

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
THALLES BELARMINO RESENDE ARAÚJO

**ESTUDO SOBRE SELF HEALING: metodologia de aplicação em redes de distribuição
de energia elétrica**

Varginha
2016

THALLES BELARMINO RESENDE ARAÚJO

**ESTUDO SOBRE SELF HEALING: metodologia de aplicação em redes de distribuição
de energia elétrica**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica sob orientação do Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco

**Varginha
2016**

THALLES BELARMINO RESENDE ARAÚJO

**ESTUDO SOBRE SELF HEALING: metodologia de aplicação em redes de distribuição
de energia elétrica**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco

Prof. Me. Josué Alexandre Aquino

Prof. Me. Ivana Prado De Vasconcelos

OBS.:

Dedico este trabalho a meus pais, Elmar e Maria Gorete, pois sem o seu apoio e sua dedicação nunca poderia conquistar este sonho. Dedico este trabalho a minha namorada, Poliane que sempre me apoiou em todas as horas que mais precisei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida. Agradeço a meus pais, Elmar e Maria Gorete, pois sempre foram meu alicerce. Agradeço muito a minha namorada, Poliane por ter me ensinado tanto ao longo deste tempo.

O sofrimento é passageiro mas desistir é para sempre.

Lance Armstrong

RESUMO

Perante todos os desafios enfrentados pelo setor elétrico para que se possa manter a qualidade da energia distribuída, surge uma grande necessidade de automatização e controle do sistema de distribuição. Essa necessidade é impulsionada pelo crescente avanço da tecnologia digital. Esse avanço vem sendo gerado por grandes investimentos em novos conceitos. Um desses conceitos é o *Smart Grid* ou redes elétricas inteligentes. Nesse trabalho será explorada a potencialidade do conceito *Self Healing*, o qual está inserido dentro da *Smart Grid*. O conceito *Self Healing* possui a capacidade de detectar, isolar e se recompor automaticamente após a ocorrência de uma falta. Isto é possível devido aos agentes do sistema executarem ações pré-programadas de chaveamento com resposta imediata à falta ocorrida. Toda essa ação é realizada por métodos aplicados no sistema de microprocessamento para que todas as situações e soluções possíveis sejam avaliadas e aplicadas para a resolução rápida da problemática ocasionada pelas faltas. Para consolidar a ideia central deste trabalho, foi realizado um estudo baseado na literatura existente e, a partir desta base metodológica, foi apresentado um exemplo teórico de detecção das faltas no sistema elétrico, concluindo a veracidade de aplicação do *Self Healing* em rede de distribuição de energia elétrica.

Palavras - Chave: *Smart Grid*. *Self Healing*. Métodos. Detecção de Faltas.

ABSTRACT

Given all the challenges facing the energy sector so that we can maintain the quality of distributed power comes a great need for automation and control of the distribution system. This need is driven by the increasing advancement of digital technology. This advance has been generated by large investments in new concepts. One of these concepts is the Smart Grid and intelligent electrical networks. In this paper we explore the potential of the concept Self Healing, which is inserted into the Smart Grid. Self Healing concept has the ability to detect, isolate and recover automatically after the occurrence of a fault. This is possible due to system agents perform pre-programmed actions switching with immediate response to the failure occurred. All this action is carried out by methods applied in the microprocessing system for all situations and possible solutions are evaluated and applied for the speedy resolution of the problems caused by faults. To solidified the central idea of this work will be undertaken a study based on existing literature and from this methodological basis will be presented a theoretical example of detecting faults in the electrical system. Completing the veracity of application of Self Healing Network power distribution.

KeyWords: *Smart Grid. Self Healing. Methods. Fault detection.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Título: Configuração do Sistema elétrico brasileiro.....	14
Figura 02 – Título: Diagrama unifilar simplificado de um alimentador radial.....	21
Figura 03 – Título: Diagrama unifilar simplificado do sistema radial com recurso.....	22
Figura 04 – Título: Diagrama unifilar simplificado da configuração em anel fechado.....	23
Figura 05 – Título: Sensor Schneider.....	30
Figura 06 – Título: Religador aplicado ao longo de uma linha de distribuição	31
Figura 07 – Título: Chave seccionadora Scada-Mata.....	32
Figura 08 – Título: Trecho da rede de distribuição analisado.....	34
Figura 09 – Título: Rede sem Self Healing.....	35
Figura 10 – Título: Localização da suposta falta.....	36
Figura 11 – Título: Rede após ocorrida a falta.....	36
Figura 12 – Título: Rede com Self Healing.....	37
Figura 13 – Título: Falta em rede com Self Healing.....	38
Figura 14 – Título: Falta nas chaves CH 2 e CH 3 com Self Healing.....	38
Figura 15 – Título: Falta nas chaves CH 4 e CH 5 com Self Healing.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 SISTEMA ELÉTRICO	14
2.1 Sistema de distribuição	14
2.2 Regulação do sistema de distribuição	15
2.2.1 Indicadores de continuidade	16
2.3 Formulação do sistema de distribuição	18
2.4 Classificação típica do sistema de distribuição	18
2.4.1 Redes de distribuição aéreas	18
2.4.2 Rede de distribuição compactas	19
2.4.3 Redes de distribuição subterrâneas	19
2.5 Configuração dos sistemas de distribuição	20
2.5.1 Sistema radial	20
2.5.2 Sistema radial com recurso	21
2.5.3 Sistema com configuração em anel fechado	22
2.6 Faltas no sistema de distribuição	23
3 APLICAÇÃO DE SELF HEALING NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	24
3.1 Aplicação de smart grid em sistemas de distribuição	24
3.2 Principal função dos multiagentes dentro das Smart Grids.....	25
3.3 Importância da aplicação da camada de comunicação	25
3.4 Princípios de detecção de faltas no sistema de distribuição.....	25
3.5 Conceito de auto recomposição aplicado nas redes de distribuição	27
3.5.1 Self Healing	27
3.5.2 Surgimento do Self Healing	28
3.5.3 Definição de Self Healing	28
3.5.4 Principais condições para aplicação de Self Healing	29
3.5.5 Aplicação do Self Healing na reconposição do sistema de distribuição	29
3.6 Principais equipamentos aplicados na detecção de distúrbios utilizando Self Healing	30
3.6.1 Sensores e indicadores de corrente de falta	30
3.6.2 Religadores	31
3.6.3 Chaves seccionadoras	32
4 ANÁLISE COMPARATIVA EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NA FORMA CONVENCIONAL E COM APLICAÇÃO DE SELF HEALING.....	33

4.1 Rede distribuição em análise	33
4.2 Exemplo simplificado da rede sem aplicação de Self Healing.....	35
4.3 Análise comparativa	39
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de energia é o elo que realiza a ligação entre geração e transmissão de energia ao consumidor, tornando-se assim de grande importância para as concessionárias de energia, pois este sistema é o responsável direto pela qualidade da energia entregue ao consumidor (MOURA, 2011).

A configuração de maior aplicação ao sistema de distribuição, é a radial. Isso ocorre pelo fato dessa configuração ser mais viável tanto economicamente como construtivamente (CARVALHO, 2006).

Em todo sistema, existem vantagens e desvantagens na sua aplicação. Um grande problema enfrentado pelo sistema de distribuição está relacionado com a sua grande vulnerabilidade às faltas. Isso ocorre devido à sua exposição direta a diversos fatores, ocasionada pelas suas características construtivas. Além disso, os maiores transtornos são gerados pelo elevado tempo que as concessionárias gastam até encontrar a falta e realizar a sua isolamento e só assim começar a restabelecer o atendimento aos consumidores. Pensando nisso, muitos estudos vêm sendo realizados para encontrar uma solução na tentativa de diminuir tempo de espera gerado pelas faltas, que são causadas na grande maioria, por acidentes com veículos, quedas de árvores e por descargas atmosféricas (LAMBIASE, 2012).

A solução mais recente, e que vem ganhando muita força ao longo dos anos, é o *Self Healing* ou auto recuperação das redes (MOURA, 2011).

O *Self Healing* consiste basicamente de um conceito de auto recuperação aplicado nas redes de distribuição. Esse conceito está inserido dentro da automação e das *Smart Grids*, assuntos os quais terão seus conceitos abordados neste estudo, pois o objetivo central deste estudo é a aplicação do *Self Healing* em uma rede de distribuição, com intuito de realizar sua auto recuperação, possibilitando assim uma menor intervenção humana na realização dessa tarefa.

Para que se possa elucidar o conteúdo deste trabalho será apresentado um estudo, baseado na literatura existente, sobre as redes de distribuição e sua auto recuperação, propondo, dessa forma, demonstrar as principais vantagens de se ter o conceito *Self Healing* aplicado na detecção e isolamento de faltas. Tendo o *Self Healing* como foco os objetivos a serem alcançados são:

- a) uma busca por formas para demonstrar as vantagens de se aplicar uma automação eficiente nas redes de distribuição;
- b) exemplificação da aplicação do conceito *Self Healing* demonstrando sua eficiência em realizar a detecção e isolamento de faltas nas redes de distribuição de energia.

Para realizar o objetivo proposto será feito um estudo junto à literatura sobre a aplicação do *Self Healing* nas redes de distribuição de energia. Este estudo tem intuito de analisar sua aplicação, e servir como base para a construção de um exemplo teórico, que demonstre as vantagens de sua aplicação em redes de distribuição.

2 SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico brasileiro é um sistema muito complexo, que possui as hidroelétricas como forma predominante de geração de energia elétrica.

A dificuldade de armazenamento da energia causada por essa forma de geração, faz com que o sistema elétrico nacional necessite ser interligado, pois dessa maneira é possível levar energia à diversas localidades, aproveitando ao máximo a energia gerada pelas usinas.

A Distribuição é o elo final que liga geração, transmissão e consumidor (ABREU, 1999). Esse esquema pode ser visto na figura 1.

Figura 1: Configuração do sistema elétrico brasileiro



Fonte: Promio, (2014).

2.1 Sistema de distribuição

O sistema de distribuição é parte integrante do sistema interligado. Sua função é tão importante quanto as da geração e transmissão (PRAMIO, 2014).

O sistema de distribuição é responsável pela entrega da energia gerada ao consumidor. Desta forma, é necessário que se tenha todo um controle do mesmo, pois este influencia diretamente na qualidade da energia. Por isso foi criado todo um processo de regulamentação, o qual é seguido pelas concessionárias (CARVALHO, 2006).

2.2 Regulação do sistema de distribuição

O sistema de distribuição brasileiro em seu contexto atual é regulado para se ter um controle preciso no nível de qualidade da energia e sua tarifação.

A criação de uma legislação que tivesse controle sobre a energia distribuída foi impulsionada pela crescente exigência do consumidor por uma energia de qualidade, a qual o proporcionasse bem-estar e segurança (PRAMIO, 2014).

A regulação da distribuição teve dois pontos chaves em seu estabelecimento. O primeiro, foi a criação da Portaria do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE – nº 46/1978, que tinha a finalidade de implantar metas de controle da continuidade do fornecimento de energia. Essas metas são aplicadas nos indicadores de qualidade, DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). O segundo momento, de grande importância para se estabelecer esse processo, foi a Resolução da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 24/2000, responsável pela reformulação da regulação da continuidade. Essa reformulação impôs às concessionárias que enviassem relatórios atualizados dos indicadores, penalizando aquelas que não estivessem em conformidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

Com o passar dos anos, viu-se a necessidade de procedimentos que fossem além de diretrizes. Desta forma, em 2008 foram criados os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST).

O PRODIST é constituído por documentos que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. A criação destes documentos foi feita através da junção da ANEEL com os demais agentes relacionados à distribuição de energia no Brasil (AGÊNCIA, 2015).

O PRODIST é formado por indicadores de continuidade, que quando descumpridos pela concessionária, a mesma deve ressarcir financeiramente o consumidor. Em caso de descumprimento dessa compensação, a concessionária sofrerá as penalidades previstas na Resolução nº. 63/2004 podendo ser multada, de acordo com a avaliação da equipe de fiscalização, definida pela diretoria colegiada da Agência (AGÊNCIA, 2015).

2.2.1 Indicadores de continuidade

Os indicadores de continuidade estão contidos no módulo oito do PRODIST. Eles proporcionam, tanto para ANEEL como para os consumidores, a possibilidade de avaliar a qualidade do serviço prestado pelas concessionárias. Essa avaliação é realizada através do cálculo desses indicadores, que são classificados como individuais e coletivos.

a) Indicadores Individuais

São utilizados para determinar a qualidade do serviço prestado diretamente ao consumidor, são divididos em:

DIC: Duração de interrupção individual por unidade consumidora. O indicador DIC é definido para períodos mensais, trimestrais e anuais. Ele é dado pela equação 1:

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

FIC: Frequência de interrupção individual por unidade consumidora. O indicador FIC é definido para períodos mensais, trimestrais e anuais. Ele é dado pela equação 2:

$$FIC = n \quad (2)$$

DMIC: Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão. O indicador DMIC é definido para períodos mensais. Ele é dado pela equação 3:

$$DMIC = t(i)_{max} \quad (3)$$

DICRI: Duração da interrupção individual ocorrido em dia crítico por unidade consumidora. O indicador DICRI é definido para períodos diário. Ele é dado pela equação 4:

$$DICRI = t_{crítico} \quad (4)$$

Onde:

I = índice de interrupções da unidade consumidora no período de apuração, variando de 1 a n;
n = número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;

$t(i)$ = tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada ou ponto de conexão, no período de apuração;

$t(i) \text{ max}$ = valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua (i), no período de apuração, verificada na unidade consumidora considerada, expresso em horas e centésimos de horas;

$t_{\text{crítico}}$ = duração da interrupção ocorrida em dia crítico.

b) Indicadores coletivo

São os indicadores definidos pela ANEEL como formadores de conjuntos elétricos, esses indicadores são parte das subdivisões das concessionárias, são divididos em:

DEC: Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora. O indicador DEC é definido para períodos de mês, trimestre, ano. Ele é dado pela equação 5:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC(i)}{Cc} \quad (5)$$

FEC: Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora. O indicador FEC é definido para períodos de mês, trimestre, ano. Ele é dado pela equação 6:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc} \quad (6)$$

Onde:

DIC = duração de interrupção individual por unidade consumidora ou por ponto de conexão, expressa em horas e centésimos de hora;

FIC = frequência de interrupção individual por unidade consumidora ou ponto de conexão, expressa em número de interrupções;

i = índice de unidades consumidoras atendidas em baixa ou média tensão faturadas do conjunto;

Cc = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto.

Esses indicadores são um grande avanço para que nosso sistema de distribuição funcione de maneira correta, pois é a partir deles que a formulação do sistema tende a melhorar cada vez mais.

2.3 Formulação do sistema de distribuição

Segundo Moura (2011), o sistema de distribuição é interligado da seguinte maneira:

- a) Sistema de subtransmissão – é responsável pela interligação entre as subestações de transmissão de 230, 500, 750 kV e as subestações de distribuição, cuja tensão usualmente adotada é 69 kV ou 138 kV.
- b) Subestação (SE) – ponto de interligação utilizado para modificar os níveis de tensão, controlar níveis de tensão e carregamento, seccionar linhas de subtransmissão e distribuir a energia através dos circuitos alimentadores utilizando equipamentos de proteção e controle.
- c) alimentadores de distribuição primários MT (Média Tensão) – conduz a energia até os consumidores atendidos em média tensão e também aos transformadores de distribuição. Transformadores de distribuição – transformadores são responsáveis por abaixar o nível de tensão para um nível de consumo em baixa tensão.
- d) alimentadores de distribuição secundários BT (Baixa Tensão) – leva energia até consumidores atendidos em BT pelos transformadores de distribuição.

O sistema de distribuição é aquele que está em conformidade com a topografia das cidades, ramificando-se através de ramais alimentadores pelas ruas e avenidas, caracterizando assim a configuração e classificação típica do sistema de distribuição. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

2.4 Classificação típica do sistema de distribuição

As redes de distribuição são classificadas, em linhas gerais, pelas características dos condutores utilizados na sua constituição (AZEVEDO, 2010).

Essa classificação é dividida em:

- a) Redes Aéreas;
- b) Redes Compacta;
- c) Rede Subterrânea.

2.4.1 Redes de distribuição aéreas

As redes aéreas constituem grande parte do sistema de distribuição do Brasil. Elas são caracterizadas pela utilização de condutores nus sob isoladores apoiados em cruzetas, que são colocados nos postes nas ruas ao longo das cidades (ZIMMER, 2014).

A utilização de condutores nus faz com que essas redes se tornem muito vulneráveis a diversos fatores tais, como queda de galhos e descargas atmosféricas, isso faz com que aumente o número de faltas que conseqüentemente geram muitos transtornos para os clientes (MOURA, 2011).

2.4.2 Rede de distribuição compactas

As redes de distribuição compactas se diferenciam das redes aéreas pelo fato da utilização condutores isolados do tipo polietileno termofixo (XLPE), os quais são separados por espaçadores poliméricos, instalados a uma distância de 10 metros entre si, sendo sua sustentação e feita por um cabo mensageiro de aço (GOES, 2010).

Essa característica confere um aumento considerável no nível de qualidade da energia distribuída pelas redes compactas, sendo um investimento interessante para as concessionárias (ZIMMER, 2014).

2.4.3 Redes de distribuição subterrâneas

As redes subterrâneas são geralmente divididas em semienterradas e totalmente enterradas.

Redes semienterradas se caracterizam por terem seus cabos de energia enterrados e os seus equipamentos distribuídos no solo. Isso requer uma grande área disponível para a instalação de cabines e painéis para abrigar seus equipamentos (CARVALHO, 2006).

As redes totalmente enterradas possuem todos os seus equipamentos instalados abaixo do solo. Esse tipo de aplicação demanda um gasto relativamente elevado em comparação com as configurações anteriores, porém, garante uma maior confiabilidade e segurança para a rede.

Normalmente é aplicada em locais de grandes cargas e onde a rede aérea é inviável (ZIMMER, 2014).

2.5 Configuração do sistema de distribuição

O sistema de distribuição é responsável por realizar a conexão entre a geração e transmissão ao consumidor, conduzindo a energia gerada a diversos locais (MOURA, 2011).

Esta conexão é realizada através de cabos condutores de energia. A interligação entre eles é realizada com o uso de sistemas de distribuição, que recebem sua classificação a partir de sua tensão, constituindo, assim, redes de distribuição primária e secundária, sendo que a tensão primária é superior a 1 kV e inferior a 25 kV, enquanto que a tensão secundária é inferior a 1000 V (AZEVEDO, 2010).

A configuração de maior aplicação ao sistema de distribuição, é a radial. Isso ocorre pelo fato dessa configuração ser mais viável tanto economicamente como construtivamente (CARVALHO, 2006).

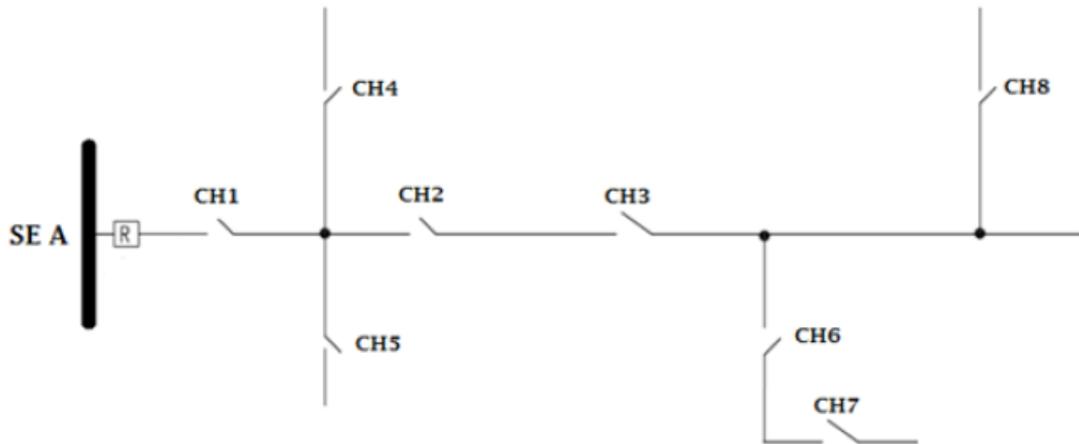
O sistema de distribuição apresenta algumas subdivisões, que são classificadas da seguinte forma:

- a) Sistema radial;
- b) Sistema radial com recurso;
- c) Sistema com configuração em anel fechado;

2.5.1 Sistema radial

O sistema radial é constituído basicamente por um fluxo de corrente em um único sentido. Desta forma, a alimentação é feita saindo da subestação através do tronco alimentador chegando até os consumidores finais. Isso pode ser observado na figura 2 (CARVALHO, 2006).

Figura 2: Diagrama unifilar simplificado de um alimentador radial



Fonte: Moura, (2011)

O sistema radial tem sua grande aplicação na distribuição de energia, pois seu custo é baixo, além de ter vantagens construtivas e operacionais (CARVALHO, 2006).

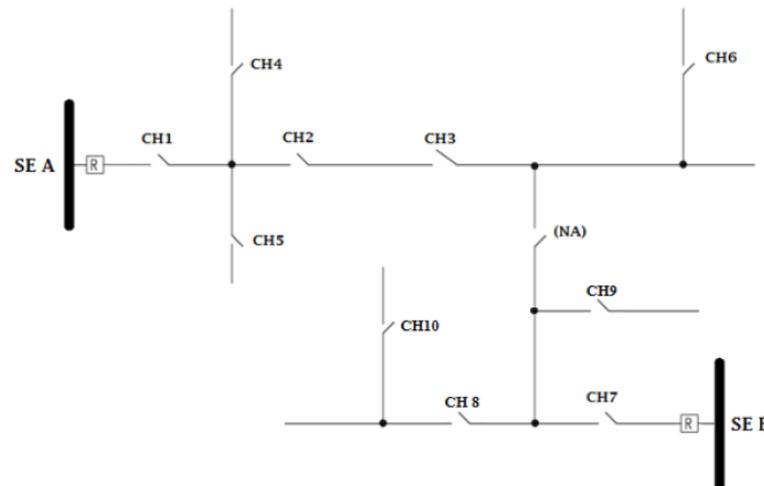
Uma característica importante deste sistema é o fato dele não possuir o encontro de alimentadores. Essa característica impede que a carga de um alimentador seja fornecida por outro alimentador em uma condição de emergência, acarretando, assim, em caso de falta do alimentador, um desligamento de todos os clientes. Atualmente esta configuração é a mais utilizada pelo fato do seu baixo custo, porém, ela possui uma baixa confiabilidade (MOURA, 2011).

2.5.2 Sistema radial com recurso

O sistema radial com recurso consiste basicamente de uma implementação do sistema radial convencional. Essa implementação possui o intuito de aumentar a confiabilidade do sistema. Este tipo de configuração é utilizada geralmente em sistemas que atendem grandes cargas ou cargas importantes como hospitais, meios de comunicação, grandes indústrias entre outros. O princípio básico deste tipo de configuração é a adição de alimentadores para uma mesma carga, podendo partir de um mesmo transformador de uma subestação, ou de subestações diferentes (AZEVEDO, 2010).

Essa ideia pode ser melhor visualizada na figura 3, onde é apresentado um exemplo deste tipo de sistema.

Figura 3: Diagrama unifilar simplificado do sistema radial com recurso



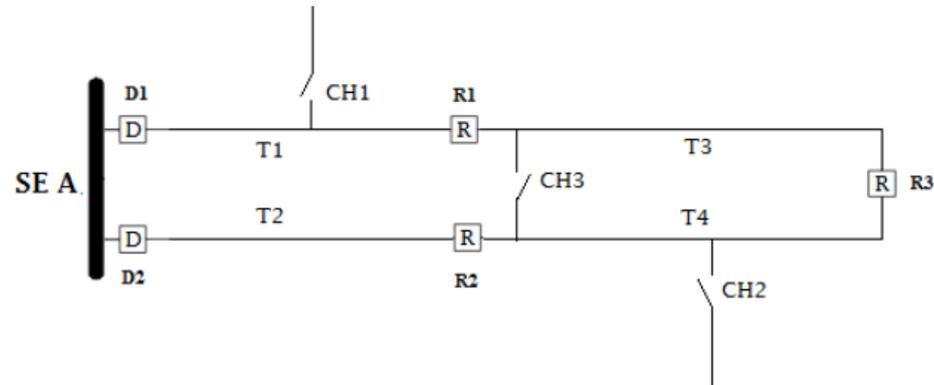
Fonte: Moura, (2011)

Na figura 3 pode-se observar uma chave normalmente aberta (NA). Esta chave representa uma seccionadora manual ou automática, que pode ser operada mudando seu estado para normalmente fechada (NF), possibilitando, assim, o encontro dos alimentadores. Esse encontro vai possibilitar que tanto a subestação (SE A) quanto a (SE B) possam alimentar a carga em um caso de emergência. Esse tipo de configuração é muito utilizado quando se tem o intuito de aumentar a confiabilidade da rede, e conseqüentemente melhorar a qualidade da energia (MOURA, 2011).

2.5.3 Sistema com configuração em anel fechado

O sistema em anel fechado possui a sua configuração feita através da interligação de dois alimentadores por uma mesma chave. Esse tipo de configuração traz melhorias na diminuição das perdas na manutenção dos níveis de tensão, porém, tem problemas para a continuidade em caso de faltas nos alimentadores, pois todos os circuitos em anel serão desligados. Desta forma, a aplicação desta configuração requer um estudo detalhado para que se possa obter o melhor dela, tornando-a mais confiável do que a configuração radial e, conseqüentemente, diminuindo os transtornos ocasionados pelas faltas. A figura 4 apresenta um modelo simplificado desse sistema (PONCE, 2008).

Figura 4: Diagrama unifilar simplificado da configuração em anel fechado



Fonte: Moura, (2011)

2.6 Falhas no sistema de distribuição

Um grande problema enfrentado pelo sistema de distribuição está relacionado à dificuldade que as concessionárias tem de localizar e isolar as faltas. Esta dificuldade acaba gerando um elevado tempo de espera, pois até que as equipes de emergência consigam localizar a falta e isolá-la, pode demorar um tempo médio de 50 á 80 minutos (STASZESKY, 2005).

A solução mais acertada para esse problema que vem ganhado muito espaço ao longo dos anos é a aplicação do conceito *Self Healing* no sistema de distribuição. Este conceito, como seu próprio nome fala, tem o intuito de auto recuperar as redes, com o mínimo de intervenção humana (FALCÃO, 2010).

Essa auto recuperação é realizada por equipamentos dotados de microprocessadores, os quais se comunicam entre si, trocando informações simultaneamente, tornado muito mais rápida a detecção e isolação de uma possível falta que possa ocorrer. O cenário ideal para a aplicação do *Self healing* necessita da automação das redes de distribuição.

3 APLICAÇÃO DE SELF HEALING NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

A automação de sistemas elétricos é uma realidade que vem sendo concretizada com passos curtos, pois enfrentou-se algumas dificuldades ao longo do caminho, principalmente no que se refere a tecnologia de comunicação.

Com o avanço da tecnologia digital na década de 90, o rumo dessa história mudou, pois foi possível uma melhora na comunicação, facilitando, assim, a implementação de sistemas automatizados nas redes elétricas (STASZESKY, 2005).

As vantagens da automatização são muito expressivas, pois, em uma rede automatizada é possível garantir o fornecimento de energia de maior qualidade com o mínimo de interrupções no fornecimento, sendo também uma base sólida para a aplicação da *Smart Grid* ou redes inteligentes (LAMBIASE, 2012).

3.1 Aplicação de smart grid em sistemas de distribuição

O crescente emprego de tecnologia no sistema elétrico de distribuição deu origem a um ambiente propício para que a automação pudesse se consolidar. E, desta forma, romper a visão de que a automação se restringe simplesmente a execução de tarefas com o apoio de computadores, minimizando a intervenção humana. O ponto alto dessa automação é o surgimento da *Smart grid* (STASZESKY, 2005).

A *Smart grid* é um assunto novo e muito amplo, que gera certa discussão sobre a sua definição mais acertada. Dentre todas, uma das mais aplicadas, foi dada por Wollenberg em 2005 (LAMBIASE, 2012).

Para que se possa implementar inteligência a um sistema elétrico de distribuição, é preciso ter processadores instalados em cada componente e em cada subestação e instalação elétrica. Esses processadores precisam ter sistemas operacionais robustos e serem capazes de atuar como agentes independentes que podem se comunicar e cooperar com os demais, formando uma extensa plataforma de computação distribuída. Cada agente deve ser conectado com os sensores associados com o seu próprio componente ou com a sua própria subestação de modo que possa, assim, avaliar suas próprias condições de funcionamento e comunicá-las para os seus vizinhos, através dos links de comunicação. Assim, temos por exemplo, um processador associado com um disjuntor o qual tem a capacidade de comunicar com os seus

sensores e enviar os seus valores de medição para outros agentes processadores através de uma banda larga de fibra ótica (AMIN, 2005).

3.2 Principal função dos multiagentes dentro das Smart Grids

Os multiagentes são um sistema de microprocessamento de dados que atua de forma independente e descentralizada.

Os sistemas de multiagentes têm sido um grande impulsionador no desenvolvimento das *Smart Grids*. Eles possuem um papel fundamental no controle e gestão das modernas redes de energia ou das redes inteligentes (AMIN, 2005).

O sistema de multiagentes atua de uma maneira distribuída para adicionar confiabilidade no sistema de potência. Por exemplo, durante uma falta ou ausência de fonte de alimentação, o sistema multiagente irá procurar, de uma maneira descentralizada, soluções para o ocorrido. Isso pode ser feito roteando novamente o fluxo de potência ou ilhando uma porção do circuito que pode ser atendido pelas fontes de energia distribuídas, etc. Tem como finalidade principal fornecer continuamente energia para os consumidores finais e minimizando ou eliminando as interrupções.

O funcionamento eficiente dos multiagentes necessita da aplicação de uma camada de comunicação de alta qualidade (LAMBIASE, 2012).

3.3 Importância da aplicação da camada de comunicação

A camada de comunicação consiste basicamente de todo o suporte necessário para implementação tecnológica realizado em uma *Smart grid*. Possibilita, dessa forma, uma comunicação mais rápida e mais confiável entre todos os equipamentos presentes no funcionamento correto de uma rede inteligente, construindo um cenário básico para aplicação da detecção das faltas e aplicação do *Self Healing* nas redes de distribuição de energia (LAMBIASE, 2012).

3.4 Princípios de detecção de faltas no sistema de distribuição

A aplicação conjunta de sistemas de operação SCADA (*Supervisory control and data acquisition*) e equipamentos microprocessados, torna o sistema de distribuição mais robusto e

confiável. Porém, gera em contrapartida uma análise e interpretação de dados muito mais complexa, causada principalmente pela grande quantidade de informações disponíveis (GOES, 2010).

Para solucionar esse problema de processamentos e interpretação de resultados, foram desenvolvidos uma série de métodos que auxiliam no tratamento das informações possibilitando, assim, estimar a distância de uma falta através da aquisição de dados da falta dos equipamentos de proteção. Os resultados obtidos pela aplicação dessas técnicas são afetadas pelas características específicas do sistema de distribuição, como a presença de condutores, sistemas desequilibrados, ramificação do sistema, entre outros (SPATTI, 2011).

Torna-se necessário considerar alguns aspectos inerentes ao sistema de distribuição tais como:

- a) grande diversidade dos alimentadores tanto pelo tamanho, carga, bitola dos cabos, presença de ramais;
- b) sistema desequilibrado pela presença de linhas não transpostas e pela conexão de cargas conectadas em uma, duas ou três fases;
- c) grande número de ramificações partindo do tronco alimentador;
- d) utilização de equipamentos de controle de tensão ao longo do tronco alimentador e ramificações.

Todos esses aspectos citados são de natureza fundamental quando se quer realizar uma localização precisa de uma falta.

Dentre os distúrbios que ocorrem no sistema de distribuição os mais comuns são os curto-circuitos. As faltas encontradas podem ser do tipo fase a terra, bifásicas, bifásicas a terra, trifásicas com valores de resistência de falta variando de 0 a 50 ohms (STASZESKY, 2005).

A localização dessas faltas é motivo de muitos estudos, pois a detecção exata acarretaria, conseqüentemente, uma economia muito grande para concessionárias e para os consumidores finais (SPATTI, 2011).

Para realizar a aplicação de sistemas inteligentes na detecção das faltas, são utilizados alguns métodos de aplicação. Esses métodos são subdivididos da seguinte maneira (MIRZAEI et al, 2009):

- a) métodos baseados em inteligência artificial ou em análise estatística;
- b) métodos baseados em equipamentos distribuídos;
- c) métodos híbridos;

Essa aplicação tem algumas dificuldades perante o dinamismo das redes de distribuição, gerando, assim, uma gama de informações colhidas pelos sensores instalados na rede, pelos equipamentos de proteção e também pela utilização das medições de corrente e tensão pré e pós-falta, gerando, assim, conseqüentemente um grande esforço computacional, técnicas de modelagem complexas e um custo elevado referente à aquisição de equipamentos. Por esses motivos, a aplicação de sistemas dotados de inteligência artificial se tornou viável pois possuem uma maior capacidade de lidar com dados e com as incertezas.

As principais formas de inteligência utilizadas são (SPATTI, 2011):

- a) Rede Neurais artificiais;
- b) Lógica *Fuzzy*;
- c) Redes de Petri;
- d) Redes de causa e efeito

A aplicação de técnicas de integração de sistemas inteligentes com os convencionais são válidas principalmente pela evolução das ferramentas de processamento de sinais, gerando sistemas de diagnósticos de faltas que têm apresentado os resultados mais eficientes e convincentes, pois obtém-se robustez, confiabilidade e eficiência, sendo desta forma perfeito para a aplicação da auto recomposição (AMIN, 2005).

3.5 Conceito de auto regeneração aplicado nas redes de distribuição

O conceito da auto recomposição das redes de distribuição tem como principal objetivo diminuir o tempo para localização das faltas, possibilitando, assim, isolar o mais rápido possível o problema e, conseqüentemente, restabelecer o fornecimento de energia para cargas com maior prioridade. Esse conceito recebe a denominação de *Self Healing*, que tem como significado auto cura ou auto regeneração (FAN, 2009).

3.5.1 Self Healing

Dentro do conceito *Smart Grid* existe uma gama de possibilidades a ser explorada a fim de melhorar o sistema elétrico (FALCÃO, 2010).

Uma dessas possibilidades é o conceito de *Self Healing*, onde assume-se que os componentes da rede são agentes independentes dotados de inteligência, competindo e cooperando a fim de alcançar os objetivos gerais da rede elétrica (AMIN, 2005).

A aplicação prática do *Self Healing* ocorre de maneira tímida pois as *Smart Grid* ainda são instaladas de forma experimental, tanto no Brasil como em outros países (FALCÃO, 2010).

3.5.2 Surgimento do Self Healing

A ideia central para aplicação do self healing surgiu no final da década de 80. Após um acidente com um piloto de caça. Nesse acidente, o piloto se chocou em pleno vôo e perdeu 90% da superfície de controle da asa, mas felizmente o piloto conseguiu aterrissar o caça usando os controles restantes. Após o acontecido, o caça e seu piloto foram postos a prova em vários testes. O resultado destes testes demonstrou que o ocorrido não foi golpe de sorte e sim uma grande sensibilidade do piloto no manejo dos controle (AMIN, 2005).

Entre os anos de 1985 e 1998, uma equipe de pesquisadores da universidade de Washington esteve envolvida na otimização de diversos projetos de controle. E essa equipe contribuiu para o desenvolvimento do IFCS – Intelligent Flight Control System, projeto liderado pela *Boeing* e NASA (National Aeronautics and Space Administration). O projeto utilizou redes neurais que auxiliam o piloto a manter a estabilidade tanto em vôo normal quanto após sofrer um dano (LAMBIASE, 2012).

Durante o processo de desenvolvimento do IFCS, o departamento de defesa americano e o comando da força aérea analisaram e simularam eventos de danos em instalações e sistemas para que suas operações se tornassem mais confiáveis e resistentes a inúmeros tipos de eventos desestabilizantes. O IFCS e o interesse do departamento de defesa americano deram suporte ao plano de fundo para o conceito de um sistema de potência *Self Healing*. (AMIN, 2005).

3.5.3 Definição de Self Healing

Pelo fato do *self healing* ser um conceito novo, não se tem uma definição muito acertada sobre ele. Uma das definições mais atuais foi dada por Amin e Wollenberg (2005, p. 39) que descreveu o self healing como sendo:

Um novo conceito de controle distribuído aplicado no sistema elétrico de potência. Essa aplicação envolve tratar os componentes individuais como agentes inteligentes independentes, competindo e cooperando para alcançar uma otimização global em todo o sistema. No seu planejamento básico deve ser incluso uma modelagem computacional, para dessa forma obter um gerenciamento completo das informações colhidas pela parte de

sensoriamento. Pelo fato do sistema ser muito dinâmico esse monitoramento deve ser feito com o auxílio de um algoritmo genético, pois ele é capaz de se adaptar e conseguir resolver diferentes situações que possam surgir (AMIN, 2005).

3.5.4 Principais condições para aplicação de Self Healing

A constituição de um cenário ideal para aplicação do *self healing* tem na sua base a utilização de um sistema elétrico dotado de uma inteligência descentralizada (LAMBIASE, 2012).

Para que essa inteligência funcione corretamente ela vai depender diretamente do processamento independente de cada componente, em cada subestação e subsistema. Estes processadores devem ser dotados de um sistema operacional robusto e devem estar habilitados para atuarem como agentes independentes que podem se comunicar e cooperar com os demais, formando uma larga e distribuída plataforma de comunicação. (AMIN, 2005).

3.5.5 Aplicação do Self Healing na recomposição do sistema de distribuição

Para se realizar a recomposição ou reconfiguração de um sistema de distribuição é necessário ter uma estrutura totalmente elaborada e interligada entre si, para que, dessa forma, se possa obter respostas rápidas e confiáveis (BERNARDON, 2007).

Essas estruturas têm a necessidade de atender requisitos de balanceamento de carga. Para que isso seja possível, elas devem possuir manobras de emergência, as quais tem a função de isolar defeitos e realizar transferência de carga, que só são possíveis à partir do momento que são instaladas nas redes de distribuição equipamentos de manobra que atendem basicamente as condições de chaves normalmente abertas (NA) e normalmente fechadas (NF), (SCHMIDT, 2005).

Vários estudos relacionados a recomposição das redes de distribuição vem sendo feitos ao longo dos anos. Esses estudos utilizam diversos métodos para a obtenção dos resultados esperados. Uma das aplicações desses estudos é quanto ao objetivo de redução das perdas por efeito Joule, que é realizada fazendo-se a transferência de cargas de circuitos carregados para outros que possuem folga, realizando assim o balanceamento de carga. Uma outra aplicação também muito realizada desses métodos é no planejamento da topologia das redes com um horizonte de 5 a 10 anos (SCHMIDT, 2005).

Toda forma de monitoramento e controle das redes de distribuição se torna possível à partir da crescente evolução da tecnologia, impulsionada pelo aumento de investimentos na automação tornando-se assim viável a inserção de inteligência nos equipamentos de manobra da rede de distribuição.

3.6 Principais equipamentos aplicados na detecção de distúrbios utilizando Self Healing

O princípio básico da aplicação de *Self healing* consiste em ter equipamentos dotados de microprocessamento, que são capazes de comunicar-se entre si e, assim, tomar uma decisão rápida e precisa para a detecção e isolamento de uma falta. Todo esse processo é realizado por alguns equipamentos eletrônicos, dentre eles os que mais se destacam são:

- a) Sensores e indicadores de corrente de falta;
- b) Religadores;
- c) Chaves seccionadoras;

3.6.1 Sensores e indicadores de corrente de falta

Os sensores tem a função de realizar a leitura constante dos níveis de tensão e corrente máximas e mínimas, percebendo assim qualquer variação dos níveis desejados. Ao perceber a variação, o sensor comunica-se diretamente com a sua central de coleta de dados e a central aciona o procedimento necessário para correção do evento. Essa comunicação é feita através de frequências de rádio livre de 918 à 919,2 MHz que podem chegar até 100 metros de distância. À partir do momento que a identificação da falta foi realizada, o reset do equipamento pode ser feito de três formas:

- a) Manualmente;
- b) Pelo tempo de *delay*;
- c) Quando a tensão volta a linha;

Na figura 5 pode-se ver um exemplo de um sensor da *Schneider*, este equipamento tem a função de monitoramento de tensão e corrente.

Figura 5 Sensor Schneider



Fonte: ZIMMER, (2014)

3.6.2 Religadores

Os religadores possuem a função de realizar religamentos sucessivos, por um número determinado de vezes. Esses equipamentos são dotados de microprocessadores que tem a função de auxiliar na sua percepção e na tomada de decisões. Quando o religador sente uma condição de sobrecorrente, a circulação desta corrente é interrompida pela abertura de seus contatos. Os contatos são mantidos abertos durante determinado tempo, denominado tempo de religamento, após o qual se fecham automaticamente para reenergização da linha. Os religadores podem ser classificados quanto o número de fases essa divisão e dada em:

- a) monofásicos;
- b) trifásicos.

Na figura 6 pode-se ver um exemplo de religador aplicado em uma rede de distribuição:

Figura 6 : Religador aplicado ao longo de uma linha de distribuição



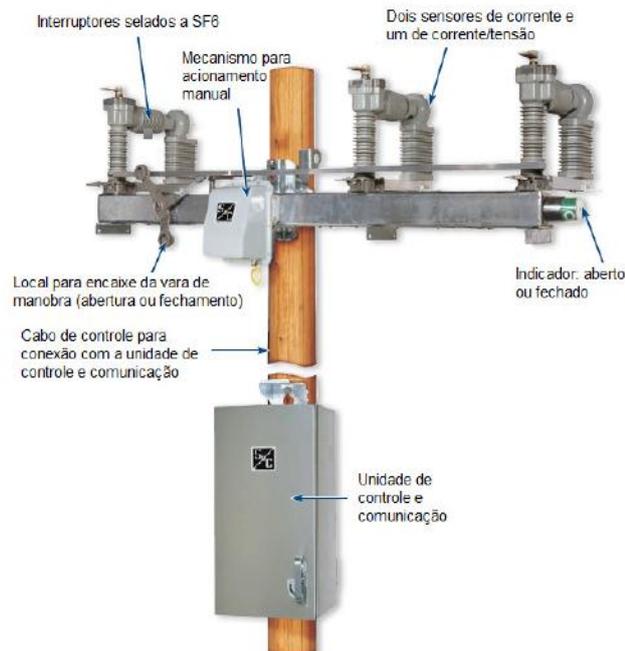
Fonte: ZIMMER, (2014)

3.6.3 Chaves seccionadoras

As chaves seccionadoras são equipamentos ativos na arquitetura das redes de distribuição, pois elas são capazes de contralar a interrupção no fornecimento de energia em casos de faltas permanentes.

Na constituição de uma rede inteligente são utilizadas chaves seccionadoras automáticas, que possuem mecanismos elétricos para a sua abertura e fechamento. Dentre esses equipamentos, a chave que mais se destaca por apresentar vantagens consideráveis em relação as outras é a chave seccionadora Scada-Mate da S&C, pois são capazes de isolar as faltas e realizar a recomposição do sistema remotamente garantindo com isso a diminuição do tempo de duração das interrupções de energia. Na figura 7 pode-se ver um exemplo de tipo de chave.

Figura 7: Chave seccionadora Scada-Mate



Fonte: ZIMMER, (2014)

4 ANÁLISE COMPARATIVA EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NA FORMA CONVENCIONAL E COM APLICAÇÃO DE SELF HEALING

A estrutura atual do sistema de distribuição apresenta um grande problema que causa inúmeros transtornos tanto para clientes quanto para concessionárias. Este problema é causado pelas faltas de energia e o tempo gasto para que se possa restabelecer parcialmente ou por completo o fornecimento de energia aos consumidores (LAMBIASE, 2012).

As faltas são causadas em sua grande maioria por quedas de árvores, por descargas atmosféricas entre outros fatores (CARVALHO, 2011).

A grande dificuldade enfrentada durante uma falta é realizar a identificação do ponto exato que ela aconteceu, pois as redes de distribuição são extensas e não contam com um sistema de monitoramento. Sendo assim, é necessário que seja deslocada uma equipe de busca para realizar uma verificação visual da rede até encontrar o ponto exato da falta e só a partir desse momento iniciar os procedimentos de restabelecimento da energia (STASZESKY, 2005).

Essa dificuldade tem se tornado um grande incômodo para as concessionárias ao longo dos anos. Pensando em diminuir o tempo de espera e assim melhorando conseqüentemente o nível de qualidade da energia entregue ao consumidor, foram realizados diversos estudos para encontrar uma solução mais acertada. Esses estudos deram origem ao conceito *Self Healing* que, como seu próprio nome fala, tem o intuito de auto regenerar a rede elétrica facilitando a detecção das faltas.

Neste capítulo será feita uma análise comparativa entre o comportamento de uma rede convencional e a resposta da mesma rede quando implementado o conceito *Self Healing*. Para que esse objetivo seja alcançado será utilizado um exemplo real de uma rede de distribuição, a partir do qual será proposto a aplicação do *Self Healing*, baseado na metodologia abordada por este trabalho.

4.1 Rede distribuição em análise

A figura 8 mostra o trecho de uma rede de distribuição localizada na cidade de Varginha, Minas Gerais. Essa imagem foi disponibilizada pela concessionária de energia do estado, a Cemig. Nessa rede são encontrados tanto consumidores residenciais como comerciais, os quais recebem a denominação de cargas críticas. A partir desta imagem foi criado um exemplo simplificado de aplicação do conceito *Self Healing*. Considera-se para

essa aplicação que os *softwares* necessários para as fases de identificação, localização e restauração são existentes.

Figura 8: Trecho da rede de distribuição analisado



Fonte: CEMIG (2016).

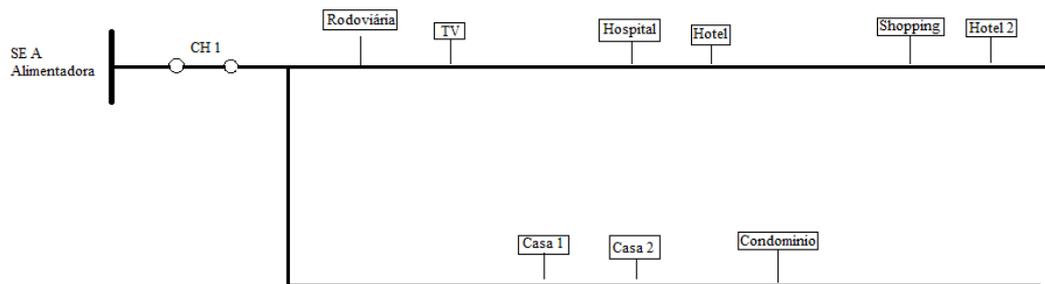
No trecho em análise encontra-se um terminal rodoviário, um hospital, um condomínio, dois hotéis e um *shopping*, os quais são alimentados de forma radial por uma subestação. No caso de uma falta em um determinado ponto, esses consumidores viriam a sofrer, pois não se tem um controle de detecção de faltas, ficando difícil determinar de imediato onde ocorreu a falha. Desta forma, esses consumidores ficariam sem energia e à espera da manutenção corretiva.

Para tornar esse exemplo mais didático o trecho analisado foi redesenhado de forma simplificada contendo apenas os conceitos básicos de uma rede de distribuição, juntamente com um conjunto mínimo de equipamentos, facilitando assim a visualização da ideia principal.

4.2 Exemplo simplificado da rede sem aplicação de Self Healing

Na figura 9 é apresentado o diagrama unifilar simplificado da rede sem aplicação de *Self healing*.

Figura 9: Rede Sem *Self Healing*



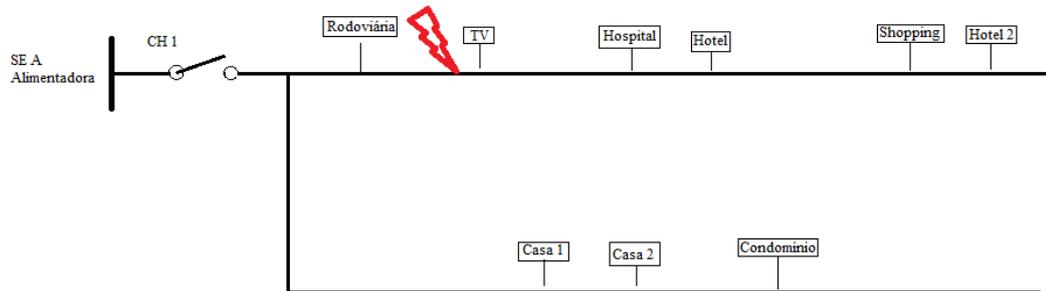
Fonte: o autor, (2016).

Esta rede possui uma configuração radial, alimentada por uma fonte de energia A, a qual distribui sua energia através de dois ramos de clientes. No ramo 1 tem-se consumidores denominados comerciais ou críticos, distribuídos da seguinte maneira: Rodoviária, TV, Hospital, Hotel 1, *Shopping*, e Hotel 2.

O ramo 2 é constituído por consumidores residenciais, distribuídos em, Casa 1, Casa 2, e condomínio. No contexto atual, a rede é constituída por 1 chave manual, CH 1, a que é responsável pela proteção dos dois ramos.

Utilizando como base a metodologia abordada por Moura (2011), considera-se que ocorra uma falta entre a rodoviária e a TV, ocasionada por uma descarga atmosférica. A proteção da rede irá atuar abrindo a chave CH 1 e deixando, conseqüentemente, todo o ramo 1 e ramo 2 sem alimentação. Observando a figura 10 pode-se evidenciar o acontecido.

Figura 10: Localização da suposta falta



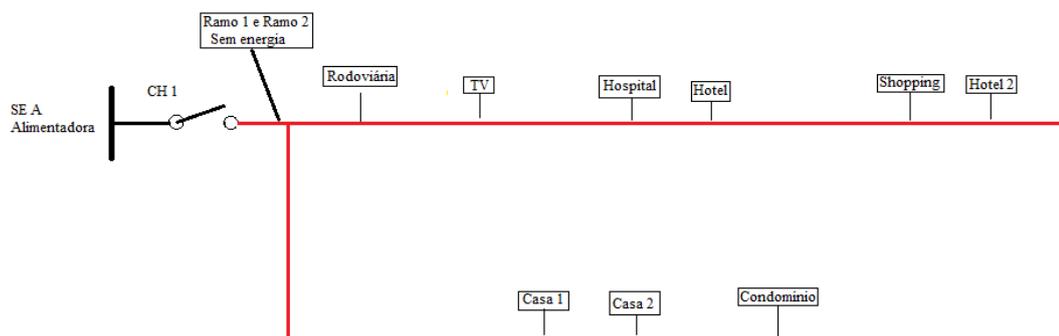
Fonte: o autor, (2016).

Após esse momento a concessionária seria acionada por algum cliente relatando sobre a falta.

Segundo Staszkesky (2005), a média de tempo gasto até que a concessionária seja acionada e chegue até o local leva em torno de 50 a 80 minutos.

Assim que a equipe da concessionária chega, ela dá início à busca do local exato que ocorreu a falta e, quando encontrado, iniciam-se os procedimentos de manutenção. Somente após tais procedimentos serem concluídos se dará o fechamento manual da chave CH 1 para restabelecer o fornecimento aos clientes. Na figura 11 podemos ver como ficaria a rede após a falta.

Figura 11: Rede após ocorrida a falta



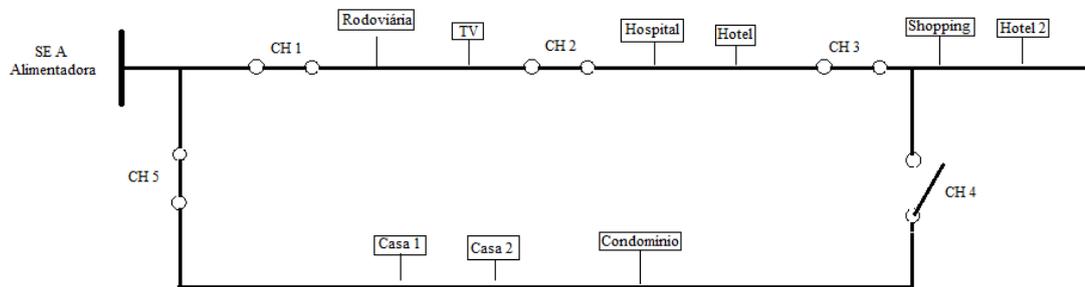
Fonte: o autor, (2016).

Todo esse processo pode se tornar muito mais simples e rápido, se for realizada a implementação do conceito *Self Healing* nessa rede.

4.2.1 Exemplo simplificado após a aplicação do Self Healing

Segundo Lambiase (2012) e Moura (2011), considera-se que foi aplicado o *Self Healing* à rede. Agora ela é composta por 5 chaves: CH 1, CH 2, CH 3 e CH 4, CH 5. Todas são chaves inteligentes, sendo a Chave CH 4 NA (normalmente aberta), e as chaves CH 1, CH 2, CH 3, CH 5 são NF (normalmente fechadas). Na figura 12 pode-se ver como seria a rede com o *Self Healing* instalado.

Figura 12: Rede com *Self Healing*



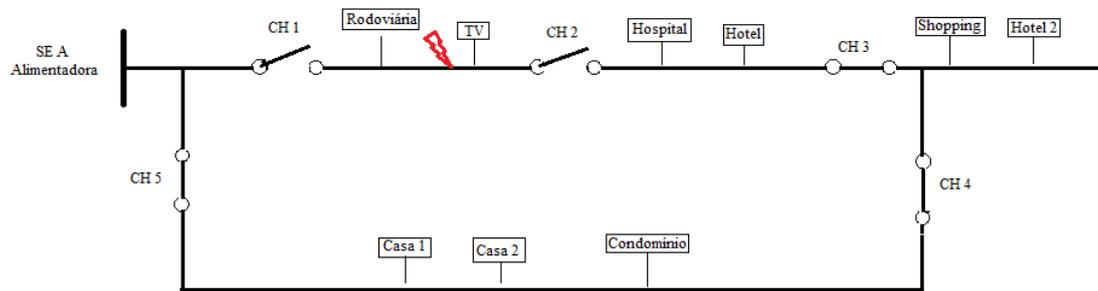
Fonte: o autor, (2016).

Se a falta do exemplo anterior acontecer na rede após a instalação do *Self Healing*, seu comportamento se dará da seguinte maneira:

A chave CH 1 irá detectar a falta no instante que ela acontecer, com auxílio dos sensores de tensão e corrente. Na sequência a chave CH 2 será chaveada para isolar a falta. A chave CH 4 é fechada imediatamente após, para que a energia conduzida através do ramo 2 possa alimentar o hospital, o hotel 1, o *Shopping* e o hotel 2, evitando, desta forma, que esses consumidores fiquem por um longo período sem energia. Após todo esse processo realizado pela rede, que dura em média alguns minutos, a concessionária será informada do ponto exato que a falta ocorreu, cabendo a ela só enviar uma equipe para fazer a manutenção e assim poder restabelecer a rede por completo.

Na figura 13 Podemos observar como ocorreria o processo, de isolamento, detecção e desvio da alimentação na rede.

Figura 13: Falta em rede com *Self Healing*

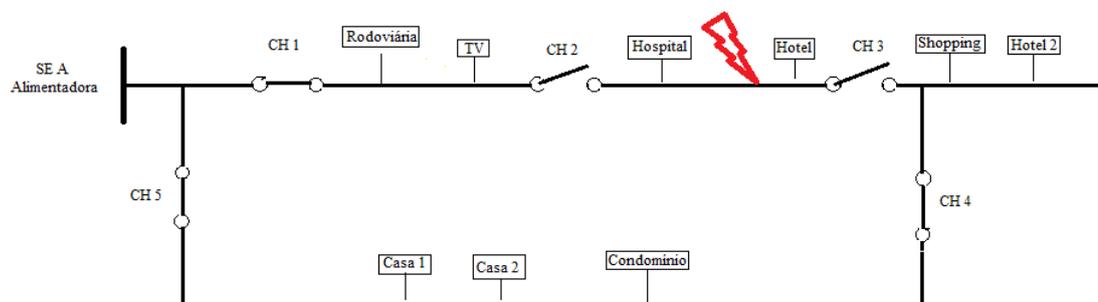


Fonte: o autor, (2016).

Para demonstrar que a rede com *Self Healing* é capaz de se regenerar em várias situações, será dada continuidade a análise embasada na metodologia aplicada nos trabalhos de Lambiase (2012), e Moura (2011), desta forma supondo que a falta, irá ocorrer entre as chaves CH 2 e CH 3, e depois entre as chaves CH 4 e CH 5, e averiguar o comportamento da rede nessas situações.

No caso da falta entre as chaves CH 2 e CH 3, o comportamento da rede seria da seguinte forma: ao perceber a falta, as chaves CH 2 e CH 3 iram abrir e isolar o local. Após a isolamento, a chave CH 4 se fecha para poder levar a alimentação até a *shopping* e o hotel 2. A concessionária será informada simultaneamente pelas chaves, as quais vão fornecer o ponto exato para que a equipe de manutenção possa ir até o local e realizar os reparos necessários. Na figura 14 pode-se ver como a rede vai se comportar após a falta.

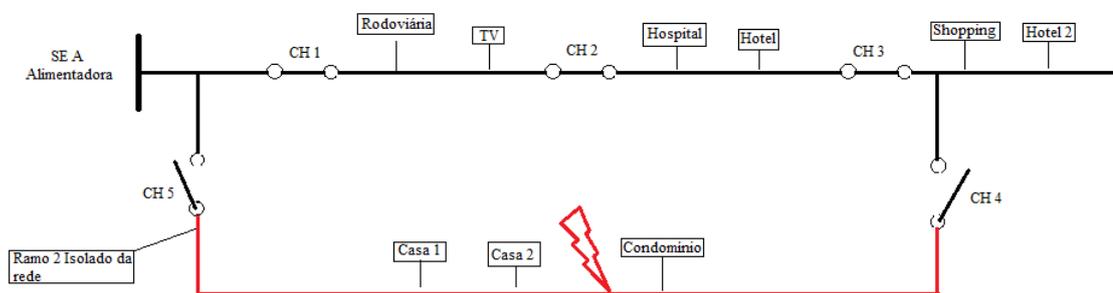
Figura 14: Falta nas chaves CH 2 e CH 3 com *Self Healing*



Fonte: o autor, (2016).

No caso da falta entre as chaves CH 4 e CH 5, o comportamento da rede seria da seguinte forma: ao perceber a falta, a CH 5 vai abrir e a chave CH 4, que é NA, vai continuar aberta isolando desta maneira o ramo 2 da rede, impedindo que a falta possa se espalhar. Após a isolamento, as chaves informam o ponto exato a concessionária, que desloca a equipe de manutenção para o local para efetuar o reparo e restabelecer a fornecimento por completo. Na figura 15 podemos ver o comportamento da rede nessa situação.

Figura 15: Falta nas chaves CH 4 e CH 5 com *Self Healing*



Fonte: o autor, (2016).

4.3 Análise comparativa

Com o objetivo de justificar a escolha dessa rede, foi feito um levantamento junto a concessionária sobre as redes de distribuição na cidade de Varginha, as quais apresentavam maior número de cargas críticas. Após esse levantamento e uma análise visual do local foi possível estabelecer que essa rede seria de grande interesse, pois ela possui consumidores importantes, como o Terminal Rodoviário, um hospital, hotéis, um condomínio e o *Shopping*, que são consumidores que atendem um grande número de clientes por dia, sendo imprescindível seu fornecimento ininterrupto de energia.

O comparativo feito entre a rede atual sem o *Self Healing*, com a rede tendo o conceito aplicado, tem como intuito principal demonstrar as vantagens que se tem com a aplicação deste conceito, sendo uma destas vantagens, e a mais desejada por qualquer concessionária, é a possibilidade de melhorar o nível de qualidade de energia entregue.

Além disso, o conceito *Self Healing* é capaz de trazer uma maior confiabilidade ao sistema, pois se tem um maior controle dos acontecimentos, tornando a manutenção mais rápida eficiente e com menor custo, pois ao ocorrer uma falta o sistema vai informar em

tempo real aonde ela aconteceu, sua gravidade, e qual a possibilidade mais rápida de isolar o problema, facilitando o trabalho da equipe de manutenção que, ao chegar no local, terá uma noção exata de onde ocorreu a falta, e qual a melhor decisão a ser tomada, evitando assim muitos transtornos causados pelo tempo que é necessário para se realizar todos esses processos de forma manual.

Outra vantagem que agrega muito valor para implementação desse conceito é o fato de que, quando é detectado o problema, automaticamente suas chaves em conjunto, realizam o desvio da energia por uma linha secundária possibilitando desta forma continuar a alimentar a carga por um caminho alternativo. Esse processo é realizado de maneira muito rápida e eficiente demandando apenas alguns minutos para sua realização.

Isso gera uma economia grande para concessionária, pois em momento algum ela deixa de alimentar todos os seus consumidores.

Por fim, mas não menos importante, é preciso destacar que para se ter a total funcionalidade deste conceito é preciso ter aplicado na rede uma base de automação muito eficiente e funcionando em total conformidade, pois todo o processo de detecção até a isolação do problema necessita de uma interação perfeita entre os principais equipamentos do *Self Healing*.

Esses equipamentos, são compostos pelas chaves automáticas que fazem todo o seccionamento das cargas, os sensores de tensão e corrente que tem de estar funcionando em total sincronismo com as chaves, e os religadores que também tem de estar em completa harmonia com os demais equipamentos, além da necessidade de uma comunicação segura e confiável para que os equipamentos possam interagir entre si, possibilitando o sistema entregar toda sua capacidade gerando uma maior qualidade, confiabilidade e segurança ao fornecimento de energia.

5 CONCLUSÃO

O estudo apresentado neste trabalho teve como objetivo demonstrar, de forma simplificada, as vantagens da aplicação do conceito *Self Healing* em redes de distribuição.

Esta demonstração teve início a partir de um estudo embasado na literatura existente sobre o sistema de distribuição e sua formação atual, analisando desta forma sua constituição e seu funcionamento. Com isso, fica mais simples compreender as falhas e anseios que o sistema de distribuição têm por novas tecnologias que possibilitem um maior controle de eventos que possam ocorrer, como as faltas de energia, que são causadas por diferentes fatores, como, acidentes com veículos, descargas atmosféricas, entre outros.

Este controle é possibilitado pela aplicação de uma automação eficiente, constituída por uma base sólida em tecnologia de comunicação, para que seus agentes independentes tenham a capacidade de agir entre si, sem interferência manual.

No exemplo desenvolvido, foram avaliados dois cenários: um considerando a rede convencional, sem automação, e outro considerando a rede com a automação necessária para a implementação do *Self Healing*. Pôde-se observar uma grande discrepância entre as duas situações apresentadas.

Na primeira situação, a rede convencional sem automação apresentou um tempo elevado para restabelecimento, do instante em que a falta ocorreu até o momento que a concessionária foi informada do ocorrido, tomando, assim, as medidas cabíveis. Esse atraso foi causado pela sua constituição manual, dependendo da ação humana para que o processo de detecção e restabelecimento da energia ocorresse, implicando assim no descumprimento dos indicadores de continuidade, gerando, conseqüentemente, multas para a concessionária.

No entanto, na segunda situação, com o *Self Healing* aplicado na rede, todo o processo ocorreu automaticamente, sem a intervenção humana, possibilitando gerar uma economia, tanto de tempo como de dinheiro. Conseqüentemente, possibilitou à concessionária manter o nível de qualidade da sua energia, sem descumprir com os indicadores de continuidade, satisfazendo tanto os clientes como a própria concessionária, pois, nos dias atuais, devido à grande necessidade de energia elétrica da sociedade, a sua ausência causa inúmeros transtornos.

Observando de maneira criteriosa, se tornam evidentes as vantagens da aplicação do *Self Healing* na rede de distribuição, tornando, assim, viável o investimento nesta tecnologia, que só tem a agregar valor e confiabilidade aos sistemas de distribuição.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Yolanda V. de. **A Reestruturação do setor elétrico brasileiro: questões e perspectivas**. São Paulo: USP, 1999. 184 p.
- ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SODER, L. Distributed generation: a definition. **Electric Power Systems Research**, v. 57, p. 195-204, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Setor de Distribuição: A Distribuição da energia**. 2016. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>. Acesso em: 22 abr. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015. Disponível: <http://www.aneel.gov.br> . Acesso em: 06 de out. 2015.
- AMIN, S. M.; WOLLENBERG, B. F. Toward a smart grid: power delivery for the 21 st century. **IEEE Power and Energy Magazine**, v .3, n.5, p. 34-41, Sept.-Oct. 2005. Disponível em: http://massoud-amin.umn.edu/publications/smart_Grid_IEEE_P&E_Amin_Wollenberg.pdf. Acesso em: 20 set. 2015.
- AZEVEDO, F. H. **Otimização de Rede de Distribuição de Energia Elétrica Subterrânea Reticulada através de Algoritmos Genéticos**. 2010. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- BERNARDON, Daniel Pinheiro. **Novos métodos para reconfiguração das redes de distribuição a partir de algoritmos de tomadas de decisão multicritérios**. 2007. 160 f. Tese (Doutorado). Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~joao/CE/Trabalho/Trabalho2012/2007BernardonTee.pdf> Acesso em 21 set. 2015.
- CARVALHO, M. R. **Estudo Comparativo Entre Fluxo de Potência para Sistemas de Distribuição Radial**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- DECANINI, Jose Guilherme M. S. **Deteccão, classificação e localização de faltas de curto-circuito em sistemas de distribuição de energia elétrica usando sistemas inteligentes**. 2012. 124f Trabalho final, São Paulo, 2012. Disponível em: www.feis.unesp.br/.../enghariaeletrica/pos.../089-tese_joseguilherme.p. Acesso 13 Agosto 2015.
- FAN, J.; BORLASE, S. The evolution of distribution. **IEEE Power and Energy Magazine**, v .7, n.2, p. 63-68, mar./apr. 2009. Disponível em: <http://ieeeplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=47877537&ismunber=4787510>. Acesso outb. 2015.

FALCÃO, D. M. **Integração de tecnologias para viabilização da Smart Grid**. 120 f. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS (SBSE), 3., 2010, Belém. **Anais ...** Belém, 2010. V.1, P.1.

GELLINGS, C.W. Power to the people. **IEEE Power and Energy Magazine**, v .9, n.5, p. 53-63, Sept.-Oct. 2011. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp.jsp?tp=&isnumber=5989937>. Acesso em: 20 de abril de 2016.

GOES, Edson Aparecido et al. **Aplicação de redes neurais na identificação de setores em curto circuito nos sistemas de distribuição de energia elétrica**. In: Brazilian Conference on Dynamics. 9., 2010. São Paulo. Disponível em: www.sbmac.org.br/trabalhos/PDF/energy/68004.pdf. Acesso 15 set 2015.

GOMIDE, F; GUDWIN, R; TANSCHKEIT, R. **Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações**. In:Proc. 6th IFSA Congress-Tutorials. 1995. p. 1-38.

PRAMIO, TURATTI J. **Estudo sobre Self Healing: Conceitos, Metodologias e Aplicação nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2014. 95f. Trabalho de Conclusão de curso (graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LAMBIASE, DE C; **Aplicação de self healling em sistemas elétricos**. 2012. 55f. Trabalho de Conclusão de curso (graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica- Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Fortaleza, 2012.

LIMA, C. **Desafios da migração tecnológica Smart Grid**. Entrevistador: Sérgio Granato. Smartgridnews. 2014. Disponível em: <http://smartgridnews.com.br/entrevista-desafios-da-migracao-tecnologica-smart-grid-claudio-lima/>. Acesso em: 18 set 2015.

KEYHANI, A.; ALBAIJAT, M (Ed.). **Smart Power Grids 2011**. Springer, 2011.

MIRZAEI, M. et al. Review of fault location methods for distribution power System. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 2670-2676, 2009. Disponível em: <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2009/2670-2676.pdf>. Acesso em: 10 out 2015.

MOURA, Carlos Jeferson da S.; **Estudo para implantação de um sistema de recomposição automática para a rede de distribuição do campus PICI**. 2011. 92f. Trabalho de Conclusão de curso (graduação) – Curso Superior de Engenharia Elétrica- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

VIEIRA, J. G; GRANATO, S. Medição inteligente e a Smart Grid.**Smartgrid new** 2011a. Disponível em: <http://smartgridnews.com.br/conheca-com-exclusividade-o-primeiro-trabalho-sobre-smart-grid-desenvolvido-por-pesquisadores-brasileiros/>. Acesso em: 10 de abr 2016.

PONCE, A. T., etal. **Operação em tempo integral de alimentadores de distribuição em anel fechado**. 2008. 120f- Congresso Latino-americano de Distribuidores de Energia Elétrica (CLADE), Mar del Plata, Argentina, 2008.

SCHMIDT, Hernan P. **Reconfiguração de redes de distribuição através de Programação não-linear inteira mista**. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) São Paulo, 2005. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../TeseLD_HerananPrietoSchimidt.pdf. Acesso em: 15 de set 2015.

STASZESKY, Douglas M.; CRAIG, Dean.; BEFUS, Craig. Advanced feeder automation is here. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 3, n. 5, p. 56- 63, Sept. / Oct. 2005. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1507027&isnumber=32291> Acesso em: 21 set. 2015

SPATTI, Danilo H. **Automatização de Processos de Detecção de Falhas em Linhas de Distribuição Utilizando Sistemas Especialistas Híbridos**. 2011. 190 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde...101205/.../Danilo.pdf> . Acesso em: 02 out. 2015.

ZIMMER, Camila. FRANCO, Manoel. **Automação da distribuição de energia: recomposição automática de redes de distribuição**. 2014. 89 f. Monografia (Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica, ênfase em Eletrotécnica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.