

Utilização de sistemas *self-healing* e sua contribuição para minimizar os tempos de recomposição do sistema de distribuição de energia elétrica

Marcelo Santiago Timossi (UTFPR) marcelo_timossi@hotmail.com

Antônio Vanderley Herrero Sola (UTFPR) sola@utfpr.edu.br

Antônio Carlos de Francisco (UTFPR) acfrancisco@utfpr.edu.br

Flavio Trojan (UTFPR) trojan@utfpr.edu.br

João Luiz Kovaleski (UTFPR) kovaleski@utfpr.edu.br

Resumo:

As redes de distribuição de energia elétrica exigem cada vez mais componentes confiáveis e possíveis de implantação de inteligência na busca de reconfigurar o sistema elétrico quando ocorre alguma falta ou falha. As concessionárias distribuidoras de energia elétrica necessitam estar constantemente renovando seus equipamentos e buscando sistemas que apresentem um grande índice de confiabilidade e principalmente que atendam às exigências dos órgãos regulamentadores. Existe uma concentração mundial para desenvolver estudos e componentes capaz de tornar as redes de distribuição de energia elétrica autônomas, operando e reestabelecendo o sistema sem a necessidade de intervenção de operadores buscando, principalmente, a rápida recomposição quando necessário e aumentando a eficácia desse mesmo sistema. O conceito *Smart Grids* (redes inteligentes), apresenta várias linhas de desenvolvimento para o sistema elétrico de potência, é onde as empresas têm buscado focar todos os esforços para atender as necessidades das novas exigências das redes de distribuição de energia elétrica. O presente artigo tem como objetivo realizar uma discussão teórica e uma avaliação da evolução dos conceitos sobre *Smart Grids*. Foram discutidos os principais aspectos sobre o tema, sua evolução em diversos países que se utilizam da aplicação do *Smart Grids* em sua rede de distribuição, e uma visão de como o mercado brasileiro está se preparando para implantação da prática. Como fechamento do estudo, é apresentado uma proposta teórica de um sistema de reconfiguração automática de redes de distribuição de energia elétrica, com a finalidade de minimizar os impactos ocasionados pela falta ou perda indesejada do fornecimento de energia.

Palavras chave: *Smart Grids*, *Self-Healing*, Reconfiguração Automática, Redes de Distribuição de Energia.

Use of self-healing systems and their contribution to minimizing the times of restoration of electrical power distribution system

Abstract

Distribution networks of electricity demand more reliable components and possible deployment of intelligence in seeking to reconfigure the electrical system when a fault or failure occurs. The electricity distribution concessionaires need to be constantly renewing its equipment and systems seeking to have large reliability index and especially meeting the requirements of regulatory agencies. There is a global concentration to develop studies and able to make the distribution networks of autonomous power, and reestablishing operating system without the need for operator intervention seeking mainly to rapid

restoration when necessary and increasing the effectiveness of that system components. The smart grid (smart grid) concept presents several lines of development for the electric power system, is where companies have sought to focus all efforts to meet the needs of the new requirements of the distribution networks of electricity. This paper aims to conduct a theoretical discussion and an assessment of the evolution of concepts of Smart Grids. The main aspects of the topic, its development in various countries that use the application of Smart Grids in its distribution network, and a vision of how the Brazilian market is preparing for implementation of the practice were discussed. As a conclusion of the study, a theoretical proposal of a system for automatic reconfiguration of distribution networks of electricity, in order to minimize the impacts caused by the lack or unwanted loss of power supply is presented.

Key-words: Smart Grids, Self-Healing, Automatic Reconfiguration, Power Distribution Networks.

1. Introdução

O sistema de energia elétrica foi construído ao longo de mais um século. Atualmente é um dos componentes da infraestrutura dos quais a sociedade moderna efetivamente mais depende. Ele fornece energia elétrica para a indústria, para consumidores comerciais e residenciais, atendendo a uma crescente demanda.

As concessionárias de energia elétrica devem prover o serviço de fornecimento de energia, com requisitos de qualidade e de disponibilidade estabelecidos pelo órgão regulador, no caso do Brasil o responsável por essa fiscalização é a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Os dois principais indicadores de qualidade de fornecimento de energia elétrica são os índices de duração e de frequência da interrupção (DEC e FEC). Em uma situação de desligamento de um trecho da rede, é necessário deslocar equipes de manutenção, que devem percorrer todo o trecho do alimentador, identificando o defeito, isolando-o e reenergizando os trechos possíveis. Esse processo é relativamente demorado (em média de 30 minutos) comparando-se com o tempo máximo para religamento do sistema sem que sejam computadas punições para a concessionária (tempo deve ser inferior a 3 minutos). Para que estes indicadores possam ser cumpridos, algumas ações vêm sendo tomadas, como a modernização de equipamentos instalados na rede de distribuição de energia, na qual as concessionárias têm buscado automatizar algumas destas tarefas.

Para satisfazer a crescente demanda por energia e a necessidade de redução nas emissões de dióxido de carbono, a sociedade necessita de um sistema elétrico que seja sustentável, confiável e econômico, em diálogo com os requisitos que a agenda voltada para a tecnologia, inovação e sustentabilidade possam garantir o desenvolvimento. Assim, um sistema elétrico deverá preocupar-se em cumprir quatro requisitos (ABB, 2014):

- Capacidade: a enorme demanda por energia elétrica tem que ser satisfeita;
- Confiabilidade: sempre que necessário a eletricidade deve estar disponível, com alta qualidade e sem interrupções;
- Eficiência: da produção e transmissão, até o consumo final a energia tem que ser economizada;
- Sustentabilidade: Fontes de energia com baixo teor de carbono devem ser integradas ao sistema.

O segmento da distribuição de energia, além de realizar a interface entre o sistema de transmissão e a geração distribuída, possui a maior malha de circuitos que proporcionam o atendimento aos consumidores finais. É neste segmento que estão as maiores mudanças e oportunidades de implantação de um novo conceito dentro do sistema elétrico, o de redes inteligentes (*Smart Grids*). Esta tecnologia permite a estruturação de uma integração plena entre

as subestações, redes elétricas (de média e baixa tensão) e equipamentos elétricos da rede (transformadores, reguladores de tensão, banco de capacitores, chaves, religadores, relés de proteção) (COPEL, 2010).

Embora o sistema elétrico seja de fundamental importância para satisfazer as necessidades do mundo moderno, o mesmo está sempre muito vulnerável a falhas. A interrupção de um braço da rede de distribuição causa um efeito em cascata, já que não é possível estabelecer “rotas alternativas” como em uma rede de computadores. Além disso, as distribuidoras só tomam conhecimento das falhas quando há reclamações por parte dos clientes.

Existe ainda os benefícios decorrentes da implantação do novo sistema que incluem a redução na emissão de gases, esse benefício pode ser alcançado por meio de melhorias na utilização final de energia, como aumento na eficiência energética. A redução de carga a partir dessa eficiência também contribui para as reduções. Com essa possível potencialidade pode-se inferir que haverá benefícios para a sustentabilidade ambiental no que se refere à redução de emissões relacionados à implantação da tecnologia *Smart Grids* (MME, 2010).

O objetivo do artigo é realizar uma discussão teórica e uma avaliação da evolução dos conceitos sobre *Smart Grids*, os principais aspectos sobre o tema, sua evolução em diversos países que se utilizam da aplicação do *Smart Grids* em sua rede de distribuição, e uma visão de como o mercado brasileiro está se preparando para implantação da prática.

2. *Smart Grids* (Redes Inteligentes)

O progresso da vida moderna tornou a energia elétrica um dos produtos mais importantes e requisitados pela sociedade. Em qualquer segmento, seja na produção de bens ou serviços, na segurança pública, na saúde ou simplesmente para o conforto dos lares, a energia elétrica é indispensável. Entretanto, a intensificação do uso gera também a necessidade de aumento na produção de energia elétrica (COPEL, 2014).

O segmento da distribuição de energia elétrica, além de realizar a interface entre o sistema de transmissão e a geração distribuída, possui a maior malha de circuitos capaz de proporcionar atendimento aos consumidores finais. É neste segmento onde estão as maiores mudanças e as oportunidades de implantação de um novo conceito dentro do sistema elétrico. A integração entre a tecnologia da informação e o sistema elétrico de potência juntamente com sistemas de comunicação e toda a estrutura de uma rede de distribuição automatizada apresenta a essência do significado do termo *Smart Grid*.

As redes inteligentes podem integrar suas ações como parte de um sistema de energia elétrica com todos os usuários conectados a ela. Esses integrantes podem ser geradores, consumidores e todos os envolvidos no sistema buscando a maior eficiência, geração e distribuição de energia de forma sustentável, econômica e principalmente segura (WADE *et al.* 2010).

Com essa integração dentro do sistema, numa visão futura, concessionárias e consumidores irão convergir em interesse e tecnologias para alcançar eficiência energética, confiabilidade dos sistemas de distribuição de eletricidade, menores custos e menor agressão ao meio ambiente e aos recursos naturais.

Os segmentos das redes inteligentes podem ser definidos de duas maneiras, uma delas muito comum no mercado europeu, enfoca a integração entre usuários conectados as fontes geradoras com o propósito de entregar a energia de forma sustentável, econômica e principalmente fornecendo essa energia de forma segura. Na segunda definição, uma tendência forte no mercado norte americano, destaca-se a participação dos consumidores em resposta a

demanda, operando de forma efetiva contra qualquer ataque de intrusos cibernéticos no tramite de informações entre concessionária e consumidores. (CLASTRES, 2011)

O Brasil poderá se beneficiar com a melhoria dos índices de perdas técnicas e comerciais, as quais hoje são em grande parte, bancados pelos próprios consumidores. “A rede inteligente traz, por exemplo, melhora nos índices de qualidade, como o DEC /FEC e o DIC /FIC. Esses indicadores a duração e a frequência dos eventos de falta de energia, tanto em nível geral da rede como individual” segundo estudos da ABINEE (2014).

As palavras chaves para aplicação das redes de distribuição inteligentes são a inovação e integração de várias tecnologias aplicadas a rede elétrica existente agregando produtos e serviços inovadores em conjunto com tecnologias de controle e comunicação, objetivando facilitar a conexão e a operação de produtores de várias dimensões e tecnologias (COPEL, 2014).

Nesse contexto deve-se aceitar a ideia de revolução no setor elétrico com a implantação das redes inteligentes e essa transformação não deverá apenas estar limitada a parte técnica ou tecnológica, mas também deverá abranger a esfera econômica, onde novos modelos de negócios podem ser criados a partir dessa nova concepção de redes.

As redes elétricas inteligentes deverão apresentar as seguintes características (ABB, 2014):

- Flexibilidade: Preenchendo as necessidades dos consumidores e respondendo às mudanças e desafios futuros;
- Acessibilidade: Permitindo o acesso de ligação a todos os utilizadores da rede, em particular às fontes de energias renováveis, com elevada eficiência, produção local com emissões nulas ou muito baixas;
- Confiabilidade: Garantindo e melhorando a segurança e qualidade de abastecimento, indo ao encontro das exigências da era digital, resistindo a riscos e incertezas.
- Economicidade: Proporcionando melhor valor através da inovação, gestão da eficiência energética e elevar o nível da competição e regulação.

Além dessas características as concessionárias de energia elétrica devem estar atentas à alguns desafios conforme destacado por (TOLEDO *et al.* 2012):

- A inevitável penetração de novas fontes de geração e armazenamento de energia;
- A potencial mudança do perfil do cliente de energia elétrica, por exemplo, o advento de consumidores móveis de energia (veículos elétricos e híbridos recarregáveis).
- A necessidade de lidar com a bidirecionalidade energética e de informação, em tempo real, relacionada a tais tecnologias;
- A adequação a metas ligadas à sustentabilidade do planeta e à tendência de cidades e habitats inteligentes;
- A gestão otimizada do crescimento significativo da carga anual;
- A resposta à crescente expectativa dos clientes em relação à qualidade do fornecimento de energia assim como aos anseios do regulador e das demais autoridades;
- A necessidade de redução de custos operacionais, como, por exemplo, aqueles relativos a perdas e inadimplência;
- A tendência de competição no mercado de energia elétrica direta ou indiretamente.

O grande desafio para implantação e validação do conceito é o pensamento conservador sobre a arquitetura do sistema de distribuição de energia elétrica. Para implantação desse novo

sistema será necessário a quebra de diversos conceitos estabelecidos na maioria das empresas distribuidoras de energia elétrica.

2.1 *Smart Grid* no Cenário Internacional

Dentro das diversas discussões no cenário internacional entre as empresas responsáveis pela distribuição de energia elétrica, as redes elétricas inteligentes e todos os componentes envolvidos fazem parte do tema central de discussão. Diferentes variâncias e iniciativas acabam sendo adotadas em alguns países, como os EUA, o qual não apresentam uma única forma de tratar o assunto (TOLEDO et al. 2012).

O mercado europeu apresenta diversas alternativas para o tema e foca grande parte dos estudos em geração renovável dentro dos programas relacionados as redes elétricas inteligentes. Dentro desse cenário, destaca-se a iniciativa apresentada pela empresa italiana ENEL com foco em medidores inteligentes, e juntamente com sua subsidiária espanhola Endesa, implantou mais de 30 milhões de medidores inteligentes no mercado Italiano (TOLEDO et al. 2012).

Cada país apresenta uma forma distinta de abordar o tema. Na sequência serão apresentados diversos exemplos de como as empresas ao redor do mundo tem despendido seus esforços para implantar o conceito das redes elétricas inteligentes na visão de Lima (2012).

Reino Unido: Como em sua estrutura de distribuição de energia somado com a inteligência para oferta da mesma possibilita o consumidor a escolher qual empresa será responsável pelo seu fornecimento, o Reino Unido é um país avançado em relação a reestruturação do negócio de energia elétrica. Sua forma de geração e inteligência nas redes de distribuição possibilitará a (re)evolução do atendimento e transição para o *Smart Grid*.

Japão: Apresenta diferenciação aos demais países na adoção de novas tecnologias para o *Smart Metering* (Medição Inteligente). Por ser uma sociedade focada na baixa emissão de carbono, o país realizou e programou um plano elaborado na eficiência geral no uso de energia, tanto para produção de novos equipamentos como na produção industrial, apresentando metas estabelecidas e controladas.

Estados Unidos: Foram criados vários incentivos para promoção do *Smart Grid*, em seu primeiro ato o presidente Obama, ofereceu um pacote de US\$ 4,5 bilhões em gastos diretos para aplicação do conceito. Como consequência na modernização dos sistemas de medição dos consumidores residenciais e aplicação do conceito de *Smart Metering*, o número de reclamações dos clientes aumentou de forma considerável após o recebimento de suas faturas apresentando um valor maior de quando os medidores eram de ordem mecânica, com tecnologia mais antiga. Essa diferença na medição antes e após a modernização dos equipamentos se deve ao fato dos medidores antigos muitas vezes apresentavam uma leitura errada em relação ao consumo de energia elétrica, e após a atualização e com as leituras mais precisas, os consumidores começaram a desconfiar do novo sistema implantando.

Comunidade Europeia: Além do exemplo citado anteriormente nos medidores na Itália, questões e estratégias relacionadas a uma matriz energética mais limpa acabam ganhando destaque dentro do continente. Uma saída adotada é a geração distribuída (mais próximo das fontes de consumo), e alguns países criaram incentivos para implantação de micro geração.

Recentemente, a Turquia vem se destacando como um país longe dos considerados grandes centros, como um dos países com maior estrutura e apoio projetos sobre *Smart Grids*. Um dos objetivos formulados com a estratégia do governo Turco de modernização de suas redes de distribuição é aumentar as cotas de fontes renováveis de energia. Outra grande vantagem do

país é a influência do ministério de energia nos estudos para projetos de cooperação internacional (COLAK et al. 2014).

Uma característica semelhante entre a Turquia e o Brasil se deve ao fato dos países não apresentam políticas específicas sobre programas relacionados a *Smart Grids*, conseqüentemente esses países apresentam um certo atraso no desenvolvimento do conceito quando comparado com o cenário mundial.

2.2 *Smart Grid* no Cenário Brasileiro

As distribuidoras de energia elétrica no Brasil estão estudando as melhores formas de se adequarem e a melhor forma de implantar as redes elétricas inteligentes. Os investimentos para implantação e estudos sobre a modernização do sistema vem aumentando consideravelmente em todo o país, e distribuidoras como a COPEL, LIGHT e CEMIG vem buscando essa melhoria através de diversos projetos em suas redes de distribuição.

Como o Brasil apresenta uma região demográfica muito extensa, diversas características de consumidores e regiões de consumo, desde redes sobrecarregadas de consumidores até longas redes com um grande trecho de abrangência territorial, porém com um número pequeno de consumidores, o mais importante é entender o propósito a qual se refere as redes elétricas inteligentes e buscar adequar os modelos internacionais para a realidade do país.

Inicialmente como o Brasil ainda não dispôs de normas e regulações em vigor, o Ministério das Minas e Energia (MME), criou um grupo de trabalho com o objetivo de avaliar e identificar ações necessárias para subsidiar o estabelecimento de políticas públicas para a implantação de um programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente (TOLEDO et al. 2012).

O mesmo autor ainda complementa citando a realização de diversos estudos por parte da Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica (Abradee), como o objetivo de subsidiar as autoridades com a visão dos distribuidores de energia sobre o tema. Em 2011 com a conclusão dos estudos foi apresentada uma proposta de âmbito nacional para migração tecnológica do setor elétrico brasileiro do estágio atual até a adoção em todo o território nacional sobre o conceito de *Smart Grid*.

Devido ao crescimento de sua economia e o grande investimento despendido em infraestrutura nas cidades, o Brasil é apontado como o próximo grande potencial de mercado de *Smart Grids*. O país é reconhecido como o mercado líder desse segmento na América Latina, e seus investimentos para desenvolvimento e implantação são destacados quando comparados aos demais países em desenvolvimento (FADAEENEJAD et al. 2014).

Com vários projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em andamento, e investimento pesado na modernização das redes de distribuição e equipamentos, essa estimativa sobre o potencial Brasileiro deve se concretizar e o país se tornar em um dos líderes em programas sobre *Smart Grids*.

2.3 Redes Inteligentes na Área de Automação de Sistemas Elétricos

Dentre os vários atributos apresentados por uma rede inteligente, o conceito de auto recuperação (*Self-Healing*) é um dos mais importantes para sua caracterização (GELLINGS, 2006) (OHARA, 2009).

Segundo o *Department of Energy – USA (DOE)*, o conceito de *Self-Healing* refere-se à capacidade da rede, frente a um distúrbio (OHARA, 2009) de:

- Isolar o problema;

- Reduzir ao máximo o número de clientes afetados;
- Retornar ao seu estado normal.

Esses procedimentos devem ocorrer de forma autônoma, com uma menor intervenção humana, de forma a minimizar o tempo de deslocamento de equipes de manutenção, através dos elementos automatizados da rede de distribuição.

O objetivo de tais ações é minimizar o impacto de um evento ao menor número de clientes possível, com uma função automática capaz de antecipar os potenciais problemas, reduzindo o tempo de recuperação quando distúrbios inesperados ocorrem, e melhorar o desempenho de operações normais (GELLINGS, 2006).

O desenvolvimento de um sistema de *Self-Healing* para o sistema de distribuição de energia capaz de automaticamente antecipar e responder a distúrbios, e continuamente otimizar sua própria performance é um dos desafios para o sistema elétrico do futuro, sendo os objetivos mostrados a seguir (IECSA, 2010):

- Otimizar dinamicamente a performance e a robustez do sistema, onde em condições normais, um conjunto de sensores monitorará as características elétricas do sistema (tensão, corrente, frequência, harmônicos) bem como a situação de componentes críticos, como transformadores, religadores, disjuntores, etc., e quando um problema potencial é detectado, sua severidade, bem como suas consequências são avaliadas. Em função desta avaliação, várias ações corretivas podem ser identificadas, e simulações feitas para estudar a efetividade de cada ação.
- Atuar de forma rápida perante a distúrbios no sentido de minimizar impactos, quando um evento inesperado ocorre no sistema, ele será rapidamente detectado e identificado. Um esquema inteligente de isolamento e seccionamento podem ser ativados automaticamente, para manter o fornecimento de energia aos consumidores de acordo com prioridades definidas.
- Efetivamente colocar o sistema em uma região de operação estável após uma ocorrência, onde seguindo a reação do sistema para um distúrbio, ações podem ser tomadas para mover o sistema para uma região de operação estável. Para isso, o estado e a topologia do sistema devem ser acessado em tempo real, permitindo ações corretivas serem identificadas e sua efetividade determinada por simulações computacionais (INTELLIGRID, 2014) (IECSA, 2010).

Algumas aplicações de automação de distribuição (como muitas funções de automação de subestações) pode ser implementada utilizando-se apenas informação local. Entretanto, muitas aplicações com o intuito de melhorar o sistema de distribuição devem ser feitas de forma centralizada, requerendo trocas de informações para monitorar diferentes locais no sistema.

A decisão de controle pode ser feita de duas maneiras:

- Centralizada, onde um elemento do sistema recebe as informações dos elementos sensores instalados ao longo da rede elétrica, e processa-as, tomando as decisões adequadas. Este é o caso de um sistema denominado *Supervisory Control and Data Acquisition/Distribution Management System* (SCADA/DMS), que dentre inúmeras funções programa os algoritmos de controle automático de recomposição de cargas. Com o aumento crescente do volume de entidades instaladas, necessita-se de alto poder de processamento deste sistema.
- Descentralizada, onde o processo de armazenar as informações é distribuído aos elementos instalados na rede elétrica.

Na sequência será apresentado um exemplo de sistema de reconfiguração automática, demonstrando sua agilidade em recompor o sistema e sua forma de atuação.

3. Possibilidades de Reconfiguração Automática

Nos próximos tópicos serão apresentados uma simulação sobre o processo de reconfiguração automática de um sistema de distribuição de energia elétrica e suas variáveis dentro do conceito proposto. Para o presente estudo foi utilizado a filosofia adotada pela empresa S&C, seu sistema apresenta uma forma de configuração e concepção de um sistema de reconfiguração de redes de distribuição.

3.1 Sistemas de Recomposição Automática INTELLITEAM (S&C, 2014)

O sistema apresenta sua função de recomposição automática através da supervisão e controle dos dispositivos de manobras contemplados na rede de distribuição, podendo ser chaves tripolares sob carga ou religadores. Todos os dispositivos comunicam-se entre si de forma constante, e na ocorrência de uma falta, o sistema identifica o trecho sob falta, isolando e recompondo o maior número de clientes possíveis, através de fontes alternativas de energia elétrica, provenientes de diversas subestações interconectadas.

3.1.1 Princípio do Funcionamento do Sistema

O sistema de recomposição automática é feito em duas etapas: isola-se a falta inicialmente e recompõe-se o sistema nos trechos sem falta. As informações referentes a esta seção são baseadas em (Ohara, 2009):

a) Isolamento da falta:

O isolamento da falta terá um comportamento diferente, quando se utiliza o controlador em um religador ou em uma chave. No caso de um religador, se a falta ocorrer após o mesmo, este será responsável por abrir a falta e isolá-la.

Caso seja uma chave, será detectado uma sobrecorrente pelo controlador caso a falta ocorra após a chave, porém irá aguardar a ação do disjuntor do alimentador. Quando o controlador instalado na chave detecta a sobrecorrente e uma falta de tensão posterior, indicando a abertura do disjuntor da subestação, este irá comandar a abertura da chave no tempo morto do disjuntor (tempo de religamento), evitando a abertura da chave sob carga sob uma corrente de falta para a qual ela não está dimensionada.

Recomposição Automática do Sistema:

A partir do isolamento da falta, cada controlador envia as informações do evento, para os demais controladores. Juntando com as informações dos controladores adjacentes a eles, cada controlador tomará a decisão de fechar o religador ou chave sob carga, restabelecendo a tensão no trecho. Esta decisão seguirá uma série de regras, descritas a seguir:

- A falta não deve estar no trecho recomposto;
- O trecho a ser recomposto não deve sobrecarregar o alimentador para o qual será transferido, sendo desta forma verificada a carga anterior antes da transferência. Caso a recomposição venha a trazer sobrecarga a um alimentador, se houver um outro alimentador alternativo para realizar esta recomposição o sistema irá fechar a chave conectada a este alimentador.

A Figura 1 ilustra um sistema exemplo da solução, constituído de 12 chaves sob carga. Quatro alimentadores indicando quatro fontes provenientes de quatro subestações, dotados de

disjuntores na subestação com a função de religamento automático, em sua configuração normal SUB2 atende ao trecho em verde, SUB3 ao trecho em laranja, SUB4 ao trecho em azul e SUB1 serve como fonte alternativa de interconexão.

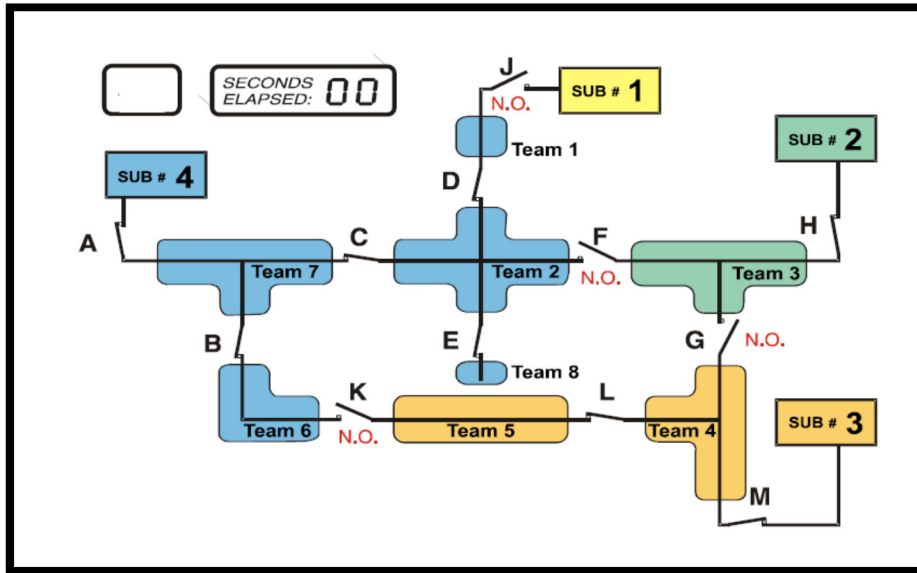


Figura 1 - Sistema Exemplo em sua Configuração Normal
 Fonte: OHARA (2009)

Considerando uma falta ocorrida entre as chaves A, B, C, como ilustra a Figura 1, como são chaves sob carga, quem irá interromper a falta será o disjuntor da subestação 4, deixando todo o trecho em azul desligado, como pode ser visto na Figura 2.

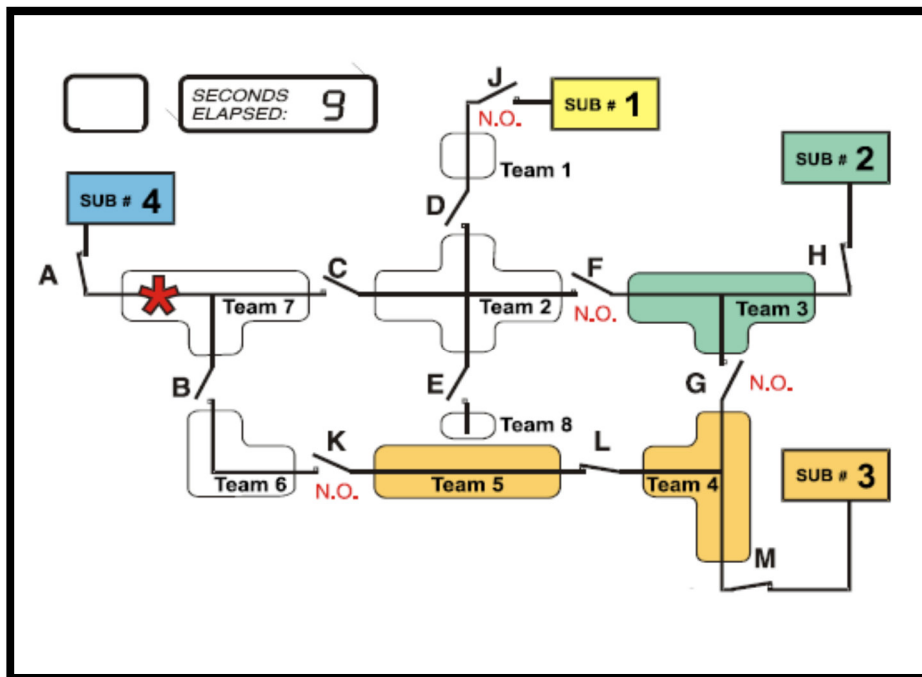


Figura 2 – Falta Entre as Chaves A, B, C
 Fonte: OHARA (2009)

Após detectar a falta de tensão, as chaves A, B, C, D e E (normalmente fechadas) irão abrir, seguindo a premissa de isolar a falta. Depois deste fato, haverá a troca de informações entre os controladores instalados nas chaves, informando o que cada controlador detectou (ausência de tensão, detecção de falta, posição da chave). Depois de cumprida esta etapa, inicia-se o processo de recompor o sistema automaticamente.

O controlador da chave J (normalmente aberta), com as informações do controlador da chave D, saberá que o trecho entre eles está desligado, e que D não detectou falta de sobrecorrente, logo a falta não está neste trecho. A conclusão é que poderá restabelecê-lo através do alimentador SUB1, e então, fechará a chave J.

A chave F receberá informações das chaves D, E e C, e tomará a mesma decisão (fechar a chave F), restabelecendo pelo alimentador SUB2 este trecho, conforme ilustra a Figura 3.

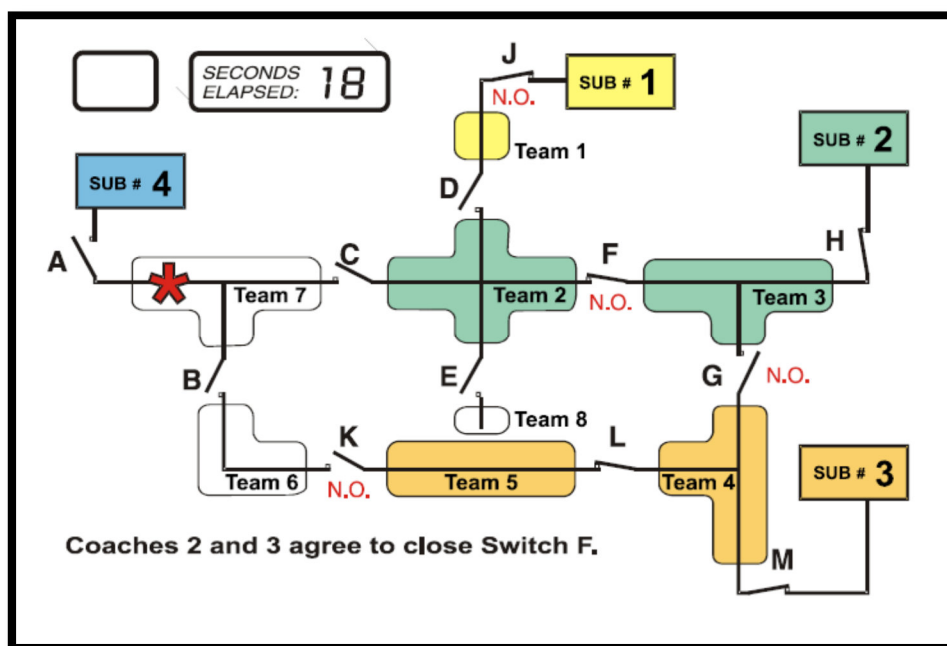


Figura 3 – Chaves J e F Fecham
Fonte: OHARA (2009)

Após estas recomposições, as chaves K e E detectam o retorno de tensão (no caso da chave K não houve perda de tensão). A chave K recebe a informação de B, de que não ocorreu falta no seu trecho, decidindo assim por restabelecer este trecho através da SUB3, fechando desta forma a chave K.

A chave E receberá também informações de C, D e F, e também tomará a decisão de fechar. As chaves B e C receberão a informação de que a chave A detectou sobrecorrente, logo, a falta encontra-se entre eles e nenhuma delas tomará a decisão de fechar, mantendo o sistema como ilustrado na Figura 4.

Com todas essas etapas, o sistema elétrico mostrado foi recomposto de forma autônoma, sem intervenção de qualquer outro meio, o que vai de encontro ao conceito *Self-Healing*, que é o de localizar o defeito, isolá-lo, recompondo o maior número possível de carga.

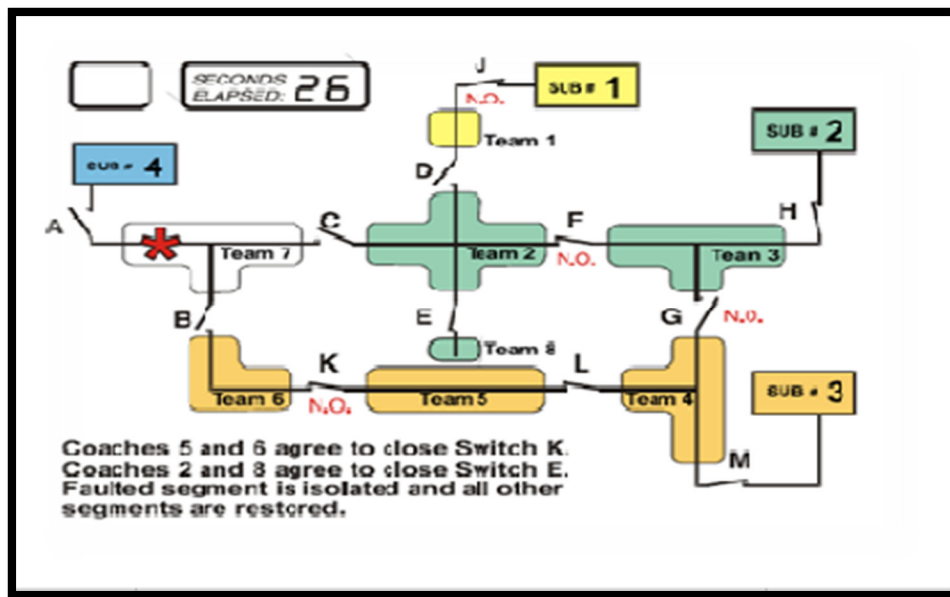


Figura 4 – Sistema Após a Reconfiguração Automática
Fonte: OHARA (2009)

No exemplo dado pelo fornecedor do equipamento, com a configuração mostrada nas Figuras 3 e 4, o tempo estimado para que a recomposição venha a ocorrer foi de 26 segundos. Este tempo é inferior aos 3 minutos necessários para que a ANEEL contabilize a falta nos índices DEC e FEC.

4 Discussões

Com a implantação do conceito de reconfiguração os tempos de reestabelecimento de energia apresentaria valores que contribuiriam para redução dos principais índices de acompanhamento pelo órgão regulamentador. Se for considerado que um despachante no Centro de Operações (COD) levaria pelo menos 30 minutos para efetuar as manobras de isolamento e recomposição da falta, o Sistema de Recomposição Automática estaria reduzindo os registros em índices de DEC e FEC a somente os consumidores do trecho entre A, B e C, enquanto que a atuação manual, mesmo que remota feita pelo despachante, ocasionaria em registros em todo o trecho alimentado por SUB4. Todo o processo é executado de forma autônoma, sem a necessidade de intervenção dos operadores do sistema.

Essa simulação foi feita com apenas um conjunto do sistema proposto, porém existe a possibilidade de implantar vários times ao longo da malha da rede de distribuição, e com isso espera-se que os índices de acompanhamento tenham seus valores mais próximos dos aceitos pelo órgão regulamentador em diversas regiões dentro de um mesmo conjunto.

5 Conclusão

Esse artigo revisa vários aspectos importantes sobre o conceito *Smart Grids* e reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica. O trabalho apresenta as vantagens da utilização do conceito de *Self-Healing* por parte das concessionárias distribuidoras de energia elétrica como auxílio para atender os índices de DEC e FEC estipulados pela ANEEL. Além dessa demonstração, foram discutidos como o mercado nacional e internacional vem tratando do tema *Smart Grids* e suas formas de disseminar o conceito.

Referências

ABB - Asea Brown Boveri. *Redes inteligentes – energia eficiente para um mundo sustentável. Portal de Redes Inteligentes (Smart Grid).* Disponível em <http://www.abb.com.br/cawp/db0003db002698/1030e74ee6bef18c1c12576e40047cd4b.aspx>. Acesso em Abril de 2014.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. *Smart Grid – Uma solução inteligente. Revista ABINEE.* Ano XII, no. 57, Julho de 2010, p. 14-17. Disponível em <http://www.abinee.org.br/informac/revista/rev57.pdf>. Acesso em Abril de 2014.

CLASTRES C. *Smart grids: Another step towards competition, energy security and climate change objectives.* Energy Policy, Volume 39, Issue 9, September 2011, Pages 5399-5408, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.024>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151100396X>). Acesso em Março de 2014.

COLAK, I., BAYUNDIR, R., FULLI, G., TEKIN, I., DEMIRTAS, K., COVRIG, C. F. *Smart grid opportunities and applications in Turkey, Renewable and Sustainable.* Energy Reviews, Volume 33, May 2014, Pages 344-352, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.009>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114001208>). Acesso em Abril de 2014.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. *Relatório de conclusão da primeira etapa de trabalho constituído pela Circular 047/2009.* Curitiba, 2010.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. Disponível em www.copel.com. Acesso em Abril de 2014.

FADAEENEJAD, M., SABERIAN, A. M., FADAE, M. A. M., RADZI, H., HIZAM, M. Z. A., ABKADIR. *The present and future of smart power grid in developing countries.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 29, January 2014, Pages 828-834, ISSN 1364-0321, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.072>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113006126>). Acesso em Abril de 2014.

GELLINGS, C. W. *The Power Delivery System of the Future.* IN: *Northeast-Midwest Congressional Coalition's*. EUA, 2006.

IECSA: Development of an Integrated Energy and Communications Systems Architecture: a White Paper. Relatório Técnico RFP054576E – Attachment 3. EPRI – Electric Power Research Institute. EUA, 2010. Disponível em http://xanthu-consulting.com/IntelliGrid_Architecture/Marketing_IntelliGrid/IECSA_White_Paper_AttachmeNt_3.pdf. Acesso em Março de 2014.

INTELLIGRID - Architecture Power System Functions. Relatório Técnico. Intelligrid.Info. Disponível em http://www.intelligrid.info/intelligrid_architecture/iecsa_volumes/iecsa_volum_ei.pdf. Acesso em Abril de 2014.

LIMA, C. A. F. *Revolução Tecnológica na Indústria de Energia Elétrica com Smart Grid, Suas Consequências, e Possibilidades para o Mercado Consumidor Residencial Brasileiro.* Tese de Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos. Universidade Estadual de Campinas, 2012.

MME – Ministério das Minas e Energia. Relatório *Smart Grid.* Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. Brasília: 2010.

OHARA, A. T. *Sistema de Recomposição Automática de Redes de Distribuição – A aplicação do conceito de Self-Healing.* IN: *Anais do VI CIERTEC 2009 - Seminário Internacional sobre Smart Grid em Sistemas de Distribuição e Transmissão de Energia Elétrica.* Belo Horizonte, Minas Gerais: 2009.

S&C. *Automatic Restoration System.* Disponível em <http://pt.sandc.com/products/automation-control/intelliteam-cnms.asp>. Acesso em Março de 2014.

TOLEDO, F. et al. *Desvendando as redes elétricas inteligentes / coordenação geral Fabio Toledo.* Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

WADE, N. S., TAYLOR, P. C., LANG, P. D., JONES, P. R. *Evaluating the benefits of an electrical energy storage system in a future smart grid.* Energy Policy, Volume 38, Issue 11, November 2010, Pages 7180-7188, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.07.045>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510005756>). Acesso em Maio de 2014.