

Planejamento e Implantação de um Sistema que Executa a Função FLISR em Redes de Distribuição

Daniel Perez Duarte, Marcelo Aparecido Pelegrini, João Carlos Guaraldo, Henrique Kagan, Bruno Hideki Nakata
Sinapsis Inovação em Energia

Clóvis Simões, José Aurélio Porto
Spin Engenharia de Automação

José Mário de Souza Melo
Celpe Neoenergia

Resumo — Este artigo descreve os critérios de planejamento e as etapas de implantação de um sistema que executa a função FLISR em redes de distribuição de energia. Essa função consiste na localização e isolamento de uma falta, além da reconfiguração da rede para restabelecer o serviço a clientes situados em trechos são da rede. Os critérios e etapas descritos foram considerados para a aplicação do sistema ActionWise, desenvolvido pelas empresas Sinapsis e Spin, nos circuitos de distribuição da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), parte do grupo Neoenergia.

Palavras-chaves — Distribuição de energia, automação, redes inteligentes, auto reconfiguração de rede, FLISR.

I. INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de energia representa a última etapa do fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Após a etapa de geração que, devido à matriz energética no Brasil ser predominantemente hidráulica, é realizada normalmente longe dos centros urbanos, o transporte da energia gerada é efetuado através de longas linhas de transmissão até as subestações de subtransmissão, que representam o início do sistema de distribuição. Normalmente operando com tensões entre 69 kV e 138 kV, o sistema de subtransmissão realiza o transporte de energia até as subestações de distribuição, além de fornecer energia a consumidores alimentados em alta tensão. Foco deste trabalho, o sistema de distribuição primário inicia-se nas subestações de distribuição, que estão localizadas normalmente dentro das cidades, e seus circuitos acompanham ruas e avenidas até chegarem aos consumidores finais.

Nos circuitos de distribuição, a configuração radial é adotada em detrimento da configuração em malha para reduzir custos de investimentos e custos operacionais, porém acarreta em perda de confiabilidade do sistema [1]. Com a instalação de chaves automáticas na rede, além outros sistemas e equipamentos que realizem a supervisão e a execução de manobras de maneira remota, é possível mitigar essa perda de confiabilidade, além de permitir a aplicação de funcionalidades de automação como a função FLISR (fault location, isolation and service restoration), que executa a localização e isolamento de uma falta na rede, além da restauração do serviço de energia a trechos não afetados diretamente pelo defeito.

Conforme ilustrado na Fig. 1, sem a função FLISR, só haveria o restabelecimento de energia depois de transcorridas as etapas de identificação da ocorrência na rede, preparação e deslocamento das equipes de campo, localização da falta e execução de manobras na rede, que podem levar algumas horas para serem completadas em algumas situações. Com a aplicação da função FLISR, é possível executar o restabelecimento de energia a determinados trechos da rede em alguns minutos, contribuindo para a diminuição dos indicadores de continuidade da rede.

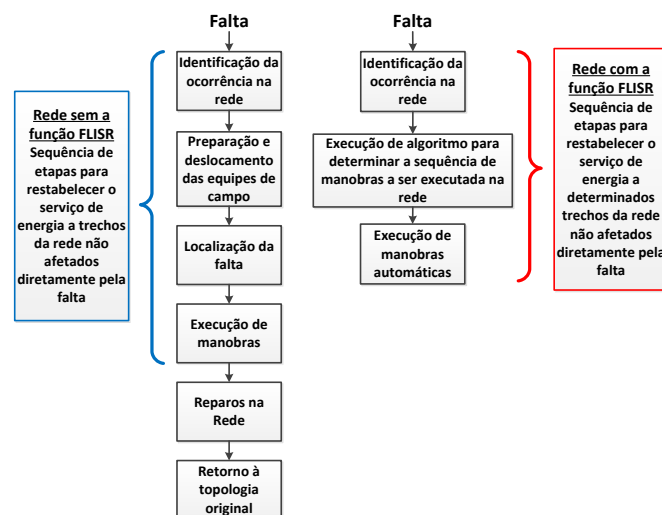


Fig. 1. Comparação das etapas executadas de restabelecimento após uma falta com e sem a função FLISR [2]

Neste trabalho são apresentados os critérios de planejamento e as etapas para implantação de um sistema que executa a função FLISR, aplicado nos circuitos de distribuição da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), que faz parte do grupo Neoenergia. O sistema em questão, chamado ActionWise, possui integração com o sistema SCADA da empresa além de executar algoritmos de estimação de estado e otimização para determinar a sequência de manobras mais adequada a ser realizada na rede. O sistema ActionWise foi desenvolvido em conjunto pelas empresas Sinapsis Inovação e Energia e Spin Engenharia de Automação.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: no item II são apresentadas as etapas para execução da função FLISR.

Nos itens III e IV são apresentados os critérios de planejamento e as etapas para implantação do sistema que executa a função FLISR, respectivamente. No item V, o sistema ActionWise é apresentado com maior detalhamento. Por fim, nos itens VI e VII, são apresentadas as conclusões do trabalho e as referências bibliográficas.

II. ETAPAS PARA EXECUÇÃO DA FUNÇÃO FLISR

A execução da função FLISR pode ser dividida nas seguintes etapas:

1. Identificação da falta na rede;
2. Identificação do local da falta;
3. Identificação do bloco a ser isolado e execução de manobra para isolar a falta;
4. Planejamento e Execução de manobras para restabelecer o fornecimento de energia a trechos da rede;
5. Retorno ao estado original após o conserto da rede.

Tradicionalmente, as tarefas de detecção e localização de uma falta na rede elétrica iniciam-se com as ligações telefônicas dos consumidores, que permitem à distribuidora determinar o local aproximado da ocorrência e despachar as equipes de campo. Após chegar ao local e determinar o ponto exato do defeito, a equipe executa manobras para a isolação do mesmo e, se possível, restabelece o fornecimento a trechos da rede através do fechamento de uma chave normalmente aberta. Em seguida são realizados os reparos na rede e, por fim, o retorno da rede ao estado normal.

Com a automação das redes de distribuição e a instalação de equipamentos automáticos como religadores e identificadores de falta, além de sistemas de comunicação para transmitir as informações obtidas por esses equipamentos para locais convenientes, é possível executar as etapas da função FLISR de maneira automática, com maior rapidez e eficiência. Como exemplo, será utilizado um arranjo com dois circuitos operando em configuração radial, ambos com um disjuntor de saída (DJ1 e DJ2) e um religador automático normalmente fechado instalado ao longo do tronco principal (RA1 e RA2). Além disso, existe um religador normalmente aberto (RA3) na interligação entre os dois circuitos. Esse arranjo é apresentado na Fig. 2.

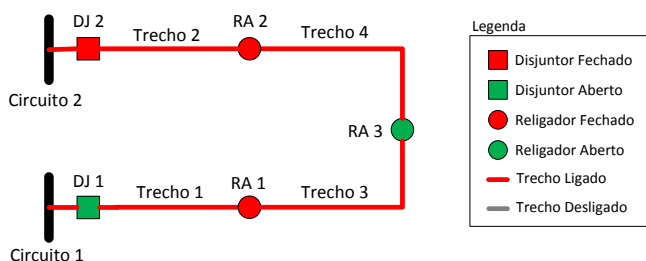


Fig. 2. Arranjo com dois circuitos interligados por um religador normalmente aberto

1) *Identificação da falta na rede:* Caso ocorra uma falta permanente no trecho 1, o disjuntor DJ1 irá atuar devido à sobrecorrente causada pelo defeito. Após as tentativas de religamento, o DJ1 irá abrir definitivamente, interrompendo o fornecimento de energia a todos os consumidores conectados ao circuito 1, conforme apresentado na Fig. 3. Utilizando um sistema de comunicação que permita enviar as informações

sobre essa ocorrência para o operador no centro de controle, a etapa de identificação da falta torna-se totalmente automática. Para os casos em que ocorre a atuação de uma chave fusível e o desligamento de um ramal da rede, a identificação de falta ainda é feita predominantemente através de ligações telefônicas dos consumidores.

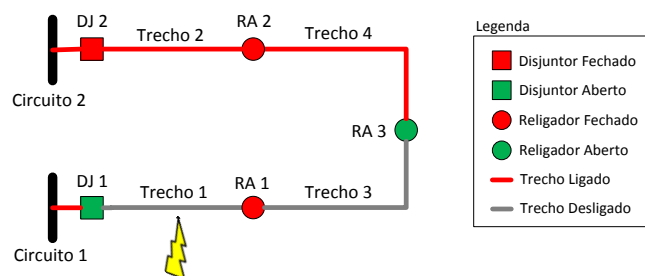


Fig. 3. Falta no trecho 1 e abertura do disjuntor DJ1

2) *Identificação do local da falta:* Após a identificação da falta na rede, supondo a coordenação adequada dos ajustes de proteção dos equipamentos DJ1 e RA1, é possível afirmar que a falta na rede ocorreu no trecho 1. Dessa maneira, o operador do sistema pode despachar as equipes de campo para localizar o ponto exato da falta nesse trecho e realizar os reparos necessários na rede.

Para os casos em que ocorre a atuação de uma chave fusível, uma possível alternativa para reduzir o tempo de localização da falta é instalar identificadores de falta ao longo do circuito, que detectam a passagem de uma corrente de falta pelos seus terminais. A identificação da falta pode ser transmitida apenas localmente, com um sinal luminoso sendo emitido pelo equipamento, ou de maneira remota, com o envio de informações através de um sistema de comunicação.

3) *Identificação do bloco a ser isolado e execução de manobra para isolar a falta:* Após a abertura do disjuntor DJ1, caso esteja implantado nos circuitos um sistema que execute a função FLISR, esse sistema irá que o trecho 1 deve ser desligado, logo será executada a abertura do religador RA1 para isolar a falta no menor trecho possível da rede. Sem a função FLISR, o bloco onde ocorreu a falta só será isolado após o despacho da equipe de campo e a localização da falta por essa equipe.

4) *Planejamento e Execução de manobras para restabelecer o serviço a trechos da rede:* Para realizar a reconfiguração automática após a ocorrência, ocorre o fechamento da chave RA3, restabelecendo o fornecimento de energia ao trecho 3. A chave RA3 será fechada apenas caso o circuito 2 tenha capacidade suficiente para suportar sua carga original mais as cargas transferidas do trecho 3.

No exemplo utilizado, não é necessária uma lógica complexa para determinar as manobras a serem executadas para restabelecer o serviço a trechos da rede. Porém, em redes com topologias mais complexas, com maior número de possibilidades de manobras entre circuitos, pode ser interessante utilizar um sistema que analise as diversas possibilidades e forneça a sequência de manobras mais adequada para o restabelecimento do serviço.

Para resolver o problema de reconfiguração da rede após uma contingência, normalmente são utilizados métodos de otimização multicriterial, entre eles: métodos baseados em lógica fuzzy [3][4], algoritmos evolutivos como algoritmos

genéticos [4]-[9] e simulated annealing [5][6], entre outros.

Os trabalhos citados possuem em comum o fato de realizarem a análise da rede completa para resolução do problema, ou seja, concentram todos os dados da rede em um determinado ponto para realizar essa análise. Na prática, isto significa coletar os dados dos equipamentos de campo através de um sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA), disponibilizando-os ao sistema onde estará instalado o algoritmo desenvolvido. Esse sistema pode ser instalado tanto no nível da subestação, monitorando controlando os equipamentos e circuitos correspondentes àquela estação, ou então diretamente no centro de operação da distribuição (COD), que permite controlar múltiplas subestações e circuitos.

Como alternativa aos sistemas que concentram todas as informações em um determinado ponto da rede, foram desenvolvidos nos anos seguintes algoritmos e sistemas com inteligência distribuída entre os diversos equipamentos existentes na rede, com destaque para a utilização do conceito de sistemas multiagentes. Além disso, com a penetração cada vez maior de fontes renováveis de energia na rede, os algoritmos de reconfiguração passaram a considerar a existência de geração distribuída na rede [10]-[12].

Em relação a aplicações realizadas em empresas distribuidoras de energia no Brasil, um exemplo de sistema com inteligência distribuída pode ser encontrada em [13], que utiliza o conceito de sistemas multiagentes.

Assim como o sistema apresentado no presente artigo, os trabalhos [14] e [15] apresentam sistemas implantados por distribuidoras que utilizam algoritmos com inteligência concentrada em um determinado ponto da rede, utilizando métodos metaheurísticos e de otimização multicritério.

Caso todo o procedimento para reconfiguração da rede seja concluído num intervalo de tempo inferior a três minutos, conforme metodologia estabelecida pela ANEEL, a interrupção do fornecimento de energia aos consumidores do trecho 3 não será considerada nos cálculos dos indicadores de continuidade desse circuito, o que representa melhoria em relação ao caso em que não existe um sistema de auto reconfiguração de rede instalado na rede.

A Fig. 4 ilustra a execução das duas manobras citadas anteriormente e o trecho restabelecido.

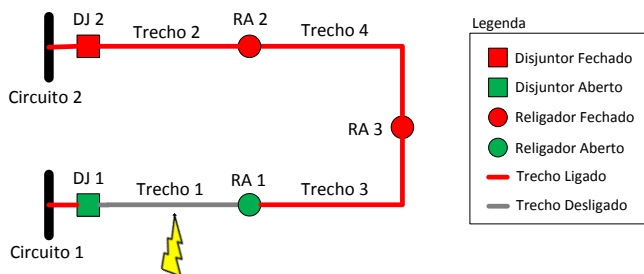


Fig. 4. Isolação do defeito (abertura do religador RA1) e restabelecimento do serviço (fechamento da chave RA3) ao trecho 3

Dessa maneira, é possível notar os possíveis ganhos nos indicadores decorrentes da automação empregada nas redes de distribuição. Os consumidores conectados ao trecho 3 terão a energia restabelecida num tempo muito inferior em relação ao caso em que seria necessário esperar pelos

operadores do sistema localizarem a falta e executarem as manobras na rede manualmente.

5) *Retorno ao estado normal após o conserto da rede:* Após os serviços de reparo no trecho com a falta, as manobras para realizar o retorno da rede ao estado normal podem ser feitas de maneira manual pelo operador em campo, ou então de maneira automática, com o envio de comandos de manobra. O sistema com a função FLISR gera a sequência de manobras a ser realizada, podendo executá-las automaticamente ou após a autorização do operador do sistema.

III. CRITÉRIOS DE PLANEJAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA COM A FUNÇÃO FLISR

A primeira etapa de planejamento para implantação da função FLISR consiste em definir qual o nível de automação do sistema que abrigará essa função. Podem ser utilizadas as seguintes opções [16]:

- Automação em nível local, com a inteligência distribuída entre os equipamentos de campo e utilização opcional de um sistema de comunicação para troca de informações entre equipamentos.
- Automação em nível centralizado com comunicação. Um sistema centralizado recebe as informações dos equipamentos de campo, analisa esses dados e envia comandos para realizar as manobras necessárias na rede.
- Automação em nível centralizado com comunicação e integração com funcionalidades de gestão. O sistema centralizado descrito no item anterior, além de executar a função FLISR, está integrado a um sistema avançado de gestão da distribuição (ADMS), fornecendo informações importantes para o planejamento e operação do sistema elétrico.

Para definir qual a estratégia a ser utilizada em uma determinada rede, podem ser comparados os ganhos esperados nos indicadores de continuidade e nas despesas operacionais (OPEX) com os investimentos necessários para desenvolvimento e implantação do sistema com a função FLISR. Por exemplo, uma estratégia prevendo a instalação de novos equipamentos e um novo sistema de comunicação na rede, que proporcionariam os maiores ganhos nos indicadores no sistema, pode não ser a estratégia mais adequada, caso o valor do investimento seja muito elevado.

Dessa maneira, em uma rede que já possui equipamentos e sistema de comunicação, utilizar um sistema que permita integrar a infraestrutura preexistente na rede pode ser a solução mais viável. Como complemento, estratégias menos drásticas como a realocação dos religadores existentes na rede podem proporcionar ganhos expressivos nos indicadores de continuidade do sistema com custo reduzido.

IV. ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA COM A FUNÇÃO FLISR

Utilizando como exemplo um sistema centralizado conectado ao sistema SCADA (sistema de supervisão e aquisição de dados) e ao ADMS, a primeira etapa de implantação consiste na instalação e comissionamento de novos equipamentos e do sistema de comunicação associado.

Em seguida, é realizada a integração desses equipamentos com o sistema SCADA.

O próximo passo é a integração do sistema com a função FLISR ao sistema SCADA e aos sistemas de gestão do ADMS, com a configuração dos pontos analógicos e digitais que serão transmitidos entre os sistemas. Devem ser configuradas também as interfaces do sistema que serão utilizadas pelos operadores no centro de controle.

Antes da implantação definitiva em campo, é interessante realizar uma etapa de testes para validação do sistema e das integrações realizadas, chamada de implantação em “modo escuta”. Nesse estágio, o sistema coleta normalmente todas as informações e executa os algoritmos para obtenção das manobras a serem executadas na rede, porém não envia comandos de manobras aos equipamentos de campo.

Após serem realizados todos os testes e ajustes durante a implantação em “modo escuta”, é realizada a implantação em modo final com a coleta e análise dos resultados, que podem ser utilizados posteriormente não apenas para avaliação da solução propriamente dita, mas também para determinar uma metodologia para aplicação dessa tecnologia em toda a área de concessão de uma empresa de distribuição.

V. ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, será apresentado o sistema ActionWise com a função FLISR, implantado nos circuitos de distribuição da CELPE.

Desenvolvido em conjunto pelas empresas Sinapsis e Spin, o ActionWise surgiu da integração do sistema SCADA ActionView da Spin com a plataforma desenvolvida pela Sinapsis, chamada aqui de ADMS/FLISR, para executar em tempo real funções avançadas como o FLISR, controle Volt-Var, alívio de carga em subestações, entre outras.

1) Estratégia para implantação do sistema: Com o SCADA ActionView já instalado na rede da CELPE, a estratégia escolhida para a implantação da função FLISR foi integrar o ADMS/FLISR da Sinapsis ao SCADA ActionView, constituindo o ActionWise. A integração foi feita através do protocolo IEC-60870-5-104. A Fig. 5 apresenta a arquitetura descrita para a solução.

Foram utilizados também religadores, disjuntores e sistema de comunicação já implantados previamente nos circuitos para serem integrados ao sistema ActionWise. Dessa maneira, foi possível implantar um sistema com custo reduzido, devido à infraestrutura já existente na rede que foi aproveitada, com ganhos expressivos esperados nos indicadores de continuidade da rede elétrica.

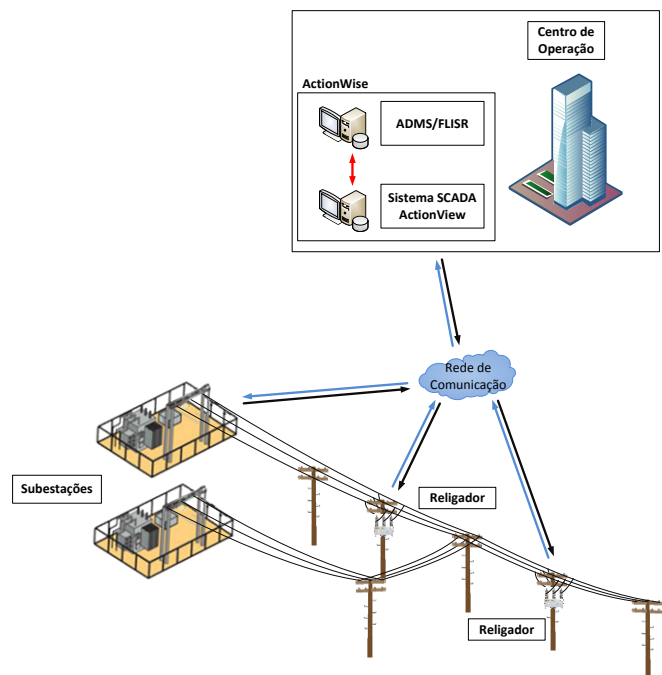


Fig. 5. Visão geral da implantação do sistema ActionWise na rede da empresa CELPE

2) Arquitetura e funcionamento da plataforma ADMS/FLISR:

A plataforma ADMS/FLISR é composta por processos executados de maneira concomitante, que comunicam-se através do envio e recebimento de mensagens, conforme ilustrado na Fig. 6. Uma mensagem contém as informações necessárias para o processo destinatário realizar uma operação.

A montagem da rede pode ser feita de duas maneiras: através da importação de dados de um sistema de informação geográfica (GIS), ou realizando a montagem da topologia manualmente.

A partir das informações recebidas dos equipamentos de campo através do sistema SCADA, é realizada periodicamente a estimação de estados da rede. Dessa maneira, quando ocorre uma contingência, é utilizada uma estimação imediatamente anterior ao momento da falta.

O algoritmo que realiza a análise de contingências busca minimizar o número de clientes desligados pelo defeito. Caso existam mais de uma solução que atenda a esse critério, é escolhida a solução que realiza menor número de manobras na rede. Caso ainda haja mais de uma opção, é escolhida a manobra que transfere carga para o circuito de socorro que possui maior reserva de corrente (diferença entre a capacidade e a medição de corrente em determinado momento).

Determinada a sequência de manobras na rede, os comandos são enviados ao SCADA ActionView, que os transmite aos equipamentos de campo.

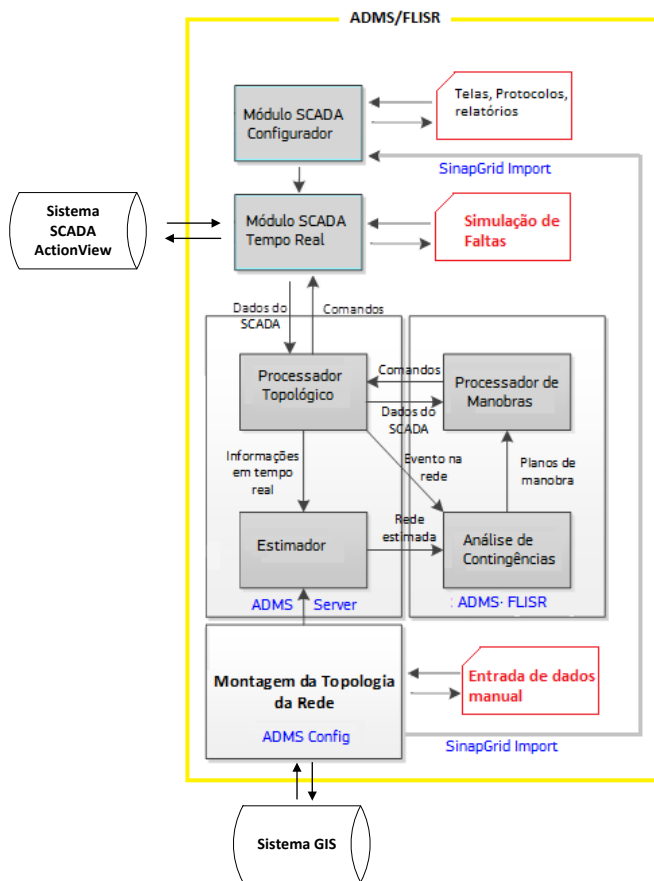


Fig. 6. Fluxograma de funcionamento da plataforma ADMS/FLISR

3) *Funcionamento do sistema ActionWise e Telas utilizadas para Operação da Rede elétrica:* A Fig. 7 representa a tela do sistema ActionWise utilizada para a operação da rede elétrica. O agrupamento representado na tela é formado por 10 alimentadores e 57 chaves automáticas (disjuntores ou religadores).

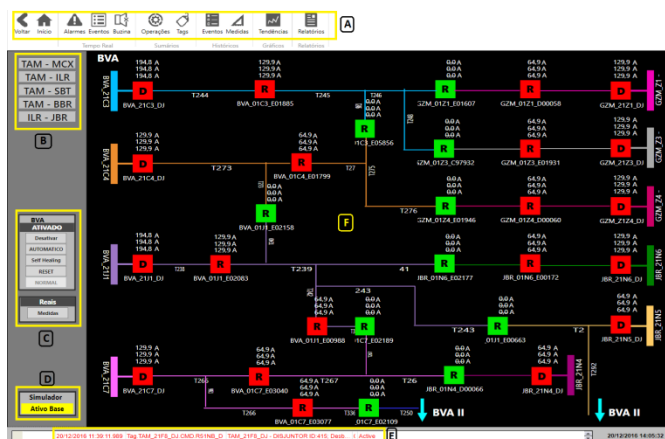


Fig. 7. Tela do sistema ActionWise utilizada para operação da rede

Através do menu localizado no canto esquerdo da tela, é possível ativar ou desativar a função FLISR nos circuitos, realizar as manobras de maneira manual (necessária autorização do operador do sistema para manobrar as chaves) ou automática (sem autorização do operador) e, por fim, ativar ou desativar o modo escuta, em que o sistema obtém dados e executa os algoritmos, porém não envia comandos aos equipamentos.

Na Fig. 8, aparece em destaque a janela com a lista de manobras a ser realizada na rede. O operador pode aceitar ou rejeitar o plano de manobras.

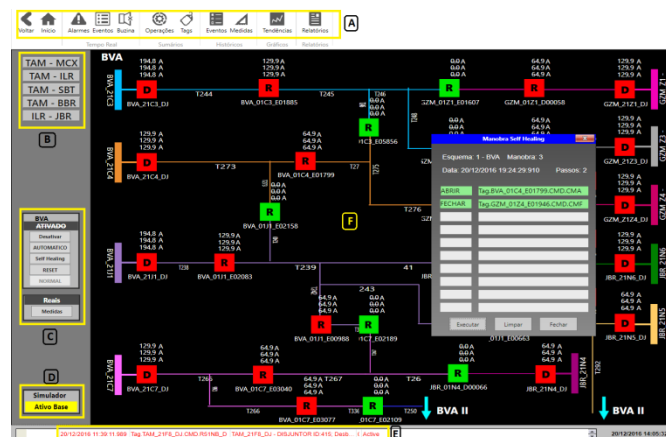


Fig. 8. Tela de operação e janela com a lista de manobras a ser executada na rede

Por fim, na Fig. 9, são apresentadas duas janelas: a primeira com o diagnóstico da anormalidade existente em uma determinada chave, e a segunda com opções habilitar ou desabilitar determinados comandos da chave (linha viva, religamento, telecomando, etc).

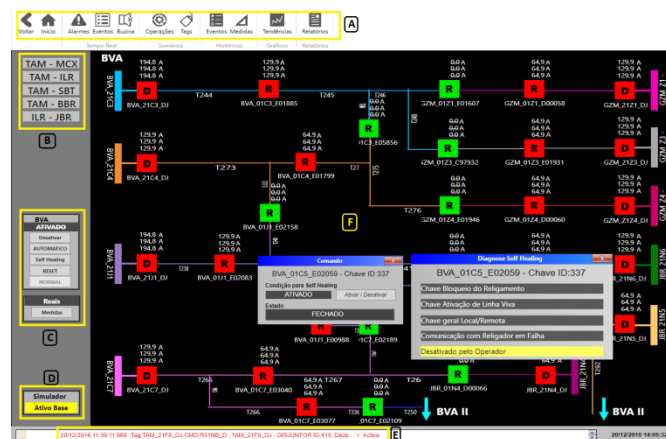


Fig. 9. Tela de operação, janela de comando de chave e janela com diagnóstico do estado anormal da chave

VI. OBSERVAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma metodologia com critérios de planejamento e etapas para implantação de um sistema que executa a função FLISR, para identificar e localizar automaticamente um defeito na rede, além de realizar manobras de maneira remota para restabelecer o fornecimento de energia a trechos sãos da rede.

Foi utilizado como estudo de caso a implantação do sistema ActionWise nos circuitos de distribuição da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), que faz parte do grupo Energisa. Já contando com chaves automáticas (disjuntores e religadores) e um sistema de comunicação instalado em sua rede, foi interessante para a empresa adotar uma solução que pudesse utilizar a infraestrutura existente, sem gastos elevados com a compra de novos equipamentos ou a renovação dos existentes.

Outra vantagem da estratégia adotada pela CELPE foi a integração com o sistema SCADA ActionView, não sendo necessário assim realizar a configuração direta dos equipamentos de campo com o sistema que executa a função FLISR. Foi realizada apenas a integração desse sistema com o SCADA ActionView, resultando no sistema ActionWise.

O sistema ActionWise foi implantado na rede da Celpe e no momento está sendo operado em modo escuta, recebendo informações e executando algoritmos, porém sem enviar comandos aos equipamentos de campo. Esse modo serve para testar as lógicas e as integrações desenvolvidas, antes da implantação definitiva do sistema.

São esperados ganhos expressivos nos indicadores de continuidade da rede elétrica com as manobras automáticas realizadas pelo sistema ActionWise. Com a implantação da solução por um período de tempo significativo, será possível em breve avaliar quantitativamente os ganhos obtidos.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] H. P. Schmidt, "Reconfiguração de Redes de Distribuição através de Programação Não-Linear Inteira Mista", Tese (Título de Livre Docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [2] K. H. LaCommare, J.H. Eto, "Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S. Electricity Consumers", Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001.
- [3] A. Augugliaro, L. Dusonchet, E. R. Sanseverino, "Multiobjective Service Restoration in Distribution Networks Using an Evolutionary Approach and Fuzzy Sets", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 22, pp. 103-110, Fevereiro 2000.
- [4] Y. T. Hsiao, C. Y. Chien, "Enhancement of Restoration Service in Distribution Systems Using a Combination Fuzzy-GA Method", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, pp. 1394-1400, Novembro 2000.
- [5] S. Toune, H. Fudo, T. Genji, Y. Fukuyama, Y. Nakanishi, "Comparative Study of Modern Heuristic Algorithms to Service Restoration in Distribution Systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 17, pp. 173-181, Janeiro 2002.
- [6] J. Inagaki, J. Nakajima, M. Haseyama, "A Multiobjective Service Restoration Method for Power Distribution Systems", *Proceedings IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS*, pp. 1784-1787, Maio 2006.
- [7] Y. Kumar, B. Das, J. Sharma, "Genetic Algorithm for Supply Restoration in Distribution System with Priority Customers", 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems., 2006.
- [8] E.P. Bento, N. Kagan, "Algoritmos Genéticos e Variantes na Solução de Problemas de Configuração de Redes de Distribuição", *Revista Controle & Automação*, Volume 19, número 3, Julho, Agosto e Setembro 2008.
- [9] Y. Kumar, B. Das, J. Sharma, "Multiobjective, Multiconstraint Service Restoration of Electric Power Distribution System with Priority Customers", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, pp. 261-270, Janeiro 2008.
- [10] T. Nagata, H. Watanabe, M. Ohno, H. Sasaki, "A Multi-Agent Approach to Power System Restoration", *International Conference on Power System Technology*, vol. 3, pp. 1551-1556, 2000.
- [11] J. M. Solanki, S. Khushalani, N. N. Schulz, "A Multi-Agent Solution to Distribution System Restoration", *IEEE Trans. Power System*, vol. 22, no. 3, pp. 1026-1034, 2007.
- [12] H. Li, H. Sun, J. Wen, S. Cheng, H. He, "A Fully Decentralized Multi-Agent System for Intelligent Restoration of Power Distribution Network Incorporating Distributed Generations", *IEEE Computational Intelligence Magazine*, November 2012.
- [13] A. T. Ohara, "Sistema de Recomposição Automática de Redes de Distribuição – A Aplicação do Conceito de Self-Healing", VI CIERTEC, 2009.
- [14] A.P. Mello, D. P. Bernardon, L. L. Pfitscher, M. Sperandio, B. B. Toller, M. Ramos, "Intelligent System for Multivariables Reconfiguration of Distribution Networks", *Innovative Smart Grid Technologies Latin America*, 2013.
- [15] P. L. Cavalcante, J. F. Franco, M. J. Rider, A. V. Garcia, L. L. Martins, M. R. R. Malveira, R. J. Franco, P. F. S. Carvalho, D. S. Guimarães, L. J. H. Junior "Advanced Network Reconfiguration System Applied to CEMIG-D System", IEEE, 2013.
- [16] C. Angelo, B. Das, J. Sharma, "Technologies of the Self-Healing Grid", 22nd International Conference on Electricity Distribution, 2013.