

Desenvolvimento de Rede Experimental para Análise de Métodos de Reconfiguração Automática de Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Caio dos Santos¹, Emerson R. da Silva¹, Marina Camponogara¹, Marco A. F. Boaski¹,
Ana Paula C. de Mello², Daniel P. Bernardon¹

¹*Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Av. Roraima, nº 1000 – Bairro Camobi - Santa Maria - RS, CEP 97105-900*

²*Grupo de Energia e Sistemas Elétricos de Potência, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA
Av. Tiarajú, nº 810 – Bairro Ibirapuitã- Alegrete - RS, CEP 97546-550
caiodos.santos@hotmail.com*

Resumo — Os benefícios proporcionados por mudanças de topologia são essenciais para um bom aproveitamento de todos os elementos do sistema. Verifica-se que, com a transferência de carga, há uma redução imediata nas perdas ao longo da rede, além de um melhor balanceamento dos níveis de tensão, tornando-a mais robusta e, conseqüentemente, melhorando os indicadores de confiabilidade das concessionárias. Assim sendo, propõe-se a este trabalho, uma análise de aplicabilidade dos métodos de otimização de rede, através do desenvolvimento de uma rede de testes em um ambiente controlado, integrando-a a um sistema supervisório (SCADA), capaz de representar todas as características operacionais de uma rede real, atendendo a todas as necessidades das concessionárias, quanto ao estudo de otimização de redes de distribuição de energia elétrica.

Palavras-chave — Paralelismo entre alimentadores, rede experimental, reconfiguração automática, *Smart Grid*, perdas de energia elétrica.

I. INTRODUÇÃO

Dentre as composições do sistema elétrico de potência brasileiro, o segmento de distribuição de energia é, sem dúvidas, o setor que recebe a maior quantidade de energia, através das linhas de transmissão, e a distribui de maneira pulverizada aos consumidores [1]. Devido a essas solicitações, as concessionárias que operam as linhas contabilizam anualmente uma grande quantidade de perdas de energia elétrica, seja ela de natureza técnica ou não técnica.

Com um elevado índice de perdas anuais, o Brasil registra em média 11,6% de energia elétrica perdida, equivalentes a 16,4 TWh. Dessa forma, visando à otimização operacional em sua área de concessão, as administradoras investem em obras estruturais, como a instalação de novas subestações, expansão e reforço das redes de distribuição, além de planos de níveis energéticos. Entretanto, todo esse investimento deve ser

acompanhado de um plano de operação que permita a utilização de todo sistema da maneira mais estratégica.

O planejamento e operação de uma rede de distribuição (RD) devem ser realizados de acordo com as necessidades impostas pelo sistema. Com isso, devem-se considerar todas as prioridades, frente aos diversos problemas que são enfrentados diariamente pelos operadores. No contexto do presente trabalho, portanto, ao considerar a aplicação de métodos de otimização, leva-se em conta o desequilíbrio de carregamento entre alimentadores (ALs) que confere sobrecarga em horários diferentes ao longo do dia. Além deste, outros fatores ocasionam em uma análise operacional, como a baixa qualidade de energia entregue ao consumidor e o fraco desempenho da rede como um todo.

Sendo assim, a aplicação de métodos de otimização com a finalidade de melhorar o desempenho da rede, exige que as variáveis de estado (potência, corrente, tensão, etc.) desta sejam analisadas frequentemente. Dessa forma, o operador mantém a rede configurada de uma maneira que esta apresente seu melhor desempenho. Entretanto, existem fatores que aumentam o grau de dificuldade de tais análises, como por exemplo, o fato das RDs apresentarem diversas configurações, uma vez que estas possuem, atualmente, uma numerosa quantidade de dispositivos seccionadores, fator este que leva a uma vasta opção de manobras, tornando inviável a pesquisa manual por uma topologia ótima.

Em vista disso, a necessidade de estudos voltados a métodos de reconfiguração das RDs torna-se cada vez maior, motivando o desenvolvimento de novas ferramentas que auxiliem na pesquisa, ou até mesmo no aperfeiçoamento de métodos clássicos comumente utilizados.

Através do desenvolvimento de um estudo voltado aos métodos de otimização de RDs, mais especificamente a reconfiguração automática em regime normal de operação de

RD, a pesquisa apresentada neste trabalho buscou sanar parte dos problemas citados anteriormente, propondo o desenvolvimento e a utilização de uma rede experimental em um ambiente controlado, integrando-a a um sistema supervisorio (*Supervisory Control and Data Acquisition*, SCADA), que permita análise de aplicabilidade dos métodos de otimização de maneira simples e precisa. Além disso, seu desenvolvimento é justificado pela importância de aplicarem-se métodos em redes reais, que já tenham apresentado resultados satisfatórios em laboratório, proporcionando confiabilidade em sua implementação.

II. METODOLOGIA EMPREGADA NA RECONFIGURAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

A presente seção objetiva expor o processo utilizado na busca de uma topologia ótima de rede, a partir da implementação dos métodos apresentados aqui. Tal topologia deverá atender de maneira satisfatória as Funções Objetivo (FO), sem que haja a violação de restrições definidas.

A. Funções Objetivo e Restrições

As funções objetivo apresentam diversas finalidades, seguidas de diversos critérios que quantificam o grau de importância de cada FO. No contexto de reconfiguração automática em regime normal de operação, as FO comumente empregadas visam a redução de perdas de potência, melhoria de níveis de tensão e confiabilidade, fator este que está fortemente relacionado aos indicadores de continuidade, como DEC, FEC, etc.

As restrições, por sua vez, estão diretamente relacionadas com segurança da rede e à regulamentação que define os limites adequados de operação. Dessa forma, sua definição é importante, pois evita danos em equipamentos da rede, além da atuação indevida de elementos de proteção.

1) Funções Objetivo

Em vista das considerações apresentadas, para o presente trabalho, considerando a rede de testes desenvolvida, foram definidas como FO a redução dos seguintes indicadores:

- I. $Perdas_{esp}$ (kW) – Perdas de Energia na Rede Primária;
- II. FEC_{esp} (Falhas/ano) – Frequência equivalente de Interrupção Esperada por Unidade Consumidora;
- III. ENS_{esp} (MWh/ano) – Energia Não Suprida Esperada.

Para o caso aqui tratado, verificou-se que a mudança por uma topologia ótima atenderia a todos os indicadores de maneira satisfatória, como apresentado a seguir. Entretanto, foram aplicados os pesos, sendo esses calculados como apresentado em [2], para cada critério a fim de verificar o impacto que cada um deles teria ao término do processo de reconfiguração. Assim, através da Equação 2.1, torna-se possível quantificar a configuração de rede que atenda da melhor forma as FO.

$$FO = \max (\Delta Perdas_{esp,i}^* \cdot w_1 + \Delta FEC_{esp,i}^* \cdot w_2 + \Delta ENS_{esp,i}^* \cdot w_3) \quad (2.1)$$

2) Restrições

Além das FO, a topologia ótima de rede deve respeitar as restrições de segurança operacional do sistema de distribuição, designadas ao presente trabalho da seguinte forma: manter a radialidade dos ALs, além de não permitir sobrecarga nas redes e equipamentos, nem a violação dos ajustes de atuação dos dispositivos de proteção e dos limites de tensão admissível;

B. Reconfiguração de Rede – Busca Heurística

De maneira geral, o processo de reconfiguração de redes é realizado através da abertura e fechamento de chaves presentes ao longo da rede, possibilitando a transferência de carga entre ALs, resultando no balanceamento energético do sistema. O fluxograma apresentado na Figura 1 resume, de forma ilustrativa, método de busca heurística (*Branch Exchange*), utilizado no desenvolvimento do presente trabalho. Basicamente, o método consiste na realização de mudanças sucessivas na configuração da rede, de forma a analisar combinações de fechamento de chaves NA e abertura de chaves NF, mantendo a radialidade da rede, que apresente o melhor resultado, de acordo com as FO impostas inicialmente [3].

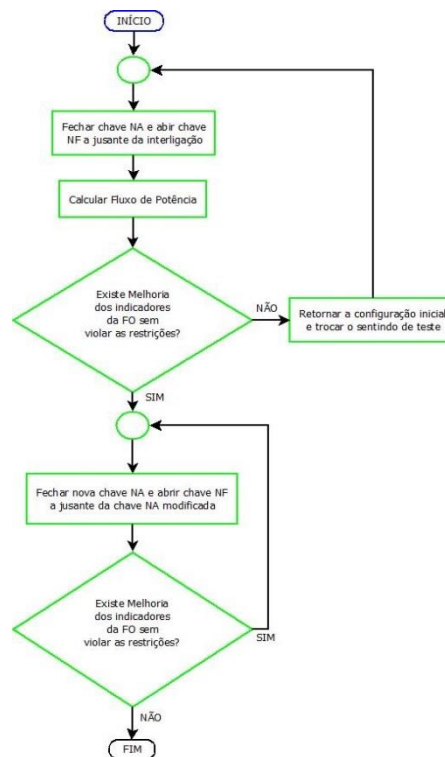


Figura 1 - Método de Reconfiguração Proposto

III. ANÁLISE COMPUTACIONAL

Nesta seção são apresentadas as simulações direcionadas ao fluxo de potência da rede em questão e a viabilidade técnica do paralelismo entre ALs. Com isso, procurou-se estabelecer a melhor topologia de rede, baseando-se nos resultados apresentados a seguir.

A. Análise de Desempenho de Rede

1) Perfis Característicos de Carga

Em geral, os ALs das subestações (SE) de distribuição apresentam curvas de carga características, que descrevem os perfis de demanda por energia elétrica ao longo do dia, sendo estas diferenciadas por dias úteis e finais de semana. Dessa forma, verifica-se que SE localizadas próximas aos polos industriais e/ou centros comerciais, apresentam ALs com carregamento superior as SE que tem seus ALs voltados à distribuição de energia elétrica para residências e pequenos estabelecimentos comerciais.

Devido a tais variações, visando possíveis transferências de carga entre ALs, é fundamental que o operador tenha o conhecimento sobre o comportamento destas, ao longo do dia, para um melhor planejamento operacional da rede. Só assim, ele poderá realizar mudanças na topologia, de tal forma que as necessidades e restrições impostas no momento da transferência sejam satisfeitas.

Utilizando a rede apresentada na Figura 2, foram realizados os testes para a otimização desta. Deste modo, empregou-se os perfis característicos de carga, definidos e calculados em [4], como indústrias, comércio e residências, aos ALs da rede em estudo no presente trabalho, sendo designadas as seguintes características: AL1 (Verde) para residências e pequenos comércios; AL2 (Azul) direcionado a um pequeno polo industrial; AL3 (Vermelho) para consumidores diversificados, incluindo grandes indústrias, centro comercial e centenas de residências.

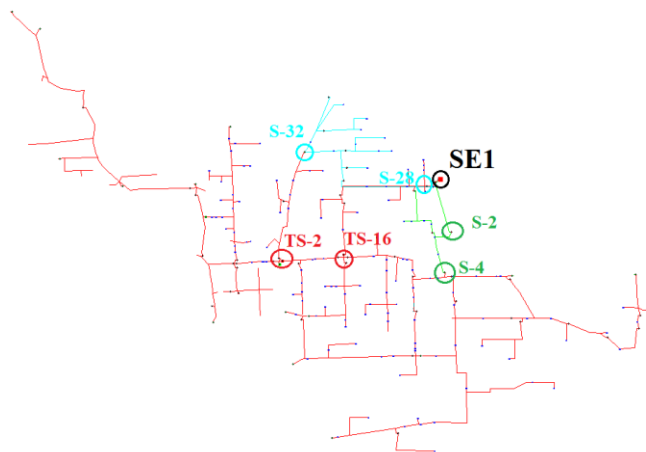


Figura 2 - Configuração Inicial da Rede de Testes

2) Análise de Fluxo de Potência

A partir das simulações realizadas no software ASD [5], verificou-se as perdas na rede primária, possíveis sobrecargas ao longo do sistema, o nível de confiabilidade, através do indicador de Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) e a Energia Não Suprida Esperada (ENS), referente à configuração de rede original, obtendo os resultados apresentados nas Tabelas I e II.

TABELA I – Carregamento Inicial dos Alimentadores

Alimentadores	Carregamento (kW)
AL1	356,94
AL2	353,25
AL3	4388,80

TABELA II – Valores Iniciais Fluxo de Potência

Perdas (kW)	72,94
FEC	20,01
ENS (MWh)	101,65
Sobrecargas	-

A partir desses valores, verificou-se que o AL3 apresenta-se sobrecarregado, ocasionando em um baixo desempenho da rede. Assim, de forma iterativa, foram realizadas manobras para a mudança de topologia, seguindo o algoritmo apresentado na Figura 1, a fim de alcançar a configuração que atendesse de maneira satisfatória as FO ao fim das manobras, sem violar as restrições apresentadas.

Após serem realizadas as manobras na rede, obteve-se a rede otimizada, apresentada na Figura 3. Novamente, foram analisadas as FO e as restrições, através da simulação de fluxo de potência, sendo os resultados obtidos apresentados nas Tabelas III e IV.

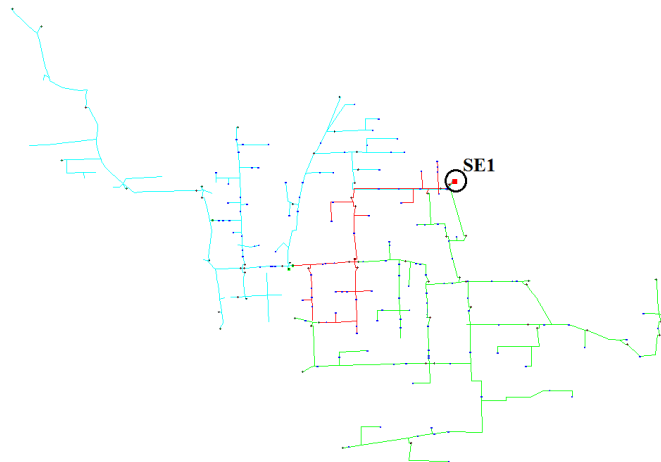


Figura 3 - Configuração Final da Rede de Testes

TABELA III – Carregamento Final dos Alimentadores

Alimentadores	Carregamento (kW)
AL1	2365,48
AL2	1849,29
AL3	836,81

TABELA IV – Valores Iniciais Fluxo de Potência

Perdas (kW)	24,02
FEC	10,06
ENS (MWh)	51,3
Sobrecargas	-

É importante observar que, tanto com a configuração original quanto a otimizada, não há sobrecarga em nenhum ponto da RD, mesmo com níveis altos de perdas na configuração inicial. Isso demonstra que mesmo com baixo desempenho, a rede atende aos parâmetros nominais das cargas ali instaladas. Ainda, é possível observar que com a transferência de cargas, houve uma mudança no carregamento dos três ALs da SE presente na rede de testes.

B. Paralelismo de Redes

O paralelismo entre ALs radiais de uma RD é uma técnica empregada para realizar a transferência de cargas, sem que haja necessidade de interrupções momentâneas do fornecimento de energia elétrica aos consumidores, durante o tempo correspondente à realização das manobras, buscando manter o carregamento do sistema balanceado, ou em interrupções programadas, para a manutenção de equipamentos da rede.

Por consequência, a ligação paralela entre ALs mantém, momentaneamente, as redes em anel, podendo provocar mudanças abruptas nos níveis de tensão e corrente. Dessa forma, os estudos voltados ao paralelismo são realizados em regime permanente e transitório, considerando que tais mudanças no sistema possam causar danos em dispositivos, além de provocar a atuação de forma indevida de equipamentos de proteção, como relés de sobrecorrente.

Logo, utilizou-se o *software* ATPDraw para a realização de simulações e posterior análise dos resultados acerca da viabilidade técnica de paralelismo entre ALs de uma mesma SE, utilizando a rede apresentada na Figura 4. Deve-se salientar que, a rede utilizada é uma forma equivalente da rede em estudo, onde buscou-se representar as principais chaves utilizadas no processo de reconfiguração e os níveis de carregamento de cada um dos ALs, através dos cálculos apresentados em [6].

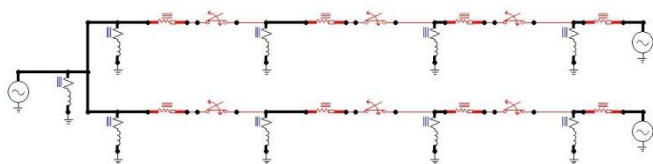


Figura 4 - Representação da Rede de Teste no Software ATPDraw

Os resultados obtidos devem obedecer às restrições impostas pela rede, sendo estas apresentadas a seguir:

1) *Restrição de níveis de tensão*: enquanto estiver em anel, os níveis de tensão da rede não deverão extrapolar os limites de $\pm 5\%$ de sua tensão nominal, como previsto pelo órgão regulamentador.

2) *Restrição de níveis de sobrecarga*: durante o processo de transferência de carga, os limites de corrente devem apresentar valores inferiores a capacidade máxima de condução referente ao condutor utilizado na rede. Assim, o aquecimento dos condutores é evitado, não havendo perdas por Efeito Joule.

3) *Restrição de ajustes de proteção*: respeitar os ajustes estabelecidos para os relés de proteção de sobrecorrente presentes ao longo da rede, evitando a atuação indevida destes. Para o presente trabalho, considerou-se que as proteções de sobrecorrentes estejam ajustadas para operar com uma corrente equivalente a 90% da capacidade máxima de condução dos condutores.

Definida a topologia ótima da rede, verificou-se se as manobras realizadas para a transferência de carga não iriam extrapolar as restrições técnicas relacionadas ao paralelismo de rede. Para o processo de reconfiguração apresentado no presente trabalho foram necessárias duas manobras para a obtenção da topologia ótima, sendo que, para os dois casos houve o paralelismo. Dessa forma, verifica-se que o pior caso em que possa ocorrer o paralelismo está relacionado à transferência do conjunto de cargas instaladas a montante da chave S-4, totalizando 2008,54 kW transferidos ao AL1. Assim, assume-se que, para o caso das manobras realizadas entre AL1 e AL3 atenderem as restrições técnicas, os transitórios ocasionados com o paralelismo entre AL2 e AL3 também não irão extrapolar as restrições. Os resultados obtidos nas simulações, utilizando este *software*, são apresentados na Figura 5.

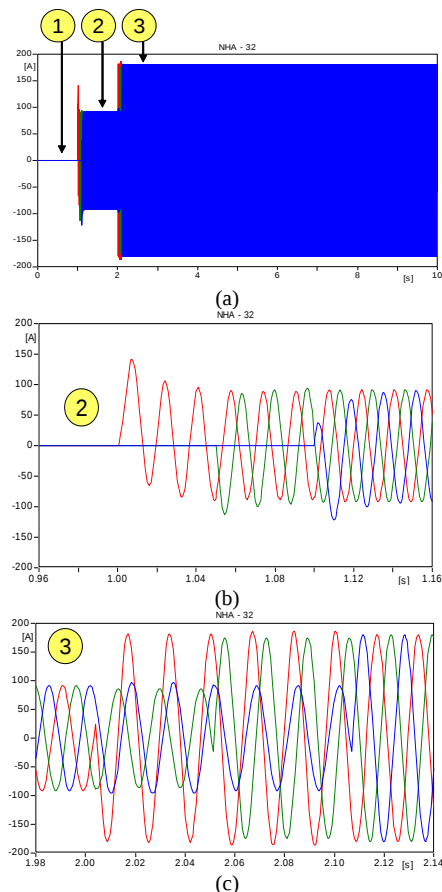


Figura 5 – Resultados Obtidos: Comportamento da corrente no paralelismo (a), Momento em que inicia o paralelismo (b) e Momento em que o paralelismo é desfeito (c).

A partir de uma análise acerca dos resultados obtidos com as simulações de paralelismo, verificou-se que nas duas situações em que este ocorrerá, não há a extrapolação dos limites de tensão e correntes ao longo da rede. Além disso, as manobras realizadas não produziram uma defasagem considerável, permanecendo dentro dos limites, e não houve nenhuma atuação indevida dos dispositivos de proteção.

IV. MODELAGEM DO SISTEMA EXPERIMENTAL

Entendendo a importância dos métodos de otimização para as concessionárias de energia elétrica, desenvolveu-se um sistema experimental que possibilite a análise de aplicabilidade de tais métodos em um ambiente controlado, antes que estes sejam aplicados diretamente em uma rede real, tornando o processo mais confiável. Para tanto, foram desenvolvidas ferramentas que permitam a avaliação prévia das manobras e de seus respectivos impactos na rede. As ferramentas desenvolvidas constituem-se de uma rede compacta para testes laboratoriais, sendo esta integrada a um sistema de supervisão e controle (SCADA), onde serão avaliadas a transferência de informações, o tempo de comunicação no envio de comandos e as possíveis falhas dos equipamentos utilizados.

A. Desenvolvimento da Rede Experimental

No laboratório de desenvolvimento do Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP), buscou-se representar a rede de testes de maneira reduzida, sem que esta perdesse suas principais características, auxiliando na validação da metodologia proposta. Dessa forma, por meio de um estudo acerca da topologia que apresente o melhor desempenho, verificou-se a importância de seis chaves no processo de transferência de carga, sendo essas evidenciadas na Figura 6.

1) Equipamentos Envolvidos

Para este experimento, foram utilizados os seguintes equipamentos: relés de proteção, conversores de sinais, banco de cargas resistivas e um dispositivo de aquisição de dados.

As chaves do sistema foram representadas através de relés de proteção, utilizando os modelos 7SJ600 e URP6001, sendo o último contemplado com a função de controle remoto através da comunicação serial RS-232. Entretanto, há um limite técnico de comunicação dos relés URP6001, tornando possível a comunicação com apenas um dispositivo. Por conta disso, optou-se pelo controle remoto da chave TS-2, devido sua importância, frente à quantidade energética transferida durante suas manobras. As demais chaves da rede foram controladas manualmente pelas entradas lógicas dos relés de proteção.

Com o dispositivo de aquisição de dados (*datalogger*), foi possível controlar, no SCADA, o estado das chaves manuais do sistema através da comunicação serial RS-485, via protocolo MODBUS RTU.

2) Configuração da Rede Experimental

A Figura 6 ilustra o diagrama unifilar referente à rede confeccionada em laboratório. Através dela verifica-se a disposição dos equipamentos e a distribuição das cargas, representadas através de um banco de cargas resistivas com seus respectivos valores apresentados. O valor energético das cargas foi representado de forma a permitir uma reprodução fiel dos valores de estado da rede (tensão, corrente e potência ativa), em escala reduzida. Estes valores referem-se ao consumo total de energia elétrica, medida do ponto de distribuição (alimentadores) até o nó de conexão, onde a chave se encontra.

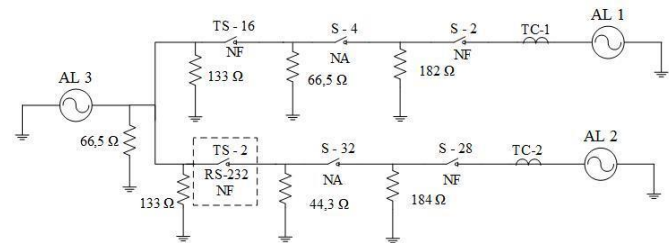


Figura 6 - Diagrama Unifilar da Rede Experimental

B. Sistema de Supervisão e Controle

A fim de otimizar o processo de reconfiguração de rede, desenvolveu-se um sistema de supervisão e controle para a realização de manobras automáticas e o controle das variáveis de estado da rede, como a corrente de saída de cada AL. Com isso, procurou-se analisar os sistemas de comunicação utilizados, avaliando principalmente as possíveis falhas que esses possam apresentar no meio de processo de otimização.

1) *Telas*: Para o processo de otimização de redes, faz-se necessário a análise e monitoramento do estado dos dispositivos seccionadores da rede, bem como suas variáveis de estado. Para tanto, utiliza-se telas de monitoramento com o intuito de facilitar o trabalho operacional da rede, permitindo uma visão panorâmica de sua totalidade através de uma interface gráfica desenvolvida, que representa todas as características elétricas da rede.

O SCADA desenvolvido para o presente trabalho conta com uma tela principal, a qual representa o diagrama unifilar da rede em estudo, permitindo o controle do estado das chaves de maneira simples, como ilustrado na Figura 7.

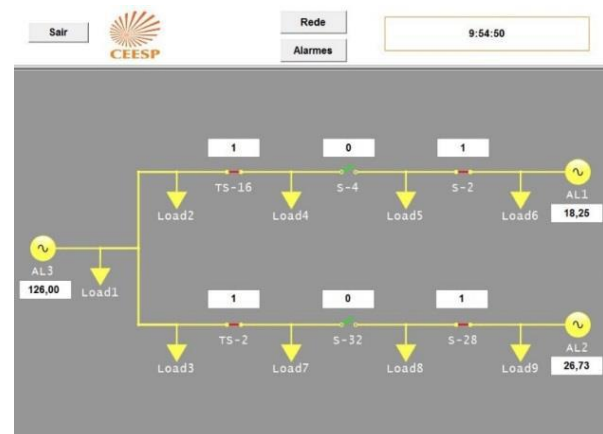


Figura 7 - Tela principal do SCADA utilizado.

É importante ressaltar que os valores de corrente associado aos ALs, mostrados através de displays do SCADA, não são os valores utilizados nos testes em laboratório. Isso se deve ao fato da conversão linear realizada pelo software, permitindo a operação da rede de teste com valores que não oferecem riscos ao operador, mas ao mesmo tempo mantém as características de carregamento desta.

2) *Comunicação*: Para estabelecer a comunicação entre o SCADA e a chave telecomandada TS-2, utilizou-se o driver DNP3 Master RS-232. Já para o monitoramento do estado das demais chaves da rede, foi utilizada a comunicação serial RS-485, através do protocolo de comunicação Modbus RTU, sendo este padronizado pelo fabricante do aquisitor de dados.

3) *Recursos de controle e leitura*: O envio de comandos e leitura dos estados da chave telecomandada TS-2 foi realizada através de uma *tag* de comunicação do driver DNP3, por meio da comunicação serial RS-232. Da mesma maneira, para leitura do estado das cinco chaves manuais também foram criadas *tags* de comunicação. Entretanto, a esse caso, fez-se necessário a utilização do driver Modbus RTU, via comunicação serial RS-485.

Integrando todas as ferramentas apresentadas anteriormente, tem-se a rede experimental proposta a este trabalho, com intuito de facilitar o processo de otimização em RDs reais. A rede experimental, por sua vez, é representada por meio da Figura 8. Através desta, verifica-se o funcionamento da rede experimental, representada através dos relés, operando em conjunto com o sistema supervisor.



Figura 8 - Rede para testes laboratoriais.

V. RESULTADOS

A fim de demonstrar o desempenho do sistema, propôs-se a análise de aplicabilidade do método em estudo, onde foram analisados os tempos de envios de comandos da chave telecomanda da rede durante o processo de otimização desta. Para tanto, obteve-se o registro de envio de comandos, mostrado na Figura 9, onde se observa que o envio de comando foi realizado com sucesso, em um tempo inferior a 1 segundo.

```
29/11/2015 10:32:25.164 (0450) DRIVER Address:0bivar:1201, Id=2, Value=0.875, WriteValue(10:32:24.194) d = SUCCESS (status = (10:31:23.084) 0)
29/11/2015 10:32:25.164 (1208) TAG ==> (0.875) Tag(1.5.1201.2) WriteValue(10:32:24.194) d = SUCCESS (status = (10:31:23.084) 0)
29/11/2015 10:32:25.164 (1208) TAG ==> (0.875) Tag(1.5.1201.2) WriteValue(10:32:24.194) d = SUCCESS (status = (10:31:23.084) 0)
29/11/2015 10:32:25.088 (0e14) IO TX: 05 64 16 c4 01 00 02 00 c3 5a c0 c4 01 3c 02 06 3c 04 06 84 47
29/11/2015 10:32:25.366 (0e14) IO RX: 05 64 16 73 02 00 01 00 BE 04 C0 C6 81 02 00 02 17 01 00 01 6F F4 96 A0 4D 1C 97 01 A1 C9
29/11/2015 10:32:25.375 (0450) DRIVER Sending DL Confirm!
29/11/2015 10:32:25.445 (0e14) IO TX: 05 64 05 80 01 00 02 00 CE 03
29/11/2015 10:32:25.514 (0450) DRIVER DL:FR=1, FID=1, Number=0
29/11/2015 10:32:25.514 (0450) DRIVER Store App...
29/11/2015 10:32:25.514 (0450) DRIVER APP:FR=1, FID=1, Number=0
29/11/2015 10:32:25.514 (0450) DRIVER NewDL:0bivar:1202, Id=1, Val=0.0192, TS:10:32:26.514
29/11/2015 10:32:25.514 (1148) DRIVER Class 1 data available!
29/11/2015 10:32:25.623 (0e14) IO TX: 05 64 0F C4 01 00 02 00 07 03 C0 C7 01 0A 01 01 02 00 02 00 00 F4
29/11/2015 10:32:25.800 (0e14) IO RX: 05 64 12 02 00 01 00 00 51 C0 C7 81 00 00 0A 01 01 02 00 02 00 00 86 21
29/11/2015 10:32:25.800 (0450) DRIVER Sending DL Confirm!
29/11/2015 10:32:26.842 (0e14) IO TX: 05 64 05 80 01 00 02 00 CE 03
29/11/2015 10:32:26.025 (0450) DRIVER DL:FR=1, FID=1, Number=0
29/11/2015 10:32:26.025 (0450) DRIVER Store App...
29/11/2015 10:32:26.025 (0450) DRIVER APP:FR=1, FID=1, Number=0
29/11/2015 10:32:26.025 (0450) DRIVER Copy:0bivar:1102, Id=2, Val=0.875, TS:10:32:26.025
29/11/2015 10:32:26.025 (1208) TAG ==> (0.875) Tag(1.1.1001.2) ReadValue(10:32:26.025) d = SUCCESS (status = (10:31:23.084) 0)
```

Figura 9 - LOG de eventos e status de envio.

VI. CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas que auxiliem no aumento da precisão dos métodos de otimização, proporciona as concessionárias implementar estratégias de reconfiguração, visando a melhora do desempenho da rede, que já tenham apresentado resultados satisfatórios em laboratório. Com isso, as manobras podem ser realizadas em um menor intervalo de tempo, reduzindo as possibilidades de topologias que a rede possa assumir, tornando o processo menos oneroso e reduzindo os custos operacionais.

Assim, conclui-se que a rede experimental desenvolvida neste trabalho demonstrou-se ser útil em processos de otimização de redes. Isso porque, através dela, tornou-se possível verificar a aplicabilidade da metodologia proposta, com baixos tempos de envios de envio e leitura de comandos. Além disso, os sistemas de comunicação e os equipamentos envolvidos possibilitam a utilização da rede experimental para outros fins, devido a sua fácil modulação..

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERENCIAS

- [1] Visão Geral do Setor. *ABRADEE* [Online]. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>;
- [2] M. Schmitz, C. Santos, M. A. F. Boaski, C.M. Puhle, B. R. Cenci, L. Dazzi, D. P. Bernardon, “Desenvolvimento de Rede Experimental com Análise de Método de Restabelecimento de Energia Elétrica.”.
- [3] A. P. C. Mello, “Reconfiguração de Redes de Distribuição Considerando Multivariáveis e Geração Distribuída” Tese de Mestrado, Centro de Tecnologia, Univ. Federal de Santa Maria, 2014.
- [4] A. P. C. Mello, “Reconfiguração de Redes de Distribuição Considerando Multivariáveis e Geração Distribuída” Tese de Mestrado, Centro de Tecnologia, Univ. Federal de Santa Maria, 2014.
- [5] D. P. Bernardon, L. L. Pfister, L. N. Canha, A. P. C. Mello, A. R. Abaide, M. Sperandio, V. J. Garcia, M. J. S. Ramos, “Sistemas de Distribuição no Contexto das Redes Elétricas Inteligentes: Uma Abordagem para Reconfiguração de Redes”. 1ª ed. AGEPOC, 2015.
- [6] L. L. Pfister. “Reconfiguração automática das redes de energia elétrica com monitoramento em tempo real”. Tese de Doutorado, Centro de Tecnologia, Univ. Federal de Santa Maria, 2013.