

GSE/016

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

GRUPO VIII  
SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS – GSE

SE BH SÃO MARCOS – COMPACTA E CONTEMPORÂNEA

Anderson Fleming Souza Luiz Henrique S. Duarte\* Márcio Elízio Pereira  
Maria do Carmo Rocha Paulo Roberto .F.C. Costa Wellington Z. Soares  
CEMIG

Alexander Schleiffer Bart Smit Edgar Torres  
Francisco L A. Guimarães Thomas Krispel Walter A Campos  
VA TECH

RESUMO

Este artigo apresenta a descrição da referida subestação, bem como, dos aspectos inerentes ao empreendimento.

As condições restritas para a implantação da subestação foram vistas como desafio e oportunidade de atualização na concepção de subestações compactas, requisito emergente no Brasil para grandes centros urbanos.

A forma de contratação foi em regime de empreitada global (*turn-key*) junto à VA TECH, sob supervisão da CEMIG.

A implantação da referida subestação se deu no prazo, qualidade e custo previstos, atendendo a expectativa dos clientes finais, e adicionalmente, proporcionou uma instalação de aspecto visual bastante particular.

**PALAVRAS-CHAVE:** Subestações compactas, subestações blindadas, empreendimento, *turn-key*.

1.0 – INTRODUÇÃO

A CEMIG instalou na região metropolitana de Belo Horizonte a primeira etapa de uma subestação do tipo distribuição denominada “SE BH São Marcos”, imprescindível para garantir o atendimento a cargas atuais e emergentes no sistema elétrico pertinente. O prazo total do empreendimento foi de 20 meses, sendo a etapa de construção realizada em 12 meses.

Está previsto o atendimento imediato e direto de 32.000 consumidores através desta subestação. A área sob influência desta subestação possui atualmente cerca de 150.000 consumidores ligados.

As características dessa SE, naturalmente, foram determinadas pelos aspectos técnicos demandados, mas também, fortemente, pela conjuntura composta por fatores urbanos, ambientais, políticos, regionais e sociais. Isto somado ao novo contexto do setor elétrico, constituiu-se num atrativo desafio, que justificou uma gestão pormenorizada do empreendimento, a fim de se buscar continuamente as metas propostas, dentro dessas, os requisitos de qualidade e rentabilidade.

Em contrapartida, a necessidade de projetos particulares e complexos traz também a oportunidade de uma maior atualização e variação tecnológica, a motivação e integração do corpo técnico, resultando na aquisição de novas capacidades.

No caso particular, destaca-se a utilização da tecnologia de subestações isoladas a SF6, cabos de alta tensão isolados a seco, sistema de supervisão e controle digital, além da grande complexidade das soluções de engenharia civil, se comparada às empregadas nas subestações de concepção convencional.

A experiência em empreendimentos como esse na realidade atual, pode demonstrar a capacidade das empresas gerirem adequadamente investimentos e capacitação tecnológica. Esta combinação tem se apresentado como uma grande vantagem comparativa no mercado de energia elétrica.

2.0 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

A subestação BH SM possui uma capacidade de transformação de 138 – 13,8kV, 2 x 25 MVA, em sua primeira etapa, sendo esta capacidade dobrada na expansão futura planejada. A respectiva topologia inclui duas entradas de linhas de transmissão (LT) aéreas em 138kV, através do seccionamento de uma LT existente; dois transformadores de potência; oito

alimentadores em 13,8kV para redes de distribuição aéreas; e três bancos de capacitores em 13,8kV de 6 Mvar cada. Ver Figura 1. O provável diagrama unifilar da expansão futura é idêntico.

As principais características construtivas são:

- instalação abrigada em prédio de alvenaria;
- arquitetura urbana e moldada ao arranjo eletromecânico, bem como a área disponível;
- sistema de 138kV isolado em SF6, com apenas as entradas das LT isoladas a ar, e transição feita através de cabos isolados;
- baixo nível de ruído e impacto visual;
- sistema de proteção contra incêndio.

Assim como para qualquer projeto de subestação da CEMIG, os critérios recomendados por normas nacionais ou internacionais pertinentes são totalmente adotados, observando-se aspectos como distâncias mínimas de segurança, facilidade operativa, condições de acesso à instalação e setores dessa instalação para operação e manutenção, etc. Aliás, esses requisitos, em geral, superam as subestações convencionais neste caso particular, apesar do alto nível de compactação.

### 3.0 – CONCEPÇÃO

A escolha do local para a sua instalação foi orientada pela posição do sistema de 138kV existente e pelo centro de carga a ser atendido. A característica residencial e de grande densidade habitacional da região em estudo resultou na disponibilidade de uma única área com as seguintes características a serem destacadas:

- topografia extremamente acidentada;
- área disponível (aproximadamente 5000 m<sup>2</sup>), insuficiente para a implantação de uma subestação com projeto de um pátio convencional;
- localização junto a LT Taquaril – Maracaná, 138kV ( estruturas metálicas ), já existente e pertencente à CEMIG.

Tendo em vista tais características e definido o arranjo elétrico de expansão futura da subestação (Figura 1), a decisão final por essa área foi motivada pela localização praticamente dentro da faixa de servidão da LT supracitada, implicando na facilidade de conexão ao sistema elétrico com impacto reduzido à vizinhança; e ainda, pela possibilidade de manter-se atualizado nos estudos de concepção de subestações compactas, solução mais adequada para grandes centros urbanos, como áreas empresariais e residenciais.

Assim, a CEMIG desenvolveu um projeto específico para a subestação onde o arranjo eletromecânico e solução arquitetônica foram estudados em função das características da área disponível e da necessidade de mitigação do impacto ambiental, em relação à ruído e visualização das instalações.

### 4.0 – CARACTERÍSTICAS DE ENGENHARIA CIVIL

A área restrita e urbana, além de uma topografia desfavorável, demandou projeto e construção civis bastante diferenciados e complexos. Portanto, algumas atividades normalmente não desenvolvidas em projetos de subestações foram necessárias, bem como outras atividades foram dificultadas e até oneradas pelas condições acima expostas. Vale ressaltar que o escopo de engenharia civil abrange a expansão futura da SE. Uma descrição breve dos principais projetos civis desenvolvidos é apresentada a seguir para ilustrar o contexto em questão.

O projeto arquitetônico caracteriza-se por uma edificação industrial para prédio de dois pavimentos e porão com galerias para cabos, sendo estruturado em concreto armado, com fechamento dos painéis em alvenaria, revestimento argamassado, desempenado, esquadrias em *metal on* com vidros lisos. O edifício é dividido em ambientes estanques para os setores de 138kV, 13,8kV, bancos de capacitores separadamente, sistema de supervisão e controle, sistema de telecomunicações, e demais instalações ancilares.

As unidades de transformação são enclausuradas em baias fechadas com painéis extraíveis e estruturados em perfis metálicos, impedindo totalmente a sua visualização externa, e contribuindo para a redução dos níveis de ruído audível nas áreas adjacentes à subestação.

As vias de circulação internas, com largura de 5,00 m e pavimentadas com *blockets*, permite um afastamento mínimo entre a edificação e o arruamento externo, atendendo as diretrizes da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Ainda, permitem a movimentação de cargas, cobrindo eventuais substituições de equipamentos. Isto inclui as unidades transformadoras por meios convencionais, por exemplo, através de arraste e levantamento por macacos.

O projeto de terraplenagem e movimentação de terra, necessário para o assentamento da edificação industrial de dois pavimentos e um porão de cabos, resultou uma movimentação de material de aproximadamente 2.000 m<sup>3</sup> de corte e 4.900 m<sup>3</sup> de aterro. O material para aterro foi obtido em jazida, compactado e contido por arimos em concreto armado de grandes proporções. A regularização do terreno e a seleção do material demandou raspagem de 0,30 metros na área de assentamento da edificação e das vias de circulação, totalizando um volume de material de bota-fora em torno de 1350 m<sup>3</sup>.

O projeto de drenagem consiste do escoamento das águas pluviais captadas na área da subestação, no telhado da edificação e no sistema de proteção contra incêndio dos equipamentos de transformação para a rede de captação pluvial pública, essa última construída pela CEMIG.

Está instalado um sistema para coleta de óleo dos transformadores para conter o volume de óleo em

caso de sinistro, anulando a possibilidade de liberação do óleo mineral isolante para o meio ambiente.

O sistema de proteção contra incêndio é dividido em dois tipos independentes, um para a edificação e outro para os equipamentos de transformação.

Os equipamentos de transformação serão protegidos por sistema tipo água nebulizada, sendo prevista uma reserva de água de cerca de 60 m<sup>3</sup> para esta operação.

O projeto urbanístico contempla as áreas interna e externa à instalação com o plantio de árvores ao longo da calçada frontal à edificação, jardins internos e plantio de cerca viva na parte posterior do lote.

Todo o perímetro da edificação é fechado com muro em concreto ou alvenaria.

### 5.0 – EQUIPAMENTOS PRIMÁRIOS

Os principais equipamentos empregados foram:

- Subestação blindada isolada a gás (SIG);
- Cabos isolados a seco de 138kV, e respectivas terminações;
- Transformadores de potência regulador, telecomandado, 15/20/25MVA, 138±2x2,5% - 13,8±10% kV;
- Sistema de proteção contra incêndio (SPCI) para os transformadores de potência do item anterior;
- Conjunto blindado de manobra 15kV de uso interno;
- Bancos de capacitores para instalação abrigada em ambiente específico;
- Pára-raios convencionais de ZnO;
- Sistema de proteção, controle e supervisão digital.

A Subestação Isolada a Gás SF6 (SIG) constitui a maior ferramenta de compactação da instalação. É projetada para uso interno, e no caso específico, engloba todos as funções do sistema de 138kV da subestação, a exceção dos pára-raios. Portanto, as funções de disjuntor, seccionador, transformador de corrente, transformador de potencial e barramento estão contidas nesta SIG. Após a instalação da SIG, foi desenvolvida a etapa de comissionamento, que englobou ensaios funcionais, físicos, destacando-se os ensaios de tensão aplicada em 60Hz e de descargas parciais.

Os conjuntos trifásicos de cabos isolados de 138kV interligam os transformadores à SIG, e a SIG à entradas de LT. São constituídos de cabos de isolamento XLPE, 1x630mm<sup>2</sup>, cobre, 12 terminais para uso exterior, e 12 terminais para uso em SF6. Vale ressaltar a realização dos ensaios de tensão aplicada e de descargas parciais, realizados em campo.

Os transformadores utilizam refrigeração ONAN/ONAF/ONAF, possuem comutador sob carga na BT (13,8kV), baixo nível de ruído e é adequado para instalação semi-abrigada. Medições em fábrica e campo dos níveis de ruído nas áreas limites da subestação foram desenvolvidos.

O sistema de proteção contra incêndio (SPCI) para os transformadores de potência é do tipo fixo e de água nebulizada, tendo sistema hidráulico dedicado.

Tem a finalidade de extinguir eventual incêndio, em conformidade com três princípios básicos de sua operação: emulsão, resfriamentos e abafamento, evitando assim a sua propagação para outros equipamentos. O SPCI está projetado de modo a atender, isoladamente, cada unidade transformadora.

O conjunto blindado de manobra 15kV, isolado a ar, compacto, compartimentado, abrange as funções de disjuntor, transformador de corrente, seccionador, etc., para 8 (oito) terminais alimentadores de distribuição, 2 (dois) vãos de manobra e proteção de transformadores, 3 (três) vãos de manobra e proteção para bancos de capacitores, e sistema de serviço auxiliar com cubículo de manobra isolado a SF6 e transformador isolado em resina.

Os sistemas de proteção, controle e supervisão digitais (SSCD) são apresentados no item 6.0.

### 6.0 – SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE DIGITAL (SSCD)

O SSCD instalado na subestação utiliza uma topologia onde os equipamentos de proteção, supervisão e controle são distribuídos e integrados a uma unidade central. A comunicação entre estes equipamentos e a unidade central possui interligações ponto-a-ponto e multiponto, utilizando como meio físico fibras óticas.

Para as funções de proteção, controle e medição do setor de 13,8 kV foram utilizados relés que incorporam todas as funções citadas, incluindo um *display* para exibição dos sinópticos associados e respectivas funções de controle, visualização de eventos e medições.

No setor de 138 kV, visando garantir a confiabilidade e disponibilidade do sistema, optou-se por utilizar equipamentos distintos para as funções de proteção, supervisão, controle e medição. Desta forma, as unidades de controle de vão realizam a aquisição de dados de estados e medições e o controle dos equipamentos. Funcionam também como *gateways* de comunicação entre os relés de proteção e a unidade central, reduzindo o número de portas de comunicação que seriam necessárias naquela unidade.

Para a proteção do setor de 138 kV são utilizados relés distintos, de acordo com as funções requeridas, tais como proteção diferencial de transformadores, proteção de distância, proteção direcional.

A arquitetura do sistema estabelece quatro níveis hierárquicos para as funções de controle conforme demonstrado na Figura 2.

Hierarquicamente o 1<sup>o</sup> nível tem prioridade sobre o 2<sup>o</sup> nível e assim sucessivamente até o 4<sup>o</sup> nível.

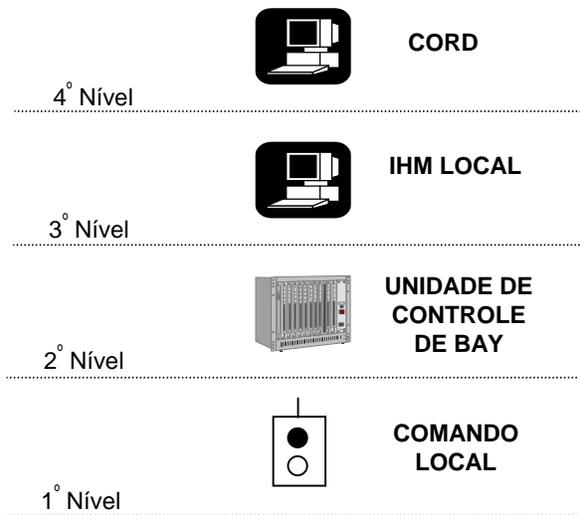


FIGURA 2 – Arquitetura do SSCD

O cumprimento da hierarquia citada se dá através dos bloqueios lógicos implementados na unidade central, onde também foram reproduzidos todos os intertravamentos elétricos existentes. Tal redundância adiciona um nível de segurança a mais na operação do sistema, além de permitir ao operador a visualização fácil e imediata das condições que satisfazem ou não a execução da ação de controle desejada.

A integração entre o SSCD e o Centro de Operação Regional de Distribuição (CORD) é feita através de um canal ótico de comunicação dedicado, utilizando o protocolo IEC 870-5-101. Nem todos os pontos da base de dados do SSCD foram disponibilizados para o CORD, tendo sido selecionados somente aqueles que interessam à operação remota.

Está disponível também um canal ótico de comunicação dedicado para integração do SSCD e a rede do Sistema de Análise de Perturbações (SAPNET), através do qual são disponibilizados todos os registros de eventos associados ao sistema de proteção da subestação.

Todos os equipamentos de supervisão, controle e proteção são sincronizados via sinal do módulo GPS instalado na subestação.

## 7.0 GESTÃO e DESENVOLVIMENTO DO EMPREENDIMENTO

A forma de contratação para o projeto e construção da primeira etapa da subestação BH SM foi em regime de empreitada global (“turn-key”) junto à VA TECH, entretanto partindo-se de uma concepção básica desenvolvida pela CEMIG e com todas as atividades desenvolvidas sob supervisão técnica. Soluções técnicas alternativas seriam aceitas, porém, as apresentadas durante a fase de licitação não foram atrativas nos aspectos técnico-econômicos.

A coordenação técnica e executiva se deu através do planejamento e controle conjunto, i.e., CEMIG, VA TECH e subcontratados, das várias atividades de aquisição, projeto, construção, comissionamento, etc. A periodicidade da análise do desenvolvimento do empreendimento variou em função dos marcos importantes do projeto, do início de etapas e do resultado de análises anteriores, sendo em alguns momentos, até semanal. Frequentemente, o produto destas análises foram: ações para adequação de equipes e/ou outros recursos, definição de prioridade para atividades críticas, decisão por alternativas construtivas diferentes, acompanhamento mais intenso de uma determinada atividade, antecipação de etapas, entre outras. A busca do desempenho ótimo, com ênfase em prazos, custos e qualidade, foi sempre norteadada pelos caminhos críticos ao longo do desenvolvimento do empreendimento.

A supervisão técnica da CEMIG abrangeu com ênfase o anteprojeto e os projetos executivos de maior importância, os quais, de alguma forma, influenciam o produto especificado e respectivo desempenho. O desenvolvimento de um projeto totalmente específico implicou além de uma maior complexidade, a necessidade uma interação efetiva entre as especialidades e partes envolvidas. Esta interação foi imprescindível para viabilizar a solução global da subestação, permitindo a compatibilização dos projetos de terraplenagem, contenção, malha de aterramento, estrutural, drenagem, eletromecânico, e outros. A característica de compactação acentuou o número de pontos de interferência físicas que foram sempre solucionadas por equipes multidisciplinares. É importante notar também a grande interação entre os responsáveis pelos projetos executivos e etapas de construção, sempre priorizando a visão global do empreendimento.

Na etapa de construção, ênfase deve ser dada ao desenvolvimento, em paralelo, de etapas de construção civil e montagem eletromecânica, tradicionalmente seqüenciais. Esta decisão tornou a logística da construção mais complexa e, de alguma forma, inseriu um maior grau de risco ao empreendimento. Entretanto, esses riscos foram continuamente monitorados, e principalmente, essa estratégia muito contribuiu para o cumprimento das metas traçadas.

## 8.0 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Os procedimentos necessários para a obtenção do licenciamento ambiental da SE BH São Marcos diferiram dos normalmente adotados pela CEMIG nos últimos anos, visto a alteração do órgão público responsável pela conduta técnica deste processo. Pode-se afirmar que o grau de monitoração e exigências foram superiores àquelas experimentadas em outros empreendimentos de mesmo porte e características similares.

Como requisitos técnicos exigidos, pode-se destacar a limitação de níveis de ruído audíveis emitidos e a instalação de sistemas de proteção contra incêndios

específicos para os transformadores. Outros itens incluíam: elaboração de estudo de percepção ambiental e medidas decorrentes desse, tratamento urbanístico, apresentação de projetos executivos para análise de diversos aspectos de segurança de terceiros, e outros.

O fato da especificação elaborada pela CEMIG já contemplar a maioria dos requisitos técnicos relacionados nas condicionantes ambientais contribuiu para um menor impacto no projeto, e para a obtenção da Licença de Implantação e de Operação num prazo comparativamente reduzido. De qualquer forma, algum impacto direto nas atividades de projeto e execução das obras ocorreu.

De uma maneira geral, existiu o consenso, entre os consultores na área de meio ambiente envolvidos, sobre o mínimo impacto ambiental decorrente da instalação da subestação SE BH São Marcos.

## 9.0 CONCLUSÕES

As metas iniciais estabelecidas para o projeto apresentado foram consideradas desafiadoras, tendo em vista as condições restritas para a sua implantação. Entretanto, o empreendimento “SE BH São Marcos – 1ª Etapa” cumpriu estas metas, e agregou valores empresariais e tecnológicos à CEMIG.

O desafio proposto levou a CEMIG e contratada a elaborar um planejamento detalhado das etapas de projeto e construção, além de adotar um gerenciamento técnico-executivo pormenorizado das diversas atividades.

Esse conjunto de medidas foi determinante para possibilitar a implantação da referida subestação no prazo, qualidade e custo previstos.

A comunidade vizinha à subestação pôde ter os benefícios advindos da melhoria da qualidade de fornecimento de energia elétrica, sem sofrer impactos ambientais. Aliás, particular atenção deve ser dada aos processos de licenciamento ambientais nos planejamentos dos empreendimento de transmissão e distribuição de energia elétrica, visto os significativos custos e prazos envolvidos.

A implantação da SE BH São Marcos consistiu de uma grande oportunidade para a CEMIG intensificar a sua prática de conceber e implantar soluções urbanas para subestações, e ainda, o sucesso dessa implantação aferiu a capacidade de gestão executiva e técnica de empreendimentos desta natureza.

## 10.0 – BIBLIOGRAFIA

- (1) IEC 60517, Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltage of 72,5kV and above, October 1990.
- (2) ABNT 10019, Subestação Blindada isolada a gás para tensões iguais ou superiores a 72,5kV, setembro 1987.
- (3) IEEE Std 80, Guide for safety in AC substation grounding, 1986.
- (4) IEC 60840, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30kV up to 150kV – Test methods and requirements, February 1999.

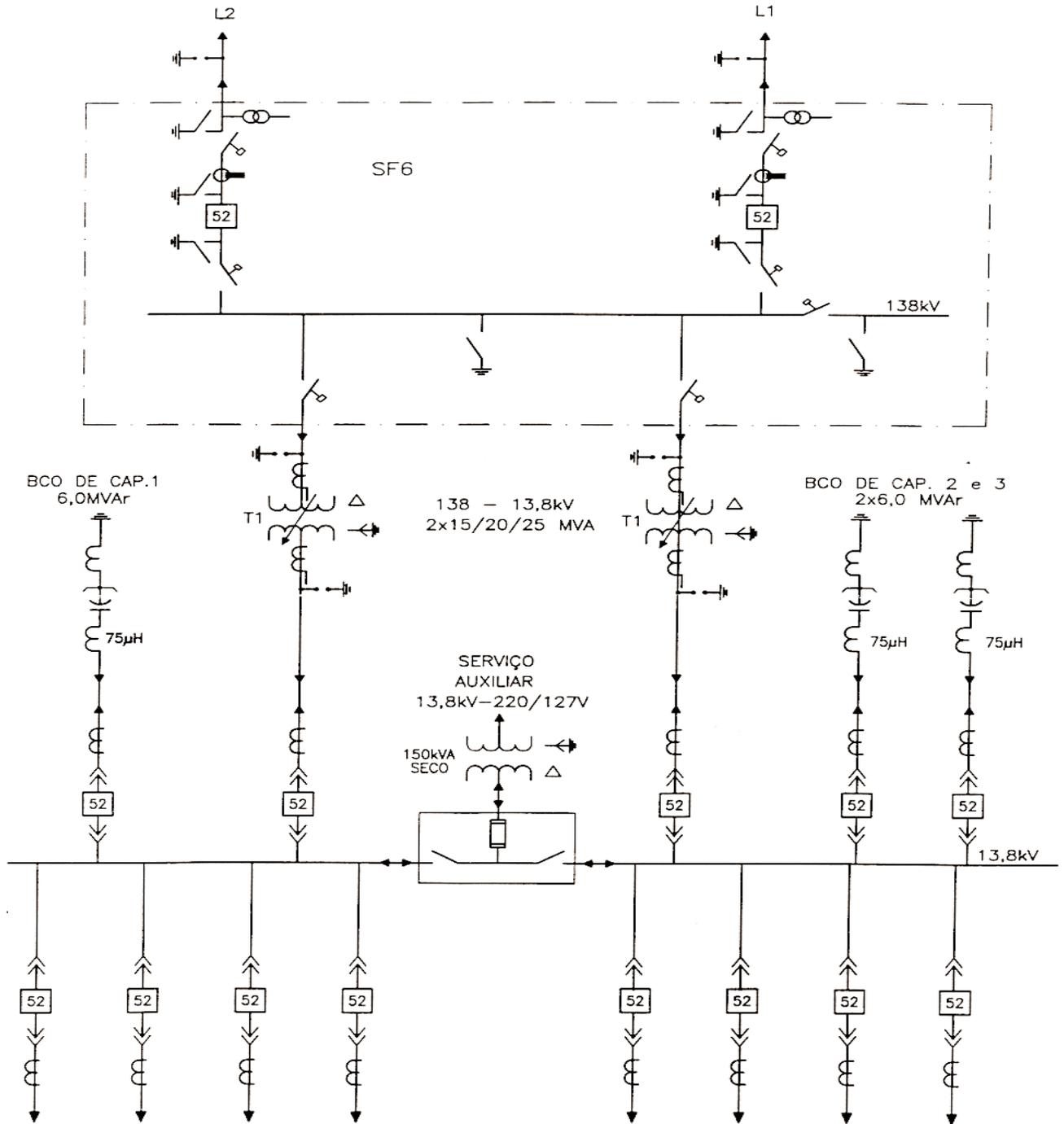


FIGURA 1 - Diagrama Unifilar Simplificado da SE BH São Marcos – Primeira Etapa