

## **1. INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 INTRODUÇÃO**

Esta tese trata de novas metodologias para a realização de manobras na rede de distribuição entre alimentadores aéreos primários, supridos por diferentes subestações de energia (S/Es), a fim de garantir a segurança operacional dos eletricitistas de campo, dos equipamentos envolvidos nas manobras, bem como dos operadores do Centro de Operação da Distribuição, no momento das manobras de fechamento e abertura de anel formado entre dois alimentadores. Esta operação é pouco utilizada pelas Concessionárias de Energia devido ao grau de complexidade encontrado na operação em tempo real.

A configuração de formação de anel entre alimentadores é dificultada pela ausência ou imprecisão das informações das redes envolvidas, pela distribuição e dinâmica das cargas, bem como pela falta de supervisão remota nos diversos equipamentos e seccionadoras de vis-à-vis que a rede possui.

Os efeitos provocados por manobras desta natureza podem resultar em grandes e perigosas variações na tensão e na corrente dos alimentadores, principalmente nos pontos das manobras, alterando o comportamento de diversos componentes da rede, além da estabilidade dos seletores de tensão dos transformadores de potência das estações transformadoras de distribuição (ETDs).

Esse assunto foi tema da dissertação de mestrado do autor, que busca neste trabalho apresentar novas contribuições e novas metodologias para a operação em tempo real, visando importantes questões de segurança operacional.

## 1.2 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho, considerando os preceitos de segurança operacional citados no tópico anterior, foi desenvolver e apresentar novas propostas e metodologias de manobras, de forma diferenciada, para as redes aéreas de distribuição, em tempo real. São manobras que envolvem o fechamento em anel entre dois alimentadores aéreos primários, supridos por diferentes fontes de alimentação.

O principal aspecto considerado foi o modelo empregado para os alimentadores e transformadores das subestações de energia e estações transformadoras de distribuição, buscando representá-los com a maior proximidade das condições reais, considerando o comprimento dos alimentadores, características e densidades das cargas, impedâncias e fechamentos dos enrolamentos dos transformadores, níveis de tensão, capacidades dos equipamentos, dentre outras considerações técnicas. Desse modo, procurou-se trabalhar com um número mínimo de hipóteses simplificadoras no equacionamento, de forma que os resultados obtidos fossem confiáveis, porém considerou-se a possibilidade de erros provocados pela imprecisão nas medições dos fasores e nos ajustes dos parâmetros de entrada.

A contribuição determinante para o fechamento em anel entre dois alimentadores aéreos, supridos por diferentes subestações, foi o desenvolvimento de um algoritmo que utiliza as características dos alimentadores, bem como os dados das subestações de transformação e transmissão, o que facilitou a implementação prática, já que tornou desnecessário um canal de comunicação entre os equipamentos envolvidos, além da sincronização dos dados. Esse algoritmo utilizou as grandezas padrões em regime permanente como tensões, correntes das fases e do neutro, bem como as características dos alimentadores e transformadores.

### 1.3 MOTIVAÇÃO

A motivação para o aperfeiçoamento da metodologia empregada no fechamento em anel entre dois alimentadores de diferentes estações transformadoras de distribuição é o aumento da demanda de manobras desta natureza, bem como o cumprimento por parte das concessionárias de energia das metas dos indicadores de qualidade como DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC, estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Outro aspecto importante relacionado à operação de sistemas de distribuição é a segurança nas ações para os restabelecimentos pós-perturbações, envolvendo necessidades de transferências de cargas entre alimentadores aéreos primários de diferentes estações transformadoras de distribuição, de forma confiável e segura, observando os requisitos de carregamentos e tensão mínima em nível sistêmico.

Diariamente, devido ao grande volume de intervenções programadas e ocorrências emergenciais na rede de distribuição, muitas manobras são executadas com interrupção de carga, levando os indicadores de qualidade a níveis críticos.

O próprio conservadorismo, ou o desconhecimento dos efeitos físicos da operação em anel, leva os técnicos de operação decidirem por interromper cargas de trechos envolvidos em manobras. Mas os novos conceitos de operação, em função das mudanças tecnológicas de equipamentos e sistemas, atrelados às cobranças de órgãos fiscalizadores como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP), estão direcionando as concessionárias a operarem suas redes de forma a evitar tais interrupções.

A metodologia desenvolvida trouxe à tona discussões sobre aspectos restritivos de operação como perfil de carga e nível de tensão ao longo dos alimentadores, corrente de neutro, capacidade de equipamentos instalados na rede de distribuição e em estações transformadoras de distribuição, ângulo de defasagens entre as tensões das fontes envolvidas, entre outros, onde se verificou a relevância de cada um deles na operação em tempo real.

---

Portanto, o técnico de operações de tempo real tem suma importância neste processo, realizando as análises para a operação, bem como considerando os fatores relativos à segurança pós-distúrbio, decidindo, inclusive, sobre o custo da violação de algumas das variáveis de controle versus a segurança sistêmica para a ocorrência de uma segunda contingência com o sistema elétrico na nova configuração.

## 1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os estudos dos transitórios eletromagnéticos realizados neste trabalho, provocados por manobras entre dois alimentadores através do fechamento temporário em anel, apontam para uma pequena e tímida evolução deste assunto nos últimos três anos, fato associado à sua complexidade e à segurança operacional imposta por concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Este tipo de operação se torna necessário a cada dia, tanto em atendimento às necessidades de intervenções e manutenções na rede, quanto da qualidade da energia disponibilizada aos consumidores dos mais variados segmentos de mercado. De acordo com (PFITSCHER, et al, 2012), além dos benefícios citados anteriormente, o paralelismo de alimentadores tem como objetivo primário a redução de perdas e a melhoria do desempenho da rede.

O sistema elétrico de potência brasileiro, constituído por grandes usinas, subestações e longas linhas de transmissão é considerado um sistema hidrotérmico de grande porte, além de robusto.

Constituído por empresas de geração, transmissão e distribuição, públicas e privadas, o Sistema Interligado Nacional (SIN) é responsável pelo transporte de elevados valores de energia elétrica aos grandes centros de consumo, atendendo ao crescimento da demanda imposta à matriz energética Brasileira.

No Brasil há leis que garantem o direito de qualquer agente ou consumidor livre se conectar e usar o sistema elétrico, apenas ressarcindo os custos das instalações, independentemente da comercialização de energia.

O órgão regulador considera o livre acesso ao Sistema Interligado Nacional como um instrumento básico à efetiva competição nos segmentos de geração e comercialização da energia elétrica.

A Figura 1.1 mostra a matriz de transmissão de energia para o sistema elétrico brasileiro.

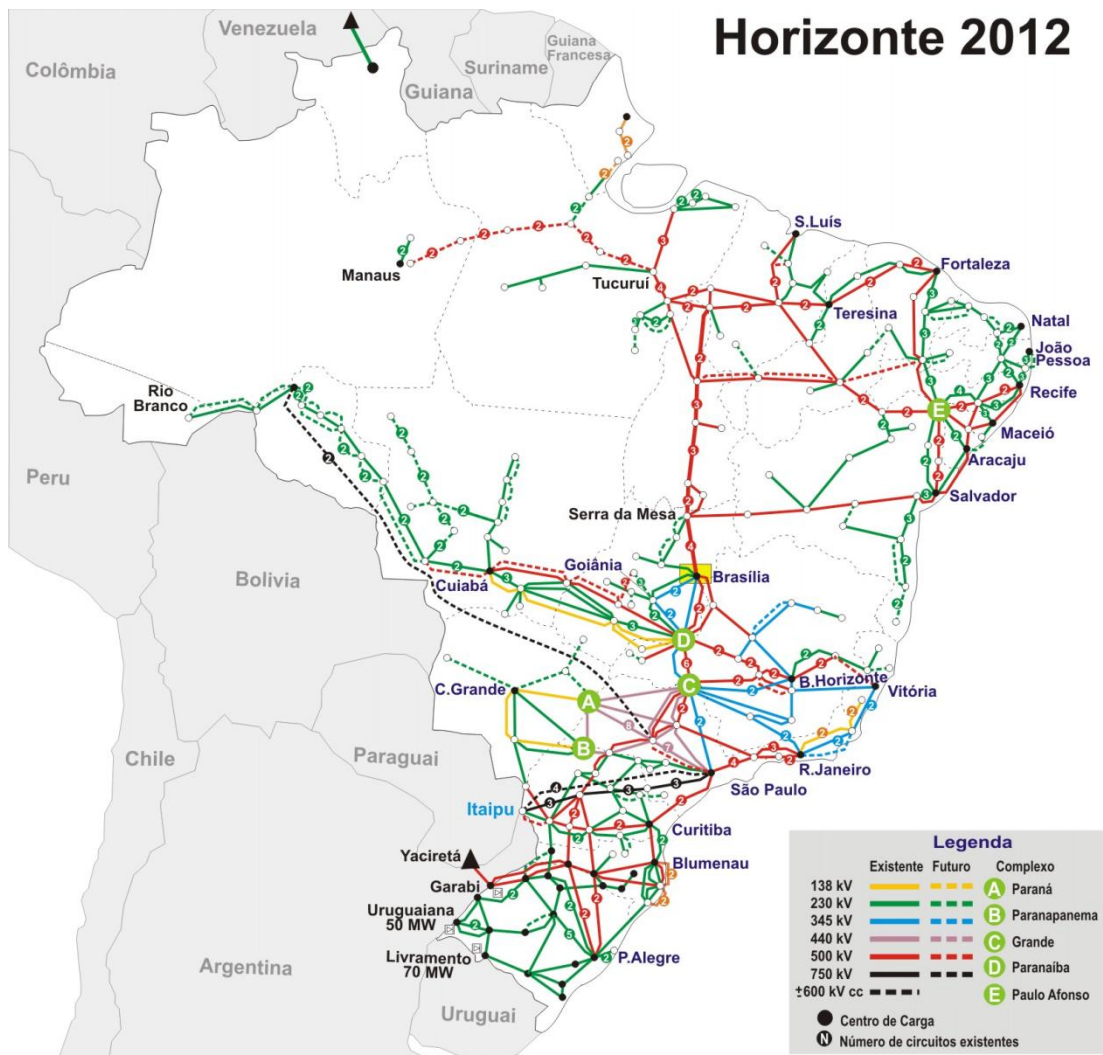


Figura 1.1 – Diagrama esquemático da transmissão brasileira.

Fonte: ONS.

Segundo o Operador Nacional do Sistema, EM 2012, somente 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontra-se desconectada do Sistema Interligado Nacional (SIN). Essas unidades geradoras estão em pequenos sistemas isolados, localizados principalmente na região amazônica.

A Figura 1.2 apresenta a demanda do Sistema Interligado Nacional Brasileiro, descrevendo o comportamento de consumo de energia elétrica para os anos de 2011 e 2012.

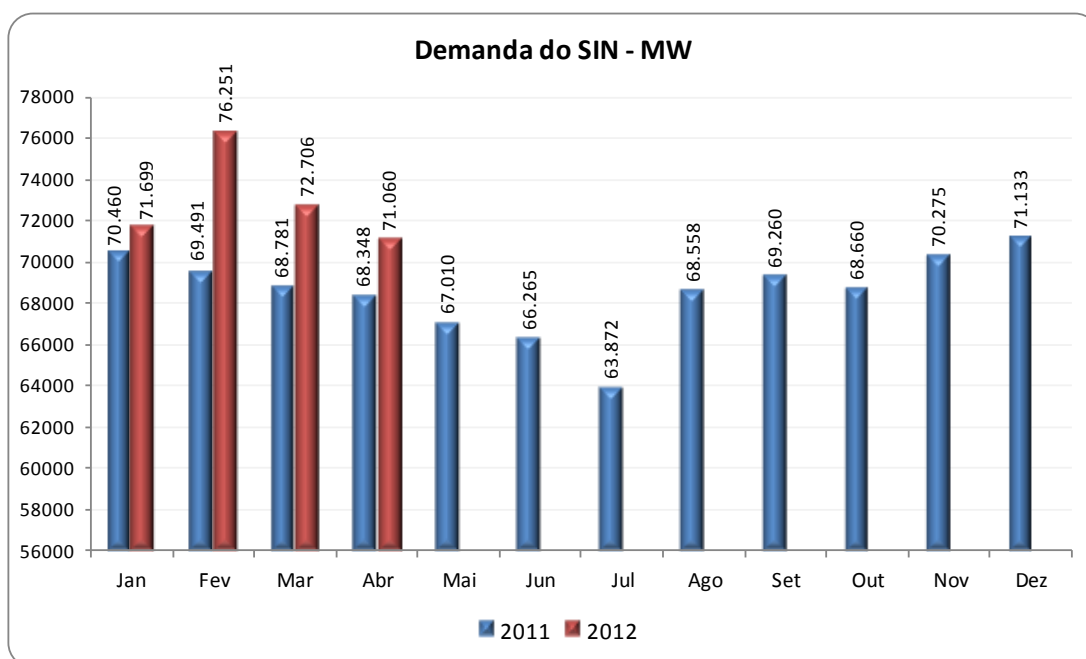


Figura 1.2 – Demanda do Sistema Interligado Nacional brasileiro em 2011 e 2012.

Fonte: ONS.

A AES Eletropaulo, classificada como a principal distribuidora de energia elétrica da América Latina, sozinha, supre mais de 18% do total de carga da região sudeste do Brasil, como pode ser constatado através da Figura 1.3.

Tendo a concessão de uma área densamente povoada com 4.526 km<sup>2</sup>, a AES Eletropaulo atende 6,1 milhões de consumidores em 24 municípios no Estado de São Paulo.

Desde sua fundação em São Paulo, com os trabalhos de distribuição de energia iniciados pela Canadense Light and Power Company, no ano de 1899, a AES Eletropaulo sofre com a falta de padronização de equipamentos e componentes de seu sistema elétrico de potência.

Este fato está associado à necessidade de atender o grande crescimento de consumo em uma cidade considerada como referência em questões comerciais na América Latina.

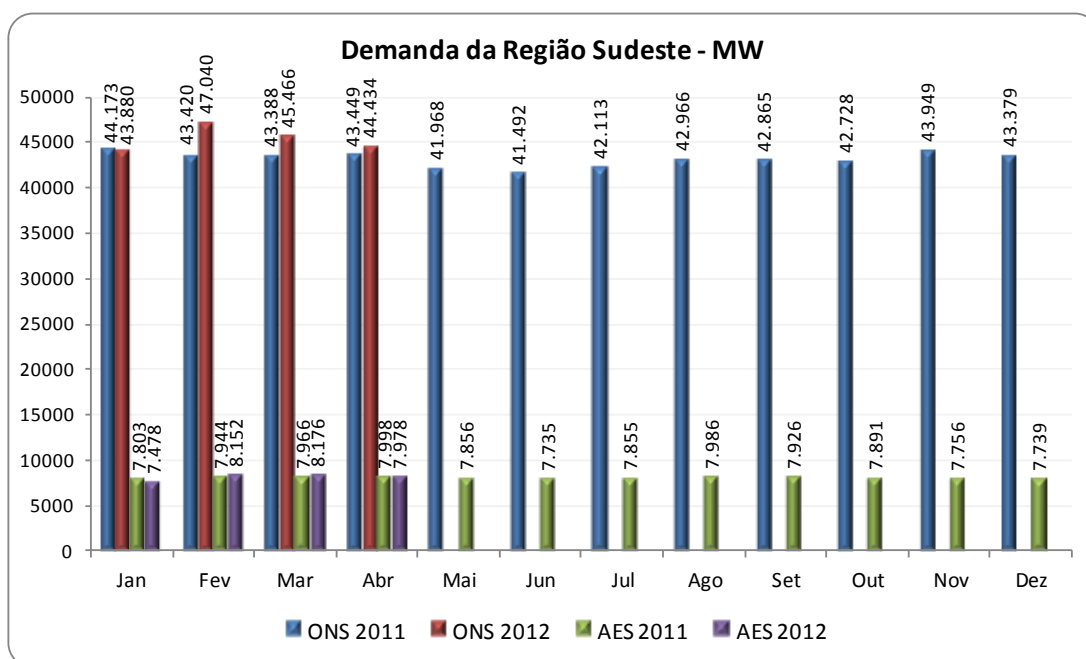


Figura 1.3 – Demanda da região Sudeste do Brasil em 2011 e 2012.

Fonte: ONS/AES Eletropaulo.

O crescimento constante do carregamento do sistema elétrico, bem como o estreitamento dos indicadores de continuidade e qualidade, tornou evidente a necessidade de modificações em processos e modernizações de sistemas operacionais de empresas distribuidoras de energia.

A Figura 1.4 aponta as curvas do carregamento do sistema da AES Eletropaulo referente ao mês de abril/2012. É possível notar, dentro do período citado, as curvas de consumo através das tendências diárias, obviamente, o deslocamento das curvas segue regras de sazonalidade e períodos de calor e frio acentuados, além de contemplar o crescimento da economia do país.

Ainda, através da Figura 1.4, é notório o descolamento das tendências do consumo durante o período de trabalho industrial e comercial, ou seja, as diferenças de consumo diário se acentuam para o período entre 06h00 e 22h00.



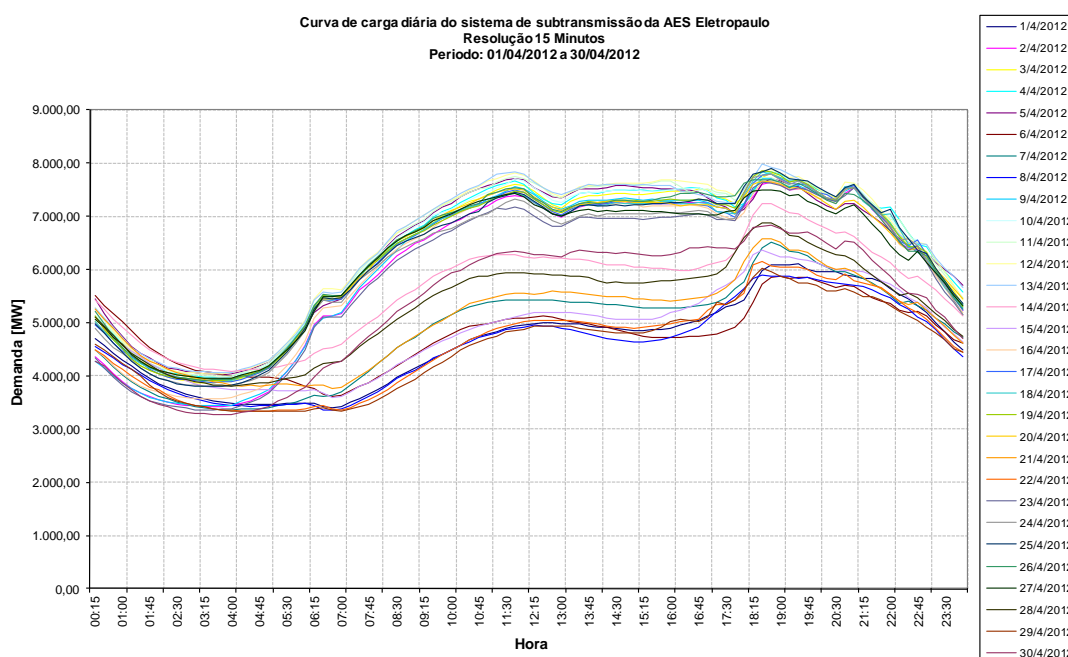


Figura 1.4 – Demanda do sistema de subtransmissão da AES Eletropaulo – abril/2012.

Fonte: AES Eletropaulo.

Com base nas tendências do setor elétrico, nas mudanças de processos e sistemas operacionais, bem como das novas tecnologias implantadas na rede de distribuição, vários estudos demonstram a preocupação dos agentes distribuidores a respeito da qualidade no fornecimento de energia, bem como dos indicadores de qualidade e continuidade em vigor.

As metas inseridas para os indicadores estão se estreitando a cada ano, ficando por conta das concessionárias cumprirem os valores estabelecidos pelos órgãos reguladores e fiscalizadores. Os estudos de (FUKUYAMA; CHIANG, 1995), descrevem a confiança e a satisfação dos consumidores como sendo as preocupações primárias das concessionárias de energia.

Continuamente, as redes de distribuição aéreas são severamente atacadas por agentes químicos e naturais como ventos, descargas atmosféricas, chuva ácida, poeira química, entre outros, obrigando as concessionárias investirem recursos em prol de uma rede confiável, robusta e segura. Na maioria das vezes esses investimentos são repassados aos consumidores através da tarifa de energia, que

acontece no momento das revisões tarifárias com a anuência da Agência Nacional de Energia Elétrica. Nessas condições de operação, os alimentadores carecem de dois tipos de intervenções por parte das concessionárias, são elas:

- Intervenção para serviços programados – neste caso há um planejamento das ações e manobras, visando minimizar os impactos causados aos consumidores.
- Intervenção para serviços emergenciais – neste caso a ação e atuação são imediatas e tratadas em tempo real, com o mesmo foco do item acima.

No Brasil, predominantemente, as concessionárias de distribuição de energia elétrica operam seus alimentadores na configuração radial, ou seja, os alimentadores com uma única fonte de suprimento.

Segundo (DURK; LATEEF; BAGHZOUZ, 2004), este tipo de operação se deve a questões econômicas e, também, pela dificuldade de coordenação entre os dispositivos convencionais de proteção dos alimentadores envolvidos na operação em anel fechado. A preocupação com a atuação dos dispositivos convencionais de proteção também é citada por (PFITSCHER, et al, 2012), que considera este fato determinante na viabilidade da formação de anel entre dois alimentadores.

Os alimentadores aéreos são dispostos e instalados em postes de concreto, através de isoladores de porcelanas ou poliméricos, fixados em cruzetas de madeiras ou metálicas. A AES Eletropaulo, maior concessionária distribuidora de energia elétrica da América Latina, possui 1.731 alimentadores de distribuição, em vários níveis de tensão. Desse total, mais de 1.500 são alimentadores aéreos primários de distribuição, fato que justifica a grande quantidade de desligamentos que essa concessionária teve no ano de 2011, 2.783.

Outra justificativa é a exposição que esses alimentadores são submetidos. Instalados em vias públicas de uma cidade densa e populosa como São Paulo, suas taxas de falhas aumentam exponencialmente. O procedimento principal de recomposição da rede, segundo (FUKUYAMA; CHIANG, 1995), é restaurar o fornecimento ao maior número de clientes, manobrando trechos do alimentador em falta sem ferir critérios técnicos e operacionais.

Essas manobras são realizadas através de abertura e fechamento de chaves seccionadoras, onde, de acordo com (CIVANLAR, et al, 1988), geram melhorias significativas na operação de redes de distribuição, otimizando as condições de funcionamento de todo o sistema.

Atualmente, manobras de restabelecimentos pós-faltas são realizadas manualmente, trecho-a-trecho, onde os técnicos de operação utilizam procedimentos e instruções específicas como referências para operar o sistema de distribuição, visando obter maior assertividade nas ações de tempo real. As ações de restabelecimento, na maioria das vezes, não são padronizadas, pois os alimentadores possuem particularidades e características próprias de construção, carregamento, distribuição e densidade das cargas, entre outras.

As principais premissas de restabelecimento, segundo (FUKUYAMA; CHIANG, 1995), são as restrições e limitações da fonte supridora, da tensão no ponto de interligação e da corrente dos trechos envolvidos na manobra, onde a carga total do trecho da rede somada ao carregamento do alimentador que receberá esta carga, não poderá exceder o limite de capacidade da fonte correspondente.

Direcionando a pesquisa e enfatizando a análise do transitório eletromagnético quando há o fechamento em anel entre dois alimentadores, atendendo as questões de segurança em regime permanente, se fazem necessárias algumas avaliações primárias, como por exemplo, cálculos de fluxo de carga em virtude da necessidade de se conhecer as tensões em cada ponto da rede, as correntes nos ramais de derivação do alimentador e a potência disponível na fonte supridora.

Métodos simplificados de cálculo podem ser utilizados nesta determinação, onde os disjuntores dos alimentadores são representados por fontes de correntes e as cargas dos ramais representadas por uma única carga concentrada. As cargas podem ser somadas do trecho final de um ramal em sentido a fonte do alimentador, conforme (FUKUYAMA; CHIANG, 1995).

As quedas de tensão ao longo do alimentador podem ser calculadas através das correntes passantes e as impedâncias dos trechos dos cabos condutores.

Ainda, torna-se possível calcular as tensões nos diversos nós da rede, bastando para isso conhecer as quedas de tensão ao longo do alimentador, além da tensão da fonte de alimentação.

Segundo (CIVANLAR, et al, 1988), para se conhecer as perdas envolvidas neste tipo de operação deve-se calcular o fluxo de carga antes e depois da reconfiguração da rede. A Figura 1.5 apresenta os estados assumidos por um alimentador no momento de uma falta.

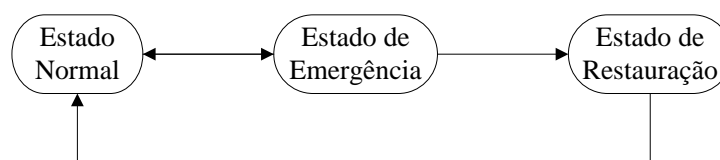


Figura 1.5 – Representação simplificada dos estados de um AL pós-falta.

Dentro do cenário da operação em tempo real, diversas manobras (de chaveamentos envolvendo trechos da rede) são elegíveis ao restabelecimento de alimentadores em falta. Considerando as condições de operação da rede, esse cenário permite a inclusão das intervenções programadas e emergenciais, sempre focando a qualidade no fornecimento e o controle dos indicadores de continuidade. Sendo assim, manobras de paralelismo entre alimentadores aéreos radiais são realizadas, a fim de isolar ou transferir pequenos trechos da rede aérea de distribuição, seja na condição de restabelecimento pós-falta, seja na condição em atendimento às manobras programadas.

Segundo (HUANG, et al, 2002), ao se fechar dois alimentadores aéreos radiais em anel, a fim de mantê-los operando permanentemente nesta configuração, é possível evitar os impactos causados por faltas momentâneas do tipo fase-terra, pois, após o defeito em um trecho da rede, somente um dos alimentadores fechados em anel se desligará. O alimentador remanescente permanecerá ligado suprindo todas as cargas envolvidas nesta nova configuração.

A diferença entre as configurações radial e anel fechado é muito grande. Vários fatores implicam uma minuciosa atenção por parte dos engenheiros de operação. O comportamento e o fluxo das cargas (módulo e ângulo), as quedas de tensão em cada nó da rede, a capacidade de curto-circuito de cada equipamento e componentes da rede, as diferenças entre relés, bem como a coordenação e seletividade dos dispositivos de proteção, carecem de muita atenção e devem ser totalmente compreendidos.

Segundo (DURK; LATEEF; BAGHZOUZ, 2004), é possível adotar um modelo simplificado de análise para transferências de cargas entre alimentadores sem interrompê-las. Para este modelo simplificado, algumas suposições são necessárias:

- Representação da rede de transmissão e subtransmissão por um equivalente de Thèvenin – duas fontes idênticas com diferentes impedâncias;
- Ignorar o efeito do seletor de tensão dos transformadores envolvidos;
- Assumir que o sistema é balanceado – para sistemas monofásicos há necessidade de analisar as cargas;
- Agrupamento das cargas e das impedâncias dos alimentadores – parâmetros não distribuídos;
- Desconsiderar as capacitâncias dos cabos condutores;
- Capacitores shunt em estado estático, não comutando.

As suposições acima remetem para a Figura 1.6, onde se verifica a representação de uma rede de distribuição com possibilidade de fechamento em anel entre dois alimentadores aéreos primários de distribuição.

As cargas representadas por  $Z_{CARGA_n}$  e  $Z_{CARGA_m}$ , nos extremos das barras 1 e 2, representam as demais cargas dos seus respectivos transformadores de potência. Com os dados dos dois alimentadores e suas respectivas cargas, dados dos transformadores de potências, dos bancos de capacitores nas estações transformadoras de distribuição, dos bancos de capacitores ao longo dos alimentadores, bem como suas ligações e configurações e das impedâncias do sistema, pode-se determinar o fluxo de carga ao longo dos alimentadores através da utilização de softwares comerciais de cálculos elétricos.

Para alimentadores curtos e com poucas cargas, os cálculos de fluxo de carga podem ser realizados através de equacionamentos simplificados.

Segundo (DURK; LATEEF; BAGHZOUZ; 2004), ao se classificar as cargas dos alimentadores como cargas de impedância (ou admitância) constante e agrupando-as às capacitâncias shunt envolvidas, poder-se-á calcular o circuito da Figura 1.6 de modo simplificado, onde os valores obtidos serão semelhantes aos praticados por algoritmos mais sofisticados.

Considerando fatores como distribuição ou concentração de cargas ao longo do alimentador, ponto de intersecção entre dois alimentadores, impedâncias dos cabos, entre outros fatores, é possível realizar uma simplificação do circuito da Figura 1.6.

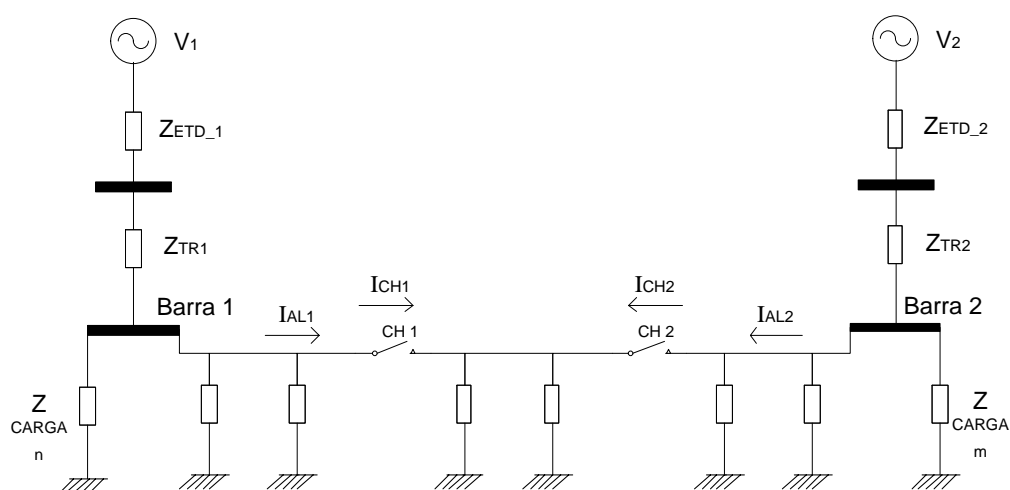


Figura 1.6 – Diagrama unifilar representando transferência de carga entre dois alimentadores.

O circuito linear resultante, apresentado na Figura 1.7, por sua simplicidade pode ser analisado pela lei das malhas, ou mesmo por análise nodal. Note que as cargas “Z”, representadas na figura anterior, foram substituídas por admitâncias “Y”.

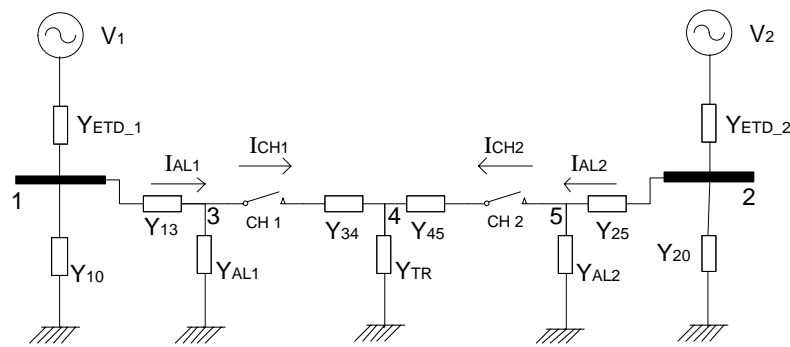


Figura 1.7 – Diagrama unifilar simplificado para transferência de carga entre dois alimentadores.

Dentro das avaliações de (DURK; LATEEF; BAGHZOUZ, 2004), para alimentadores curtos, construídos com condutores de grandes bitolas (por ex. 1000 MCM), pode-se aumentar o nível das aproximações, sem perdas das precisões dos cálculos. Isso se deve ao fato de se negligenciar as impedâncias dos trechos entre as cargas do alimentador. Neste caso as tensões ao longo dos dois alimentadores são iguais, podendo ser calculadas por expressões simplificadas, como a descrita abaixo.

$$V = \frac{1}{y} (V_1 y_{th1} + V_2 y_{th2}) \quad (1.1)$$

para:

$$y = y_{th1} + y_{th2} + y_{10} + y_{20} + y_{AL1} + y_{AL2} + y_{TR} \quad (1.2)$$

Conhecendo-se o valor da tensão através da equação anterior, poder-se-á calcular as correntes em cada trecho do circuito da Figura 1.7.

De acordo com (HUANG, et al, 2002), faz-se necessário uma avaliação em regime permanente das variáveis envolvidas, tipificando os cenários de formação dos anéis entre alimentadores por suas complexidades, como mostra a Figura 1.8:

- Tipo I: dois alimentadores fechados em anel, supridos pelo mesmo transformador de potência;

- Tipo II: dois alimentadores fechados em anel, supridos por diferentes transformadores, porém da mesma estação transformadora de distribuição;
- Tipo III: dois alimentadores fechados em anel, supridos por diferentes transformadores de diferentes estações transformadoras de distribuição.

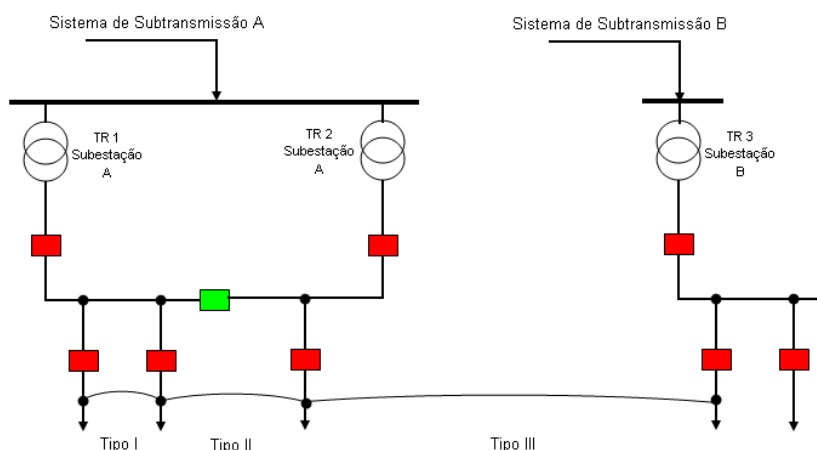


Figura 1.8 – Esquema simplificado de fechamento em anel entre dois alimentadores.

A técnica empregada por (HUANG, et al, 2002), utiliza um religador automático no ponto de vis-à-vis para o fechamento do anel entre dois alimentadores. No Brasil, este tipo de equipamento não é utilizado nos pontos de conexão entre alimentadores, pelo menos até este momento, pois além de ter seu preço inibidor e também por possuir um alto número de conexões, não é premissa da Engenharia de Planejamento das concessionárias distribuidoras de energia.

De acordo com as pesquisas de (HUANG, et al, 2002), quando dois transformadores são fechados em paralelo através de alimentadores aéreos primários conectados em seus secundários, independente da forma que estão conectados e supridos pelo sistema de subtransmissão, considerando, obviamente, suas impedâncias em  $pu$ , é possível que o transformador de menor carregamento forneça o excedente de potência reativa aos alimentadores fechados em anel.

É sabido que o transformador de menor capacidade geralmente possui menor



impedância percentual, obviamente quando comparado com o transformador de maior capacidade, respeitando as devidas proporções. Por este motivo, a grande maioria dos paralelismos entre transformadores são realizados com equipamentos de mesma capacidade e impedância interna, como mostra a Figura 1.9.

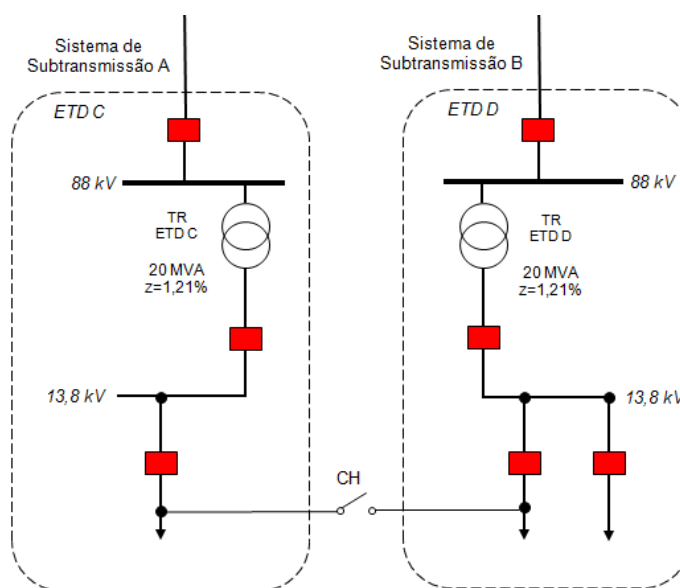


Figura 1.9 – Transformadores de estações transformadoras de distribuição adjacentes, com mesmas características.

Se os níveis de tensão das estações transformadoras forem iguais, a variação do carregamento dos transformadores envolvidos no anel fechado será insignificante, porém, caso as tensões de entrada destas estações forem significativamente diferentes, poder-se-á constatar uma significativa variação no carregamento em um dos transformadores. Essa diferença de tensão também provoca alguns efeitos danosos ou prejudiciais à operação em tempo real, como segue:

- Possibilidade de um dos transformadores injetar maior quantidade de potência reativa em sua respectiva barra secundária, mesmo não havendo diferença de carregamento entre os transformadores fechados em anel;
- Condição de fluxo de carga reverso, do secundário em direção ao primário de um dos transformadores, provocados pela condição de anel entre os alimentadores;

- Variação proporcional de carga entre os transformadores em paralelo, devido à diferença de carga entre os alimentadores envolvidos no anel, ou seja, o alimentador de menor carregamento receberá carga do alimentador de maior carregamento e, conseqüentemente, essa carga será suprida por seu respectivo transformador.

Em consequência dos curtos trajetos dos alimentadores, dos cabos condutores que seguem uma padronização em função das bitolas, bem como dos níveis de tensão das estações transformadoras de distribuição, não serão abordadas as implicações geradas em função das defasagens angulares entre as grandezas elétricas dos alimentadores.

Mas, outro ponto que merece destaque nesse tipo de configuração é o sistema de proteção dos componentes das redes e das estações transformadoras de distribuição envolvidas. Cabe perfeitamente uma avaliação das capacidades e limitações de curtos-circuitos, principalmente no ponto de vis-à-vis, onde a capacidade pode atingir o dobro do valor quando comparada com a rede na configuração radial.

A razão é que agora os alimentadores fechados em anel possuem duas fontes de alimentação e, segundo (CHEN; HUANG, 2005), esse efeito pode ser minimizado com a instalação de reatores limitadores de correntes próximos aos pontos de vis-à-vis. Essa ação somente é justificada para casos com paralelismos permanentes ou de longa duração<sup>1</sup>.

As concessionárias de energia, preocupadas com os índices de confiabilidade de seus alimentadores, ou mesmo com a flexibilidade operacional, historicamente, instalaram diversas chaves de vis-à-vis entre alimentadores de uma mesma estação transformadora de distribuição, ou mesmo entre alimentadores de estações adjacentes.

---

<sup>1</sup> Considerado como longa duração o período maior que o necessário para manobras de transferências de trechos ou blocos de cargas entre dois alimentadores.

Este investimento, além de ser saudável ao sistema de distribuição é praticado pelas distribuidoras, mas como o foco do planejamento é flexibilizar o chaveamento de trechos da rede sem efetuar o paralelismo de alimentadores, as capacidades de curtos-circuitos nos vários nós e barras dos circuitos aéreos primários não são consideradas.

Visto que, no momento das manobras de fechamento em anel os alimentadores poderão ser submetidos a uma falta, faz-se necessário o entendimento do comportamento dos circuitos frente a este tipo de falha. Uma ferramenta matemática muito utilizada para determinar a capacidade de curto-circuito de trechos de alimentadores é o método do MVA, que representa a modificação do método ôhmico (CHEN; HUANG, 2005).

O método do MVA consiste da separação do circuito em componentes elétricos como motores, geradores, transformadores, condutores, etc., calculando a potência de curto-circuito em MVA de cada um deles, considerando seus nós como barras infinitas.

O menor valor da capacidade de curto-circuito, para um sistema radial, se dá devido à capacidade de curto-circuito da estação transformadora de distribuição, ou ao valor da impedância do transformador de potência envolvido.

Esses dois fatores afetam, predominantemente, a capacidade de curto-circuito ao longo do alimentador (CHEN; HUANG, 2005) e (LAI, et al, 2006).

Através da Figura 1.10, apresentada por (CHEN; HUANG, 2005), é possível constatar a variação da amplitude da potência de curto-circuito ao longo de um alimentador típico de distribuição, onde as amplitudes variam de acordo com fator de atenuação  $K$ . Os valores desse fator excursionam entre 0 e 1, onde o máximo valor é empregado para o trecho na saída da estação transformadora de distribuição e o mínimo valor para o ponto mais distante da fonte supridora.

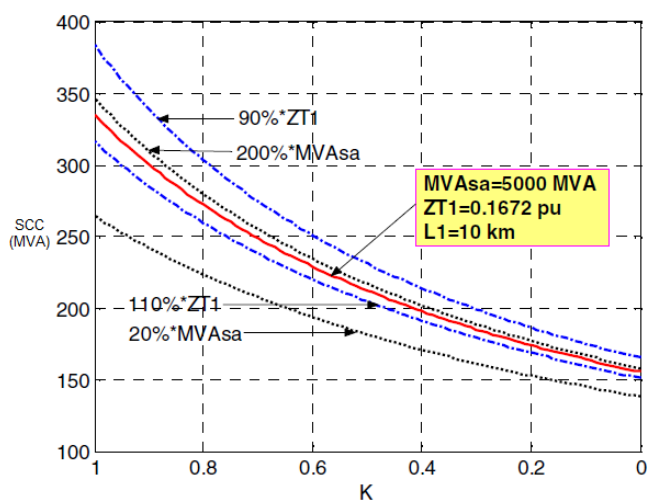


Figura 1.10 – Curvas das capacidades de curto-circuito versus a distância entre a estação transformadora de distribuição e o ponto do alimentador em falta.

Fonte: (CHEN; HUANG, 2005)

Quando a intenção é fechar dois alimentadores em anel, através de uma seccionadora monopolar, é possível imaginar que o alimentador com maior tensão terá predominância na propagação da onda positiva de tensão.

Analogamente ao estudo das propagações de ondas em linhas de transmissão, os dois alimentadores com diferentes características construtivas e operacionais como carregamento, comprimento, tensão nominal e impedância característica, são similares a duas linhas de transmissão conectadas e com diferentes impedâncias características.