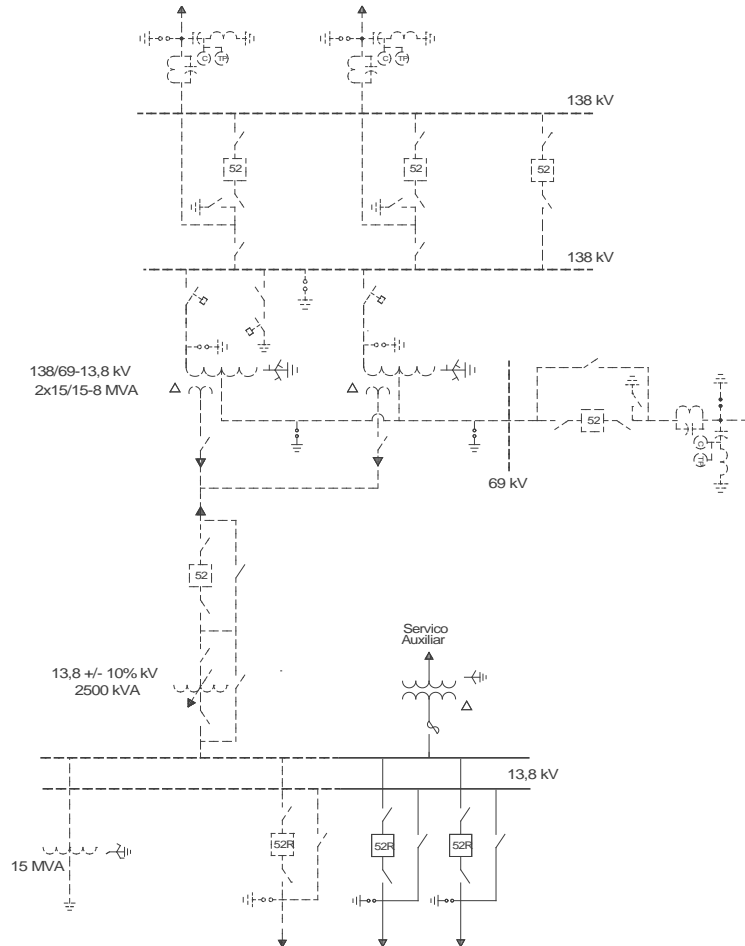


Figura 3.2 – Arranjo em Barra Principal e Transferência [Gomes 02]

### 3.3 Equipamentos das Subestações

As subestações são compostas por equipamentos que podem ser agrupados segundo a função que representam no sistema elétrico: transporte, proteção, medição e supervisão e controle.



## Equipamentos de Transporte

São os equipamentos de uma subestação que se destinam ao transporte da energia conectando os diversos circuitos existentes [Eletrobrás 90]. São eles:

- Barramentos: se destinam a realizar as conexões entre os diversos circuitos podendo ser rígidos ou flexíveis conforme o porte da subestação. As subestações podem possuir tantos barramentos quantos forem necessários para permitir a construção do arranjo desejado;
- Transformadores: são equipamentos destinados à elevação do nível de tensão de operação (subestação elevadora), redução do nível de tensão (subestação abaixadora) e mudança de fase (subestação defasadora);
- Reguladores de tensão: são equipamentos destinados à regulação da tensão de saída, quando o transformador não possui a função de regulação;
- Conversores/Inversores: destinam-se à conversão de corrente contínua em alternada ou vice-versa.

## Equipamentos de Proteção e Manobra

São equipamentos destinados a minimizar os efeitos produzidos por correntes de faltas, sejam elas causadas por curto-circuito ou sobrecarga, abrindo o circuito independentemente da carga por ele suportada. São eles:

- Disjuntores: dispositivos de proteção destinados a interromper circuitos que se apresentam em condições anormais de operação ou de emergência podendo também operar como dispositivos de manobra, abrindo ou fechando circuitos que estejam operando em condições normais [Cemig 02];
- Relés: dispositivos que atuam comandando a abertura de disjuntores quando da sensibilização por grandezas (frequências, tensões e correntes) de valores superiores ou inferiores aos de acionamento do relé, causadas por sobrecargas, falhas transitórias ou permanentes. Alguns relés são compostos de duas unidades sendo uma instantânea e outra temporizada [Cemig 02];

- Chaves Seccionalizadoras: são dispositivos projetados para interromper o circuito que elas manobram, abrindo seus contatos quando o circuito é previamente desenergizado por um equipamento de proteção situado na retaguarda, geralmente um religador, que possui a função de religamento automático [Eletrobrás 85];
- Religadores: é basicamente um dispositivo interruptor automático, que abre e fecha seus contatos, repetidas vezes, nos defeitos transitórios e bloqueia o fechamento para defeitos permanentes. Normalmente, o número de religamentos é limitado em 3 ou 4 tentativas [Cemig 02];
- Pára-Raios: são dispositivos destinados a limitar as sobretensões de faltas, provenientes do SEE ou devidas às descargas atmosféricas, em valores determinados, para impedir danos aos equipamentos da instalação e garantir a segurança de pessoas. A operação dos pára-raios consiste em conduzir a partir deste valor, bloqueando a condução quando as tensões retomam seus níveis normais de proteção. Os pára-raios convencionais utilizam *gaps* (distâncias entre os eletrodos) com resistores lineares em série. Quando o valor de sobretensão de proteção é atingido, o *gap* dispara e provê um caminho de baixa impedância para terra. Os pára-raios tipo óxido de zinco são resistores não lineares e dispensam o uso de *gaps*. Para o valor de tensão determinado para o sistema, o próprio componente provê um caminho de baixa resistência para terra [Eletrobrás 85];
- Centelhadores: são dispositivos de proteção que limitam o valor das sobretensões de falta ou de descargas atmosféricas, utilizando dois eletrodos ligados entre fase e terra. O comprimento do *gap* é ajustado para o valor de tensão de disparo. Entretanto, é um dispositivo que possui limitações de utilização, uma vez que, ao se atingir a tensão de disparo, ele mantém o estado de condução, mesmo quando as tensões retornam aos níveis normais de operação. Assim, o curto-circuito gerado pelo equipamento provoca a interrupção permanente do fornecimento de energia elétrica, exigindo a atuação das equipes de manutenção para seu restabelecimento [Eletrobrás 85];

- Fusíveis: são dispositivos para interrupção de corrente através de elos que se rompem e protegem o sistema, principalmente, contra surtos de manobra, mas atuam também como limitadores da corrente de curto-circuito.

### **Equipamentos de Medição**

- Transformadores de potencial (TP): são equipamentos destinados à medição que têm a função de isolar o circuito de menor tensão (secundário), onde se localizam os instrumentos, do circuito de maior tensão (primário) e, ao mesmo tempo, reproduzir, com fidelidade, os efeitos observados em regime permanente e em regime transitório no circuito do primário [Eletrobrás 85];
- Transformadores de corrente (TC): este equipamento também se destina a isolar o circuito de menor tensão (secundário) do circuito de potência (primário). Por se tratar de um transformador de corrente, ele possui um enrolamento primário que é ligado em série com o circuito de maior tensão, enquanto o secundário supre os medidores e relés com quantidades de corrente proporcionais ao circuito primário, mas reduzidas, para que os instrumentos possam ser fabricados em tamanho reduzido, considerando-se o ponto de vista de isolamento [Cemig 02].

### **Equipamentos para Compensação de Reativos**

A alocação adequada de blocos de compensação reativa permite melhorias no desempenho do sistema, atuando no perfil de tensão nos terminais da carga e na regulação de tensão. Proporcionam redução de perdas, através da redução da corrente no sistema, melhoria do fator de potência nas fontes geradoras e menor necessidade de expansões nas linhas para transporte de reativos. Destaca-se que tais benefícios somente são possíveis se o suprimento de reativos for bem dosado e bem localizado. São necessários, além de estudos específicos para definição do ponto de implantação, a correta manobra desses equipamentos. Dentre os equipamentos utilizados para compensação de reativos em subestações, destacam-se [Eletrobrás 82] [Eletrobrás 85]:

- Bancos de Capacitores Shunt: São compostos de associações série/paralelo de unidades capacitivas. São os equipamentos mais utilizados em função do menor custo de implantação, maior simplicidade de manutenção e uma grande

facilidade de expansão dos blocos de reativos, bastando acrescentar novas unidades capacitivas. Deve-se observar que a sobrecompensação *shunt* capacitiva pode trazer risco para a estabilidade de tensão do SEE, conforme detalhado em [Chaves 07];

- Reatores: São formados por bancos de unidades de enrolamentos monofásicos que são ligados em estrela aterrada ou não aterrada, conforme a aplicação em AT ou no terciário da transformação, respectivamente. Adicionalmente, atuam na redução de surtos de manobra;
- Compensadores Estáticos: Os compensadores estáticos podem ser de três tipos: reator saturado, reator controlado por tiristor e capacitor chaveado por tiristor. Pode ser utilizada uma combinação dos tipos relacionados. Os compensadores estáticos também atuam no controle de tensão em regime dinâmico;
- Compensadores Síncronos: São máquinas girantes que podem fornecer reativos capacitivos, quando operando sobre-excitadas, ou reativos indutivos, quando operando sub-excitadas. Os compensadores síncronos também são capazes de atuar no controle de tensão em regime dinâmico. São os equipamentos de compensação reativa que apresentam os maiores custos de implantação.

### **Equipamentos de Supervisão e Controle**

São equipamentos destinados a coletar informações e transmitir dados do sistema elétrico para o(s) centro(s) de operação. Tais dados devem permitir a supervisão e o controle do SEE. Dentre os componentes mais comumente encontrados, pode-se destacar [Vale 09]:

- O sistema de medição para aquisição dos dados, composto de sensores e medidores, utilizados para determinar os valores das grandezas relacionadas ao SEE, tais como: tensão, corrente, frequência, potência ativa, potência reativa, etc.;
- As estações remotas que recebem os dados do sistema e realizam um pré-processamento dos mesmos antes de enviá-los ao(s) Centro(s) de Supervisão e Controle hierarquicamente superior(es);

- O sistema de comunicação para transmissão dos dados entre o sistema e o(s) Centro(s) de Supervisão e Controle;
- O sistema computacional encarregado do processamento dos dados relativos ao processo de decisão de supervisão e controle.

### 3.4 Considerações Finais

Considerando os critérios de classificação geral das SE, apresentados neste capítulo, pode-se identificar o tipo de SE que constitui o foco principal deste trabalho: *subestações de transformação de distribuição AT (138 kV) para MT (13,8 kV)*. Isto se deve à sua aplicabilidade em grandes centros urbanos.

No que diz respeito aos fatores que influenciam a escolha dos arranjos das SE, citados neste capítulo, estes constituem um dos pilares do procedimento proposto nesta dissertação, uma vez que esta escolha é decisiva quanto à definição dos equipamentos a serem utilizados na subestação e, conseqüentemente, impacta diretamente na área necessária para implantação da mesma e no seu custo final.

Identificados os passos do planejamento de expansão e as principais características das SE, há informações suficientes para a elaboração de uma análise comparativa entre os tipos de subestações – Convencional, Híbrida e GIS. Tal comparação é fundamental para a escolha da melhor opção de planejamento sendo, portanto, tema do capítulo seguinte.

# 4

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS TIPOS DE SUBESTAÇÕES

*Neste capítulo é realizada uma análise comparativa entre os modelos de subestações - Convencional, Híbrida e GIS, avaliando os diversos aspectos relacionados à sua implantação. Essa comparação levanta as principais questões a serem consideradas na escolha do tipo mais adequado de SE.*

### 4.1 Considerações Iniciais

As questões aqui detalhadas, fundamentais para a escolha do tipo de subestação, foram elaboradas a partir da pesquisa e organização de diversos fatores que, embora relevantes ao processo, se mostravam dispersos ou pouco caracterizados. Tal organização foi preparada de maneira a subsidiar o desenvolvimento do procedimento proposto neste trabalho.

O capítulo parte da descrição dos tipos de subestações a serem avaliados (convencional, híbrida e GIS) nos seus aspectos construtivos e, posteriormente, promove a comparação entre eles.

A comparação entre os modelos de subestações é realizada com base na análise de diversos fatores relativos à sua implantação, dentre os quais os mais significativos se relacionam a: **Meio-ambiente; Espaço; Recursos Financeiros; Técnicos; Sociais; Políticos**. A cada um desses fatores estão relacionados importantes aspectos, os quais impactam de forma significativa a escolha do tipo de SE. Sob a ótica de implantação de um empreendimento em área urbana, os aspectos a considerar para cada fator são:

Meio-Ambiente: Obtenção da Licença Ambiental, tipo de ocupação na área em estudo (residencial, comercial ou industrial), existência de edificações tombadas pelo patrimônio histórico, existência de reservas ambientais, impacto visual, poluição, geração de ruídos, interferências eletromagnéticas e urbanismo e paisagismo da área da subestação;

Espaço: Verificação se os lotes disponíveis para aquisição possuem área suficiente para a implantação de uma subestação convencional, verificação quanto ao grau de ocupação da região, verificação quanto à regularidade do terreno e à possibilidade de verticalização desta subestação no caso de expansões;

Recursos Financeiros: Levantamento de custo do investimento (construção da SE), custos de operação, custos de manutenção, custo do m<sup>2</sup> do terreno na região, custo das obras de conexão na rede de MT/BT, custos de obras futuras que poderão ser adiadas com a implantação da SE, recursos de novas cargas que a SE tornará possíveis de serem atendidas, parcerias com consumidores que estejam interessados na implantação para alavancagem do investimento e, finalmente, no caso de SE existente, avaliação do ganho que poderá ser obtido com a venda do terreno atual e compactação da SE, utilizando um terreno menor;

Técnicos: Dentre os aspectos técnicos, pode-se destacar o grau de importância da subestação em estudo para o sistema elétrico regional, bem como, o número de consumidores que serão atendidos por ela. Destacam-se também a proximidade do terreno ao centro de carga a ser atendido, perdas elétricas, requisitos de continuidade, previsão de expansões futuras, dimensão das obras de conexão com a rede de MT/BT, flexibilidade da SE para manobras, existência de novas cargas a serem atendidas na região, segurança, prazos de implantação das obras da subestação e necessidade sistêmica destas obras, dimensão das obras de construção civil e, no caso de SE existente que será substituída, avalia-se a necessidade de modernização desta SE e a necessidade de obras de ampliação nesta ou em SE adjacente;

Sociais: Riscos para terceiros, necessidade de desapropriações, possibilidade de invasões no terreno da subestação, número de consumidores atendidos pela subestação e possibilidade de prejuízos para a imagem da empresa;

Políticos: Regras de ocupação e zoneamento urbano na região de implantação e interesses de autoridades, partidos políticos, associações de moradores, Organizações não Governamentais (ONG) e grupos diversos na implantação ou não do empreendimento.

A estratégia proposta neste trabalho se baseia na avaliação de tais fatores/aspectos para cada estudo de expansão, de acordo com suas especificidades.

## 4.2 Subestação Convencional

A subestação convencional caracteriza-se por possuir equipamentos que têm como meio isolante o ar. Este tipo de isolamento é o mais antigo nos sistemas de alta tensão e, com exceção dos transformadores que, construtivamente, possuem o isolamento a óleo interno, todos os demais equipamentos da subestação convencional são normalmente isolados a ar. A SE convencional, conforme já comentado, é a mais empregada atualmente nas redes elétricas.

Por esse motivo, os projetos executivos das subestações têm que obedecer às distâncias de afastamento elétrico, que são as distâncias mínimas que devem ser mantidas, no ar, entre as partes energizadas de equipamentos, ou entre os condutores, ou entre os barramentos horizontais e o solo. Esta distância mínima é formada por dois valores. O primeiro valor, chamado de zona de segurança, que é estabelecido em função da movimentação livre de pessoal e da natureza dos trabalhos a serem efetuados, levando em conta os dispositivos (ferramentas, objetos, etc.) que serão usados na área da subestação. Para esta zona, a norma [ABNT 87-2] estabelece o valor fixo de 2,25m, que corresponde, em média, a uma pessoa de 1,75m de altura, com os braços levantados. O segundo valor foi fixado de modo a evitar o risco de arco elétrico nas condições mais desfavoráveis. O valor de distância mínima de isolamento (2,25m) é acrescido de um fator que considera a umidade nas instalações, chamado de distância mínima entre fase e terra ou distância à massa. Este valor, definido por norma é de 0,75m para tensões de até 69 kV. Portanto, para movimentação de pessoal sob os barramentos, a altura mínima sobre o solo foi estabelecida em 3,0m [Eletrobrás 85], que é a soma dos dois fatores.



Na tabela 4.1 [ABNT 87-2], que mostra o afastamento elétrico em subestações externas, para cada nível de tensão nominal e tensão suportável nominal de impulso atmosférico, são indicadas as distâncias de afastamento mínimo entre equipamentos e terceiros para os circuitos de uma SE convencional, de forma a garantir a segurança.

Tabela 4.1 – Afastamentos Elétricos em Subestações Externas

Extraída da Norma NBR 5459

| Afastamentos Elétricos em Subestações Externas |                                   |  |                  |           |                |                    |                                      |   |  |             |                         |
|--|-----------------------------------|--|------------------|-----------|----------------|--------------------|--------------------------------------|---|--|-------------|-------------------------|
| Tensão Nominal (kV)                            | Tensão Máxima do Equipamento (kV) | Tensão Suportável de Impulso Atmosférico (kv crista) | Espaçamentos (m) |           |                |                    | Espaçamento de Fases com Equipamento | Altura Mínima de Barramento Horizontal sobre o Solo (m) | Altura Mínima Recomendada sobre Estradas (m) |             | Nº Isoladores na cadeia |
|  |                                   |  | Fase-Terra       | Fase-Fase | Mesmo Circuito | Circuito Diferente |                                      |   | Secundária                                   | de Serviços |                         |
|  |                                   |  |                  |           |                |                    |                                      |   |  |             |                         |
| 13,8   | 15,0                              | 110  | 0,20             | 0,30      | ---            | ---                | 3,0                                  | ---   | 6,0  | 2           |                         |
| 34,5   | 38,0                              | 200  | 0,38             | 0,48      | ---            | ---                | 3,0                                  | ---   | 6,0  | 4           |                         |
| 69,0   | 72,5                              | 350  | 0,69             | 0,79      | 2,0            | 3,0                | 3,0                                  | 4,55  | 6,0  | 6           |                         |
| 138,0  | 145,0                             | 550  | 1,10             | 1,25      | 2,5            | 4,0                | 3,6                                  | 4,55  | 7,5  | 10          |                         |
| 138,0  | 145,0                             | 650  | 1,30             | 1,45      | 3,5            | 5,0                | 3,6                                  | 5,60  | 7,5  | 10          |                         |
| 230,0  | 242,0                             | 850  | 1,60             | 1,90      | 4,0            | 6,0                | 4,5                                  | 5,60  | 8,5  | 16          |                         |
| 230,0  | 242,0                             | 950  | 1,70             | 2,10      | 4,0            | 8,0                | 4,5                                  | 5,60  | 8,5  | 16          |                         |
| 230,0  | 242,0                             | 1050   | 1,90             | 2,30      | 4,0            | 8,0                | 4,5                                  | 5,60  | 8,5  | 16          |                         |

Assim, os equipamentos existentes nas SE convencionais devem possuir dimensões tais que tornem possível garantir as distâncias mínimas estabelecidas.

Além do ar como meio isolante, a subestação convencional utiliza isoladores como suporte das partes condutoras, que poderão ser de vidro, porcelana ou poliméricos. Dentre os problemas mais comuns verificados em uma SE convencional isolada a ar destacam-se [Fröhlich 03]:

- Poluição nos isoladores, podendo, em presença de umidade, causar curto-circuitos;
- Emissão de ruídos pelos condutores e transformadores.

Vale destacar, também, que, no caso da utilização de condutores flexíveis na subestação, os espaçamentos deverão ser definidos em função da pior condição de carregamento destes condutores, ou seja, na posição de maior flecha dos cabos. Já os condutores rígidos (barramentos) não apresentam grandes deflexões e, por isso,

necessitam de espaçamentos inferiores. A título de ilustração, as figuras 4.1 e 4.2 apresentam fotos de SE tipo convencionais isoladas a ar.



Figura 4.1 – Foto de SE convencional Nestlé S.A. – Araras – SP – SE 138 kV - 20 MVA

Fonte: [www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)



Figura 4.2 – Foto de SE convencional US Santa Terezinha – Tapejara – PR  
SE 138-13,8 kV – 62,5 MVA – Fonte: [www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)

### 4.3 Subestação Compacta Blindada Isolada a Gás

As subestações compactas caracterizam-se pela otimização de espaço, em função da compactação e agrupamento dos componentes em módulos que são, posteriormente, encapsulados e o isolamento é feito através de um gás injetado neste encapsulamento [Peled 86]. Estas características construtivas permitem a redução do espaço de implantação com diminuição significativa dos espaços entre os componentes e das dimensões finais dos mesmos. A área ocupada por uma SE compacta blindada isolada a gás é de 20 a 30% da área necessária para uma SE convencional [Peixoto 05].

Segundo informações dos fabricantes, estas subestações podem ser construídas de acordo com as necessidades do cliente, estando disponíveis em todos os tipos de arranjos, formatados em módulos que podem ser acoplados [Vatech 01]. O acoplamento dos módulos se dá através de flanges, com *o-rings* para selagem e dilatação térmica. Cada módulo possui seu próprio sistema de monitoramento do gás, válvula de segurança e filtro [Siemens 07]. Além disso, o isolamento a gás praticamente elimina problemas de corrosão e minimiza ações de manutenção [Peixoto 05]. Estima-se que a primeira inspeção se dá após 25 anos de operação da subestação e a expectativa de vida útil deste tipo de SE é de mais de 50 anos [Siemens 07]. O isolamento a gás também contribui para uma maior segurança na instalação, com a redução dos riscos de choques elétricos, mesmo em condições ambientais extremas, como alto índice de poluição, alta umidade e baixas temperaturas (a faixa de operação desta SE é de -25 a 40 °C). O encapsulamento dos equipamentos também contribui para uma baixa emissão de ruídos e de campos eletromagnéticos [Siemens 07].

Em função desses fatores, a utilização dessas subestações em grandes centros urbanos, onde os espaços são reduzidos e existe grande proximidade de outras edificações, tem sido cada vez mais requerida.

Destaca-se, também, uma maior segurança para a operação em função dos monitoramentos e proteções que são incorporados aos módulos componentes da subestação e testados em fábrica; em função disso, menores tempos de montagem e ensaios de campo são obtidos [Vatech 01].

O gás mais comumente usado no isolamento é o SF<sub>6</sub>, hexafluoreto de enxofre. O SF<sub>6</sub> é um composto químico, sintético, inorgânico e que, sob pressão, garante uma capacidade de isolamento confiável. Este gás não se degrada pela ação do tempo, é estável e inerte. O gás também é transparente, inodoro e não inflamável. O isolamento através de SF<sub>6</sub> também evita a oxidação e outras reações químicas nos equipamentos, em função da estabilidade deste composto que, praticamente, não reage com nenhum outro material. A deteriorização do gás durante a operação e extinção de arcos em equipamentos tais como disjuntores é desprezível [Eletrobrás 85]. O SF<sub>6</sub> puro não é venenoso, sendo permitido inalar uma mistura de 80% ar e 20% de SF<sub>6</sub> sem nenhum risco. Entretanto, como ele é 6 vezes mais pesado que o ar, possui a tendência de se acumular em tubulações ou galerias subterrâneas, o que pode ser perigoso, havendo risco de sufocamento por falta de oxigênio nessas circunstâncias [Fröhlich 03].

Em pressão atmosférica normal, o SF<sub>6</sub> é um dielétrico com resistividade cerca de 2,5 vezes maior que a do ar. O gás é empregado na indústria de energia elétrica a uma pressão de 3 a 5 atmosferas e, nestas condições, sua propriedade como dielétrico é cerca de 10 vezes melhor que a do ar. Sua capacidade de isolamento se deve ao fato de ser um gás eletronegativo, ou seja, as suas moléculas absorvem os elétrons livres, extinguindo o arco [Kuffel 00].

O SF<sub>6</sub> é um dos gases listados como causadores de efeito estufa no Protocolo de Kyoto. Entretanto, conforme citado em [Fröhlich 03], os mais recentes estudos do Cigré, realizados em conformidade com a ISO 14.000, indicaram que a contribuição deste gás para o aquecimento global, através da indústria de energia elétrica, é de apenas 0,1%. Desta forma, este gás tem uma contribuição insignificante, quando comparado aos demais causadores do efeito estufa, como CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O. Mesmo assim, os fabricantes investem cada vez mais em dispositivos para controle de emissões do SF<sub>6</sub>, melhoria na vedação dos equipamentos, reciclagem do gás ou sua remoção do ecociclo. Prevê-se que a contribuição deste gás para o efeito estufa, proveniente da indústria de energia elétrica, terá sido reduzida para 0,04% em 2010 [Fröhlich 03]. Os fabricantes estimam que o escape de gás para a atmosfera, por compartimento da subestação, é, no mínimo, menor que 0,5% ao ano [Siemens 07]. Conforme já citado, a SE compacta blindada isolada a gás SF<sub>6</sub>, GIS, é de especial interesse para este trabalho, devido principalmente ao seu potencial de aplicabilidade em centros urbanos. A título de

ilustração, as figuras 4.3 e 4.4 apresentam fotos de subestações tipo blindadas isoladas a gás.



Figura 4.3 – Foto de SE GIS – GIS8DN9 245kV – Fonte: [www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br)



Figura 4.4 – Foto de SE GIS – KN0BRA0103 138 kV – Fonte: [www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br)

#### 4.4 Subestação Híbrida

A SE híbrida é uma composição de partes dos dois outros tipos apresentados anteriormente, onde apenas parte da subestação é compactada e isolada a gás, normalmente a parte de alta tensão. Na compactação do módulo de alta tensão, consegue-se uma redução mais significativa das distâncias elétricas e, conseqüentemente, a redução da área ocupada pela subestação. Também podem ser compactados e isolados a gás os cubículos de média tensão, obtendo redução adicional na área necessária para implantação da SE. A exceção é o transformador, que é do tipo convencional isolado a óleo [Peled 86]. Em termos de área ocupada, estima-se que ela é cerca de 40 a 50% daquela destinada à implantação de uma SE convencional, considerando a compactação do módulo de AT. Destaca-se que estes percentuais podem variar, em função da quantidade de componentes compactados na SE. As figuras 4.5 e 4.6 apresentam fotos de uma subestação híbrida, tiradas recentemente em visita técnica à AES – Eletropaulo.



Figura 4.5 – Foto de SE Híbrida – SE Itaim – 138-13,8 kV – 120 MVA – Módulo de AT isolado à SF<sub>6</sub>



Figura 4.6 – Foto de SE Híbrida – SE Itaim – 138-13,8 kV – 120 MVA – Transformadores convencionais abrigados

## 4.5 Comparação entre Subestações Convencionais, GIS e Híbridas

Neste item, é feita uma comparação entre as subestações convencionais, GIS e híbridas, considerando os fatores e aspectos descritos no início deste capítulo. O objetivo desta comparação é mostrar vantagens e desvantagens de cada tipo de SE em diversas situações.

### 4.5.1 Fator Meio Ambiente

Os seguintes aspectos podem ser relacionados para se avaliar o tipo de subestação a ser implantado, considerando-se o fator meio ambiente:

- Licença ambiental: A facilidade de obtenção da Licença Prévia para implantação de um empreendimento depende essencialmente do impacto que este irá causar no meio ambiente da região envolvida e da possibilidade de proposição e

efetivação de medidas mitigadoras para tais impactos. Estes são avaliados pelo EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/Resumo dos Impactos ao Meio Ambiente) preparado na fase inicial de projeto, tendo como base a avaliação ambiental preliminar, elaborada no estudo de planejamento. São levantados também os custos ambientais que, basicamente, se referem aos custos das medidas mitigadoras dos impactos gerados pelo empreendimento. A subestação convencional apresenta maiores impactos em termos de área afetada, geração de ruídos e poluição visual. Entretanto, nas subestações isoladas a gás SF<sub>6</sub>, esperam-se restrições relativas ao uso deste gás, em função do Protocolo de Kyoto;

- Impacto visual: as subestações convencionais normalmente implicam um impacto visual mais significativo, em função da maior área ocupada e da exposição dos equipamentos. Pode-se minimizar este aspecto com a escolha de uma área em um ponto de menor altitude, de forma que a SE convencional não fique tão exposta. Outra possibilidade de redução do impacto visual é a implantação da SE convencional abrigada, com a sua construção dentro de uma edificação. Entretanto, esta opção não minimiza significativamente a área ocupada pela SE. A necessidade de minimizar impactos visuais, seja em função de regras de ocupação da região ou de interesse por parte da população, é normalmente verificada em áreas onde estes podem influir no valor dos imóveis adjacentes. Isto é relevante no caso de vizinhança residencial, em bairros com população de alto valor aquisitivo, ou ainda, em bairros onde existam imóveis tombados pelo patrimônio histórico. Nestes casos, a implantação de uma GIS minimiza o impacto visual, em função da menor área ocupada e dos equipamentos abrigados. No caso de uma subestação híbrida abrigada, este impacto também será reduzido. O impacto visual da implantação de uma subestação também pode ser minimizado através de um projeto de urbanismo e paisagismo na área de implantação, levando-se em conta que, quanto maior a área ocupada pela SE, maior será a extensão deste projeto paisagístico e, conseqüentemente, os custos para sua viabilidade;
- Em áreas onde se verifica um alto grau de poluição atmosférica a subestação tipo convencional também fica em desvantagem, pois a poluição afeta a



qualidade do isolamento do ar, além de implicar maior necessidade de limpeza dos equipamentos expostos para evitar problemas na sua operação. No caso dos equipamentos isolados a gás, este problema não é verificado, em função do encapsulamento dos mesmos, que não permite contato com o meio externo;

- No que diz respeito à geração de ruídos, isto pode ser minimizado por meio da aquisição de transformadores de baixo ruído ou de construção abrigada, no caso da SE convencional, ou pela adoção de SE GIS que, praticamente, elimina este problema. Sob este aspecto, uma subestação híbrida fica numa posição intermediária, pois apenas parte dos equipamentos é encapsulada;
- O aspecto clima pode ser de grande influência em casos mais extremos, onde se verifique uma elevada umidade que, juntamente com altos níveis de poluição, podem resultar na redução dos níveis de isolamento dos equipamentos. Neste caso, as subestações com componentes encapsulados, SE GIS ou SE híbrida, podem ser as mais indicadas, enquanto a SE convencional fica em desvantagem, por possuir equipamentos expostos e, portanto, mais suscetíveis a este tipo de problema;
- Com relação ao aspecto de geração de interferências eletromagnéticas, verifica-se o melhor desempenho na SE GIS, seguido pela SE híbrida e, finalmente, a SE convencional. Esta última possui o pior desempenho neste aspecto, uma vez que os equipamentos não são encapsulados como nas demais. Contudo, este pode ser minimizado na SE convencional, adotando-se o padrão abrigado.

#### **4.5.2 Fator Espaço**

Com referência ao fator espaço, conforme já mencionado, as subestações GIS ocupam cerca de 20% a 30% da área de uma SE convencional [Peixoto 05], enquanto nas SE híbridas a dimensão é em torno de 40 a 50%. Em centros urbanos, com grau de ocupação elevado e terrenos valorizados, este fator torna-se preponderante. Além disso, pode não haver área disponível para a implantação de uma SE convencional, deixando a SE GIS como a única opção possível. Este último tipo de SE, diferentemente dos demais, pode ser verticalizada, permitindo expansões futuras sem

aumento da área ocupada. O aspecto de área para implantação da SE também é significativo quando os terrenos disponíveis são muito irregulares e a necessidade de terraplenagem ou construção de muros de contenção encarecem a obra. Assim, uma SE que necessite de uma menor área para implantação torna-se mais adequada.

#### 4.5.3 Fator Recursos Financeiros

Considerando o fator recursos financeiros, podem ser feitas as seguintes observações:

- Quanto aos custos de investimentos para as subestações (obras e equipamentos), tomando como base o custo de uma SE convencional, a SE híbrida possui um custo cerca de 50% superior e a SE compacta isolada a gás cerca de 80% superior; logo, neste quesito, a SE convencional é a mais atrativa;
- Com referência aos custos de operação, as SE compactas e híbridas levam ligeira vantagem no que diz respeito à possibilidade de automatização de vários equipamentos, pois as partes encapsuladas já vêm de fábrica com dispositivos de automatização a eles acoplados reduzindo custos;
- Com respeito aos custos de manutenção tem-se: os custos de uma GIS são estimados em 10% daqueles da SE convencional, pois, segundo os fabricantes este tipo é praticamente isento de manutenção [Jacobsen 01]. Já os custos da subestação híbrida são estimados em de cerca de 40% do custo de manutenção da SE convencional;
- Os custos referentes a obras futuras de ampliação de uma subestação existente, no caso de se tratar de substituição, ou o de ampliação de uma SE adjacente já prevista, devem ser considerados, pois a implantação da subestação em estudo pode adiar ou até extinguir a necessidade desta outra obra. Esta consideração pode ter impacto na escolha do tipo de SE a ser utilizado;
- Também devem ser avaliadas as parcerias que poderão ser firmadas com consumidores, em particular, no caso de interesse pela implantação de uma SE compacta isolada a gás, de forma a minimizar impactos visuais, interferências e

ruídos no entorno da subestação. Estas parcerias são normalmente identificadas em regiões onde exista algum empreendimento imobiliário de alto nível, grandes centros comerciais (*shopping centers*), sedes administrativas do poder público ou algum consumidor específico. Havendo este interesse, pode-se conseguir alavancar o investimento, mesmo se tratando de uma obra de maior custo [Lopes 09];

- Outro ponto a ser considerado é a contabilização de recursos gerados por cargas de novos consumidores que não poderiam ser atendidos sem a construção da subestação em estudo;
- Deve-se considerar também o custo do m<sup>2</sup> do terreno na região onde se pretende implantar a subestação e, no caso de regiões altamente valorizadas, os valores a serem despendidos na compra do terreno para implantação de uma SE convencional. Estes podem viabilizar a implantação de uma SE GIS. No caso de haver uma subestação candidata a substituição em uma região altamente valorizada, a venda do terreno onde ela se encontra em operação, ou de parte dele, poderá ajudar a alavancar a construção de uma SE GIS, utilizando uma pequena parte do mesmo terreno, ou até, em outro terreno de menor valor [Jacobsen 01]. Um bom exemplo desta situação é apresentado na referência [Lopes 09], que trata da substituição da SE convencional Itaim (AES - Eletropaulo) por uma SE tipo híbrida abrigada com aproveitamento do terreno restante em um empreendimento imobiliário de alto padrão aquisitivo.

#### 4.5.4 Fatores Técnicos

Quanto aos fatores técnicos, podem ser destacados os seguintes aspectos:

- O primeiro ponto a ser avaliado é o grau de importância da subestação em estudo para o sistema elétrico regional, verificando se falhas nesta SE poderão afetar outras adjacentes. Caso a subestação seja de grande importância para o sistema, justifica-se um maior investimento em uma SE compacta isolada a gás;

- Em seguida, avalia-se o número de consumidores atendidos pela SE em questão e a possibilidade de transferência de cargas para subestações adjacentes. Quanto maior for o número de consumidores atendidos pela SE e a dificuldade de transferência de cargas, justifica-se um maior investimento na subestação a ser implantada. Em caso de subestações que atendam a um grande número de consumidores, é exigido um maior grau de confiabilidade, podendo-se utilizar equipamentos isolados a gás que, apesar do maior custo, justificam-se neste caso;
- Regiões mais densamente povoadas e que possuam centros comerciais, hospitais e empresas, normalmente, exigem requisitos de continuidade mais severos e, nestes casos, justifica-se o investimento em uma SE GIS de forma a minimizar as interrupções;
- Destaca-se também a proximidade do centro de carga que será atendido pela subestação. No caso do terreno escolhido para implantação ser próximo ao centro de carga em uma região densamente ocupada, pode ser necessária uma subestação que ocupe menor área, de forma a garantir esta proximidade. Assim, a SE GIS pode ser uma opção mais interessante que as demais;
- Caso a região em estudo possua novas cargas a serem atendidas pela subestação, a sua proximidade a estas cargas deve ser avaliada e, se possível, deverá ser implantada na menor distância possível das mesmas. Também neste caso, verificam-se ganhos na implantação de uma SE GIS, caso as áreas disponíveis nas proximidades das cargas sejam insuficientes para a implantação da SE convencional ou híbrida;
- No que diz respeito às perdas elétricas, as análises de fluxo de potência indicam qual a alternativa que as minimizam e este aspecto deve ser levado em conta tanto nas análises técnicas, quando nos aspectos financeiros da avaliação. Uma subestação que se encontre próxima às cargas a serem atendidas, normalmente, minimiza as perdas que são verificadas nas redes de MT/BT, fato que pode favorecer a implantação de uma SE GIS;

- Outro aspecto técnico a ser considerado é a dimensão das obras de conexão da SE com a rede de MT/BT. Devem ser avaliados não apenas os custos das conexões, mas também questões decorrentes da implantação da subestação (níveis de tensão inadequados, aumento de perdas elétricas, etc.). Uma subestação que seja implantada mais próxima às conexões com a rede de MT/BT será mais interessante, reduzindo a possibilidade de perdas e quedas de tensão, melhorando a qualidade da energia ofertada aos consumidores. Assim, a escolha do tipo de SE a ser implantada dependerá também das áreas disponíveis nas proximidades das conexões com a rede e, em caso de áreas reduzidas, conforme já mencionado, a SE GIS apresenta-se mais vantajosa que as demais;
- Outro ponto a ser avaliado é a previsão de expansões futuras na subestação, considerando-se a área disponível no terreno. A área para a implantação de uma SE já deve contar com todo o espaço disponível para ampliações desde a sua aquisição. Isto pode ser complicado, em se tratando de uma região já urbanizada, considerando-se as opções de SE convencional ou híbrida. Nas subestações GIS, além destas necessitarem de uma menor área para implantação, existe a possibilidade de verticalização da subestação, o que também minimiza a necessidade de área para ampliações;
- Considerando-se o aspecto de flexibilidade da SE para manobras, não se observam diferenças significativas entre os tipos de subestações, pois, seja ela convencional, híbrida ou GIS, o arranjo escolhido deverá prover as manobras solicitadas. Entretanto, caso um tipo de subestação apresente restrição a algum tipo de arranjo, este aspecto deverá ser considerado nas análises;
- Considerando-se o aspecto segurança, verifica-se um grande ganho na implantação de uma subestação GIS, pois o encapsulamento dos componentes minimiza riscos de acidentes com terceiros ou mesmo com funcionários das concessionárias de energia elétrica. Caso os requisitos de segurança sejam grandes e a subestação esteja em região sujeita a invasões e/ou vandalismo, este tipo de SE será o mais indicado;

- O prazo de implantação das obras da SE é relevante apenas se algum dos tipos de subestações avaliados necessite de um prazo para implantação maior que a necessidade sistêmica das obras. Sabe-se que o prazo de implantação de uma subestação convencional ou híbrida é em torno de 36 meses, considerando-se que a empresa esteja sujeita à lei 8666/93 que exige realização de licitações para todas as etapas da obra. Em função da menor necessidade de obras civis, o prazo de implantação de uma SE GIS pode ser um pouco menor, em torno de 28 meses. Além disso, os prazos de testes em uma subestação compacta são menores, tendo em vista que os módulos já vêm pré-testados de fábrica e com todos os equipamentos de medição e automação já incorporados;
- Dentre os aspectos técnicos, também cabe avaliar a dimensão das obras de construção civil para a implantação da subestação, que serão muito extensas no caso de se tratar de um terreno com desníveis muito significativos e necessidade de terraplenagem e construção de muros de arrimo, além do sistema de escoamento e drenagem. Quanto maior a área necessária para a subestação, normalmente, maiores são as obras civis envolvidas;
- Finalmente, caso o estudo contemple a construção de uma nova SE em substituição a uma SE existente, com a conseqüente desmontagem desta última, deve-se avaliar se a mesma apresenta necessidade de modernização e de melhorias nos requisitos de automação. Como já mencionado, também devem ser levados em conta os custos de ampliação desta SE ou de alguma SE adjacente já previstos no plano de obras. Todos estes custos: de modernização e melhorias, bem como os de ampliações devem ser computados durante o processo de análise, pois a relevância de tais requisitos influenciam a escolha do tipo de SE.

#### 4.5.5 Fatores Sociais

Considerando-se os fatores sociais, inicialmente, deve-se avaliar:

- O número de consumidores a ser atendido pela SE a ser construída e em que medida o *atendimento* prestado pela empresa de energia elétrica tem sido

satisfatório. Em caso de constantes interrupções ou tensão fora da faixa adequada, a *imagem da empresa* poderá estar sendo prejudicada e, neste caso, a implantação de uma obra de reforço torna-se imprescindível. Conforme o número de consumidores afetados, tem-se uma idéia do grau de importância desta SE e justifica-se um maior investimento em uma subestação GIS;

- A necessidade de desapropriações para a implantação do empreendimento pode afetar o prazo e o custo da obra, em função das ações judiciais conseqüentes [Peixoto 05]. Este é um aspecto não desejado para o empreendimento. Entretanto, considerando-se o caso de uma obra imprescindível para o SEE, a subestação com menor área de ocupação será a mais adequada, ou seja, neste caso também se recomenda a implantação de uma subestação GIS, em função da necessidade de menor número de desapropriações;
- O risco para terceiros oferecido pela subestação. Uma subestação convencional e uma subestação híbrida possuem equipamentos expostos que podem causar acidentes ou interrupções devido a vandalismo. Em uma subestação GIS, estes riscos praticamente inexistem, uma vez que os equipamentos são encapsulados. Portanto, deve-se avaliar a possibilidade de invasões no terreno da subestação, pois, neste caso, há prejuízos para a imagem da empresa tanto no sentido de interrupção no fornecimento, quanto no sentido do desgaste gerado pelo acidente propriamente dito.

#### 4.5.6 Fatores Políticos

Dentre os fatores políticos, que podem influenciar a escolha do tipo de subestação, destacam-se:

- O levantamento das regras de zoneamento urbano, conforme definição da prefeitura do município de implantação, para identificar algum eventual empecilho a este tipo de empreendimento na região de interesse. Algumas regiões possuem limitação de altura nas edificações, definidas nas regras de zoneamento urbano. Este ponto deverá ser levado em conta quando se tem uma área com grande perspectiva de crescimento na demanda de energia e, no caso

de implantação de uma SE GIS, a possibilidade de verticalização desta para ampliação ficaria comprometida;

- Também pode-se relacionar algum interesse ou obstáculo de autoridade, grupo ou partido político que poderá afetar a definição quanto ao tipo de subestação a ser implantado.

## 4.6 Considerações Finais

Conforme verificado neste capítulo, são diversos os fatores que influenciam a implantação de uma subestação: meio-ambiente, espaço, recursos financeiros, técnicos, sociais e políticos. Estes fatores se subdividem em outros tantos aspectos, que devem ser avaliados na definição do tipo de subestação a ser implantado em centros urbanos.

Foram denotadas situações onde as subestações GIS podem se tornar a opção mais adequada, principalmente nos centros urbanos. Entretanto, o exposto no texto mostra que a definição do tipo de SE não é trivial, reforçando a necessidade de se elaborar um procedimento de auxílio ao planejador no processo de escolha. Por outro lado, sugere que as questões levantadas, da forma como foram organizadas, poderiam ser ponderadas e trabalhadas de tal maneira a gerar uma estratégia de decisão.

Diante das condições expressas acima, obteve-se a motivação necessária para a proposição de um procedimento aplicado à expansão, conforme detalhado no capítulo seguinte.



# 5

## PROPOSTA DE PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DAS SUBESTAÇÕES TIPO GIS

*Neste capítulo é apresentado o procedimento para análise da aplicabilidade de subestações GIS em centros urbanos, visando permitir uma melhor avaliação por parte do planejador e ajudar na tomada de decisão quanto ao tipo de subestação a ser utilizado. Partindo da avaliação dos aspectos já descritos no capítulo anterior, é proposta uma estratégia, sob forma de tabela, projetada para uso na prática do planejamento.*

### 5.1 Considerações Iniciais - Avaliação da Relevância dos Aspectos Pesquisados

O procedimento proposto neste capítulo baseia-se na avaliação da relevância dos aspectos identificados no capítulo 4 nos estudos de planejamento que dizem respeito à escolha do tipo de SE. Tal avaliação foi elaborada considerando o grau de influência de impactos negativos de cada um dos aspectos levantados no empreendimento sob análise e constitui a base da estratégia adotada pelo procedimento.

Para se identificar o grau de influência dos fatores na implantação da subestação, é sugerida uma pontuação para cada um dos aspectos a eles relacionados, os quais são agrupados conforme sua **relevância** no processo decisório: (i) **alta** relevância, (ii) **média** relevância, (iii) **baixa** relevância.

Os aspectos já agrupados de acordo com sua relevância são pontuados conforme o seu grau de **influência negativa** no empreendimento. A classificação se dá nos seguintes grupos: (i) **alta** influência, (ii) **média** influência, (iii) **baixa** influência.

Aos grupos definidos é sugerida uma pontuação de 0 a 100 conforme detalhado a seguir.

Ressalta-se que esta avaliação constitui uma das contribuições mais significativas dessa dissertação, pois resulta de intensa investigação sobre os diversos pontos que mais influenciam nas alternativas de planejamento. Isto envolveu a integração de conhecimentos de ordem acadêmica e prática referentes ao planejamento da expansão do SEE, aspectos construtivos e de projeto de subestações, meio ambiente, avaliação econômica, dentre outros. É importante frisar, mais uma vez que, apesar do procedimento possibilitar uma visão sobre a implantação de todos os tipos de SE, sua maior contribuição se dá na medida em que traz elementos que possibilitam a inclusão da GIS nas análises.

De certa forma, a avaliação proposta se encaixa no contexto de uma Análise de Cenários, estratégia tradicionalmente utilizada nos estudos de planejamento. Certo grau de subjetividade é inerente à pontuação da influência dos aspectos nas avaliações. Entretanto, o procedimento permite verificar a influência da alteração das condições inicialmente levantadas para cada um dos aspectos. Uma continuidade natural desta proposta seria o seu aprimoramento por meio da aplicação de métodos científicos, tais como as técnicas para avaliação de riscos, onde a subjetividade poderia ser minimizada.

### **5.1.1 Classificação da Relevância dos Aspectos Pesquisados**

#### **(i) Aspectos de alta relevância**

**Meio ambiente** – Licença ambiental, impacto visual, área residencial e área com edificações históricas;

**Espaço** – Suficiente para SE convencional, insuficiente para SE convencional, terreno regular, alto grau de ocupação da região e possibilidade de verticalização da SE;

**Recursos financeiros** – Custo do investimento (construção da SE), custo de obras futuras (ampliação ou reforma), parcerias com consumidores, custo do m<sup>2</sup> do terreno e venda de parte do terreno (SE existente);

**Técnicos** – Proximidade do centro de carga, importância da SE para o SEE, número de consumidores atendidos pela SE, perdas elétricas, previsão de expansões futuras, necessidade de ampliação da SE ou adjacente, segurança, prazo de implantação e requisitos de continuidade;

**Sociais** – Riscos para terceiros, necessidade de desapropriações e possibilidade de invasões;

**Políticos** – regras de ocupação da área (prefeitura), obstáculos para implantação ou interesses para implantação.

**(ii) Aspectos de média relevância**

**Meio ambiente** – Área comercial/industrial, poluição atmosférica e geração de ruídos;

**Espaço** – Dificuldades de acesso;

**Recursos financeiros** – Custos de manutenção e recursos resultantes de novas cargas atendidas;

**Técnicos** – Obras de conexão com a rede MT/BT, atendimento de novas cargas, necessidade de modernização da SE e dimensão das obras de construção civil;

**Sociais** – Número de consumidores atendidos pela SE e riscos para a imagem da empresa.

**(iii) Aspectos de baixa relevância**

**Meio ambiente** – Urbanismo e paisagismo da SE, clima e interferências eletromagnéticas;

**Recursos financeiros** – Custos de operação da SE;

**Técnicos** – Flexibilidade para manobras (operação da SE).

### 5.1.2 Pontuação da Influência dos Aspectos

Os aspectos pesquisados são agrupados de acordo com sua relevância para o empreendimento sob análise e têm uma faixa de pontuação definida, de forma a refletir o grau de influência negativa deste na implantação da obra.

Para os aspectos de alta relevância, definiu-se uma pontuação de 80 a 100 pontos, conforme os seguintes graus de influência no empreendimento:

Alto grau de influência – 100 pontos

Médio grau de influência – 90 pontos

Baixo grau de influência – 80 pontos

Para os aspectos de média relevância, definiu-se uma pontuação de 50 a 70 pontos, conforme os seguintes graus de influência no empreendimento:

Alto grau de influência – 70 pontos

Médio grau de influência – 60 pontos

Baixo grau de influência – 50 pontos

Para os aspectos de baixa relevância, definiu-se uma pontuação de 20 a 40 pontos, conforme os seguintes graus de influência no empreendimento:

Alto grau de influência – 40 pontos

Médio grau de influência – 30 pontos

Baixo grau de influência – 20 pontos

A pontuação proposta acima decorre de intensa investigação sobre os impactos de cada aspecto na implantação da SE. Esta investigação se baseou na experiência de planejamento, que incluiu estudos de casos reais onde as questões foram paulatinamente sendo levantadas. A estratégia proposta no procedimento resulta do amadurecimento destas questões.

## 5.2 Procedimento Proposto

O procedimento proposto nesta dissertação baseia-se na aplicação da classificação e pontuação definidas no item anterior. Para facilitar o processo de decisão por parte dos planejadores, optou-se por expressá-lo por meio do uso de uma planilha, conforme mostrado na Tabela 5.1 *Planilha de Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás – GIS*. Tal planilha permite uma análise comparativa entre os três tipos de subestação: convencional, híbrida e GIS. Ela também reúne todos os aspectos pesquisados de forma a organizar as vantagens e desvantagens de cada um dos tipos, facilitando a visualização dos pontos de maior dificuldade para implantação do empreendimento. Por meio desta planilha, obtém-se um somatório de pontuações para os tipos de subestações candidatas à implantação, o qual procura refletir a aplicabilidade destes.

## 5.3 Uso da Planilha de Análise de Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS

A avaliação da aplicabilidade das subestações GIS resulta da adoção dos critérios de pontuação para os três tipos de subestações: convencional, híbrida e GIS.

A partir do levantamento das informações do empreendimento, o planejador deve preencher a planilha, pontuando adequadamente cada um dos aspectos pesquisados, conforme seu grau de influência no empreendimento em questão. Aos aspectos que não puderam ser averiguados durante os levantamentos iniciais deve-se atribuir o valor zero. A pontuação deve tentar refletir a situação verificada nos levantamentos preliminares realizados pelo planejador, visando definir o ponto onde será implantada a subestação. Uma menor pontuação total indica o tipo de subestação que se mostra mais aplicável para a região em estudo, pois a pontuação é um reflexo do impacto negativo causado pela obra na região.

Neste trabalho, tem sido considerado o mesmo peso para todos os fatores. Contudo, o planejador poderá atribuir pesos diferenciados aos fatores meio ambiente, espaço físico, técnicos, sociais e políticos, diante das particularidades de cada

empreendimento. Observa-se que o fator recursos financeiros possui caráter determinístico e, normalmente, é objeto de avaliação econômica.

É importante enfatizar que o objetivo desta planilha é auxiliar o planejador na organização das características do empreendimento, e as pontuações calculadas devem ser vistas como indicadores para a consideração da SE GIS como uma opção viável de implantação.

## **5.4 Aplicação do Procedimento Proposto**

Para melhor compreensão do preenchimento da planilha, três exemplos fictícios que, entretanto, demonstram o tipo de situações encontradas na realidade pelos planejadores, são aqui apresentados.

### **5.4.1 Caso Exemplo # 1 – Substituição de uma SE existente**

**Descrição:** A área possui elevada densidade de ocupação do solo, é do tipo residencial, com edifícios tombados. A vizinhança reclama atualmente dos ruídos emitidos pela subestação existente e a nova SE deverá ser automatizada e modernizada, comparada à existente. Há um terreno na periferia deste centro de carga, com espaço suficiente para implantação de uma SE convencional. Na área da SE existente, o terreno disponível comporta a SE tipo híbrida ou GIS. Os dois terrenos são regulares e com mesmo custo de aquisição do m<sup>2</sup>. Na região não existe clima adverso nem problemas de poluição excessiva. Há previsão de ampliação desta nova SE no prazo de 10 anos. No caso de manutenção da SE existente, há necessidade de obras imediatas.

Tabela 5.1 – Planilha de Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás – GIS

| Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS |  |            |                 |            |          |
|---|--|------------|-----------------|------------|----------|
| Fatores   | Aspectos                                       | Relevância | SE Convencional | SE Híbrida | SE GIS   |
| Meio Ambiente   | Impacto Visual                                 | Alta       |                 |            |          |
|   | Licença Ambiental                              | Alta       |                 |            |          |
|   | Urbanismo e Paisagismo da Área da SE           | Baixa      |                 |            |          |
|   | Área Residencial                               | Alta       |                 |            |          |
|   | Área Comercial/Industrial                      | Média      |                 |            |          |
|   | Área com Edificações Históricas                | Alta       |                 |            |          |
|   | Poluição Atmosférica                           | Média      |                 |            |          |
|   | Clima  | Baixa      |                 |            |          |
|   | Interferências Eletromagnéticas                | Baixa      |                 |            |          |
| Geração de Ruídos   | Média  |            |                 |            |          |
| Espaço  | Suficiente para SE Convencional                | Alta       |                 |            |          |
|   | Insuficiente para SE Convencional              | Alta       |                 |            |          |
|   | Dificuldades de Acesso                         | Média      |                 |            |          |
|   | Terreno Regular                                | Alta       |                 |            |          |
|   | Alto Grau de Ocupação da Região                | Alta       |                 |            |          |
|   | Possibilidade de Verticalização da SE          | Alta       |                 |            |          |
| Técnicos  | Distância do Centro de Carga                   | Alta       |                 |            |          |
|   | Importância da SE para o Sistema Elétrico      | Alta       |                 |            |          |
|   | Numero de Consumidores Atendidos pela SE       | Alta       |                 |            |          |
|   | Perdas Elétricas                               | Alta       |                 |            |          |
|   | Obras de Conexão com a Rede MT/BT              | Média      |                 |            |          |
|   | Previsão de Expansões Futuras                  | Alta       |                 |            |          |
|   | Atendimento a Novas Cargas                     | Média      |                 |            |          |
|   | Flexibilidade para Manobras - Operação SE      | Baixa      |                 |            |          |
|   | Necessidade de Ampliação da SE ou Adjacente    | Alta       |                 |            |          |
|   | Necessidade de Modernização                    | Média      |                 |            |          |
|   | Segurança                                      | Alta       |                 |            |          |
|   | Dimensão das Obras de Construção Civil         | Média      |                 |            |          |
|   | Prazo de Implantação                           | Alta       |                 |            |          |
| Requisitos de Continuidade  | Alta   |            |                 |            |          |
| Sociais   | Riscos para Terceiros                          | Alta       |                 |            |          |
|   | Necessidade de Desapropriações                 | Alta       |                 |            |          |
|   | Possibilidade de Invasões                      | Alta       |                 |            |          |
|   | Número de Consumidores Atendidos pela SE       | Média      |                 |            |          |
|   | Prejuízos para Imagem da Empresa               | Média      |                 |            |          |
| Políticos   | Regras de Ocupação da Área - Prefeitura        | Alta       |                 |            |          |
|   | Obstáculos para Implantação                    | Alta       |                 |            |          |
|   | Interesses para Implantação                    | Alta       |                 |            |          |
| Recursos Financeiros  | Custo do Investimento - Construção da SE       | Alta       |                 |            |          |
|   | Custos de Operação                             | Baixa      |                 |            |          |
|   | Custos de Manutenção                           | Média      |                 |            |          |
|   | Custos de Obras Futuras (ampliação ou reforma) | Alta       |                 |            |          |
|   | Parcerias com Consumidores                     | Alta       |                 |            |          |
|   | Recursos de Novas Cargas Atendidas             | Média      |                 |            |          |
|   | Custo do m <sup>2</sup> do Terreno             | Alta       |                 |            |          |
|   | Venda de Parte do Terreno (SE Existente)       | Alta       |                 |            |          |
| <b>Total</b>  |  |            | <b>0</b>        | <b>0</b>   | <b>0</b> |

### **Levantamento dos aspectos pesquisados para o Caso Exemplo #1:**

- Meio Ambiente: vizinhança do tipo residencial, existência de edifícios tombados, reclamações em função de ruídos emitidos pela SE existente, não há clima adverso nem problemas de poluição;
- Espaço: alta densidade de ocupação, terreno na periferia permite a implantação de SE convencional; o terreno na região do centro de carga permite a implantação de SE compacta isolada a gás ou híbrida, ambos os terrenos são regulares;
- Recursos Financeiros: o custo de aquisição do terreno (m<sup>2</sup>) é o mesmo para as duas áreas existentes, entretanto, vale ressaltar que quanto maior a área ocupada pela SE, maior o custo total do terreno;
- Técnicos: necessidade de modernização da SE existente, previsão de ampliação no prazo de 10 anos, necessidade de obras de reforma imediatas na SE existente; em função da impossibilidade de implantação da SE convencional no centro de carga, fica evidenciada a necessidade de maiores obras de conexão com a rede de MT/BT no caso de utilização deste tipo de SE;
- Sociais: não foram verificados aspectos relevantes;
- Políticos: não foram verificados aspectos relevantes.

### **Pontuação:**

A tabela 5.2 apresenta a planilha de *Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás – GIS*, preenchida considerando os dados levantados para o empreendimento descrito no caso exemplo #1.

### **Análise dos Resultados:**

A utilização da planilha resultou na seguinte pontuação para os tipos de subestações:



- SE Convencional – 1270 pontos;

- SE Híbrida – 1190 pontos;

- SE GIS – 1130 pontos.

A subestação compacta isolada a gás alcançou a menor pontuação, indicando ser esta uma alternativa viável para implantação. Percebe-se que, apesar dos custos de implantação superiores, o resultado é um indicativo dos menores impactos por ela causados na região. A pontuação para a SE convencional apresenta-se cerca de 11% maior do que a apresentada pela SE GIS.

#### **5.4.2 Caso Exemplo # 2 – Nova SE com Doação de Terreno**

**Descrição:** A região de implantação de uma nova SE é um bairro tradicional de centro urbano, com alto grau de ocupação, vizinhança comercial/residencial e que vem passando por forte processo de verticalização, por isso, o mercado de energia elétrica está crescendo grandemente. Existe a proposta de doação de um terreno pela prefeitura deste centro urbano, que permite, inclusive, a implantação de uma subestação convencional. Este terreno é regular, e não existem problemas de poluição nem clima adverso na região. Está prevista uma ampliação para esta subestação no horizonte de 10 anos.

#### **Levantamento dos aspectos pesquisados para o Caso Exemplo #2:**

- Meio Ambiente: vizinhança do tipo residencial/comercial, passando por processo de verticalização, não há clima adverso nem problemas de poluição;
- Espaço: alta densidade de ocupação, terreno disponível próximo ao centro de carga que permite até a implantação de SE convencional, terreno regular;
- Recursos Financeiros: não foram verificados aspectos relevantes;

Tabela 5.2 – Planilha de Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás – GIS  
 Caso Exemplo #1 - Substituição de uma SE existente

| Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS |  |            |                 |             |             |
|---|--|------------|-----------------|-------------|-------------|
| Fatores   | Aspectos                                       | Relevância | SE Convencional | SE Híbrida  | SE GIS      |
| Meio Ambiente   | Impacto Visual                                 | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Licença Ambiental                              | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Urbanismo e Paisagismo da Área da SE           | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Área Residencial                               | Alta       | 100             | 90          | 80          |
|   | Área Comercial/Industrial                      | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Área com Edificações Históricas                | Alta       | 100             | 90          | 80          |
|   | Poluição Atmosférica                           | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Clima  | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Interferências Eletromagnéticas                | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
| Geração de Ruídos   | Média  | 70         | 60              | 50          |             |
| Espaço  | Suficiente para SE Convencional                | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Insuficiente para SE Convencional              | Alta       | 100             | 90          | 80          |
|   | Dificuldades de Acesso                         | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Terreno Regular                                | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Alto Grau de Ocupação da Região                | Alta       | 100             | 90          | 80          |
| Possibilidade de Verticalização da SE                                   | Alta   | 0          | 0               | 0           |             |
| Técnicos  | Distância do Centro de Carga                   | Alta       | 100             | 90          | 80          |
|   | Importância da SE para o Sistema Elétrico      | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Numero de Consumidores Atendidos pela SE       | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Perdas Elétricas                               | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Obras de Conexão com a Rede MT/BT              | Média      | 70              | 50          | 50          |
|   | Previsão de Expansões Futuras                  | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Atendimento a Novas Cargas                     | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Flexibilidade para Manobras - Operação SE      | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Necessidade de Ampliação da SE ou Adjacente    | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Necessidade de Modernização                    | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Segurança                                      | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Dimensão das Obras de Construção Civil         | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Prazo de Implantação                           | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| Requisitos de Continuidade  | Alta   | 0          | 0               | 0           |             |
| Sociais   | Riscos para Terceiros                          | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Necessidade de Desapropriações                 | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Possibilidade de Invasões                      | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Número de Consumidores Atendidos pela SE       | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Prejuízos para Imagem da Empresa               | Média      | 0               | 0           | 0           |
| Políticos   | Regras de Ocupação da Área - Prefeitura        | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Obstáculos para Implantação                    | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Interesses para Implantação                    | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| Recursos Financeiros  | Custo do Investimento - Construção da SE       | Alta       | 80              | 90          | 100         |
|   | Custos de Operação                             | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Custos de Manutenção                           | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Custos de Obras Futuras (ampliação ou reforma) | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Parcerias com Consumidores                     | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Recursos de Novas Cargas Atendidas             | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Custo do m <sup>2</sup> do Terreno             | Alta       | 100             | 90          | 80          |
|   | Venda de Parte do Terreno (SE Existente)       | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| <b>Total</b>  |  |            | <b>1270</b>     | <b>1190</b> | <b>1130</b> |

- Técnicos: necessidade da SE para atendimento ao mercado vegetativo, localização próxima ao centro de carga, minimizando obras de média tensão, há previsão de ampliação no prazo de 10 anos;
- Sociais: não foram verificados aspectos relevantes;
- Políticos: interesse político (prefeitura) para implantação da SE, inclusive com incentivos (doação do terreno), para qualquer dos tipos de SE a ser implantado.

### **Pontuação:**

A tabela 5.3 apresenta a planilha de *Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS*, preenchida considerando os dados levantados para o empreendimento descrito no caso exemplo #2.

### **Análise dos Resultados:**

A utilização da planilha resultou na seguinte pontuação para os tipos de subestações:

- SE Convencional – 1360 pontos;
- SE Híbrida – 1350 pontos;
- SE Compacta Isolada a Gás – 1340 pontos.

A subestação compacta isolada a gás, no caso exemplo #2, também alcançou a menor pontuação, indicando ser esta uma alternativa viável para implantação. Entretanto, vale observar que, neste caso exemplo, as pontuações ficaram bem próximas, com diferença de cerca de 1,5% entre o maior (SE convencional) e o menor (SE GIS) valor. Isto indica que os impactos causados por cada tipo de subestação não são tão diferentes. O planejador poderá indicar a subestação GIS como a melhor alternativa, afinal trata-se de um bairro residencial com alto grau de ocupação e em verticalização, o que poderá implicar problemas futuros para o caso de uma SE convencional (segurança de terceiros, vandalismo, ruídos, etc.). Contudo, existe espaço

para discussão sobre a questão de custos versus impacto visual. Em um caso como este, a decisão sobre o modelo a ser implantado, provavelmente, deve ser nos campos político/econômico, em função da doação do terreno e dos interesses envolvidos com a implantação.

#### **5.4.3 Caso Exemplo # 3 – Nova SE em Distrito Industrial**

**Descrição:** A região possui baixa densidade de ocupação, do tipo residencial. Há previsão de implantação de um distrito industrial nas proximidades e a nova SE irá atender a esta demanda de energia. Haverá geração de empregos na região e pressão política para implantação da obra. Existem terrenos disponíveis próximos ao centro de carga (distrito industrial), todos com espaço suficiente para implantação de uma SE convencional. Os terrenos são regulares e com mesmo custo de aquisição do m<sup>2</sup>. Na região não existe clima adverso nem problemas de poluição excessiva. Não há previsão de ampliação desta nova SE, dentro do horizonte de 10 anos.

#### **Levantamento dos aspectos pesquisados para o Caso Exemplo #3:**

- Meio Ambiente: vizinhança do tipo residencial e, futuramente, distrito industrial, não há clima adverso nem problemas de poluição;
- Espaço: baixa densidade de ocupação, terrenos disponíveis próximos ao centro de carga que permitem a implantação de SE convencional e todos os terrenos são regulares;
- Recursos Financeiros: o custo de aquisição do terreno é o mesmo para todas as áreas existentes e como este terreno será doado, a pontuação deste aspecto é a mesma para os três tipos de SE;
- Técnicos: necessidade da SE para atendimento de novas cargas, localização próxima ao centro de carga, minimizando obras de média tensão, não há previsão de ampliação no prazo de 10 anos;

Tabela 5.3 – Planilha de Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás – GIS  
 Caso Exemplo #2 - Nova SE com Doação de Terreno

| Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS |  |            |                 |             |             |
|---|--|------------|-----------------|-------------|-------------|
| Fatores   | Aspectos                                       | Relevância | SE Convencional | SE Híbrida  | SE GIS      |
| Meio Ambiente   | Impacto Visual                                 | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Licença Ambiental                              | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Urbanismo e Paisagismo da Área da SE           | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Área Residencial                               | Alta       | 100             | 90          | 80          |
|   | Área Comercial/Industrial                      | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Área com Edificações Históricas                | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Poluição Atmosférica                           | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Clima  | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Interferências Eletromagnéticas                | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
| Geração de Ruídos   | Média  | 0          | 0               | 0           |             |
| Espaço  | Suficiente para SE Convencional                | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Insuficiente para SE Convencional              | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Dificuldades de Acesso                         | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Terreno Regular                                | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Alto Grau de Ocupação da Região                | Alta       | 100             | 90          | 80          |
| Possibilidade de Verticalização da SE                                   | Alta   | 0          | 0               | 0           |             |
| Técnicos  | Distância do Centro de Carga                   | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Importância da SE para o Sistema Elétrico      | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Numero de Consumidores Atendidos pela SE       | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Perdas Elétricas                               | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Obras de Conexão com a Rede MT/BT              | Média      | 50              | 50          | 50          |
|   | Previsão de Expansões Futuras                  | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Atendimento a Novas Cargas                     | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Flexibilidade para Manobras - Operação SE      | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Necessidade de Ampliação da SE ou Adjacente    | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Necessidade de Modernização                    | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Segurança                                      | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Dimensão das Obras de Construção Civil         | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Prazo de Implantação                           | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| Requisitos de Continuidade  | Alta   | 0          | 0               | 0           |             |
| Sociais   | Riscos para Terceiros                          | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Necessidade de Desapropriações                 | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Possibilidade de Invasões                      | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Número de Consumidores Atendidos pela SE       | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Prejuízos para Imagem da Empresa               | Média      | 0               | 0           | 0           |
| Políticos   | Regras de Ocupação da Área - Prefeitura        | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Obstáculos para Implantação                    | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Interesses para Implantação                    | Alta       | 100             | 100         | 100         |
| Recursos Financeiros  | Custo do Investimento - Construção da SE       | Alta       | 80              | 90          | 100         |
|   | Custos de Operação                             | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Custos de Manutenção                           | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Custos de Obras Futuras (ampliação ou reforma) | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Parcerias com Consumidores                     | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Recursos de Novas Cargas Atendidas             | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Custo do m <sup>2</sup> do Terreno             | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| Venda de Parte do Terreno (SE Existente)                                | Alta   | 0          | 0               | 0           |             |
| <b>Total</b>  |  |            | <b>1360</b>     | <b>1350</b> | <b>1340</b> |

- Sociais: a SE é responsável pela alimentação do distrito industrial que possibilita a geração de empregos na região, portanto, há prejuízo para a imagem da empresa no caso de atrasos na implantação;
- Políticos: pressão política (prefeitura) para implantação da SE em função dos benefícios gerados pelo distrito industrial.

### **Pontuação:**

A tabela 5.4 apresenta a planilha de *Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS*, preenchida considerando os dados levantados para o empreendimento descrito no caso exemplo #3.

### **Análise dos Resultados:**

A utilização da planilha resultou na seguinte pontuação para os tipos de subestações:

- SE Convencional – 1100 pontos;
- SE Híbrida – 1100 pontos;
- SE Compacta Isolada a Gás – 1100 pontos.

No caso exemplo #3, verifica-se que as pontuações se igualam, indicando que o impacto causado pelos três tipos de SE é basicamente o mesmo, para a região em análise. Os aspectos que se apresentam diferentes são relativos ao custo de implantação da SE, ou seja, a decisão sobre o tipo de subestação a ser adotado é econômica, assim deve-se implantar a SE do tipo convencional, em função dos menores custos envolvidos.

Tabela 5.4 – Planilha de Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás – GIS  
 Caso Exemplo #3 - Nova SE em Distrito Industrial

| Análise da Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS |  |            |                 |             |             |
|---|--|------------|-----------------|-------------|-------------|
| Fatores   | Aspectos                                       | Relevância | SE Convencional | SE Híbrida  | SE GIS      |
| Meio Ambiente   | Impacto Visual                                 | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Licença Ambiental                              | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Urbanismo e Paisagismo da Área da SE           | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Área Residencial                               | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Área Comercial/Industrial                      | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Área com Edificações Históricas                | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Poluição Atmosférica                           | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Clima  | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Interferências Eletromagnéticas                | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
| Geração de Ruídos   | Média  | 0          | 0               | 0           |             |
| Espaço  | Suficiente para SE Convencional                | Alta       | 100             | 90          | 80          |
|   | Insuficiente para SE Convencional              | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Dificuldades de Acesso                         | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Terreno Regular                                | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Alto Grau de Ocupação da Região                | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Possibilidade de Verticalização da SE          | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| Técnicos  | Distância do Centro de Carga                   | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Importância da SE para o Sistema Elétrico      | Alta       | 100             | 100         | 100         |
|   | Numero de Consumidores Atendidos pela SE       | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Perdas Elétricas                               | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Obras de Conexão com a Rede MT/BT              | Média      | 50              | 50          | 50          |
|   | Previsão de Expansões Futuras                  | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Atendimento a Novas Cargas                     | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Flexibilidade para Manobras - Operação SE      | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Necessidade de Ampliação da SE ou Adjacente    | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Necessidade de Modernização                    | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Segurança                                      | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Dimensão das Obras de Construção Civil         | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Prazo de Implantação                           | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| Requisitos de Continuidade  | Alta   | 0          | 0               | 0           |             |
| Sociais   | Riscos para Terceiros                          | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Necessidade de Desapropriações                 | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Possibilidade de Invasões                      | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Número de Consumidores Atendidos pela SE       | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Prejuízos para Imagem da Empresa               | Média      | 70              | 70          | 70          |
| Políticos   | Regras de Ocupação da Área - Prefeitura        | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Obstáculos para Implantação                    | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Interesses para Implantação                    | Alta       | 100             | 100         | 100         |
| Recursos Financeiros  | Custo do Investimento - Construção da SE       | Alta       | 80              | 90          | 100         |
|   | Custos de Operação                             | Baixa      | 0               | 0           | 0           |
|   | Custos de Manutenção                           | Média      | 0               | 0           | 0           |
|   | Custos de Obras Futuras (ampliação ou reforma) | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Parcerias com Consumidores                     | Alta       | 0               | 0           | 0           |
|   | Recursos de Novas Cargas Atendidas             | Média      | 70              | 70          | 70          |
|   | Custo do m <sup>2</sup> do Terreno             | Alta       | 80              | 80          | 80          |
|   | Venda de Parte do Terreno (SE Existente)       | Alta       | 0               | 0           | 0           |
| <b>Total</b>  |  |            | <b>1100</b>     | <b>1100</b> | <b>1100</b> |

## 5.5 Considerações Finais

O procedimento apresentado neste capítulo mostra-se simples, eficiente e prático quanto à sua aplicação nos processos de expansão. O uso da planilha de *Análise de Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás - GIS* requer o conhecimento acerca de fatores que, normalmente, já são levantados pelo planejador em sua análise preliminar do empreendimento, favorecendo a sua integração às tarefas tradicionalmente executadas.

Cabe ressaltar que a relevância dos diversos aspectos discretizados e pontuados foi definida conforme a experiência para implantação no estado de Minas Gerais - Brasil, podendo ser adaptada para outros locais. Como exemplo, pode ser citado o aspecto clima que na planilha foi classificado como de baixa relevância, em função das condições climáticas observadas, no geral, neste estado, pois condições climáticas adversas são verificadas pontualmente e por curtos períodos. Contudo, pode ser de alta relevância em locais de climas mais severos e sujeitos a tempestades de areia, baixíssimas temperaturas, neve, granizo, furacões ou outras intempéries, que se apresentem de forma rotineira.

Destaca-se, finalmente, que o procedimento não tem a intenção de definir a escolha do tipo de SE a ser adotado, tendo em vista a relevância de fatores econômicos envolvidos com a implantação. No entanto, ele se apresenta eficiente como objeto orientativo para o planejador, permitindo, inclusive, comparar propostas de empreendimentos e inserindo nas análises, quando aplicável, a SE GIS.



# 6

## CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE DO TRABALHO

O procedimento apresentado nesta dissertação, para avaliação da aplicabilidade de subestações compactas isoladas a gás em centros urbanos, visa auxiliar as equipes que atuam na atividade de planejamento da expansão do sistema de distribuição, no processo decisório de implantação deste tipo de SE.

A aplicação da estratégia proposta se dá por meio da elaboração de uma planilha onde *fatores* relevantes (meio ambiente, espaço, recursos financeiros, técnicos, sociais e políticos) são discretizados em diversos *aspectos* que influenciam os empreendimentos. Por meio da utilização desta planilha, pontuando-se cada um dos aspectos verificados na implantação da SE, determina-se uma pontuação geral para os tipos de subestação. A menor pontuação indica o tipo de SE mais adequado: convencional, GIS ou híbrida.

A forma como foi estruturada a planilha permite sua inclusão no processo de planejamento, facilitando a aplicação do procedimento pelas equipes de engenharia das empresas. Os resultados obtidos com seu uso nos casos exemplos registrados no capítulo 5 mostram que os objetivos do trabalho foram atingidos.

Em termos de continuidade dos trabalhos, observa-se que o procedimento poderá receber melhorias, principalmente, resultantes da própria aplicação da planilha na prática. A utilização desta em um maior número de casos, em condições de aplicação reais, irá possibilitar a revisão dos critérios de pontuação dos aspectos discretizados na planilha.

Sugere-se avaliar se a aplicação do procedimento é válida para sistemas com características diferentes daquelas adotadas neste trabalho (estado de Minas Gerais). Outros sistemas elétricos podem apresentar diferentes condições que exijam adaptações dos critérios propostos.

Adicionalmente, propõe-se a inclusão de um maior detalhamento dos fatores econômicos, com avaliação dos valores envolvidos em implantação, operação e manutenção da subestação, tais como: perda de faturamento por desligamentos, multas do agente regulador, custos de operação e manutenção, etc., sendo estes valores expressos em Valor Presente Líquido (VPL) nos procedimentos propostos, de forma a identificar com maior clareza sua diferença entre os tipos de SE.

É importante dar continuidade às pesquisas, principalmente no que se refere ao levantamento de históricos de manutenção de subestações GIS, para permitir uma melhor análise comparativa com as demais SE.

Também é relevante, tendo em vista o pequeno número de instalações tipo GIS, o levantamento de aspectos técnicos tais como: níveis de ruído em diversos horários, transferência de potenciais de aterramento para a vizinhança, confiabilidade da SE, etc. à medida que estas instalações se tornem mais comuns, visando confirmar as informações fornecidas pelos fabricantes.

Finalmente, observa-se o caráter inovador da estratégia proposta, já publicada em evento da área [Meireles 09] e o fato de já estar prevista sua aplicação prática em empresa de energia.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ABNT 87-1] NBR 5456, Eletricidade Geral - Terminologia; Associação Brasileira de Normas Técnicas, Junho 1987;
- [ABNT 87-2] NBR 5459, Manobra e Proteção de Circuitos - Terminologia; Associação Brasileira de Normas Técnicas, Junho 1987;
- [ABNT 92] NBR 5460, Sistemas Elétricos de Potência - Terminologia; Associação Brasileira de Normas Técnicas, Abril 1992;
- [ANEEL 10] Agência Nacional de Energia Elétrica, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 1: Introdução, Módulo 2: Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico e Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica, Janeiro 2010;
- [Cemig 02] Gerência do Centro de Formação e Aperfeiçoamento Profissional - Cemig – Apostila – Proteção do Sistema Elétrico de Distribuição, Maio 2002;
- [Cemig 06] Superintendência de Planejamento do Sistema Elétrico – PL – Cemig – Padronização, Filosofias e Critérios de Utilização de Subestações de Distribuição, Junho 2006;
- [Chaves 07] Chaves, F. S. – Avaliação Técnica do Desempenho da Compensação Reativa *Shunt* Capacitiva Aplicada à Expansão de Sistemas Elétricos, Orientadora: Prof. Maria Helena Murta Vale, Tese de Doutorado submetida à Universidade Federal de Minas Gerais, 2007;
- [Corssen 79] Corssen, C. L. – Avaliação de Índices de Confiabilidade em Subestações, Orientador: Prof. Celso de Brasil Camargo, Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, Junho 1979;

- [Eletrobrás 82] Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Diretrizes Básicas para Projeto de Subestações de Tipo Convencional Aberto, Volume 1, Subestações de Alta Tensão (138 e 230 kV), Março 1982;
- [Eletrobrás 85] Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Universidade do Rio de Janeiro – UERJ – Equipamentos Elétricos de Subestações de Alta Tensão, Outubro 1985;
- [Eletrobrás 90] Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Operação de Sistemas de Potência, capítulo 16, Março 1990;
- [Fröhlich 03] Fröhlich, K. – High Voltage AC and DC Insulation Systems – State of the Art – XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, Netherlands, Rotterdam, Outubro 2003;
- [Gomes 02] Gomes, A. J. B. R. – Proposta para Consideração de Análise de Confiabilidade de Subestações no Planejamento da Expansão de Sistemas de Energia Elétrica, Orientadora: Prof. Maria Helena Murta Vale, Dissertação submetida à Universidade Federal de Minas Gerais, Novembro 2002;
- [IEC 02] International Electrotechnical Commission – IEC 60038 – Standard Voltages – Edition 6.2 – Table I – 4, Julho 2002;
- [Jacobsen 01] Jacobsen, R. S., Nakano, N. S., Fernandes, J. M. B., Leitão, G. M. S. – Estudo Comparativo entre Subestações Blindadas Isoladas a Gás SF<sub>6</sub> e Subestações Convencionais – XVI SNPTEE, Campinas, Outubro 2001;
- [Kuffel 00] Kuffel, E., Zaengl, W. S., Kuffel, J. - High Voltage Engineering – Fundamentals, Second Edition, 2000;
- [Lopes 09] Lopes, J. C. R., Gonçalves, F. A. – Subestações Abrigadas – Solução para Repotencialização de Subestações em Áreas Altamente Urbanizadas – XX SNPTEE, Recife, Novembro 2009;

- [Meireles 09] Meireles, D., Vale, M. H. M., Cortez, A. N. – Avaliação da Substituição de Subestações de Distribuição Convencionais por Subestações Compactas Blindadas Isoladas a Gás em Centros Urbanos, 8th CLAGTEE, Ubatuba, Outubro 2009;
- [Peixoto 05] Peixoto, G. R. – Gestão e Planejamento Energético - Compactação de Subestações, ABINEE TEC, Agosto 2005;
- [Peled 86] Peled, I. – Aspectos Técnico-Econômicos das Subestações Transformadoras Compactas, editado na revista Mundo Elétrico, Abril 1986;
- [Siemens 07] Siemens AG – Power Transmission and Distribution – High Voltage Division – Catálogo Gas-Insulated Switchgear from 72.5 to 800 kV, Germany, Junho 2007;
- [Vale 09] Vale, M. H. M. – Notas de Aula do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Disciplina Supervisão e Controle – PPGEE – UFMG – LRC, Agosto 2009;
- [Vatech 01] Schneider Electric Alta Tensão – Vatech – Catálogo Subestação Blindada Isolada a Gás SF6 Otimizada com Controle-Comando e Proteções Integradas, São Paulo, Novembro 2001.

# APÊNDICE

Neste apêndice são descritos os arranjos mais utilizados pelas empresas de energia elétrica nas subestações. Embora diversos fatores influenciem na escolha de um arranjo para uma SE específica, os modelos de arranjos foram se desenvolvendo, principalmente, em função de necessidades operativas e de manutenção de equipamentos integrantes, em especial, dos disjuntores.

Destaca-se que os arranjos de maior confiabilidade são os em “barra dupla” e “anel” que são indicados para subestações de EAT ou subestações implantadas em grandes centros urbanos, enquanto os demais, “barra simples” e “barra principal e transferência”, são utilizados em transformações de menor capacidade onde os requisitos de confiabilidade são menos exigentes [Cemig 06].

## 1) Barra Simples

É o arranjo que apresenta o menor investimento inicial para implantação, com a máxima simplicidade possível. Entretanto, verificam-se baixas flexibilidade e confiabilidade uma vez que requer o desligamento total para manutenções e para ampliação. Este arranjo é apresentado na figura A1.

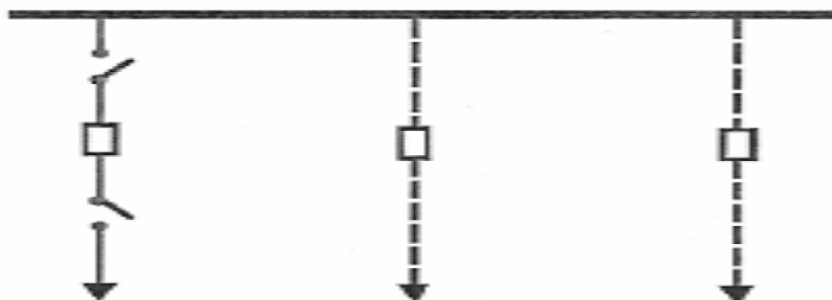


Figura A.1 – Arranjo em Barra Simples

Do ponto de vista de espaço, este arranjo requer uma área mínima, permitindo saídas em qualquer direção sem cruzamentos, para as expansões previstas inicialmente.

Em função de seu baixo custo, são normalmente utilizados em instalações pioneiras, ou mesmo, em situações provisórias, pois, em caso de expansão ou necessidade de aumento de confiabilidade este arranjo pode ser abandonado, inserido dentro de outro arranjo mais complexo ou mesmo ampliado.

Este arranjo é indicado em transmissão apenas para instalações provisórias, em subtransmissão nas SE nodais (sem conexão direta com a carga) e, em distribuição, nas SE com apenas uma fonte de alimentação.

## 2) Barra Simples com Seccionamento

Considerando-se o arranjo descrito anteriormente, o seccionamento aumenta discretamente o investimento inicial e a área necessária para implantação. Este arranjo permite manter metade da SE em operação no caso de falha, manutenção e ampliação. Somente no caso de manutenção do disjuntor de barra será necessário o desligamento total. Apresenta vantagens sobre o esquema (1) em SE com duas fontes de suprimento. A figura A.2 apresenta a configuração deste arranjo.

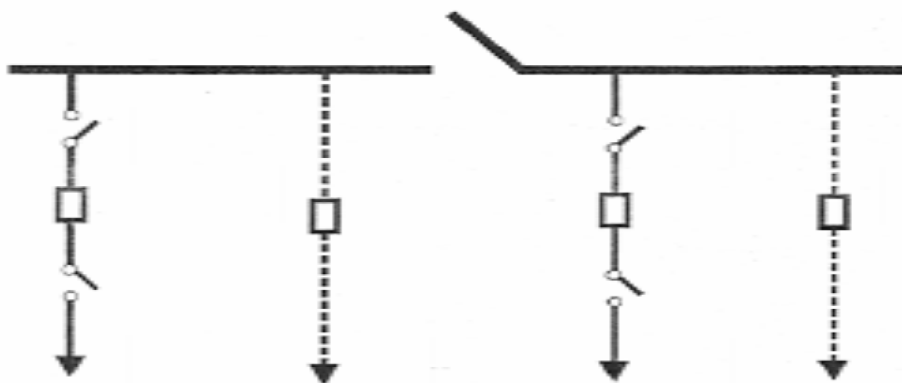


Figura A.2 – Arranjo em Barra Simples com Seccionamento

### 3) Barra Dupla Disjuntor Simples

Em relação aos dois arranjos já descritos, este apresenta vantagens para condições de manutenção, falhas ou ampliações, sendo desnecessário o desligamento total nas seguintes condições: se em operação normal as saídas estiverem distribuídas entre duas barras de forma a equilibrar geração e carga ou existir proteção diferencial separada para cada barra.

Além disso, este arranjo permite manter toda a SE em operação no caso de manutenção na barra e no disjuntor de interligação. Também é possível fazer ampliações sem desligamento realizando-se manobras nos seccionadores.

Requer maior área para implantação, principalmente se as conexões à barra não forem todas do mesmo lado.

Em função das melhorias, tem-se um acréscimo de custos de implantação: maior requisito de área, maior número de seccionadoras e complexidade dos esquemas de proteção.

Este arranjo é apresentado na figura A.3.

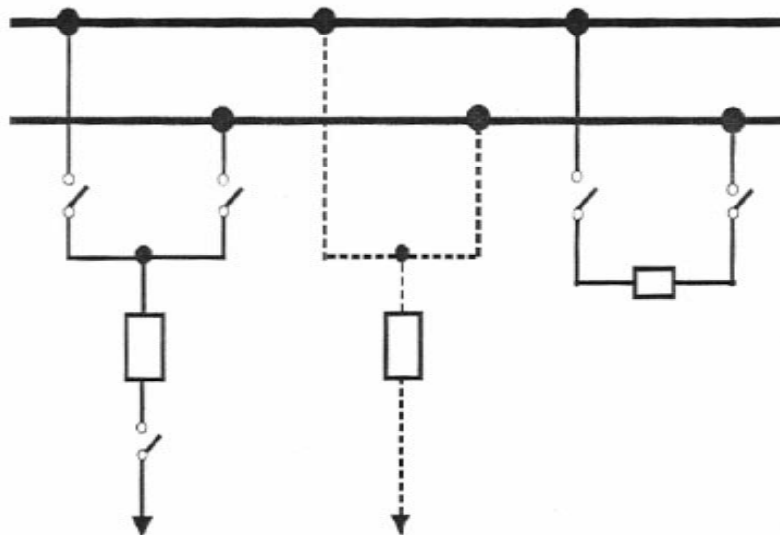


Figura A.3 – Arranjo em Barra Dupla Disjuntor Simples



#### 4) Barra Dupla Disjuntor Simples com *By-Pass*

Considerando-se o arranjo sem *by-pass*, este apresenta a vantagem de permitir a manutenção do disjuntor de determinada saída sem desligamento, que é substituído pelo disjuntor de interligação.

No entanto, há uma complicação adicional nos esquemas de proteção e intertravamento e no aumento e complicação das manobras para se colocar o disjuntor em manutenção. Por isso, nem sempre representa um ganho de confiabilidade, pois, pode implicar erros de operação ou mesmo na implantação.

O custo é superior ao esquema anterior em função do maior número de seccionadores, estruturas para instalação e conexão do *by-pass* e maior complexidade dos circuitos de proteção e controle.

A figura A.4 apresenta a configuração deste arranjo.

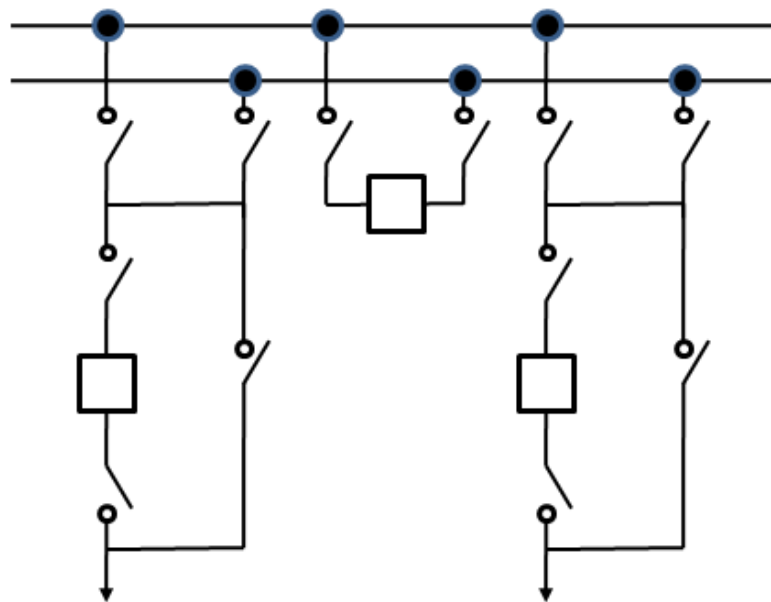


Figura A.4 – Arranjo em Barra Dupla Disjuntor Simples com *By-Pass*

## 5) Barra Principal e Transferência

Apresenta vantagens sobre os esquemas já apresentados anteriormente, pois permite a substituição e manutenção de disjuntor sem desligamento da carga, com um menor número de seccionadoras no arranjo e conseqüente simplicidade de operação.

Este arranjo já pode ser aplicado em SE de alta tensão que exijam confiabilidade elevada na barra principal e disjuntores que necessitem de manutenção freqüente. Sua configuração é apresentada na figura A.5.

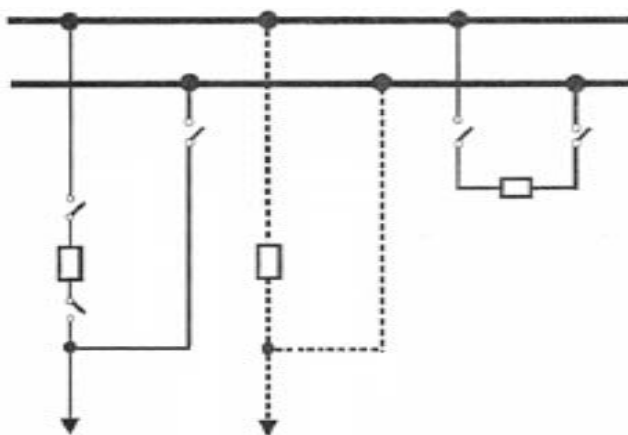


Figura A.5 – Arranjo em Barra Principal e Transferência

## 6) Barra Dupla Disjuntor Duplo

Apresenta a mesma vantagem do arranjo em barra principal e transferência, permitindo a manutenção de disjuntor sem desligamento da saída. Entretanto, apresenta um custo bem mais significativo de implantação, em função do maior número de disjuntores empregados [Cemig 06].

Do ponto de vista de manutenções na barra, apresenta melhor desempenho que os arranjos já descritos, pois as saídas podem ser ligadas em ambas as barras.

Vale ressaltar que, para aproveitar toda a flexibilidade do arranjo, deverão ser instalados TC de ambos os lados de cada disjuntor.

A configuração deste arranjo é mostrada na figura A.6.

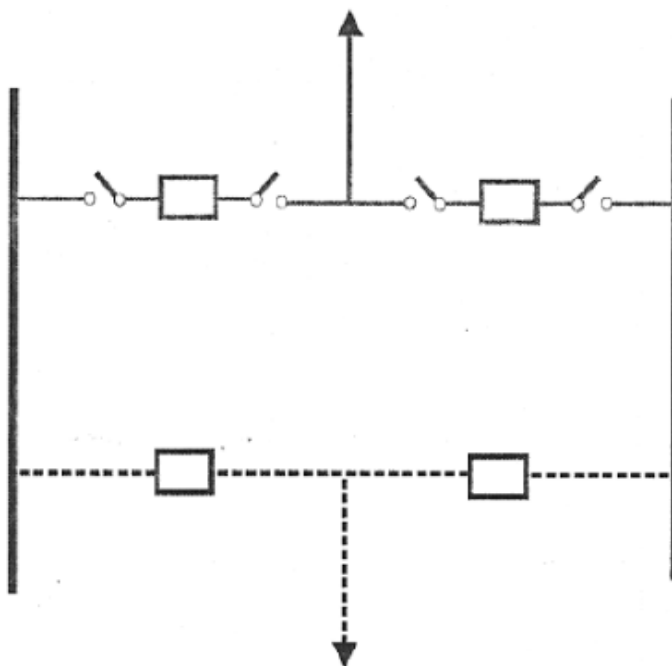


Figura A.6 – Arranjo em Barra Dupla Disjuntor Duplo

### 7) Disjuntor-e-meio

Aplicável a um mínimo de 4 saídas, sendo um arranjo muito empregado no Brasil e nos Estados Unidos para SE de EAT.

O custo é inferior ao arranjo em barra dupla disjuntor duplo, mas maior que os demais descritos anteriormente. Além disso, requer maior espaço para implantação e o equipamento (disjuntor) deve suportar corrente de 2 saídas [Eletrobrás 82].

Possui uma visualização mais complexa, pois os disjuntores associam-se a mais de uma saída. Também devem ser previstos TC de ambos os lados dos disjuntores para possibilitar a plena utilização da flexibilidade do arranjo.

A figura A.7 apresenta a configuração deste arranjo.

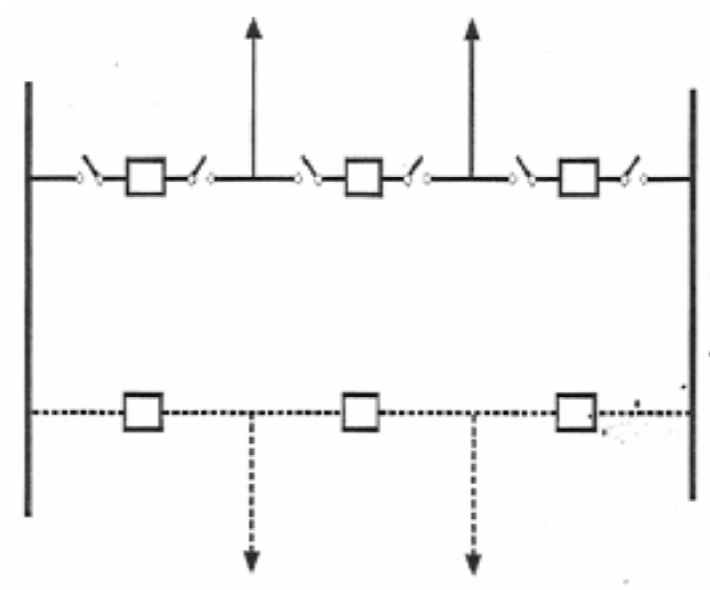


Figura A.7 – Arranjo em Disjuntor-e-meio

### 8) Disjuntor-e-um-terço

Apresenta alguma economia de equipamentos em relação ao arranjo “disjuntor-e-meio”, com maior complexidade para operações, sendo, por isso, pouco recomendado. Sua configuração é apresentada na figura A.8.

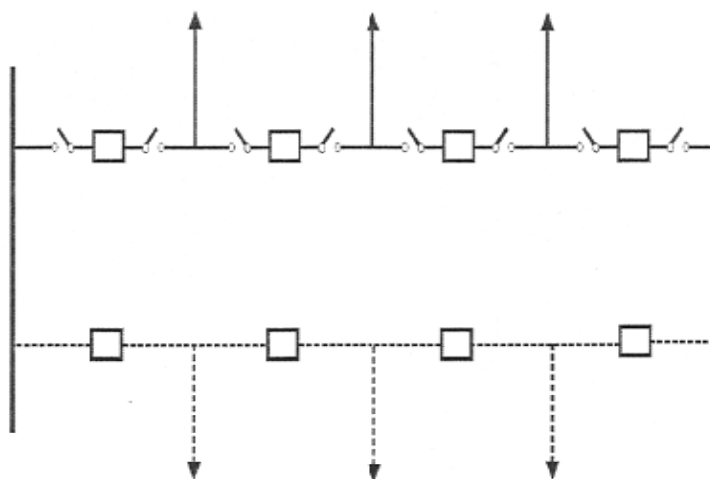


Figura A.8 – Arranjo em Disjuntor-e-um-terço

## 9) Anel Simples

Somente aplicável a um pequeno número de saídas, pois em caso de manutenção de um disjuntor, a abertura de algum outro não adjacente irá dividir o anel, o que causa transtornos operacionais.

Requer seccionadores de isolamento em todas as saídas, para recompor o anel caso uma saída necessite ficar desligada por um período mais longo.

Neste arranjo, todos os elementos do circuito em anel deverão ser previstos para a corrente total da instalação e não apenas do elemento que atendem. Verifica-se o acréscimo de custos de implantação em função dos fatores descritos [Eletrobrás 82].

A figura A.9 apresenta a configuração deste tipo de arranjo.

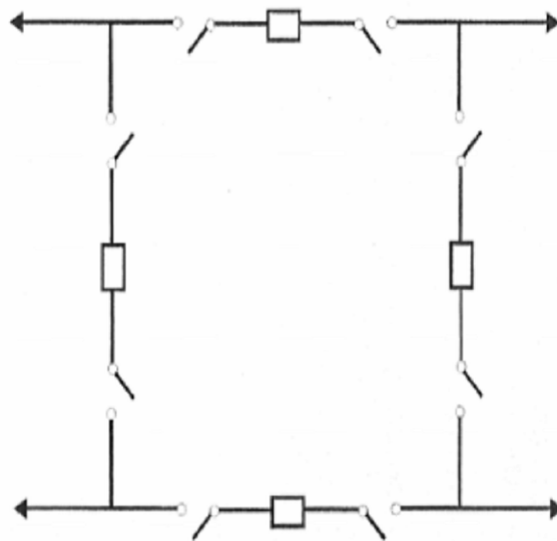


Figura A.9 – Arranjo em Anel