

Capítulo IV

Desenvolvimento de metodologias para a operação de sistemas subterrâneos de distribuição com primários ligados em anel fechado

*Por Ermínio César Belverdere, Antônio Paulo da Cunha, Plácido A. Brunheroto, Denilson Varolo, Daniel Perez Duarte, Bruno L. S. Lima e João J. S. Oliveira**

A distribuição subterrânea em São Paulo avançou ao longo de várias décadas utilizando topologias tradicionais como secundários reticulados e sistemas primários seletivos. Uma configuração híbrida foi introduzida mais recentemente como uma alternativa para a redução de despesas associadas ao secundário reticulado convencional.

Estas iniciativas tinham foco na melhoria da qualidade do suprimento, enquanto o presente trabalho teve como objetivo inicial evitar interrupções momentâneas de clientes sensíveis. Atualmente, muitos clientes com demanda elevada (superior a 2,0 MVA) são conectados ao sistema por uma chave de transferência de carga conectada a dois circuitos primários.

No caso de falta em um dos dois circuitos, a manobra da chave para mudança de alimentador provoca uma interrupção momentânea do fornecimento de energia. Da mesma forma, o consumidor é submetido a uma segunda interrupção no retorno à condição normal de operação.

Outro fator importante que serviu de motivador à realização do presente projeto reside na oportunidade de exploração de novas configurações de rede viáveis para distribuição subterrânea em áreas em que a exigência por melhor qualidade de serviço e produto seja relevante, sem que haja

acréscimos consideráveis nos custos envolvidos.

Apesar de configurações com primários em anel fechado serem conhecidas, existem diversas possibilidades de execução que podem variar de acordo com a tipologia do mercado e com a infraestrutura da rede de distribuição existente. As vantagens e desvantagens da topologia em anel serão apresentadas e analisadas a seguir.

Ademais, o presente trabalho apresenta alternativas de concepções para o sistema de automação e monitoramento da rede de distribuição proposta. Também foi realizada uma análise térmica do comportamento dos cabos para condição de emergência para diferentes tempos de duração de falta. Estes cálculos auxiliam a prever o comportamento do circuito em caso de faltas.

Topologias em anel

Rede em anel com chaves instaladas em série

Em uma configuração simples de anel fechado, apresentada na Figura 1, todos os clientes são conectados em série por meio de chaves automáticas equipadas com disjuntores nas vias de saída. Como consequência, a corrente e a tensão são distribuídas de maneira não uniforme ao longo do circuito.

A grande vantagem desta topologia reside no fato

de ambos os circuitos seguirem caminhos diferentes, evitando assim a ocorrência de contingência dupla causada por escavação indevida do solo. Outras vantagens são a facilidade para localização de defeitos e isolamento do trecho em falta.

Como desvantagem, pode ser mencionado o fato de, em casos de ocorrência de defeito em alguma chave, o sistema passa a operar de forma radial, reduzindo sua confiabilidade.

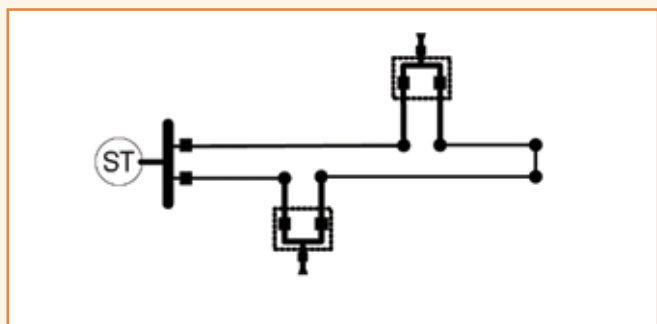


Figura 1 – Configuração com chaves em série.

Rede em anel com chaves instaladas em paralelo

A Figura 2 apresenta a configuração em anel com chaves instaladas em paralelo. Nesta condição, os alimentadores primários devem percorrer o mesmo caminho, ou deve, pelo menos, haver convergência nos encaminhamentos nos pontos de derivação para as chaves. Porém, em caso de falta e desligamento de uma chave, os demais clientes podem continuar sendo

alimentados pelo anel fechado.

Outras vantagens são a melhor distribuição de carga, melhor perfil de tensão e menor comprimento de cabos.

Porém, a adoção desta topologia requer estudos específicos acerca da solução a ser adotada para a proteção do sistema. Para tanto se exige que haja comunicação entre as chaves de forma a possibilitar o isolamento do alimentador sob falta no menor tempo possível.

Outra desvantagem consiste na maior dificuldade para localização do defeito, uma vez que todo o alimentador será desligado em casos de contingências.

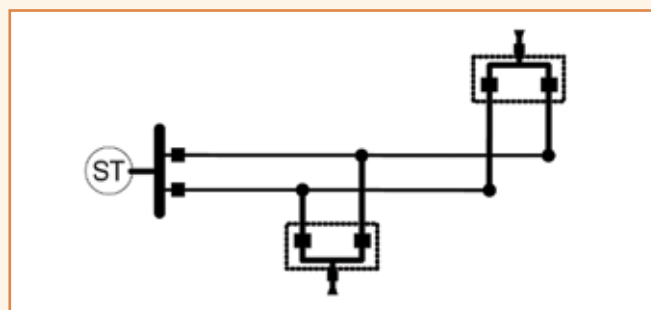


Figura 2 – Configuração com chaves em paralelo.

Topologia à jusante da chave

No caso de clientes com demanda elevada, justifica-se uma chave individual de maneira a garantir maior confiabilidade. Porém,

para clientes de menor porte, é proposta uma topologia em anel normalmente aberto interligando todas as câmaras transformadoras a jusante de uma chave.

Assim, são necessárias chaves apenas para grandes consumidores e para ramais de saída alimentando conjuntos de câmaras transformadoras. Dessa forma, isolam-se os grandes consumidores dos menores. De acordo com as considerações dos itens anteriores, é apresentado na Figura 3 um esquema da topologia proposta para um caso particular, com as chaves instaladas em paralelo. Esta topologia pode ser adotada também para configuração com chaves em série.

Observa-se que o denominado ramal de saída é seccionado com chaves de duas vias.

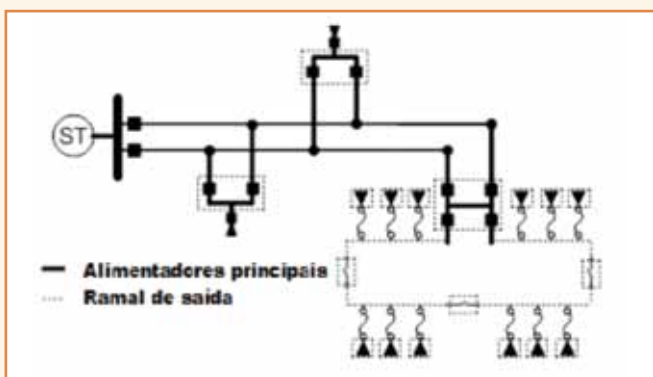


Figura 3 – Alimentação de câmaras transformadoras à jusante da chave.

Uma alternativa de topologia seria a interligação das câmaras transformadoras em configuração radial. Porém, em caso de falta ao longo do circuito todos os clientes à jusante da proteção seriam desligados.

Proteção e automação

A característica de não radialidade deste sistema implica a necessidade de um sistema de proteção apropriado para detectar a direção das correntes de defeito de forma a isolar o trecho em contingência das duas fontes alimentadoras.

Para garantir a funcionalidade supracitada com a rapidez necessária para resguardar as instalações, faz-se necessária a concepção de esquema de proteção considerando a atuação conjunta e coordenada de mais de um relé.

Isso pode ser obtido tanto pela coordenação de funções direcionais de sobrecorrente com as respectivas curvas tempo x corrente, como por meio de esquemas de proteção piloto com o estabelecimento de canal de comunicação entre os dispositivos.

A primeira opção descrita (coordenação de curvas) acarreta em elevação dos tempos de atuação a fim de garantir que sempre atue o dispositivo mais próximo do ponto de defeito. Porém, os tempos obtidos para a atuação do dispositivo com o ajuste de curva mais elevado ficam na casa de segundos, inviabilizando a aplicação desta filosofia.

Assim, sugere-se a aplicação de sistema de teleproteção, utilizando infraestrutura de comunicação para garantir a coordenação e a seletividade dos dispositivos, com as devidas

funções de retaguarda para o caso de falhas na referida comunicação.

A seguir são apresentados os conceitos básicos envolvidos nos dois esquemas de teleproteção sugeridos para a aplicação em questão.

1) Esquema POTT (Permissive Overreaching Transfer Trip)

O princípio básico do esquema POTT é a troca de sinais de permissão entre os terminais para a atuação dos relés e consequente abertura dos disjuntores.

Na ocorrência de um defeito que sensibilize a função de sobrecorrente direcional de determinado relé, este envia ao relé do terminal remoto um sinal permissivo de atuação. Caso a mesma função do terminal remoto também seja sensibilizada, um sinal permissivo de atuação também será enviado do terminal remoto ao terminal local, sendo assim enviado o comando para a abertura dos disjuntores e consequente isolamento do trecho em falta.

Na topologia em anel fechado, este esquema deve ser aplicado considerando a comunicação entre relés de chaves diferentes, cujas referidas vias alimentam o mesmo trecho de alimentador.

As Figuras 4 e 5 apresentam as atuações esperadas para o esquema POTT na configuração proposta para defeitos dentro e fora da zona de proteção dos dispositivos em estudo, respectivamente.

2) Esquema DCB (Direction Comparison Blocking)

O princípio básico do esquema DCB é a troca de sinais entre os terminais para bloqueio da atuação dos relés e consequente abertura dos disjuntores em casos onde o defeito ocorreu fora de sua zona de proteção. Para tanto, são necessárias duas zonas de atuação direcional em cada relé, uma voltada à região a ser

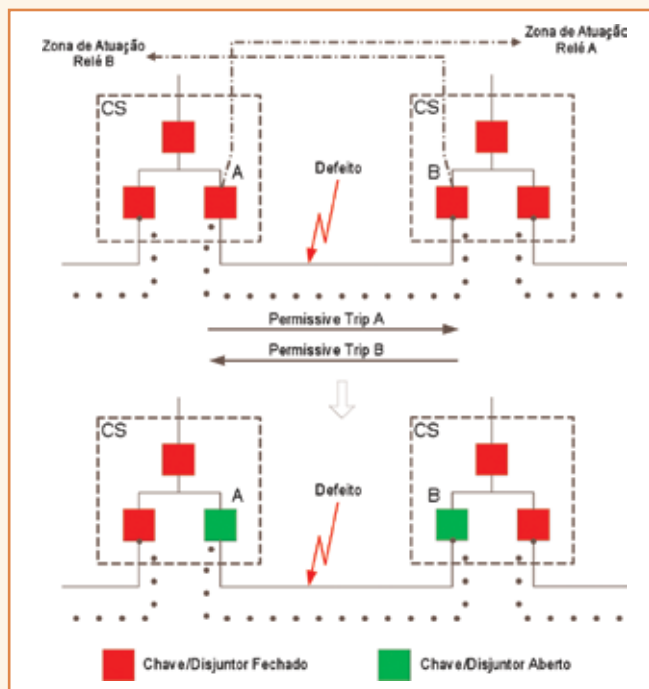


Figura 4 – Atuação do esquema POTT para defeitos dentro da zona de proteção.

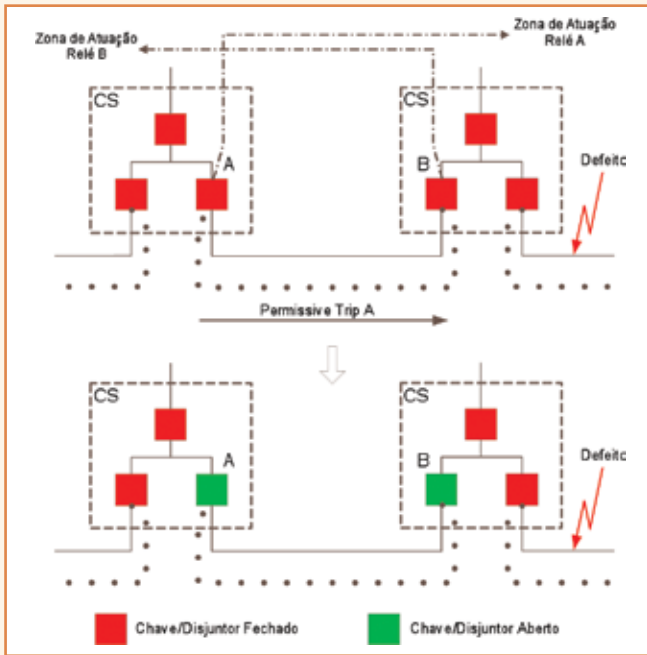


Figura 5 – Atuação do esquema POTT para defeitos fora da zona de proteção.

protegida e a outra para detecção de defeitos externos a esta região.

Neste esquema a atuação de um dispositivo de proteção independe do envio de sinal permissivo advindo do terminal remoto, ou seja, sensibilizado o elemento direcional que detecta defeitos no sentido da zona a ser protegida, este atua de acordo com a temporização ajustada.

Caso o elemento direcional que detecta defeitos no sentido contrário à zona a ser protegida seja sensibilizado, o dispositivo envia imediatamente um sinal de bloqueio para a direção oposta com o objetivo de inibir a sua atuação.

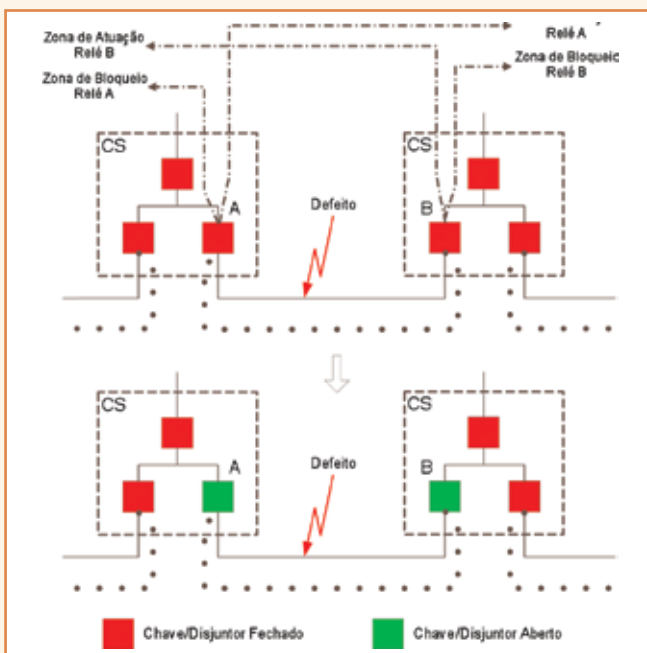


Figura 6 – Atuação do esquema DCB para defeitos dentro da zona de proteção.

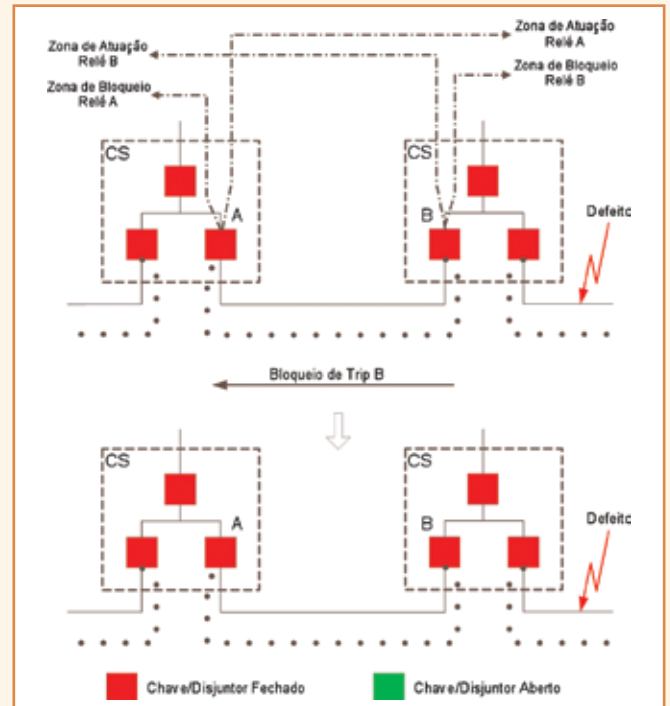


Figura 7 – Atuação do esquema DCB para defeitos fora da zona de proteção.

As Figuras 6 e 7 apresentam graficamente o conceito exposto, ilustrando o comportamento do sistema em situação de contingências dentro e fora da zona a ser protegida, respectivamente.

Automação

A automação da rede na topologia em anel fechado terá três funções principais: controle de carregamento, localização de faltas e gestão das câmaras transformadoras.

1) Controle de carregamento

Esta função combinará as leituras dos sensores de corrente e tensão instalados nas chaves com medições de temperaturas dos cabos fornecidas por sensores instalados em posições estratégicas. Seu objetivo é evitar que circulem correntes pelo anel sem alimentação das cargas. Tal situação pode ocorrer em função de diferenças de tensão de alimentação (em módulo ou fase).

2) Localização de faltas

A lógica de proteção proposta anteriormente não ajuda na localização da falta, pois com a abertura de todas as chaves do circuito não será possível localizar o trecho em que ocorreu a falta. Assim, é necessário um algoritmo de localização de faltas para identificar o trecho defeituoso.

O algoritmo deve fazer comparações a partir das leituras de corrente e tensão fornecidas pelos sensores instalados nas chaves seccionadoras. De acordo com a intensidade das correntes de curto, seria possível inferir o trecho em condição de falta a partir de cálculos realizados previamente. Desta forma, pode ser diminuído significativamente o tempo de reparo de um trecho sob falta.

3) Gestão das câmaras transformadoras

A gestão das câmaras transformadoras envolve a sua segurança, que, por sua vez, pode significar melhoria na qualidade da operação da rede. Neste objetivo serão monitoradas grandezas físicas que forneçam informações suficientes para garantir a segurança patrimonial da concessionária, como também a segurança das equipes de manutenção.

Assim sendo, será monitorada a invasão da câmara, o nível de água interno e, eventualmente, a presença e pressão de gases no interior da câmara. Além disso, um sensor de temperatura informará a temperatura no interior da câmara e possibilitará o acionamento de sua ventilação.

Arquitetura de coleta de dados

Unidades de coleta de dados, relés, serão responsáveis por realizar a leitura dos sensores mencionados nos itens anteriores. Além de ler os sensores, a unidade de coleta de dados empacotará as leituras de acordo com protocolo de comunicação DNP3. Por meio de uma rede de comunicação – realizada em fibra óptica ou rádio – as leituras dos sensores chegarão até a subestação.

Na subestação Brigadeiro, um software será responsável por realizar os cálculos necessários e armazenar as leituras num banco de dados local. Além disso, o software será incumbido de enviar alarmes via SCADA para o centro de operações da concessionária.



Figura 8 – Arquitetura do sistema de automação.

A arquitetura da rede de comunicação dos relés, responsáveis por coletar leituras das chaves e executar as ações sistêmicas de proteção, será diferente da arquitetura para coleta das leituras dos relés relativos à gestão de câmaras transformadoras e controle de carregamento (sensores de temperatura). Os itens a seguir descrevem os dois modelos de arquitetura.

1) Arquitetura de comunicação do sistema de proteção do circuito

Os relés microprocessados responsáveis pela leitura das grandezas fornecidas pelas chaves terão seus dados coletados por cabos óticos. Os cabos óticos foram escolhidos devido à maior

confiabilidade e maior velocidade dos enlaces de comunicação se comparado a outros meios de comunicação, uma vez que a velocidade de comunicação entre os relés será determinante para o tempo de atuação das proteções. Dessa forma, estão sendo analisadas duas arquiteturas de rede de comunicação.

Na primeira, apresentada na Figura 9, as chaves são interligadas formando uma arquitetura em anel. Neste caso, será utilizado um protocolo de comunicação ponto a ponto bidirecional, em que não haverá um mestre da comunicação.

Esta arquitetura apresenta como vantagens: economia no lançamento de cabo óptico em relação à concepção da rede em estrela (multiponto), acesso remoto a qualquer relé da rede por meio de um relé local e processamento local. Este último possibilita boa coordenação na proteção, além de propiciar o acionamento local das chaves em caso de falha de comunicação.

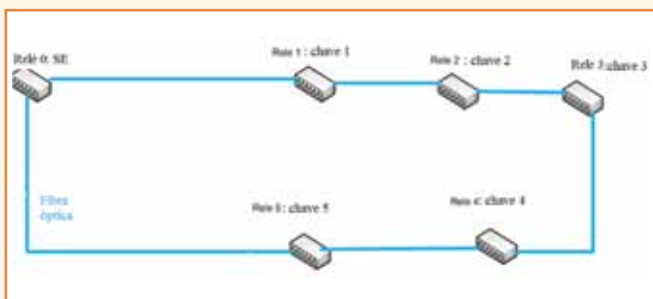


Figura 9 – Arquitetura de comunicação dos relés ponto a ponto.

A segunda alternativa seria uma arquitetura ponto multiponto ou estrela, onde um equipamento denominado mestre, instalado na SE, seria responsável por interrogar os relés escravos instalados em cada chave. Desta forma, os relés das chaves não poderiam se comunicar entre si.

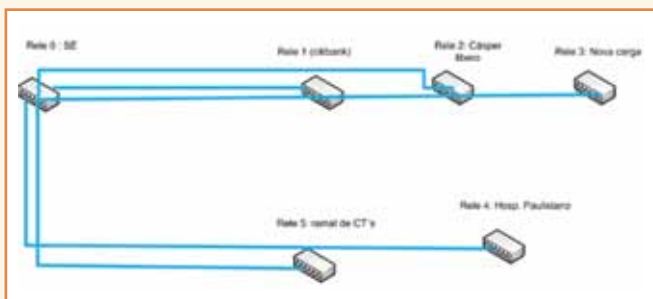


Figura 10 – Arquitetura de comunicação dos relés ponto multiponto.

Dessa forma, o concentrador instalado na SE poderá enviar comandos para abertura de todos os disjuntores do circuito em falta ao mesmo tempo. Cada chave será interligada ao mestre de comunicação por um cabo óptico dedicado. Não seria necessária a comunicação entre chaves proposta no item anterior. Esta alternativa inviabiliza a utilização de funções de teleproteção entre as chaves, devendo ser implementada solução de proteção sistêmica centralizada.

A desvantagem desta arquitetura é verificada no quesito confiabilidade, pois, em caso de defeito no cabo óptico, a

comunicação de uma chave será perdida.

Outro problema de confiabilidade seria uma falha no mestre de comunicação. Este fato disponibilizaria a proteção sistêmica, ficando a cargo das parametrizações locais o desligamento dos circuitos. Dessa forma, devem ser estudadas ao longo do projeto outras alternativas para proteção em caso de falha de comunicação.

Uma possibilidade é a redundância de comunicação com utilização de outro meio físico como backup de comunicação, rádio, ou até mesmo a utilização de uma rede óptica como backup.

2) Arquitetura para coleta das leituras dos sensores da câmara transformadora e sensores de temperatura

Como mencionado, será necessário coletar as leituras dos sensores de temperatura (controle de carregamento) e dos sensores instalados na câmara transformadora. No item anterior foi apresentada uma arquitetura ponto a ponto, a qual não poderá ser utilizada para gestão de CTs e controle de carregamento devido ao número de pontos e a distância entre eles. Além disso, a introdução dos novos coletores de dados na arquitetura do item anterior prejudicaria a velocidade do sistema de proteção.

Assim, uma arquitetura baseada numa rede wireless IEEE 802.11 com enlaces em malha foi escolhida. Neste caso, esta alternativa de arquitetura é mais competitiva, pois possibilita menor custo com infraestrutura, eliminando dutos e cabos óticos. Também foi levado em consideração para escolha do meio de comunicação o fato de que os eventos a serem monitorados são lentos, não sendo necessária grande velocidade de enlace, diferentemente do item anterior.

Outra possibilidade que está sendo estudada é a utilização da rede sem fio em malha como backup de comunicação entre as chaves. A Figura 11 apresenta um esquema da arquitetura de rede.

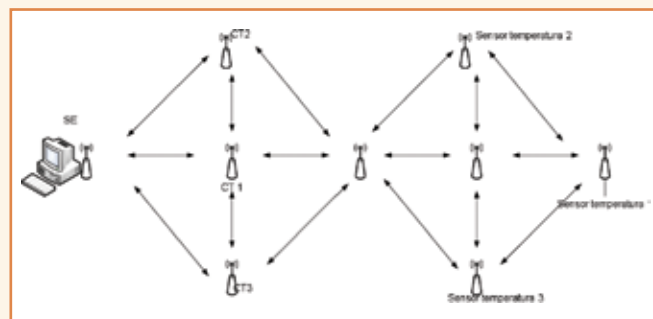


Figura 11 – Arquitetura de comunicação para coleta de dados de sensores instalados na CT e sensores de temperatura.

Estudos realizados e aplicação piloto

Após um estudo embasado em critérios econômicos e técnicos, foram escolhidos dois circuitos em primário seletivo da subestação Brigadeiro para alteração de topologia para anel com ramais em paralelo. Além disso, a necessidade de introdução de uma nova carga representada por um grande cliente e uma conversão de cargas distribuídas para rede

subterrânea contribuirá para a escolha do circuito. A Figura 12 apresenta a localização geográfica da rede estudada no trabalho.

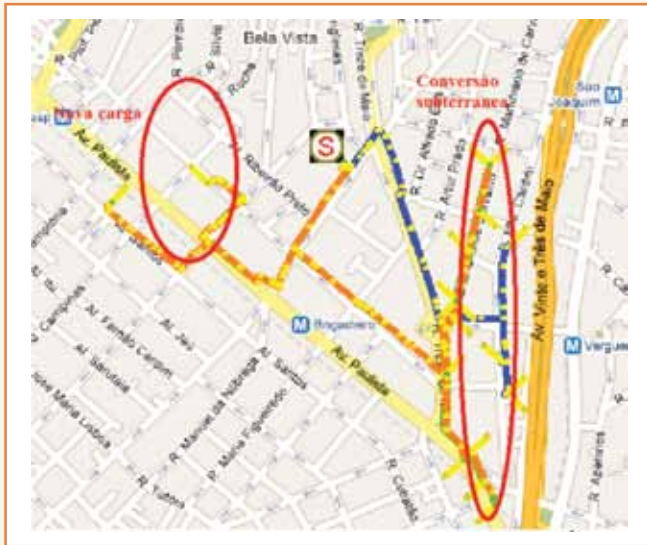


Figura 12 – Área geográfica do projeto.

A seguir são apresentados os resultados comparando a topologia anterior com a nova topologia proposta.

Proposta de projeto e simulações

Tendo em vista que o circuito original estava na topologia primário seletivo, a alteração para topologia em anel com ramais em paralelo seria de mais fácil execução. O projeto conceitual foi elaborado após visitas em campo para definições de locais adequados para conexões de novas cargas e chaves.

As curvas de carregamento dos clientes existentes foram coletadas e a previsão de crescimento de carregamento para câmaras transformadoras foi limitada em 75% do carregamento nominal (500 kVA). A partir destas premissas e de uma estimativa de demanda para as novas cargas, foram feitas simulações para obtenção de parâmetros de confiabilidade e desempenho da nova topologia.

As simulações de fluxo de energia, curto-circuito e índice de confiabilidade foram realizadas por meio do sinapgrid, que consiste em uma plataforma para análise de redes elétricas com recursos que permitem sua utilização tanto na área de operação como de planejamento dos sistemas de distribuição e de transmissão de energia elétrica. No intuito de identificar os impactos da nova topologia, foram realizadas comparações com a rede em primário seletivo.

1) Carregamento e perdas

A Figura 13 apresenta o circuito esquemático da rede em anel com ramais em paralelo, incluindo a nova carga e a conversão para subterrâneo prevista. Foram padronizados cabos de cobre, EPR, 240 mm², 15/25 kV para “condutoramento” do ramal principal, montante das chaves seccionadoras e cabos de cobre EPR 70 mm² 15/25 kV para

“condutoramento” das câmaras transformadoras à jusante da chave seccionadora.

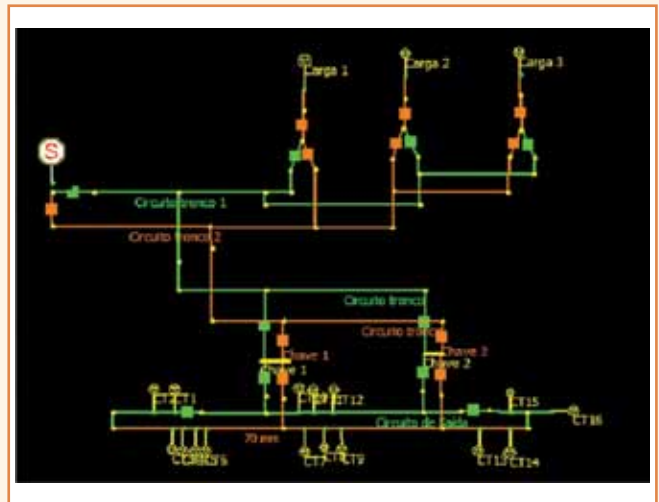


Figura 13 – Proteção aplicada à rede em anel com ramais paralelos.

Observa-se nas Figuras 14 e 15 o desequilíbrio no carregamento dos circuitos na topologia em primário seletivo. Pode ser observado na Figura 16 e 17 que o carregamento de ambos os circuitos ficaram em níveis próximos para nova topologia.



Figura 14 – Curva de carga na condição atual, primário seletivo, para circuito 1.

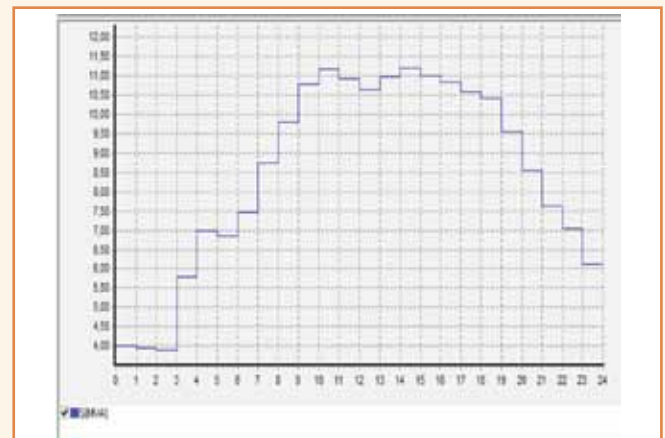


Figura 15 – Curva de carga na condição atual, primário seletivo, para circuito 2.



Figura 16 – Curva de carga para circuito 1 em anel fechado.



Figura 17 – Curva de carga para circuito 2 em anel fechado.

A Tabela 1 apresenta as condições de carregamento dos circuitos antes e depois da aplicação do anel.

TABELA 1 – CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO PARA REDE EM ANEL E PRIMÁRIO SELETIVO

Circuito	Primário seletivo		Anel fechado	
	Corrente máxima (A)	Carregamento (%)	Corrente máxima (A)	Carregamento (%)
1	60,6	30,6	279,8	62,2
2	360,0	80,7	282,6	63,0

Apesar do aumento do nível de carregamento dos circuitos pela introdução de novas cargas, pode ser observada na Tabela 2 a melhoria dos níveis de perdas da rede.

TABELA 2 – ÍNDICE DE PERDAS PARA REDE EM ANEL E PRIMÁRIO SELETIVO

Circuito	Primário seletivo		Anel fechado	
	Energia (kWh)	Índice (%)	Energia (kWh)	Índice (%)
1	3212	0,68	8976	1,56
2	8346	2,09	8446	1,59

A condição de carregamento para situação de contingência é apresentada na Tabela 3, considerando o limite de temperatura admissível de 130 °C dos cabos de EPR. Além

disso, nas simulações foi considerado que o tempo de duração da contingência excede o tempo de reparos e manutenção, ou seja, a pior condição. Os níveis de tensão para as cargas antes e depois da alteração para anel são os mesmos, devido às características do circuito de baixa impedância e comprimento inferior a 2 km.

TABELA 3 – CORRENTE MÁXIMA PARA CONDIÇÃO DE CONTINGÊNCIA

Circuito	Corrente máxima (A)
1	279,8
2	282,6

2) Curto-circuito

A Tabela 4 apresenta as correntes de curto-circuito trifásico para faltas ocorridas em diferentes trechos do circuito. Como esperado a configuração em anel aumentou os níveis de corrente de curto-circuito, deve ser levado em consideração que as chaves podem operar com uma corrente de até 12,5 kA.

TABELA 4 – CURTO-CIRCUITO (kA/GRAUS)

Ponto	Primário seletivo	Anel
CARGA 1	7,829/-69,8	9,943/-79,5
CARGA 2	7,673/-69,5	9,539/-74,4
CARGA 3	-	9,104/-74,4
CÂMARA TRANSF. 1	-	8,542/-72,3
CÂMARA TRANSF. 6	-	8,226/-70,2

3) Índices de confiabilidade

Esta simulação é realizada a partir de dados de taxa de falha esperadas para equipamentos da rede e para cada quilômetro de cabo do circuito. A configuração da rede, número de cargas e número de clientes abastecidos também são levados em consideração pelo algoritmo de cálculo para obter os índices DEC, duração de horas de interrupções durante um ano, e o FEC, índice de frequência de interrupção por ano.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os índices DEC e FEC considerando uma taxa de falha de 0,03 faltas/km e 12 horas de tempo necessário para reparo da falta.

TABELA 5 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA DEC (H/ANO)

Cargas	Primário seletivo	Anel fechado
CARGA 1	2,078	0,367
CARGA 2	2,127	0,367

TABELA 6 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO PARA FEC (VEZES/ANO)

Cargas	Primário seletivo	Anel fechado
CARGA 1	0,884	0,300
CARGA 2	0,874	0,300

Embora o objetivo inicial do projeto tenha sido a concepção de uma nova topologia para eliminação da sensibilidade dos clientes a manobras das chaves em caso de faltas houve uma melhoria significativa dos índices de confiabilidade.

4) Proteção

Neste sentido, foram habilitadas as seguintes funções de proteção:

- 67P / 67G (Direcional fase e terra)
- 52B (Disjuntor aberto)
- 51P / 51G (Sobrecorrente temporizado)
- POTT (Permissive Overreaching Transfer Trip)
- DCB (Directional Comparison Block)

Essas duas últimas funções (POTT e DCB) referem-se às lógicas de teleproteção e serão utilizadas para proteção principal e retaguarda, respectivamente.

5) Aspectos econômicos

Além da eliminação das piscadas provocadas pela transferência de estado das chaves em primário seletivo, o projeto propiciou outras melhorias que também tem impacto econômico para clientes e concessionária. A diminuição de perdas e a melhoria dos índices de confiabilidade trazem uma economia para concessionária. Considerando ainda mais o fato da rede em questão ser responsável por alimentar clientes de grande porte trazendo assim maior impacto econômico. Além disso, o fato da rede operar anteriormente em primário seletivo, com circuitos em paralelo, gerou um menor custo de obras civis para implementação das melhorias em anel fechado.

Considerando os padrões atuais de rede subterrânea da concessionária, a topologia proposta neste trabalho reduz consideravelmente o comprimento de cabo secundário e elimina o custo empregado em protetores. Desta forma, além das melhorias técnicas e de confiabilidade, o presente trabalho apresenta redução de custo para clientes e concessionária.

Referente ao sistema de automação ainda estão sendo analisadas quais arquiteturas de rede de comunicação e equipamentos de proteção e controle atendem a topologia de rede com alimentadores em anel, proposta neste trabalho, uma vez que não se trata de uma topologia convencional e as soluções existentes no mercado são voltadas as topologias convencionais.

6) Análise térmica dos cabos para condição de contingência

Esta análise foi realizada com o intuito de obter o tempo máximo que o cabo de cobre 240 mm², EPR, 15/25 kV suportará uma condição de contingência. Para isso, foi calculada a corrente de emergência de acordo com a IEC 60853-2 para diferentes tempos de duração de falta. Nestes cálculos foi obtido que o cabo em questão, submetido a uma falta, chegaria à temperatura máxima admissível, 130 °C, após um período de 48 horas. Este tempo indica que seria possível o reparo da falta antes do cabo chegar a sua temperatura máxima admissível.

7) Aplicação em campo

Realizados os estudos e efetuado o processo de compra de materiais e equipamentos, foi dado início à montagem e instalação em campo dos componentes envolvidos na aplicação piloto. As Figuras 18 e 19 apresentam fotos da caixa contendo os componentes de automação das câmaras subterrâneas.



Figura 18 – Vista interna da caixa de automação da câmara subterrânea.

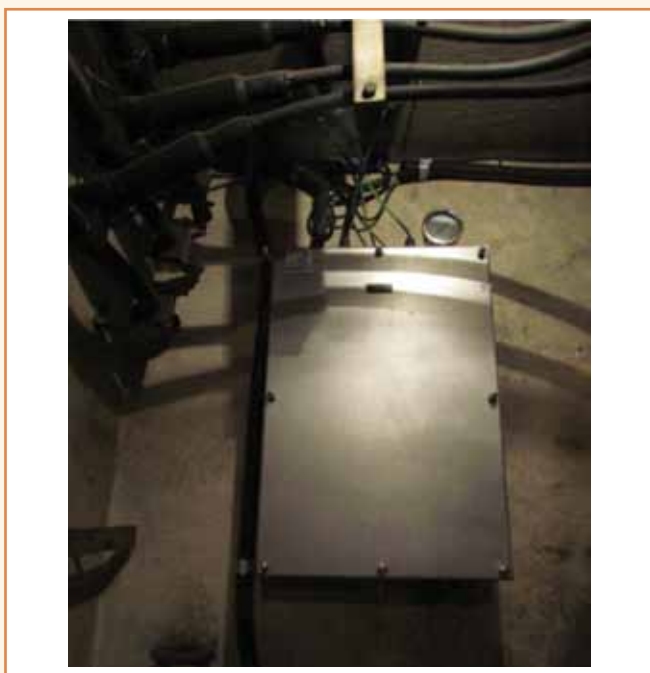


Figura 19 – Vista externa da caixa de automação da câmara subterrânea.

A Figura 20 apresenta um profissional trabalhando no processo de instalação da chave automatizada na câmara subterrânea.



Figura 20 – Processo de instalação da chave automática.

A Figura 21 traz a imagem da chave automática já instalada, com seu respectivo painel de controle.



Figura 21 – Chave automática instalada em câmara.

Na Figura 22, é apresentada a vista da tampa da câmara subterrânea onde a chave automática está instalada, localizada na rua 13 de Maio, em São Paulo (SP).



Figura 22 – Câmara subterrânea contendo chave automática.

Conclusão

No presente trabalho foram apresentados os desenvolvimentos de novas topologias de operação da rede subterrânea de distribuição, priorizando a redução de interrupções em situações de contingência e transferência de carga, por meio da operação em anel fechado nos primários do sistema. As novas instalações tiveram como princípio aproveitar os equipamentos e a infraestrutura já disponíveis, sem a necessidade de substituição extensiva de componentes ou reformas.

Para viabilização da operação e a partir da proposta de topologia, foi também desenvolvido um sistema de monitoramento instalado numa aplicação piloto, compreendendo novos sensores submersíveis, meios de comunicação e/ou registro dos valores medidos, bem como software para supervisão, gerenciamento e prognóstico do estado operativo.

Referências

• BELVEDERE, E. C.; GOUVEA, M. R. et al. "Underground distribution hybrid system". CIREN, 2005.

- BELVEDERE, E. C.; OHARA, A. et al. "Reliability improvement on underground distribution spot network system". *Transmission and Distribution Conference. São Paulo, 2010.*
- Gemignani, M. M. F. et al. "Optimization of the underground grid network system in São Paulo". CIREN, 2009.
- Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 2: Cyclic rating of cables greater than 18/30 (36) kV and emergency ratings for cables of all voltages, IEC 60853-2, jul. 1989.

Por Ermínio César Belverdere, Antônio Paulo da Cunha, Fláclido A. Brunheroto, Denilson Varolo, Daniel Perez Duarte, Bruno L. S. Lima e João J. S. Oliveira*

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br