

Desenvolvimento de Sistemas Inteligentes para Operação de Equipamentos Telecomandados

Lorenzo Comassetto, Maicon Ramos, Daniel P. Bernardon, Mauricio Sperandio, Vinícius J. Garcia, Luciano L. Pfitscher

Resumo – A continuidade no fornecimento de energia elétrica para os consumidores é um objetivo permanente das concessionárias, que buscam o desenvolvimento de soluções tecnológicas para melhorar o desempenho da recomposição das redes sob contingência. Uma das alternativas adotadas é o emprego de equipamentos telecomandados. Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para restabelecimento automático de energia elétrica a partir da operação automática de equipamentos telecomandados, aplicando conceitos de redes inteligentes (Smart Grid). A validação da viabilidade técnica das manobras é realizada em tempo real através de simulações computacionais, incluindo métodos de tomada de decisão multicriterial para escolha da melhor opção. Estudos de casos na área de concessão da AES Sul, distribuidora gaúcha de energia, serão apresentados.

Palavras-chave – Equipamentos Telecomandados, Operação Automática, Redes de Distribuição, Restabelecimento de Energia, Smart Grid.

I. INTRODUÇÃO

Este projeto de P&D, de mesmo título deste artigo e com código PD-0396-0006/2009, com duração de 18 meses, está em andamento com previsão de término em abril de 2011, sendo executado pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, com suporte financeiro da AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia SA.

As concessionárias de energia elétrica têm continuamente empregado esforços no sentido de melhorar a continuidade da energia elétrica fornecida aos seus consumidores, não só pela pressão regulatória como também pelo aumento de arrecadação com a diminuição da energia não distribuída e maior satisfação dos clientes. No entanto, as interrupções no fornecimento de energia elétrica são inevitáveis para a execução de obras de expansão do sistema, para manutenções

preventivas e/ou corretivas em componentes da rede ou, ainda, pela atuação de dispositivos de proteção em decorrência de defeitos [1].

Nos casos de contingência, deseja-se que a solução seja identificada rapidamente, restringindo ao mínimo a área desenergizada. De uma maneira geral, quando ocorrer um defeito em um ponto qualquer da rede, as seguintes ações devem ser tomadas: identificar o local onde o defeito ocorreu; isolar a menor parte possível do sistema através da abertura de chaves; manobrar as chaves para restabelecer o suprimento para os consumidores a jusante do bloco isolado; corrigir o problema; realizar novas manobras de chaves para retornar ao estado normal das redes.

Atualmente, tem se dado foco a respeito de como os sistemas de distribuição de energia elétrica devem ser no futuro. Nesse sentido, foi cunhado o termo “Smart Grid” para definir como essa nova rede deve se comportar, ou seja, de maneira “esperta” ou “inteligente”. Entre as características de uma Smart Grid estão a capacidade de realizar manobras de maneira automatizada (auto-regeneração) e a alta confiabilidade, tudo isto com um baixo custo de operação e manutenção. Uma compilação dos principais projetos e pesquisas relacionados com Smart Grid é apresentada em [2].

Uma solução cada vez mais empregada pelas concessionárias de energia, para obter tempos de restabelecimento de energia elétrica adequados é o uso de sistemas de automação nas redes de distribuição, por exemplo, chaves ou religadores telecomandados. Tais equipamentos têm se mostrado economicamente viáveis, devido ao surgimento de um grande número de fornecedores de equipamentos para automação e de novas tecnologias de comunicação [3].

O emprego de uma metodologia eficiente para operação destes equipamentos é de suma importância para as concessionárias, com intuito de garantir a viabilidade técnica das manobras, reduzindo o tempo de restauração da energia. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para restabelecimento de energia elétrica a partir da operação automática de equipamentos telecomandados, considerando a validação da viabilidade técnica das transferências de cargas em tempo real por meio de simulações computacionais, aplicando os conceitos de redes inteligentes (Smart Grid). A melhor opção para as transferências de cargas usando os equipamentos telecomandados, após contingências, será definida a partir de métodos de tomada de decisão multicriterial. Para isto, este trabalho utiliza o método de Bellman-Zadeh [4], que usa algoritmo fuzzy, se mostrando eficiente para a solução de questões envolvendo múlti-

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Este trabalho foi apoiado parcialmente pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

L. Comassetto e M. Ramos trabalham na AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia SA (lorenzo.comassetto@aes.com; maicon.ramos@aes.com).

D. P. Bernardon, M. Sperandio, V. J. Garcia e L. L. Pfitscher trabalham na UNIPAMPA (daniel.bernardon@unipampa.edu.br; mauricio.sperandio@unipampa.edu.br; vinicius.garcia@unipampa.edu.br; luciano.pfitscher@unipampa.edu.br).

plos critérios. Outra vantagem deste método é que a solução encontrada sempre pertence à área de comprometimento de Pareto [5].

Como resultado, as transferências de cargas são realizadas de forma automática sendo precedidas de simulações computacionais que indicam as chaves a serem manobradas e asseguram a viabilidade técnica das transferências, tendo como características a agilidade e segurança no restabelecimento da energia. Para análise da metodologia, a ferramenta é aplicada em uma região piloto da AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia SA. A redução de deslocamento de equipes e a melhoria nos indicadores de índices de continuidade caracterizam os maiores benefícios para a empresa, ocasionando um diferencial de mercado e, conseqüentemente, ganhos econômicos e de produtividade.

II. METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE FLUXO DE POTÊNCIA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Implementou-se para o cálculo do fluxo de potência em redes de distribuição radiais, o algoritmo de somatório de correntes [6]. Como as cargas elétricas são definidas com um comportamento constante em função da tensão aplicada, isso resulta numa solução não trivial para o cálculo do fluxo de potência, uma vez que a corrente absorvida pelas cargas depende da tensão e esse valor não é conhecido. Dessa maneira, a solução é encontrada somente de forma iterativa, utilizando o seguinte procedimento:

1) Inicialmente, considera-se que a tensão em todos os pontos do alimentador é igual à tensão nominal na barra da subestação, isto é, neste primeiro momento, as quedas de tensão nos condutores primários são desprezadas;

2) Calculam-se as componentes, ativa e reativa, das correntes primárias absorvidas e/ou injetadas no sistema pelos elementos elétricos (transformadores de distribuição, consumidores primários, bancos de capacitores);

3) O procedimento para se obter as correntes em todos os ramos da rede consiste em duas etapas. Na primeira, acrescentam-se os valores de corrente dos equipamentos nos respectivos ramos. Na segunda, acumulam-se as correntes desde os trechos finais até a subestação;

4) A seguir, determinam-se as respectivas quedas de tensão nos condutores primários;

5) Parte-se da barra da subestação e se obtém as quedas de tensão acumuladas em todos os trechos da rede primária e, conseqüentemente, os valores de tensão em qualquer ponto;

6) Verifica-se a diferença entre o novo valor de tensão para os todos nós da rede primária e o valor anteriormente utilizado. Se essa diferença for suficientemente pequena, a solução do cálculo do fluxo de potência foi encontrada e o sistema é dito convergente. Caso contrário, repete-se os passos anteriores a partir do item dois, utilizando as tensões calculadas para a obtenção dos valores de corrente. Realizam-se as iterações até que a diferença encontrada seja menor que o valor permissível, o qual foi estipulado em 1%. Esse valor representa resulta em valores precisos para as variáveis de estado, sem perder a rapidez de processamento do programa. No término desse processo, definem-se as potências ativa e reativa em todos os ramos dos

alimentadores e, conseqüentemente, as perdas técnicas nos condutores primários.

Este método de fluxo de potência foi implementado na metodologia proposta para o processo de restabelecimento automático de energia elétrica por meio de equipamentos telecomandados, sendo usado para verificar a viabilidade técnica das transferências de cargas. Os estudos são realizados considerando as cargas pré-falta e uma estimativa para as próximas três horas consecutivas, de modo a assegurar a viabilidade técnica das transferências para este período.

III. METODOLOGIA PROPOSTA PARA OPERAÇÃO AUTOMÁTICA DE EQUIPAMENTOS TELECOMANDADOS PARA RESTABELECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

A seguir é apresentada a metodologia proposta para operação automática dos equipamentos telecomandados para restabelecimento de energia. Para tanto, será apresentada a lógica de restabelecimento considerando o exemplo hipotético da rede de distribuição ilustrado na Fig. 1.

Considerando que a chave NF-1 (normalmente fechada) e as chaves NA (normalmente aberta) da Fig. 1 são telecomandadas, o processo de restabelecimento de energia elétrica se dá da seguinte maneira, considerando o desarme do alimentador AL-1:

- Defeito a jusante da chave telecomandada NF-1: na ocorrência de defeito, será sinalizado em tempo real no sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) os valores de corrente de curto-circuito medidos na chave NF-1. Neste caso, assume-se que a falha ocorreu após a chave, e o sistema enviará automaticamente os comandos de abrir a chave telecomanda NF-1 e de religar o alimentador AL-1, restabelecendo a energia para os consumidores a montante da chave. Como o tempo para abrir a chave, a partir do conhecimento do defeito, é inferior a 3 (três) minutos, considera-se que os consumidores a montante não são impactos pela falha, para fins de apuração de indicadores técnicos. Já para os consumidores a jusante, será computado o tempo de reparo do defeito e restabelecimento da energia.

- Defeito a montante da chave telecomandada NF-1: na ocorrência de defeito, não será sinalizado no sistema SCADA os valores de corrente de curto-circuito na chave NF-1. Assim, assume-se que a falha ocorreu antes da chave NF-1, e o sistema enviará automaticamente os comandos de abrir a chave telecomandada NF-1 e de fechar a chave telecomandada NA-1 ou a NA-2, no sentido de transferir os consumidores a jusante da chave NF-1 para outro alimentador. A verificação da viabilidade técnica das transferências de carga e a definição de qual alimentador receberá os consumidores são realizadas em tempo real por meio de simulações computacionais. Como o tempo para transferência automática, a partir do conhecimento do defeito, é inferior a 3 (três) minutos, considera-se que os consumidores transferidos, a jusante da chave, não são impactos pela falha, para fins de apuração de indicadores técnicos. Já para os consumidores a montante, será computado o tempo de reparo do defeito e restabelecimento da energia.

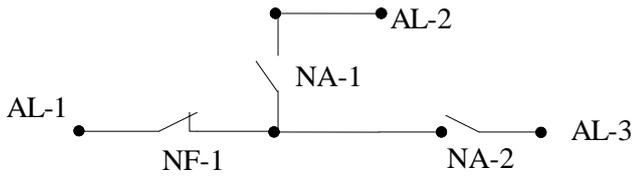


Figura 1. Exemplo de rede de distribuição.

IV. METODOLOGIA PROPOSTA PARA ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS TELECOMANDADOS A SEREM MANOBRADOS A PARTIR DE ANÁLISE MULTICRITERIAL

Nesta seção é apresentado o algoritmo de tomada de decisão multicriterial. O desafio é definir qual é a melhor opção para as transferências de cargas usando equipamentos telecomandados, após contingência, em função das funções objetivo e restrições definidas.

As escolhas das funções objetivo e restrições são de extrema importância para o processo de tomada de decisão multicriterial. Podem ser considerados vários tipos de funções objetivo. O mais usual é a quantidade de consumidores restabelecidos. Outro fator importante é o tempo necessário para restabelecer o fornecimento de energia para esses consumidores. Como este item é difícil de ser calculado diretamente, geralmente ele é medido através do número de chaves escolhidas para realizar as manobras de transferências de cargas. Também é importante assegurar a confiabilidade dos sistemas de distribuição, que está fortemente relacionado com os indicadores de continuidade, DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) [7].

Como restrições, os principais fatores são operar as redes sem sobrecarga nos elementos elétricos, sem violar os ajustes de proteção e a queda de tensão admissível nas redes primárias. Normalmente, as restrições de não permitir violação dos ajustes de proteção e da queda de tensão admissível nos alimentadores são definidas como rígidas. Por outro lado, a sobrecarga nos elementos pertencentes às redes elétricas é flexibilizada, por tratar-se de uma situação provisória, ou seja, até que o defeito seja sanado, para retornar a configuração de operação em regime normal. Assim, se aceita um percentual de sobrecarga nos elementos elétricos.

De acordo com essas considerações, definiram-se as seguintes funções objetivo e restrições a serem utilizadas nas análises das transferências de cargas em situações de contingências:

Funções Objetivo

- restabelecer a energia para o número máximo de consumidores;
- realizar o número mínimo necessário de operações de comutação para as transferências de carga;
- minimizar o número de consumidores interrompidos por ano:

$$\text{Min } f_R = \sum_j \lambda_{0n} \cdot \ell_{Protjn} \cdot C_{Protjn} \quad (1)$$

Restrições:

- manter a radialidade dos sistemas;

- não permitir sobrecarga nos elementos pertencentes às redes elétricas (trechos de rede, chaves, reguladores de tensão, entre outros) superior ao percentual permitido:

$$I_i \leq I_{imax} \cdot F_{sobrecarga} \quad (2)$$

- não permitir violação dos ajustes de proteção:

$$I_i \leq I_{Protj} \quad (3)$$

- não permitir violação da faixa de tensão admissível nas redes primárias.

$$V_{jmin} \leq V_j \leq V_{jmax} \quad (4)$$

Onde:

f_R - função de confiabilidade;

$F_{sobrecarga}$ - fator de sobrecarga permitido, por exemplo, se permitir 30% de sobrecarga, usar 1,3;

I_i - corrente no ramo i ;

I_{Protj} - corrente de atuação do dispositivo de proteção j ;

I_{imax} - corrente máxima admissível no ramo i ;

V_j - módulo da tensão no nó j ;

V_{jmin} - módulo da tensão mínima aceitável no nó j ;

V_{jmax} - módulo da tensão máxima aceitável no nó j .

λ_{0n} - taxa de falhas do alimentador n , média de interrupções ano por km;

ℓ_{Protjn} - comprimento dos ramos de rede protegidos pelo dispositivo de proteção j do alimentador n ;

C_{Protjn} - número de consumidores a jusante do dispositivo de proteção j do alimentador n .

As verificações de atendimento das funções objetivo e restrições são realizadas durante o processo de cálculo de fluxo de potência, para as diferentes alternativas analisadas. Já o número de consumidores interrompidos ano é obtido com a aplicação das equações clássicas de confiabilidade [8], durante o processo de cálculo de fluxo de potência. Ressalta-se que essa função objetivo está fortemente relacionada com o indicador de continuidade FEC.

A. Algoritmo de Tomada de Decisão Multicriterial

A identificação da melhor opção para as transferências de cargas não é simples, visto que há três funções objetivo. Por exemplo, uma determinada opção pode possuir o maior número de consumidores a serem transferidos; outra, o menor número de chaves a serem operadas; e a outra, o menor número de consumidores interrompidos ano.

Nesse caso, o método escolhido foi o algoritmo de Bellman-Zadeh, que se mostrou eficiente para a solução desses problemas, além de permitir não apenas a análise de critérios quantitativos, mas também qualitativos [9]. Com o uso dessa abordagem, inicialmente alteram-se todas as funções objetivo pelas funções objetivo fuzzy, apresentadas na forma de conjuntos fuzzy. As funções de pertinência podem ser construídas a partir das Eq. 5 e 6:

$$\mu_{A_j}(x) = \frac{F_j(x)}{\max_{x \in D_x} F_j(x)} \quad (5)$$

, para funções objetivo que devem ser maximizadas.

$$\mu_{A_j}(x) = \frac{\min_{x \in D_x} F_j(x)}{F_j(x)} \quad (6)$$

, para funções objetivo que devem ser minimizadas.

De acordo com o método de Bellman-Zadeh, considera-se como solução ótima à que apresenta o valor máximo da intersecção das funções de pertinência (Eq. 7).

$$\max_{x \in D_x} \mu_D(x) = \max_{x \in D_x} \min_{j=1, \dots, n} \mu_{A_j}(x) \quad (7)$$

Essa abordagem pode ser ilustrada através do exemplo apresentado na Fig. 2:

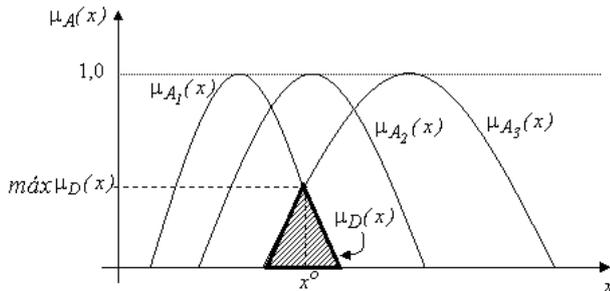


Figura 2. Intersecção das funções de pertinência e definição da área de soluções.

A Fig.3 ilustra a aplicação do algoritmo de Bellman-Zadeh para seleção da melhor opção de transferência de carga da rede de distribuição considerada.

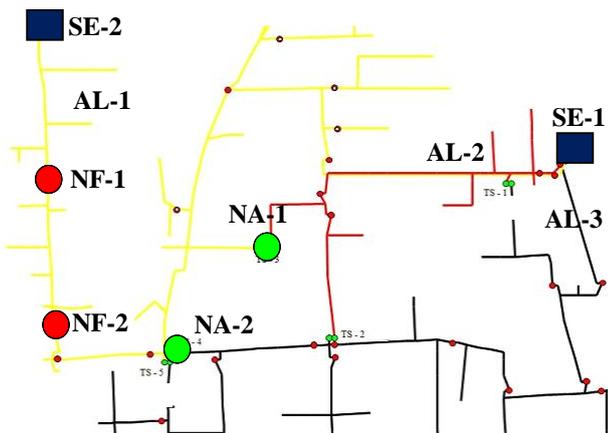


Figura 3. Rede de distribuição.

Este sistema contempla duas subestações, onde o alimentador da subestação 2 (SE-2), que possui as chaves telecomandadas NF-1 e NF-2, tem interligação com outros dois alimentadores da subestação 1 (SE-1) por meio de chaves telecomandadas NA-1 e NA-2. Assim, para caso de defeitos a montante da chave NF-1 é analisado as possibilidades de transferência de carga para o alimentador 2

(AL-2) ou para o alimentador 3 (AL-3), sem violação das restrições. As Tab. 1 e 2 ilustram os resultados obtidos:

Tabela 1 - Resultados da análise de cada transferência.

Opções	Consumidores Transferidos	Número Chaves Operadas	Número de Consumidores Interrompidos Ano
Opção 1 Referência: NF-1 Manobra Viável: - abrir NF-1 - fechar NA-1	14.000	2	2.300
Opção 2 Referência: NF-1 Manobra viável: - abrir NF-2 - fechar a NA-2	9.000	2	1.800
Base Escolhida	14.000	2	1.800

Observe que a manobra viável para opção “2” é a partir da NF-2 e não da NF-1, isto ocorre porque a manobra usando a chave NF-1 ocasiona sobrecarga no AL-3.

O próximo passo é obter os valores relativos às funções de pertinência das soluções fuzzy, para cada opção. Para isto, aplicou-se a Eq. 5 para maximizar o número de consumidores a serem transferidos, e a Eq. 6 para minimizar o número de chaves a serem operadas e minimizar o número de consumidores interrompidos ano, conforme Tab. 2:

Tabela 2 - Funções pertinência das soluções fuzzy.

Opções	Consumidores Transferidos	Número Chaves Operadas	Número de Consumidores Interrompidos Ano	Intersecção das Funções Pertinência
1	$\mu_{C_1}(x)$ = 1,00	$\mu_{S_1}(x)$ = 1,00	$\mu_{\delta_1}(x)$ = 0,78	$\min \mu_{C_1} \cdot \mu_{S_1} \cdot \mu_{\delta_1}$ = 0,78
2	$\mu_{C_2}(x)$ = 0,64	$\mu_{S_2}(x)$ = 1,00	$\mu_{\delta_2}(x)$ = 1,00	$\min \mu_{C_2} \cdot \mu_{S_2} \cdot \mu_{\delta_2}$ = 0,64

De acordo com o método proposto, considera-se como melhor solução à opção que apresentar o valor máximo da intersecção das funções de pertinência, conforme Eq. 7. Neste caso, a melhor opção é a “1”. Assim, o sistema realiza as simulações computacionais indicando qual é a melhor opção para as transferências de cargas, de acordo com as funções objetivo definidas, sem violar as restrições estabelecidas.

V. RESULTADOS PRÁTICOS

A ferramenta computacional desenvolvida foi aplicada na região metropolitana da AES Sul, distribuidora gaúcha de energia, a fim de avaliar o desempenho das metodologias propostas em uma região piloto. Esta rede é composta por 20 subestações de distribuição, 125 alimentadores, 62 equipamentos telecomandados e atende 532.619 consumidores. A Fig. 4 ilustra a rede, que abrange 163 km².

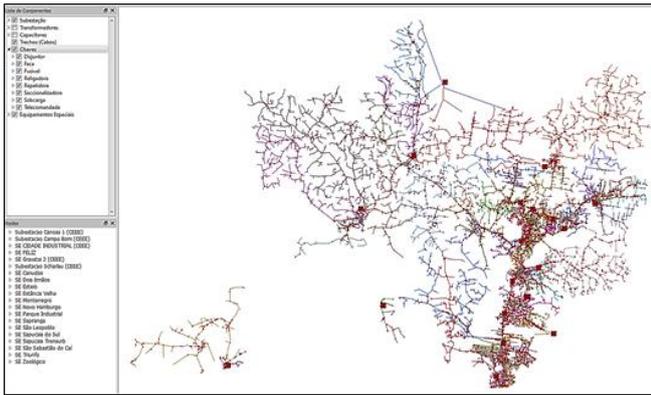


Figura 4. Rede de distribuição da região metropolitana da AES Sul.

De acordo com a ocorrência e localização dos defeitos, o sistema informará a sequência de manobras a ser executada automaticamente pelo sistema SCADA, atendendo as funções objetivo, sem violar as restrições definidas. Para ilustrar esta aplicação, considere o unifilar da rede de distribuição da Fig. 5, cujas chaves são telecomandadas.

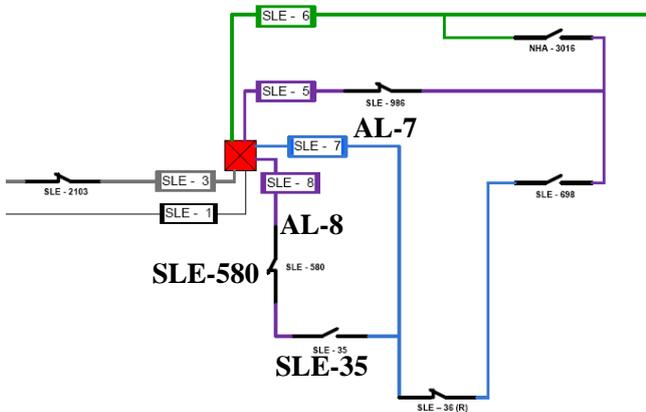


Figura 5. Unifilar da rede de distribuição com chaves telecomandadas.

O objetivo é apresentar os resultados obtidos considerando o desarme do AL-8. No primeiro caso, considerou-se o defeito a jusante da chave telecomandada NF (SLE-580). Como a chave SLE-580 irá sinalizar o defeito, assume-se que a falha ocorreu após a chave NF, e o sistema enviará automaticamente os comandos de abrir a chave telecomanda SLE-580 e de religar o disjuntor do AL-8. As Fig. 6, 7 e 8 ilustram esta aplicação.



Figura 6. Sinalização de desarme do AL-8.



Figura 7. Sinalização de defeito após a chave SLE-580.



Figura 8. Sequência de manobras definida pela ferramenta proposta.

No segundo caso, considerou-se o defeito a montante da chave telecomandada NF (SLE-580). Como a chave SLE-580 não irá sinalizar o defeito, assume-se que a falha ocorreu antes da chave NF, e o sistema enviará automaticamente os comandos de abrir a chave telecomanda SLE-580 e de fechar a chave telecomandada SLE-35, caso a transferência dos consumidores do AL-8 para o AL-7 não ocasiona violação das restrições. As Fig. 9, 10, 11, 12, 13 e 14 ilustram esta aplicação.



Figura 9. Sinalização de desarme do AL-8.



Figura 11. Verificação do estado de comunicação da chave SLE-35.



Figura 10. Sem sinalização de defeito após a chave SLE-580.



Figura 12. Verificação do carregamento do AL-7 para usar nos estudos de transferência de carga.

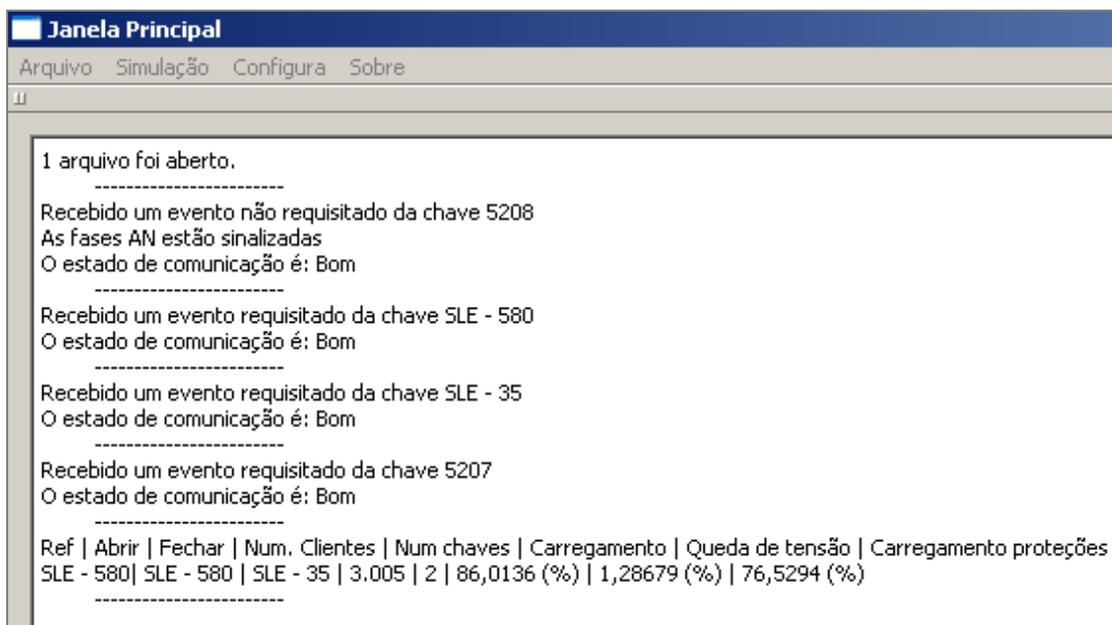


Figura 13. Resultado da análise de transferência de carga do AL-8 para o AL-7 (fechar chave SLE-580 e abrir chave SLE-35).

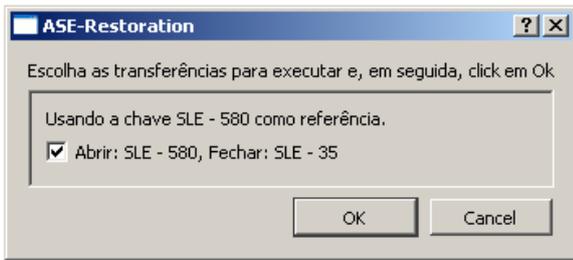


Figura 14. Sequência de manobras definida pela ferramenta proposta.

Ressalta-se que o sistema é dinâmico, não havendo necessidade de pré-configurar as manobras. Ou seja, basta a informação do desarme de um determinado alimentador, que ele executa as simulações computacionais sinalizando a sequência de manobras a ser realizada automaticamente.

A Tab. 3 apresenta a redução esperada nos indicadores da região metropolitana a partir do restabelecimento automático de energia:

Tabela 3 – Redução esperada nos indicadores de continuidade.

Redução dos Indicadores			
Indicador	DEC (h/ano)	FEC (f/ano)	END (kWh/ano)
Valor	2,11	0,97	1111,45
Percentual	18,25%	21,31%	19,22%

A Fig. 15 mostra a tela do sistema SCADA usado para monitoração e controle das chaves telecomandadas.

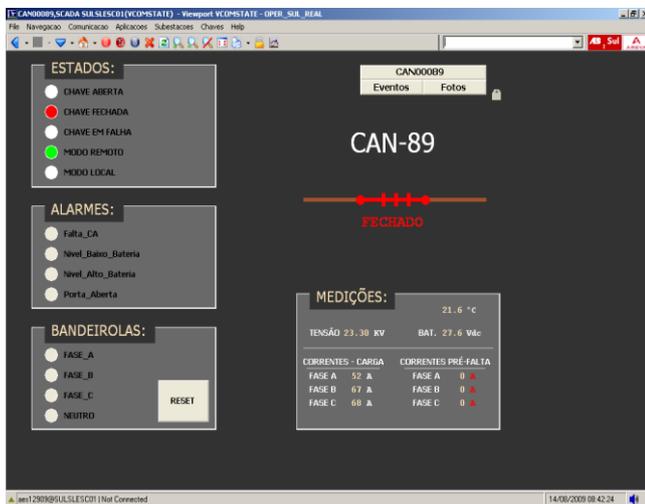


Figura 15. Tela do sistema SCADA para operação das chaves telecomandadas.

Já a Fig. 16 mostra a foto de uma chave telecomandada instalada na rede da AES Sul:

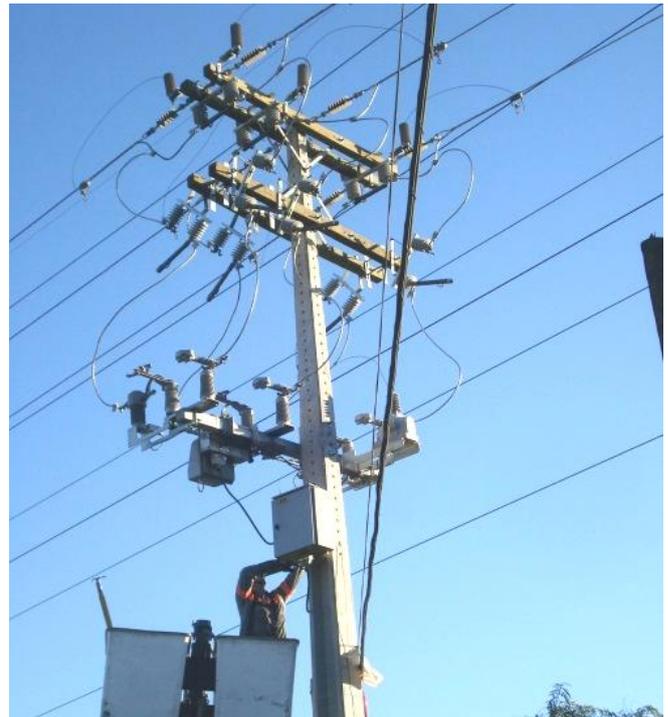


Figura 16. Chave telecomandada.

VI. CONCLUSÕES

A principal contribuição deste trabalho é a metodologia proposta para a operação automática dos equipamentos telecomandados no processo de restabelecimento de energia elétrica, aplicando os conceitos de redes inteligentes (Smart Grid). A validação da viabilidade técnica das transferências de cargas é realizada em tempo real por meio de simulações computacionais, incluindo a definição da melhor opção para as transferências usando os equipamentos telecomandados, após contingência, a partir de métodos de tomada de decisão multicriterial.

Assim, o sistema indicará qual é a melhor opção para as transferências de acordo com as funções objetivo definidas, sem violar as restrições estabelecidas. Para uma avaliação real do desempenho do software, realizou-se estudos de casos com dados reais das concessionárias, os quais se apresentaram satisfatórios.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro e técnico da concessionária de energia elétrica AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia SA, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Kagan and C.C.B. Oliveira, "Reconfiguração de sistemas de distribuição de energia elétrica através de ferramenta para solução de problemas de decisão com múltiplos objetivos e incertezas," *CBA - Congresso Brasileiro de Automática*, São Paulo, 1996.
- [2] R.E. Brown, "Impact of Smart Grid on distribution system design," *IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, pp.1-4, 2008.
- [3] M. Sperandio, J. Coelho, et. al., "A Influência do Cálculo de Taxas de Falha na Alocação de Chaves Automáticas," *XII ERIAC - Décimo Segundo Encontro Regional Ibero-americano do CIGRÉ*, Foz do Iguaçu-PR, 2007.
- [4] R. Bellman and L.A. Zadeh, "Decision making in a fuzzy environment," *Management Science* 17(4), pp. 141-164, 1970.
- [5] P.Y. Ekel, L.D.B. Terra and M.F.D. Junges, "Methods of Multicriteria Decision Making in Fuzzy Environment and Their Applications to Power System Problems," *Proceedings of the 13th Power Systems Computation Conference*, v. 2, pp. 755-761, 1999.
- [6] N. Kagan, C.C.B. Oliveira, et. al., "Desenvolvimento de Ferramenta Automatizada para Estimativa da Qualidade de Fornecimento das Redes de Distribuição," *V SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica*, Aracaju-SE, 2003.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. PRODIST – Procedimentos de Distribuição – Módulo 8. ANEEL de 15 de dezembro de 2009.
- [8] L. Tsai, "Network reconfiguration to enhance reliability of electrical distribution systems," *Electric Power System Research*, Elsevier, no. 27, pp. 135-140, 1993.
- [9] D.P. Bernardon, L. Comassetto, L.N. Canha and A.R. Aabaide, "New Methods for Distribution Network Reconfiguration from Multicriteria Decision-Making," *IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, pp. 225-230, Apr. 2007.