

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FABRÍCIO FERRARI

**ESTUDO DE PARALELISMO DE ALIMENTADORES RADIAIS DE
DISTRIBUIÇÃO SOB O ENFOQUE DAS PERDAS DE ENERGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

FABRÍCIO FERRARI

**ESTUDO DE PARALELISMO DE ALIMENTADORES RADIAIS DE
DISTRIBUIÇÃO SOB O ENFOQUE DAS PERDAS DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares

PATO BRANCO

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado ESTUDO DE PARALELISMO DE ALIMENTADORES RADIAIS DE DISTRIBUIÇÃO SOB O ENFOQUE DAS PERDAS DE ENERGIA, do aluno **FABRÍCIO FERRARI** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora número 119 de 2016.

Fizeram parte da banca os professores:

Prof. Dr. Alexandre Batista de Jesus Soares (orientador)

Prof. Ms. Ana Cristina Alves Silveira Lima

Prof. Ms. Jonatas Policarpo Américo

A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais Salete e Antenor e ao meu irmão Douglas por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Após o término deste trabalho, gostaria de expressar os mais sinceros agradecimentos a todos àqueles que transmitiram confiança, carinho, amizade e que serviram de exemplo, dando-nos força e inspiração para finalizar este trabalho.

Agradecer a Deus por tudo, sem exceção.

Ao Professor Orientador, Professor Doutor Alexandre Batista de Jesus Soares, pelos conhecimentos transmitidos, apoio e interesse demonstrado ao longo do trabalho.

A minha família, que sempre apoiaram, ajudaram e foram, sem dúvida decisivas para a conclusão deste trabalho.

Gostaria de agradecer, com carinho especial, as minhas avós Robela e Carolina (*in memoriam*), que sempre apresentaram uma intensa vibração para o meu crescimento e que sempre acreditaram nas minhas realizações.

Em geral, a todos os colegas e amigos, principalmente o Axel, Diego, Lucas e Carlos, que ganhamos ao longo de toda a caminhada do curso, pela ajuda demonstrada, amizade e partilha de excelentes momentos.

RESUMO

FERRARI, Fabrício. Estudo de Paralelismo de Alimentadores Radiais de Distribuição sob o Enfoque das Perdas de Energia no Campus da UTFPR Pato Branco. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

Este trabalho apresenta um estudo sobre as perdas de energia elétrica em alimentadores radiais de distribuição, pertencentes a uma mesma subestação. As perdas de energia foram analisadas com os alimentadores operando radialmente e em paralelismo. Com as informações reais dos alimentadores obtidos na concessionária, o sistema de distribuição foi implementado no *SimPowerSystems*. No sistema implementado foram realizadas as simulações das perdas de energia elétrica e de transferência de carga com os alimentadores operando radialmente e em paralelismo.

Palavras-chave: Perdas de energia. Operação em paralelo. Transferência de carga.

ABSTRACT

FERRARI, Fabrício. Study about the parallelism of the radial feeder distributor with emphasis on energy loss at the Campus of the UTFPR Pato Branco. 2016. Mograph (Undergraduate of Electrical Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

This work presents a study about how the electric energy loss in radial feeder distributors, that belongs to only one substation. The energy loss were analyzed with the feeders operating radially and in parallel. With the real information obtained at the dealership, the distribution system was implemented on *SimPowerSystems*. In the implemented system, the simulations of electric energy loss and load transfer were performed with the feeders operating radially and in parallel.

Keywords: Loss of energy. Operation in parallel. Load transfer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Percentual de perdas de energia elétrica no sistema global das 63 distribuidoras.....	14
Figura 2 - Arranjo Tipo I	17
Figura 3 - Arranjo Tipo II	18
Figura 4 - Arranjo Tipo III	19
Figura 5 - Modelo do sistema implementado no <i>Matlab/Simulink</i>	23
Figura 6 - Sistema proposto em subsistemas.....	24
Figura 7 - Subsistema Rede_A01	25
Figura 8 - Subsistema Rede_A02	25
Figura 9 - Subsistema Rede_B01	26
Figura 10 - Subsistema Rede_B02	26
Figura 11 - Modelo de carga utilizada nas simulações	27
Figura 12 - Modelo de impedância das linhas de distribuição de energia elétrica	27
Figura 13 - Interface do transformador de 25 MVA.	31
Figura 14 - Interface do transformador de 15 MVA	32
Figura 15 - Corrente no secundário do transformador de 25 MVA	32
Figura 16 - Corrente no secundário do transformador de 15 MVA	33
Figura 17 - Tensão no secundário do transformador de 25 MVA.	34
Figura 18 - Detalhe da tensão no secundário do transformador de 25 MVA.	35
Figura 19 - Tensão no secundário do transformador de 15 MVA.	35
Figura 20 - Detalhe da tensão no secundário do transformador de 15 MVA.	36
Figura 21 - Corrente na chave de manobra.....	37
Figura 22 - Tensão na chave de manobra.....	38
Figura 23 - Tensão na chave de manobra sem o banco de capacitores	39
Figura 24 - Subsistema de cálculo das perdas e as potências ativa e reativa	41
Figura 25 - Perdas totais no alimentador A	46
Figura 26 - Perdas totais no alimentador B	46
Figura 27 - Potência Reativa do alimentador A	47
Figura 28 - Potência Reativa do alimentador B	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relatório final de eletricidade (GWh).....	13
Tabela 2 - Nível de Perdas de Energia Elétrica.....	22
Tabela 3 - Parâmetros do Alimentador A.	28
Tabela 4 - Parâmetros do Alimentador B.	29
Tabela 5 - Dados Nominais e valores das resistências e reatâncias do transformador A.	30
Tabela 6 - Dados nominais e valores das resistências e reatâncias do transformador B.....	31
Tabela 7 - Alimentador de 25 MVA operando radialmente	42
Tabela 8 - Alimentador de 15 MVA operando radialmente	43
Tabela 9 - Alimentador de 25 MVA operando em paralelo	44
Tabela 10 - Alimentador de 15 MVA operando em paralelo	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	MOTIVAÇÃO.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL.....	14
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4	MÉTODOS DE PESQUISA	15
2	PARALESLIMO ENTRE ALIMENTADORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	16
2.1	TIPO I.....	17
2.2	TIPO II.....	18
2.3	TIPO III.....	18
3	PERDAS DE ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	20
4	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	23
4.1	CARACTERÍSTICAS DOS ALIMENTADORES	28
4.2	CARACTERÍSTICAS DOS TRANSFORMADORES	30
4.3	CHAVE DE MANOBRA	36
4.4	MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA	39
5	SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
6	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A melhoria dos sistemas de distribuição tem sido impulsionada pelo avanço tecnológico, devido ser um segmento do sistema elétrico onde estão ocorrendo várias mudanças e implantação de novos conceitos, através do crescimento nas tecnologias de comunicação, medição e automação (LODDI, 2010). Há um crescente investimento por parte das concessionárias de energia elétrica para promover melhorias na qualidade e confiabilidade do atendimento de seus consumidores, de fato ao contínuo crescimento da população e da economia, que implica, no aumento do consumo de energia elétrica. Afim de buscar melhorias no sistema de distribuição sendo a redução das perdas de energia elétrica, melhoria nos níveis de tensão e indicadores de confiabilidade. No caso de imprevisibilidade, através de equipamentos automatizados é possível restabelecer a energia, isolar e identificar defeitos de maneira ágil (BERNARDON, 2006).

Países em desenvolvimento como o Brasil necessitam continuar seu processo de crescimento, buscando assim, melhoria do desempenho do sistema elétrico existente, mas também de constantes ampliações na estrutura para adequá-las à demanda crescente de energia (LEAL, 2006).

Os sistemas de distribuição de energia elétrica são fundamentais, pois interligam a concessionária a seus clientes. Estes sistemas operam normalmente de forma radial, buscando que o sistema opere com perdas mínimas, além de serem de baixo custo de investimento, manutenção e à relativa facilidade de coordenação de sistemas de proteção, quando comparadas com outras topologias mais complexas. (LIRA, 2011). O sistema na forma radial, possui chaves de manobras, que permitam restabelecer o suprimento de energia em caso emergenciais ou programadas pelas concessionárias de energia elétrica, muitas nessas manobras são chamadas de manobras de paralelismo (KAGAN, 2005), (SANTOS, 2008).

A manobra de paralelismo de alimentadores radiais de distribuição (fechamento em anel) consiste na interligação de dois alimentadores através de uma chave de manobra. Esta operação é utilizada para a transferência de carga entre os alimentadores ou para paradas programadas para manutenção dos transformadores de potência, durante curtos períodos de tempo (SOARES, 2012).

Uma das vantagens de se utilizar os alimentadores em paralelo é no propósito de evitar o desligamento de consumidores, durante um curto espaço de tempo, para a realização das manobras no sistema de distribuição. Quando os alimentadores estiverem em paralelo é frequentemente executado durante as transferências de cargas, retornando à configuração radial após as manobras (SANTOS, 2008). Na operação em que o sistema estiver operando em paralelo ocorrem variações nos fluxos das potências ativas e reativas pelos alimentadores, em virtude da transferência de carga entre eles, e conseqüentemente uma variação nas perdas do sistema (SOARES, 2012).

A partir do momento em que as perdas técnicas¹ de energia elétrica entram no processo de revisão tarifária das concessionárias, é necessário que elas sejam apuradas da forma mais correta possível, com a intenção de aprimorar a operação econômica do sistema e gerar lucros (MÉFFE, 2001).

Os sistemas de distribuição de energia elétrica apresentam perdas de energia elétrica inerentes a todo o processo de transporte de energia. Parte da energia adquirida para suprimento das distribuidoras é perdida nos vários segmentos do sistema. A concessionária tem propósito da redução das perdas sendo um requisito fundamental, por conseguinte, resulta em uma melhoria na qualidade do fornecimento da energia elétrica e possibilita a redução de custos para a concessionária (LIMA, 2004).

As concessionárias de distribuição vêm desenvolvendo ações no sentido de diminuir o nível de perdas técnicas de energia, orientadas no conceito de carregamento econômico das redes e dos equipamentos, realizando uma avaliação de todos os segmentos do sistema de distribuição, através de medidores localizados em cada ponto do sistema, em busca de valores coerentes com o sistema real (LEAL, 2006).

¹ **Perdas técnicas: Denominam-se perdas técnicas de energia elétrica as perdas inerentes às atividades do transporte de energia elétrica na rede.**

1.1 MOTIVAÇÃO

Um aspecto importante relacionado à operação de sistemas de distribuição à segurança nas ações de restabelecimento pós-perturbações, que envolvam a necessidade de transferência de cargas entre os alimentadores. As transferências são realizadas com frequência pela concessionária de energia para manobras emergenciais ou programadas do sistema, através de manobras de paralelismo.

Com base nas considerações apresentadas, a realização deste estudo surgiu do interesse de se investigar o comportamento do sistema de distribuição durante manobras de paralelismo entre alimentadores sob o enfoque das perdas de energia e da transferência de carga entre os alimentadores.

Buscando ilustrar melhor o cenário, a Tabela 1 apresenta os valores das perdas de energia durante o período de 2006 a 2015 no Brasil.

Tabela 1 - Relatório final de eletricidade (GWh)

Fluxo	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Produção	419.383	445.149	463.120	466.158	515.799	531.758	552.498	570.835	590.542	581.486
Centrais elétricas de serviço público	377.644	398.011	412.012	409.150	442.803	454.726	474.470	484.673	496.510	484.891
Autoprodutores	41.736	47.138	51.107	57.008	72.995	77.033	78.028	86.162	94.032	96.595
Importação	41.447	40.866	42.901	40.746	35.906	38.430	40.722	40.334	33.778	34.642
Exportação	-283	-2034	-689	-1080	-1257	-2544	-467	0	-3	-219
Perdas	-70.597	-71.850	-77.082	-79.795	-85.748	-86.676	-94.367	-94.995	-91.759	-93.076
Consumo Total	389.950	412.131	428.250	426.029	464.699	480.968	498.386	516.174	532.559	522.833

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015 (MME/EPE, 2016).

A Figura 1 apresenta o percentual das perdas de energia técnica e comercial das 63 concessionárias de energia ao longo de 2000 à 2015, sendo AT alta tensão, MT média tensão e BT baixa tensão.

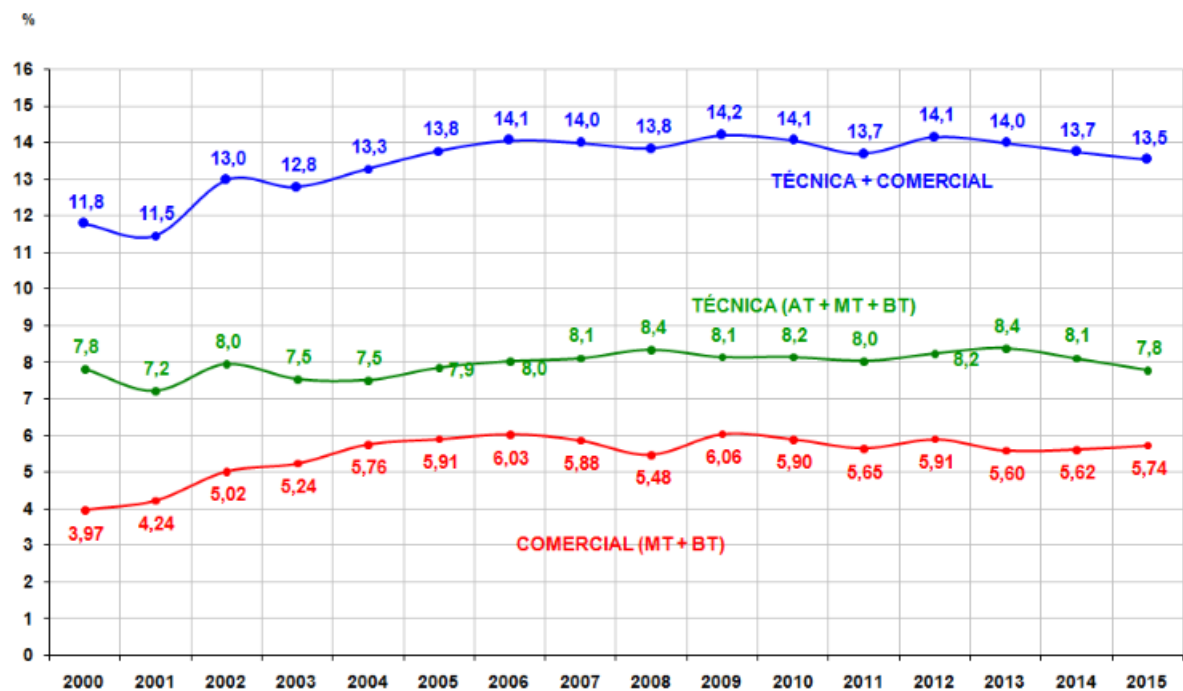


Figura 1 - Percentual de perdas de energia elétrica no sistema global das 63 distribuidoras

Fonte: (ABRADEE, 2015)

A lucratividade das concessionárias está diretamente ligada à infraestrutura disponível para o transporte da energia elétrica, seja em geração, transmissão ou distribuição. Sendo assim, as perdas de energia podem ser vistas como um consumidor que nunca paga sua fatura de energia elétrica, o que significa que a concessionária repassa ao consumidor final esse prejuízo devido as perdas elétricas (LIRA, 2011).

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como o objetivo de estudar as perdas técnicas de energia elétrica quando os alimentadores de distribuição quando estes estiverem operando radialmente e em paralelismo. Para isso o sistema de distribuição constituído por dois alimentadores pertencentes a uma mesma subestação foi implementado no *Matlab/Simulink/SimPowerSystems*, cujas as informações foram obtidas da concessionária que tem a concessão do sistema.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Pesquisar sobre paralelismo de alimentadores de distribuição de energia elétrica;
2. Realizar um estudo sobre as perdas técnicas de energia em sistemas de distribuição de energia elétrica;
3. Analisar o sistema de distribuição a ser utilizado para o trabalho;
4. Realizar simulação computacional das perdas no sistema sugerido;
5. Comparar os resultados das perdas de energia com os alimentadores operando radialmente ou em paralelo;
6. Avaliar o desempenho dos alimentadores sob o ponto de vista operacional.

1.4 MÉTODOS DE PESQUISA

Para se adquirir o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento desse trabalho, inicialmente será realizado o levantamento bibliográfico referente ao tema proposto;

Na sequência o sistema de distribuição contendo os dois alimentadores será implementado no Matlab[®] onde serão realizados os estudos das perdas de energia com os alimentadores operando radialmente e em paralelo. Os resultados obtidos serão analisados e comparados para as posteriores conclusões.

2 PARALESLIMO ENTRE ALIMENTADORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A manobra de paralelismo de alimentadores radiais de distribuição de energia elétrica é uma operação necessária nos sistemas de distribuição das concessionárias de energia elétrica, utilizada para realizar paradas programas de manutenção ou para transferências de cargas (PONCE 2008).

As redes de distribuição podem mudar a topologia dependendo da abertura ou fechamento de chaves de manobra, permitindo isolar faltas e restaurar o fornecimento de energia elétrica em situações de contingências. Além disso, a mudança de topologia permite obter um melhor balanceamento de cargas entre alimentadores, transferindo cargas de alimentadores muito carregados para outros alimentadores menos carregados, melhorando dessa forma os níveis de tensão e reduzindo perdas nos alimentadores e condutores, além de aumentar os níveis de confiabilidade e de qualidade (DFITSCHER, 2012).

O fechamento do anel em curtos períodos de tempo, durante a transferência de carga, pode resultar em um fluxo de corrente na chave de manobra maior que a sua capacidade construtiva, obtendo assim, a redução de problemas durante a sua abertura (SANTOS, 2008).

Em alguns casos extremos, durante o fechamento da chave de manobra pode resultar em um fluxo de corrente excessivo circulando na chave, sendo que o fluxo de corrente pode ser excessivo quando um dos alimentadores for alimentado por um único transformador e outro alimentado por transformadores em paralelo com mesma capacidade (SANTOS, 2008).

Como é apresentado em (HUANG, 2002), (CHEN, 2004) e (SANTOS, 2008), dependendo da localização e da derivação dos alimentadores, as manobras de paralelismo podem ser classificadas como: Tipo I, Tipo II e Tipo III.

2.1 TIPO I

Neste arranjo os dois alimentadores 1 e 2 estão localizados na mesma subestação e são derivados do mesmo transformador de potência, conforme na Figura 2.

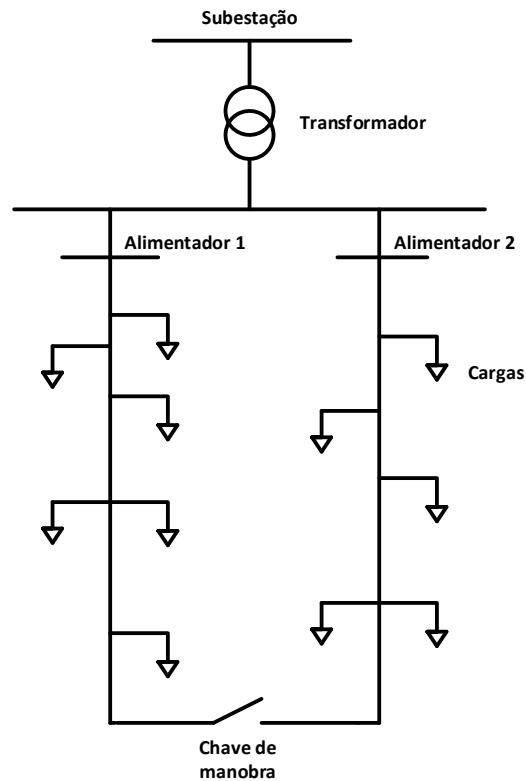


Figura 2 - Arranjo Tipo I
Fonte: autoria própria.

Características:

- Arranjo mais utilizado pelas concessionárias de energia elétrica;
- Manobra mais simples;
- Manobra que possui menores restrições;
- Valor da corrente de circulação na chave de manobra pode ativar os relés de sobrecorrente das proteções, fazendo com que as proteções dos alimentadores atuem.

2.2 TIPO II

Os dois alimentadores 1 e 2 são alimentados por transformadores distintos T_1 e T_2 , localizados na mesma subestação, conforme a Figura 3.

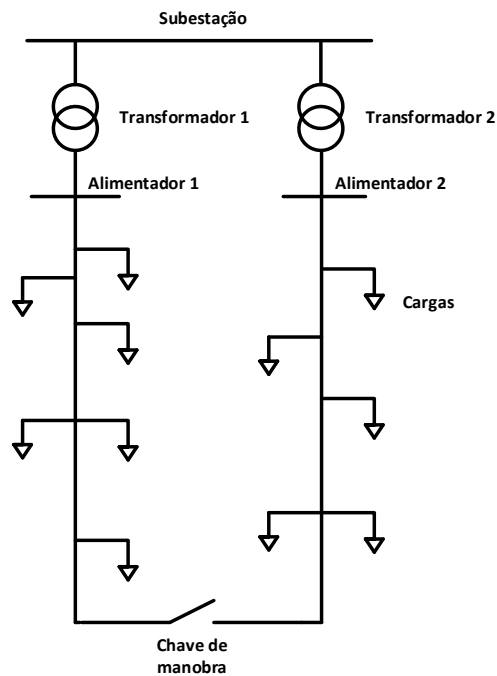


Figura 3 - Arranjo Tipo II
Fonte: autoria própria.

Características:

- Manobra com grau de complexidade maior do que o Tipo I;
- Manobra com pouca execução, devido à falta de controle na segurança.

2.3 TIPO III

Neste arranjo os alimentadores 1 e 2 são derivados de diferentes transformadores T_1 e T_2 , localizados em diferentes subestações S_1 e S_2 , conforme a Figura 4.

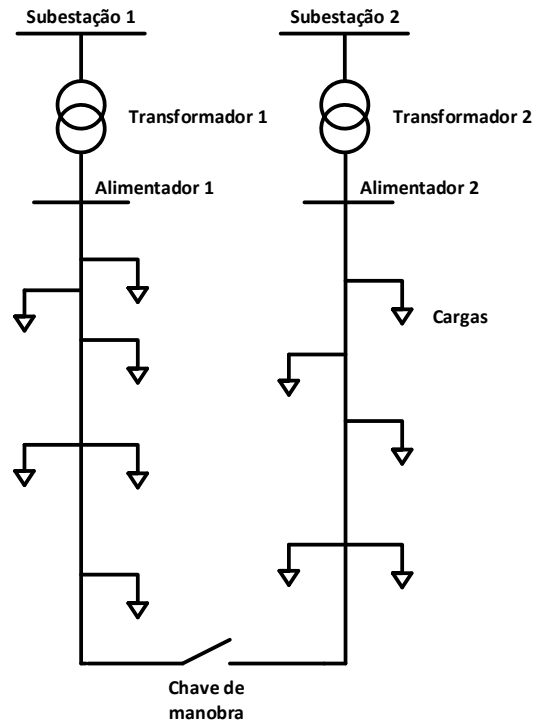


Figura 4 - Arranjo Tipo III
Fonte: autoria própria.

Características:

- Arranjo mais complexo entre eles;
- O sistema deve possuir uma boa operação, ou seja, subestações com características semelhantes;
- Arranjo evitado pelas concessionárias;
- Arranjo também com pouca execução.

Os tipos de arranjos apresentados são normalmente utilizados para transferência de carga com os alimentadores operando em paralelo durante curtos intervalos de tempo. Pois existe a possibilidade que em longos períodos pode provocar um aumento nos índices de interrupção de fornecimento de energia para os consumidores, que devido ao uso de chaves de manobra ocorre o desligamento de ambos os alimentadores caso ocorra um defeito em um deles (SOARES, 2012).

3 PERDAS DE ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A importância da energia elétrica para os consumidores vem desenvolvendo a exigência por parte das concessionárias para obter níveis de qualidade cada vez maiores nos serviços por prestados. Por sua vez, para as concessionárias vem sendo um desafio atender o mercado crescente com um nível mínimo de qualidade (SOARES, 2008).

Para que a energia elétrica produzida seja fornecida ao consumidor final de forma adequada, existem um órgão público que regulamenta as ações das concessionárias, sendo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (OLIVEIRA, 2010).

Os sistemas de medição e o cálculo das perdas na distribuição são dois importantes quesitos analisados pela ANEEL. Em relação às perdas, a agência procura estabelecer um método e procedimentos para definir os indicadores para avaliação das perdas nos segmentos de distribuição de energia elétrica (ANEEL-PRODIST, 2008).

Reduzir essas perdas significa dispor de uma parcela maior da energia comprada que poderá ser faturada, além de fornecer melhorias na qualidade da energia. A preocupação com as perdas de energia elétrica nas concessionárias, sempre mereceu grande atenção. Em relação à origem, as perdas de energia podem ser divididas em perdas técnicas e comerciais (MÉFFE, 2001).

Perdas não técnicas ou comerciais corresponde a energia entregue ao consumidor, porém, não foi contabilizada nos pontos de medição devido a furtos de energia, erros de medição, unidades consumidoras sem equipamentos de medição, entre outros (PAVAN, 2010).

As perdas técnicas correspondem a quantidade de energia elétrica dissipada entre o suprimento de energia até os pontos de conexão nas instalações das unidades consumidoras, ou seja, inerentes ao processo. Estas perdas estão relacionadas com as perdas por efeito Joule, perdas magnéticas (transformadores) e perdas dielétricas (isoladores) que afetam diretamente os seguintes equipamentos (PAVAN, 2010):

- Transformadores;
- Sistemas supervisórios;

- Relés fotoelétricos;
- Capacitores;
- Medidores;
- Isoladores;
- Cabos;
- Chaves;
- Equipamentos auxiliares.

Como as perdas técnicas são inerentes ao sistema, não podem ser eliminadas. Busca-se, portanto, ações para redução dessas perdas. Porém, o melhor termo a ser utilizado seria a otimização das perdas técnicas. Normalmente, as concessionárias buscam o investimento que alcance os melhores resultados na redução das perdas (OLIVEIRA, 2009).

Estas razões tornam a análise dos cálculos de perdas técnicas um tema de investigação atual. Estudos de avaliação de perdas em distribuição possam fornecer subsídios para planos de ações que visem a minimização das perdas técnicas e a eliminação das comerciais, bem como na busca de fornecer energia de qualidade. O fornecimento inadequado de energia pode levar a empresa a sofrer eventuais penalidades impostas ANEEL, causando, sobretudo, prejuízos financeiros (LIMA, 2004) (KAGAN, 2005).

De acordo com Méffe (2011), pode-se estabelecer uma estimativa do nível de perdas técnicas de energia em cada segmento do sistema elétrico. A Tabela 2 apresenta o nível de perdas de energia estimado em cada segmento em porcentagem do total de energia requerida pelo sistema e da porcentagem do total das perdas técnicas de energia.

Tabela 2 - Nível de Perdas de Energia Elétrica

Segmento	Faixa esperada (%)	
	Do total de perdas	Do total de energia
Sistema de alta tensão	16-25	1,5-2
Subestação de distribuição	9-17	0,5-1
Rede primária	15-30	0,5-2,5
Transformador de distribuição	15-55	1-2
Rede secundária	3-30	0,1-2
Ramal de ligação	0,5-6	0,05-0,2
Medidor de energia	3-7	0,2-0,4
Outros	5-11	0,2-0,8

Fonte: Adaptado de (MÉFFE, 2011).

Com os valores da Tabela 2 pode-se ter uma projeção dos valores de perdas técnicas de energia que poderão ser encontrados em cada segmento do sistema de distribuição de energia elétrica, mostrando assim, de que a rede primária (13,8 kV) correspondem de até 30% do total das perdas de energia.

4 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesse capítulo será detalhado a escolha da subestação e dos alimentadores primários. As condições necessárias para a execução dos estudos foram encontradas em (SOARES, 2012), sendo como base para o desenvolvimento deste trabalho representado na Figura 5.

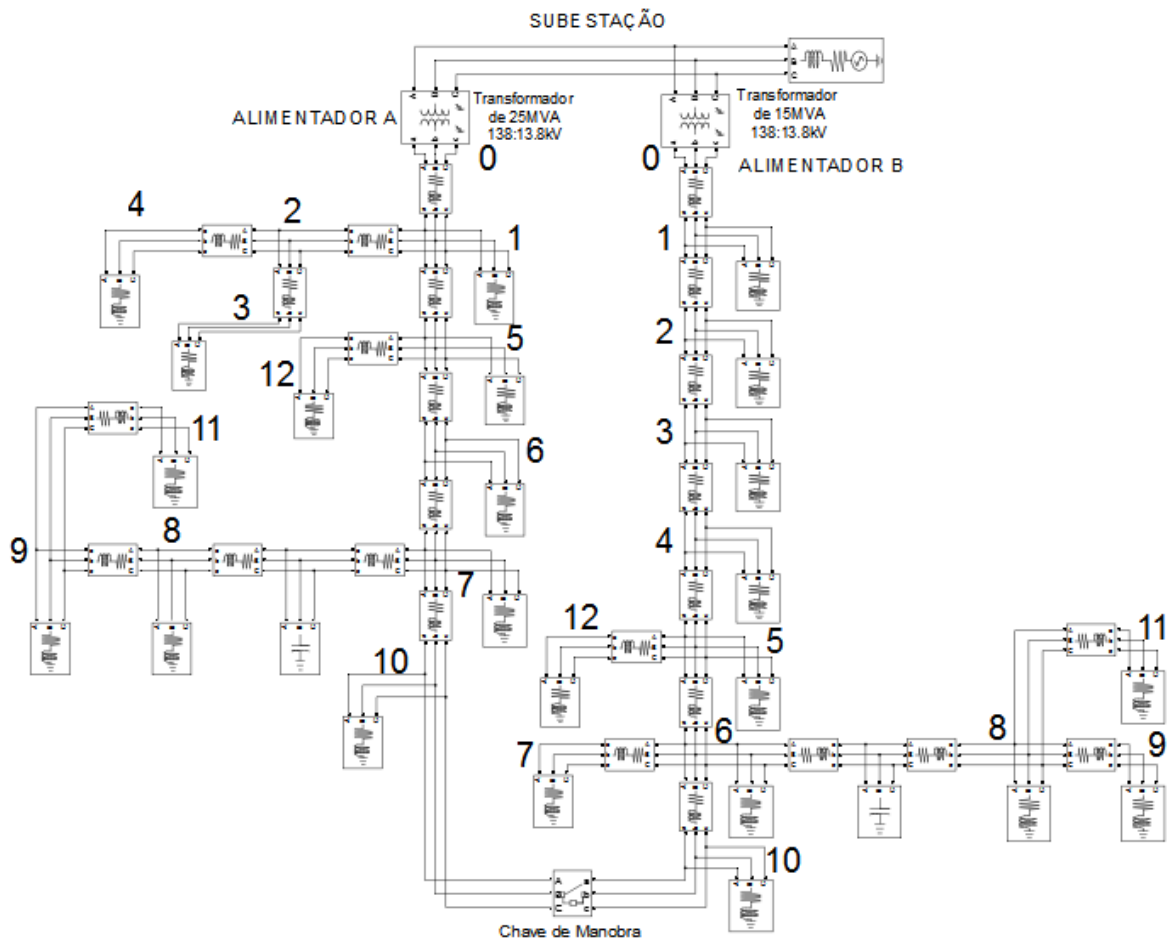


Figura 5 - Modelo do sistema implementado no *Matlab/Simulink*
 Fonte: Adaptado de (SOARES, 2012).

O sistema de distribuição de energia elétrica apresentado na Figura 5, é constituído por dois alimentadores A e B, possuindo transformadores de 25 e 15 MVA, respectivamente, com tensões iguais, no caso, 138:13,8 kV. Os alimentadores estão situados na mesma subestação, ou seja, possuem um arranjo do Tipo II, como apresentado no Capítulo 2.

O modelo da Figura 5 foi implementado com base nos parâmetros apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6, que representam os dados reais dos transformadores e parâmetros das cargas.

Para melhor visualização dos parâmetros das linhas o sistema da Figura 5 foi dividido em quatro blocos, como pode ser observado na Figura 6.

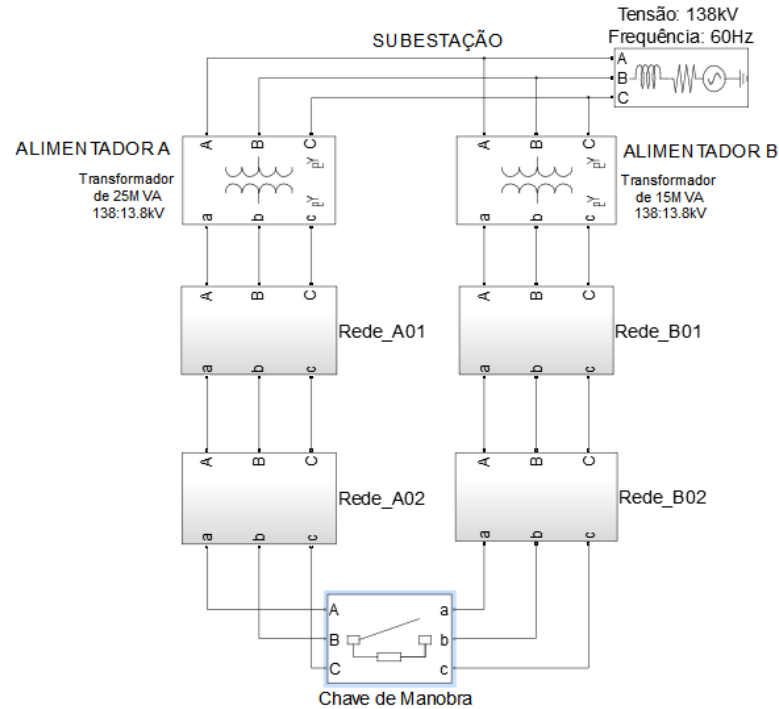


Figura 6 - Sistema proposto em subsistemas
Fonte: Autoria própria.

Cada subsistema mostrados nas Figuras 7, 8, 9 e 10 possuem os parâmetros das linhas e das cargas de cada alimentador.

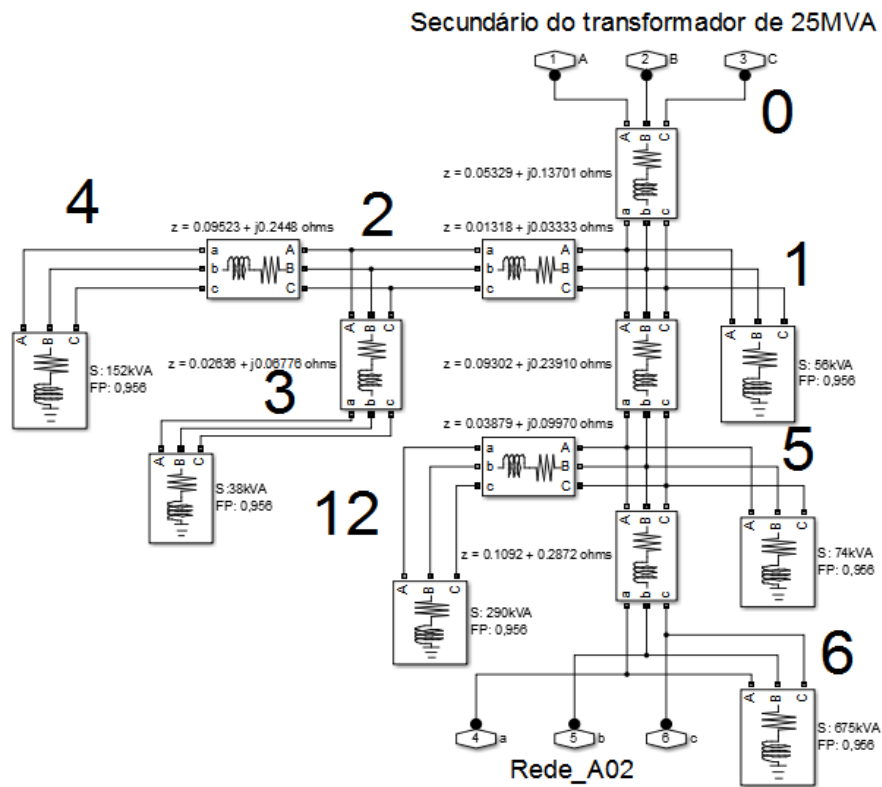


Figura 7 - Subsistema Rede_A01
 Fonte: Autoria própria

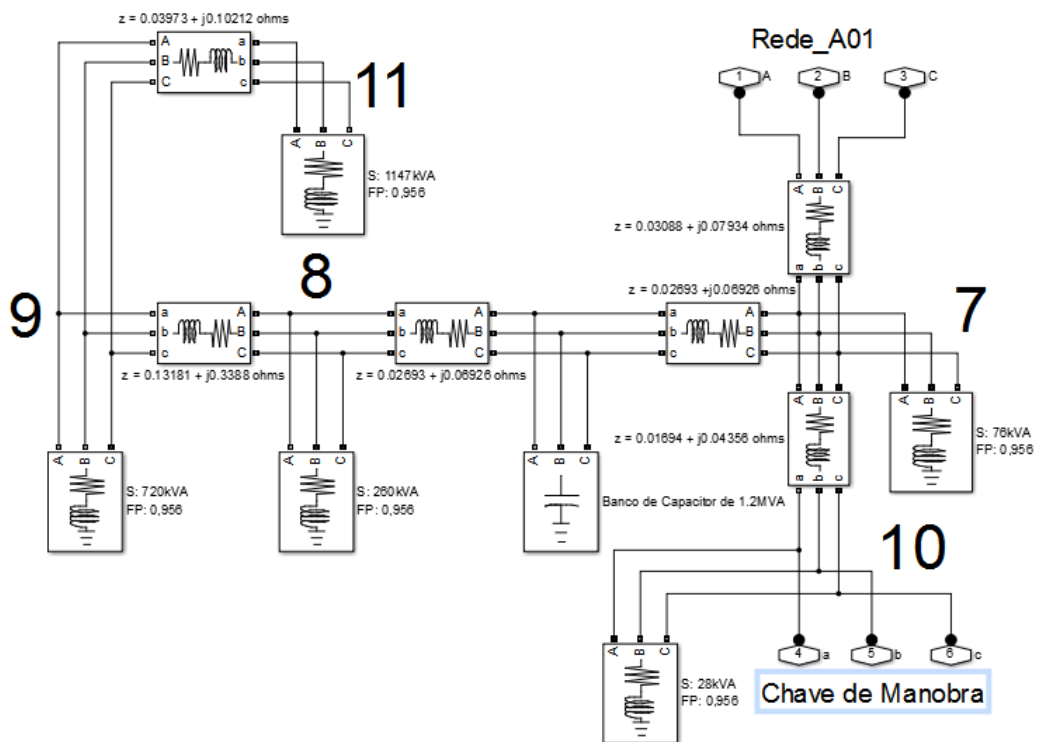


Figura 8 - Subsistema Rede_A02
 Fonte: Autoria própria.

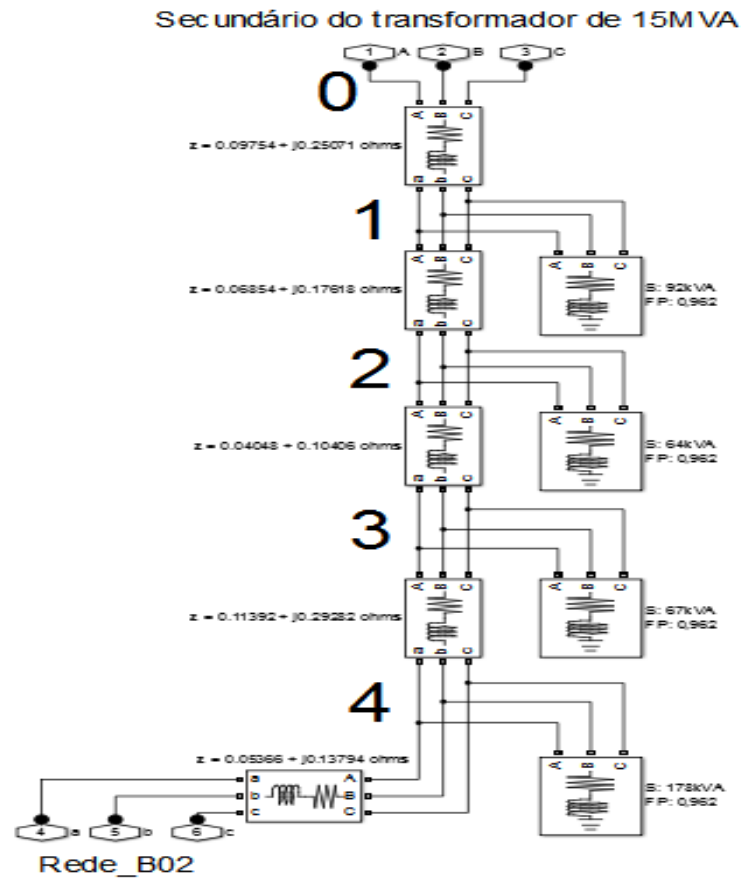


Figura 9 - Subsistema Rede_B01
 Fonte: Autoria própria.

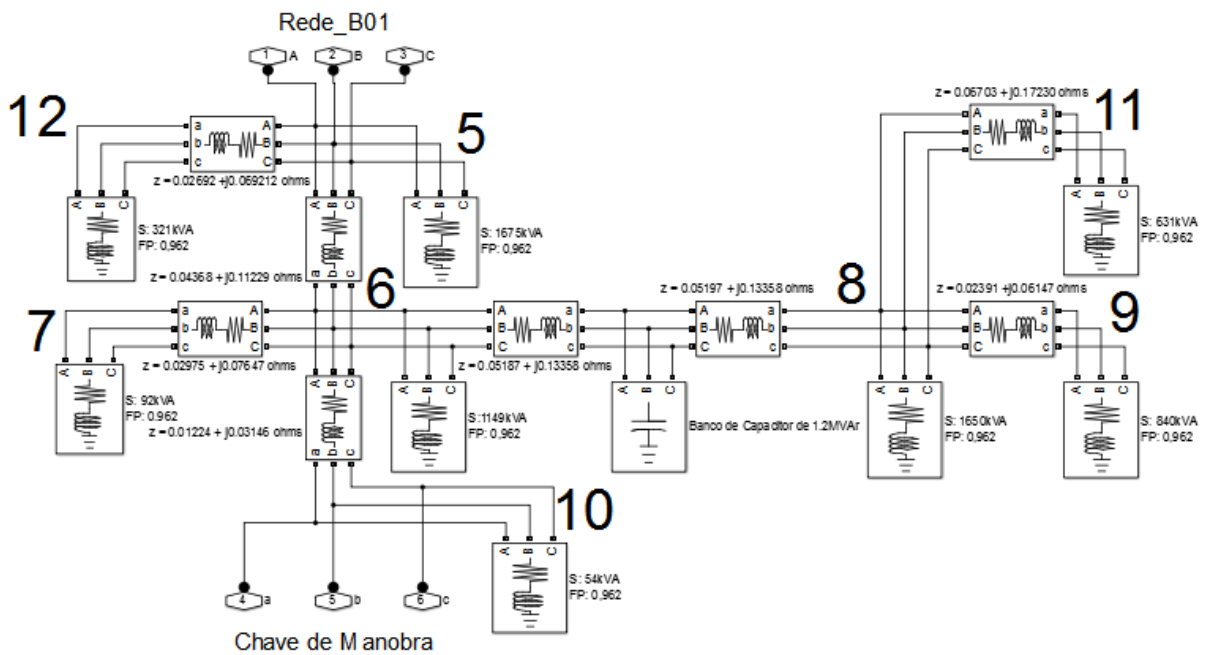


Figura 10 - Subsistema Rede_B02
 Fonte: Autoria própria.

As cargas dos alimentadores A e B mostradas nas Figuras 7, 8, 9 e 10 utilizadas nas simulações são baseadas no bloco “*Three-phase Series RLC Load*” de acordo com a Figura 11.

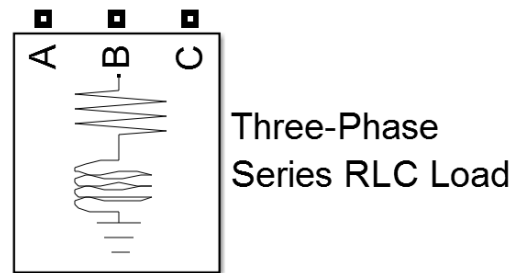


Figura 11 - Modelo de carga utilizada nas simulações

Fonte: MATLAB.

As impedâncias das linhas mostradas nas Figuras 7, 8, 9 e 10 utilizadas nas simulações são baseadas no bloco “*Three-phase Series RLC Branch*” de acordo com a Figura 12.

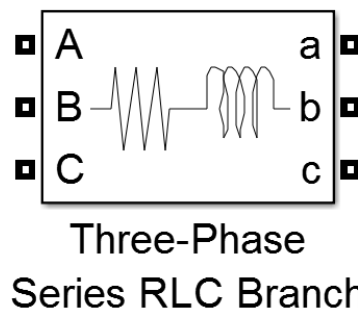


Figura 12 - Modelo de impedância das linhas de distribuição de energia elétrica

Fonte: MATLAB.

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS ALIMENTADORES

O sistema apresentado na Figura 5 é uma rede de distribuição radial, através de dois alimentadores (A e B), derivados de dois transformadores, localizados na mesma subestação.

Estes alimentadores apresentam característica semelhantes, pois suprem na maioria cargas residenciais e ambos apresentam um banco de capacitores de 1,2 MVar, com uma chave de manobra entre os alimentadores (normalmente aberta).

A Tabela 3 apresenta as características do alimentador A, além de contar com um fator de potência é de 0,956 (em todos os pontos). No ponto 00 possui um cabo de diâmetro de 240 mm² e o restante dos pontos possui cabo de CC (condutores de cobre) - 4/0 AWG.

Tabela 3 - Parâmetros do Alimentador A.

Ramo	Ponto	Potência Instalada (kVA)	Máxima Demanda (kVA)	Comprimento (m)
SE-00	00	-	-	30
00-01	01	75,0	56,0	283
01-02	02	0,0	0,0	70
02-03	03	45,0	38,0	140
02-04	04	225,0	152,0	506
01-05	05	345,0	74,0	494
05-06	06	5038,0	675,0	580
06-07	07	645,0	76,0	164
07-08	08	1763,0	260,0	143
08-09	09	4850,0	720,0	700
07-10	10	150,0	28,0	90
09-11	11	6012,0	1147,0	211
05-12	12	1762,0	290,0	206

Fonte: adaptado de (SOARES 2012).

A Tabela 4 retrata as características do alimentador B, além de contar com um fator de potência é de 0,962 (em todos os pontos). No ponto 00 tem um cabo de CA – 336 AWG e o restante dos pontos tem um cabo de CC – 4/0 AWG.

Tabela 4 - Parâmetros do Alimentador B.

Ramo	Ponto	Potência Instalada (kVA)	Máxima Demanda (kVA)	Comprimento (m)
SE-00	00	-	-	30
00-01	01	112,5	92,0	518
01-02	02	75,0	64,0	364
02-03	03	90,0	67,0	215
03-04	04	825,0	178,0	605
04-05	05	5388,0	1675,0	285
05-06	06	4800,0	1149,0	232
06-07	07	675,0	64,0	158
06-08	08	10584,0	1650,0	276
08-09	09	6430,0	840,0	127
06-10	10	225,0	54,0	65
08-11	11	4957,0	631,0	356
05-12	12	1375,0	321,0	143

Fonte: adaptado de (SOARES, 2012).

Para cálculo da impedância do condutor de cada trecho do alimentador foi utilizada a Equação 1.

$$z = \text{Impedância do cabo} \cdot L \quad (1)$$

Em que:

Impedância de sequência Positiva do cabo de cobre 4/0 equivale a (0.1883+j0.4084) Ω/km (MAMEDE, 2003).

L o comprimento da linha em quilômetros (km).

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS TRANSFORMADORES

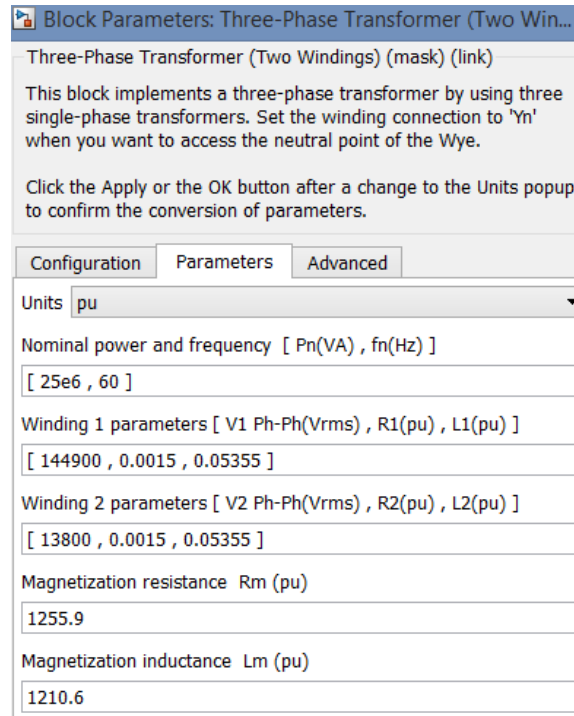
Na implementação do sistema considera-se um transformador de 25 MVA e outro de 15 MVA, sendo apresentadas as informações técnicas de acordo com as Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 - Dados Nominais e valores das resistências e reatâncias do transformador A.

Dados	Valor
Potência	25 MVA
Tensão de entrada	144,9 kV
Tensão de saída	13,8 kV
Corrente de entrada	99,61 A
Corrente de saída	1045,92 A
Ligação	Yyd
r_{cc}	0,0030 pu
X_d	0,1071 pu
r_{fe}	1255,9 pu
X_m	1210,6 pu

Fonte: Adaptado de (SOARES, 2012).

Na Figura 10 mostra os dados inseridos no bloco do transformador trifásico de 25 MVA no *SimPowerSystems* com os parâmetros utilizados da Tabela 5.



**Figura 13 - Interface do transformador de 25 MVA.
Fonte: MATLAB.**

A Tabela 6 apresenta os parâmetros do transformador de 15 MVA do alimentador B.

A interface é utilizada para inserir os parâmetros do transformador no *SimPowerSystems*.

Tabela 6 - Dados nominais e valores das resistências e reatâncias do transformador B

Dados	Valor
Potência	15 MVA
Tensão de entrada	144,9 kV
Tensão de saída	13,8 kV
Corrente de entrada	59,77 A
Corrente de saída	627,55 A
Ligação	Yyd
r_{cc}	0,0048 pu
X_d	0,0861 pu
r_{fe}	634,9 pu
X_m	159 pu

Fonte: Adaptado de (SOARES, 2012).

Na Figura 14 mostra a interface do transformador trifásico de 15 MVA no *SimPowerSystems* com os parâmetros mostrados na Tabela 6.

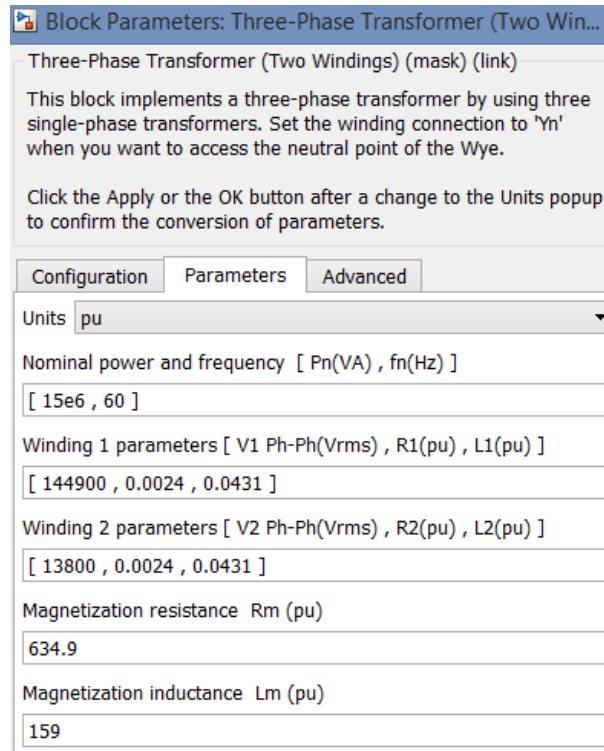


Figura 14 - Interface do transformador de 15 MVA
Fonte: MATLAB.

As Figuras 15 e 16 apresenta as correntes no secundário do transformador de 25 MVA e 15 MVA, respectivamente.

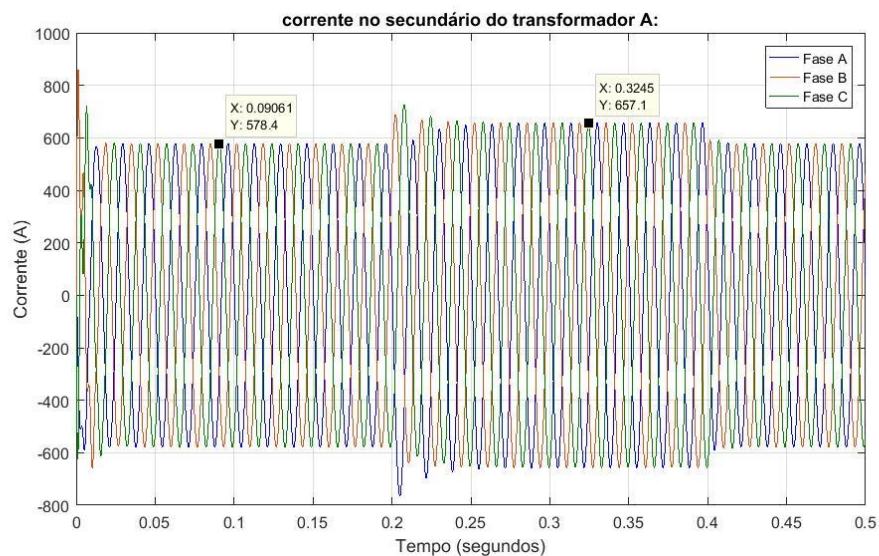


Figura 15 - Corrente no secundário do transformador de 25 MVA
Fonte: Autoria própria.

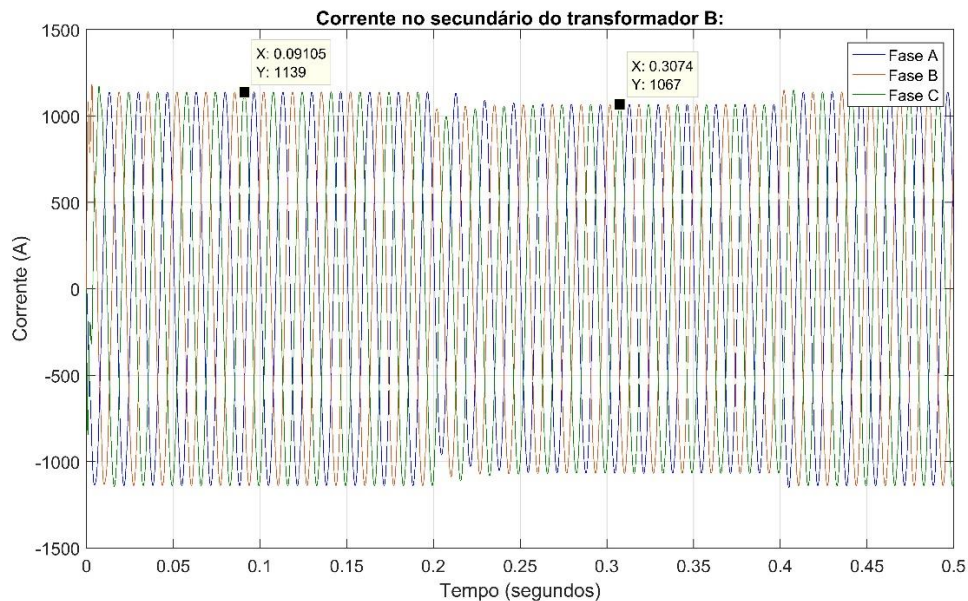


Figura 16 - Corrente no secundário do transformador de 15 MVA
Fonte: Autoria própria.

De acordo com as Figuras 15 e 16, apresentam a variação da corrente em relação à abertura e fechamento da chave de manobra, no caso, no sistema proposto utilizaram-se os seguintes tempos de abertura e fechamento da chave:

- 0 a 0,1999 segundos a chave de manobra está aberta, consequentemente o sistema está radial;
- No instante de 0,2 segundos ocorre o fechamento da chave de manobra, fazendo com que os alimentadores A e B estejam em paralelo (o sistema se mantém em paralelo até 0,3999 segundos);
- Em 0,4 segundos a chave de manobra abre, fazendo com que o sistema volte para o estado inicial, ou seja, com os alimentadores retornando a operar de forma radial.

De acordo com os resultados das correntes nos secundários dos transformadores de 15 e 25 MVA, nas Figuras 15 e 16, que, durante o período em que os alimentadores estão operando em paralelo (chave de manobra fechada), ocorre uma redistribuição no fluxo de carga entre os alimentadores, que neste caso, resulta numa redução na solicitação de corrente do transformador de 15 MVA, sendo que ocorre devido o transformador de 25 MVA possuir maior potência e não estar sobrecarregado assume, durante o período em que os alimentadores estão em

paralelo, parte da carga do transformador de 15 MVA, fazendo que diminua seu carregamento um período de tempo.

A Figura 16, apresenta a operação em paralelo, em que o alimentador B sofre um alívio de carga, fazendo com que diminuam as correntes que circulam no alimentador B, causando maiores níveis de tensão no alimentador B.

As Figuras 17 e 18 correspondem às tensões no secundário do transformador de 25 MVA e 15 MVA, respectivamente.

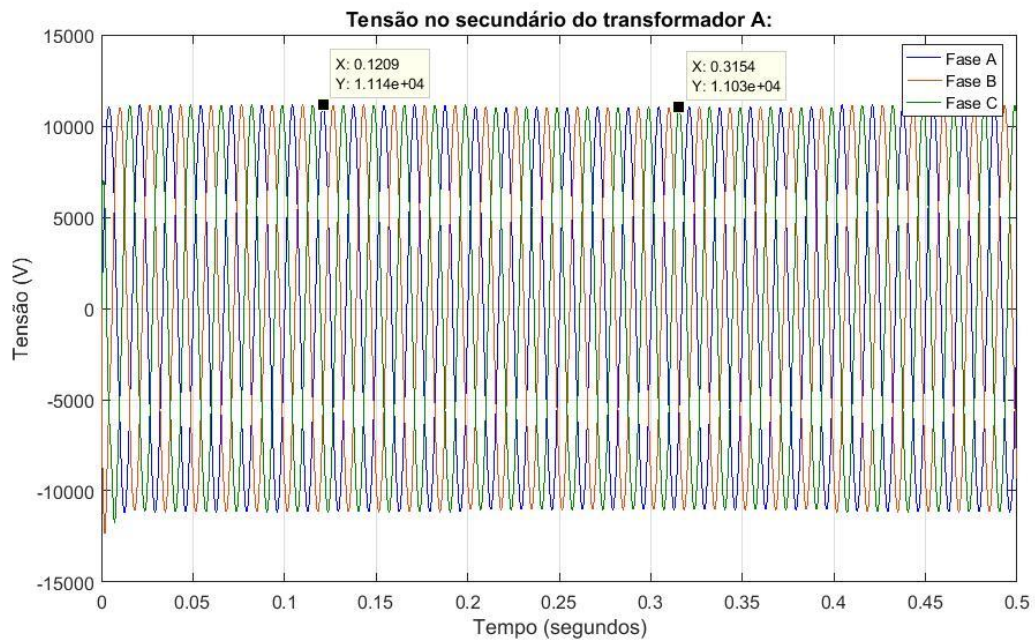


Figura 17 - Tensão no secundário do transformador de 25 MVA.
Fonte: Autoria própria.

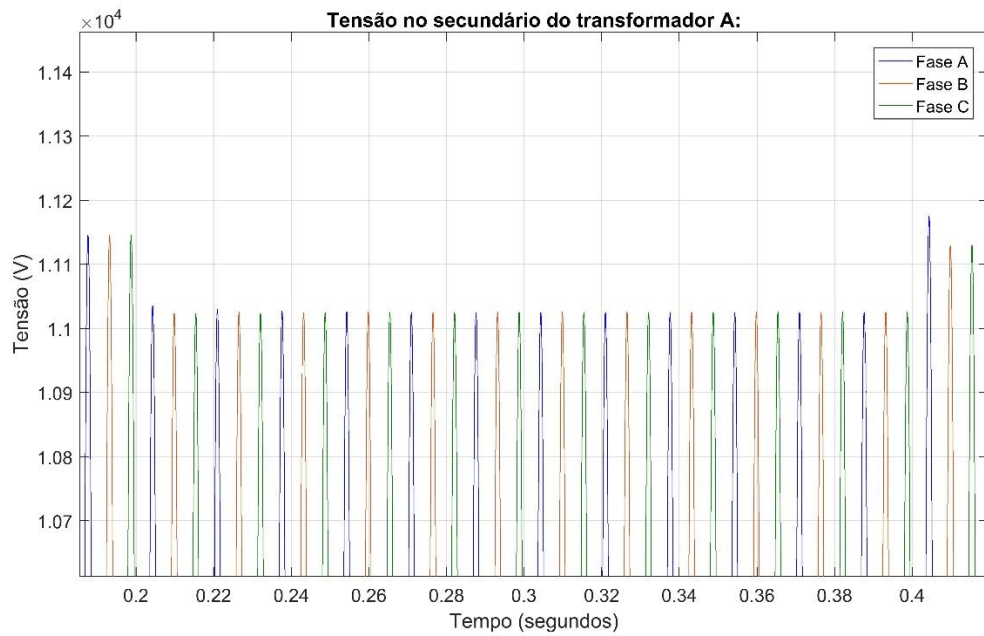


Figura 18 - Detalhe da tensão no secundário do transformador de 25 MVA.
Fonte: Autoria Própria.

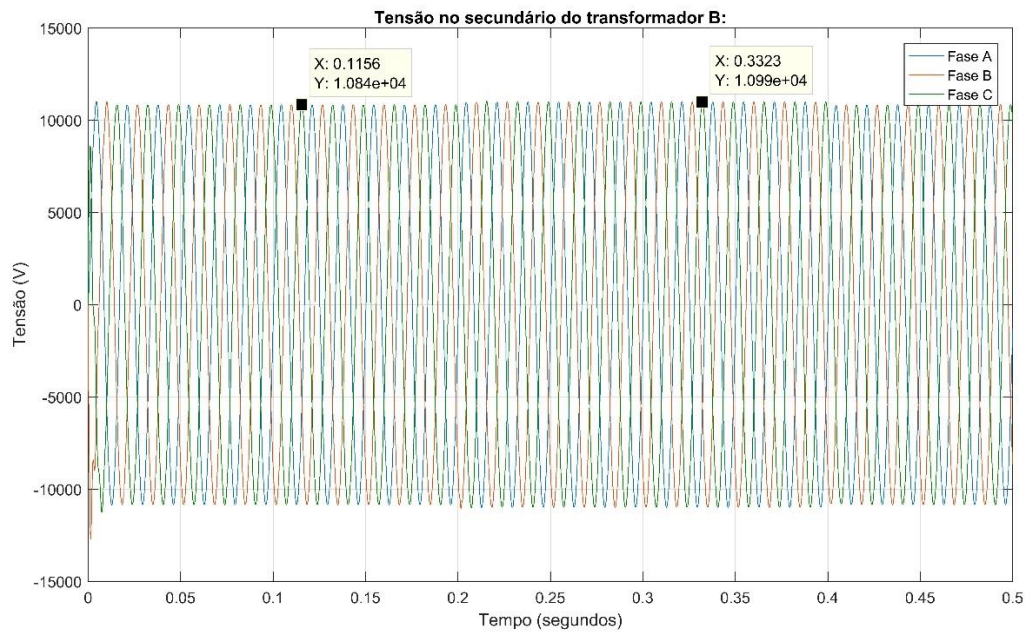


Figura 19 - Tensão no secundário do transformador de 15 MVA.
Fonte: Autoria Própria.

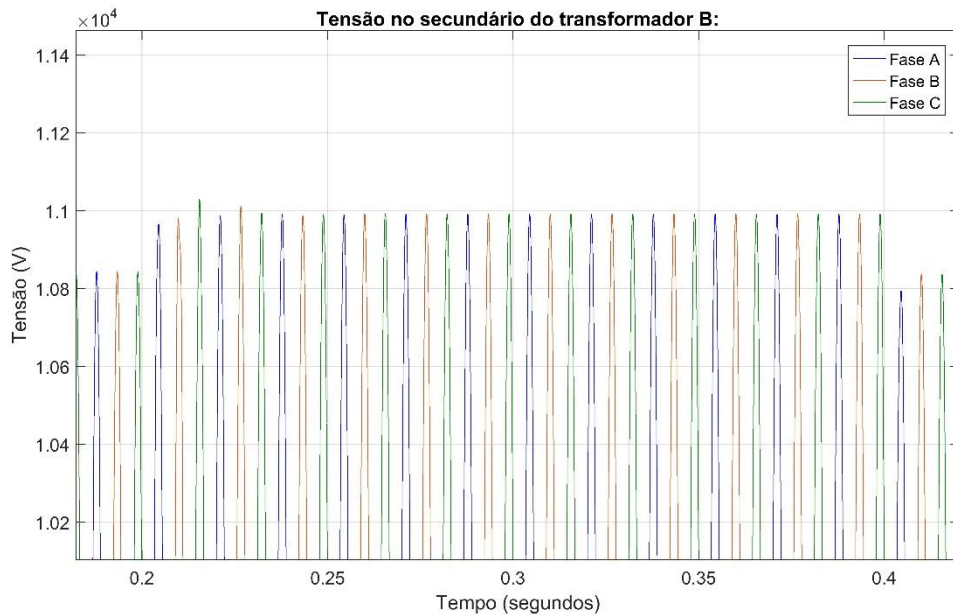


Figura 20 - Detalhe da tensão no secundário do transformador de 15 MVA.
Fonte: Autoria Própria.

De acordo com as Figuras 17 e 19, o alimentador de 15 MVA, nota-se justamente o oposto do que aconteceu na alimentador de 25 MVA. Assim, quando os alimentadores passam a operar em paralelo, ocorre um aumento nos níveis de tensão do alimentador de 15 MVA, demonstrada os detalhes da tensão na Figura 20.

Nas Figuras 18 e 20 mostra os níveis de tensões em cada alimentador, de acordo com as figuras os níveis de tensão são abaixo do valor aproximada de 13,8 kV, isto de fato ocorre que o bloco do transformador do programa calcula os valores das tensões de outra forma, obtendo assim valores diferentes.

4.3 CHAVE DE MANOBRA

Atualmente os sistemas de distribuição de energia elétrica tem frequentemente realizado expansão do sistema, que são caracterizados por maiores densidade de demanda em consequência maior carga por quilômetro de rede, mais interconexões e ramificações, obtendo assim, uma crescente demanda e em busca de qualidade do sistema (OLIVEIRA, 2009).

A chave de manobra é utilizada para minimizar as interrupções de fornecimento de energia elétrica e facilitar o religamento após uma interrupção, bem como realizar

manutenções corretivas/programadas e por fim promover transferência de carga entre os alimentadores por curto período de tempo (MÉFFE, 2001), (OLIVEIRA, 2009).

As simulações mostram um tempo de simulação de 0,5 segundos, a chave de manobra com duas transições, partindo da posição aberta (na primeira etapa a 0,2 segundos a chave de manobra é fechada e os alimentadores passam a operar em paralelo, na segunda etapa a 0,4 segundos a chave de manobra é aberta, voltando a configuração radial).

As Figuras 21 e 22 representam os valores de corrente e tensão na chave de manobra, respectivamente.

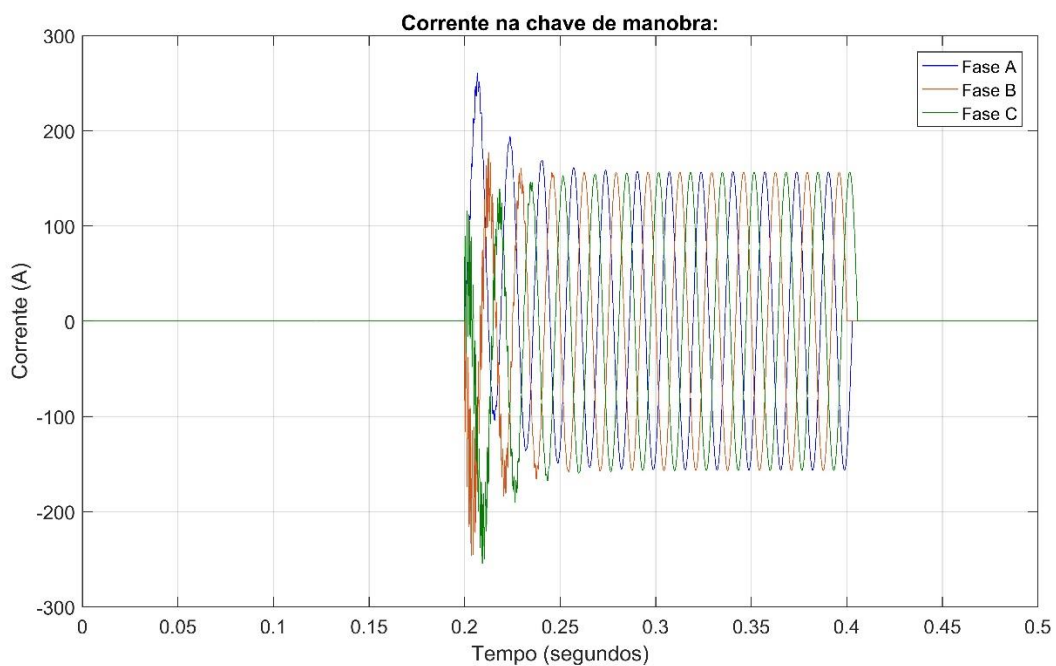


Figura 21 - Corrente na chave de manobra.
Fonte: Autoria Própria.

Pela análise dos resultados das simulações das correntes na chave de manobra, na Figura 21, observa-se que, no fechamento da chave em 0,2 segundos surgem, sobrecorrentes nas três fases com valores instantâneos de aproximadamente 250 A, sendo que esses valores são esperados devidos que são inerentes à manobra de chaveamento (ARAUJO 2005).

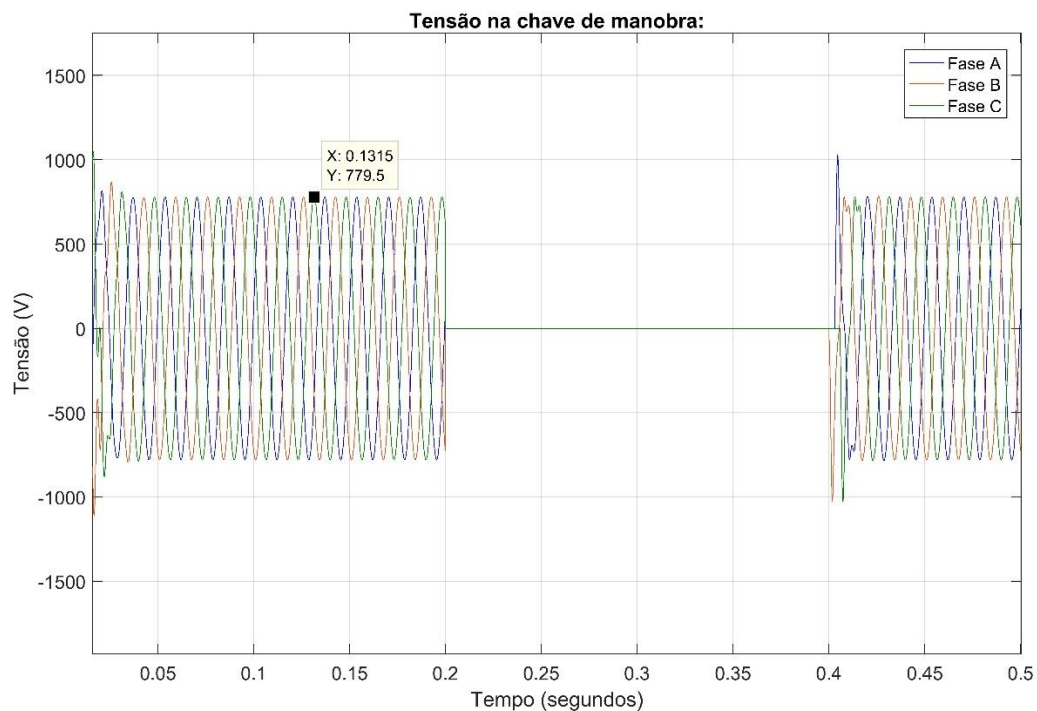


Figura 22 - Tensão na chave de manobra.
Fonte: Autoria própria.

A análise das tensões na chave de manobra como mostrado na Figura 22, pode-se observar que na reabertura da chave de manobra em 0,4 segundos, ocorreram sobretensões nas três fases com valores instantâneos de aproximadamente 1000 V, sendo que estes valores são devidos a presença do banco de capacitores de 1,2 MVAR próximo a chave de manobra nos dois alimentadores (SOARES, 2012).

As sobretensões e sobrecorrentes em manobras ocorrem sempre que há uma mudança na configuração dos sistemas elétricos. Essas mudanças podem ser provocadas por operações de chaveamento, variações de carga, rupturas de isolamento, entre outras. Apesar de em alguns casos, as sobretensões de manobra serem previsíveis, elas são sempre indesejáveis, por diminuírem a qualidade da energia, reduzirem a vida útil dos equipamentos elétricos (CARDOSO, 2009).

Na Figura 23 apresenta as tensões na chave de manobra sem os bancos de capacitores de 1,2 MVAR.

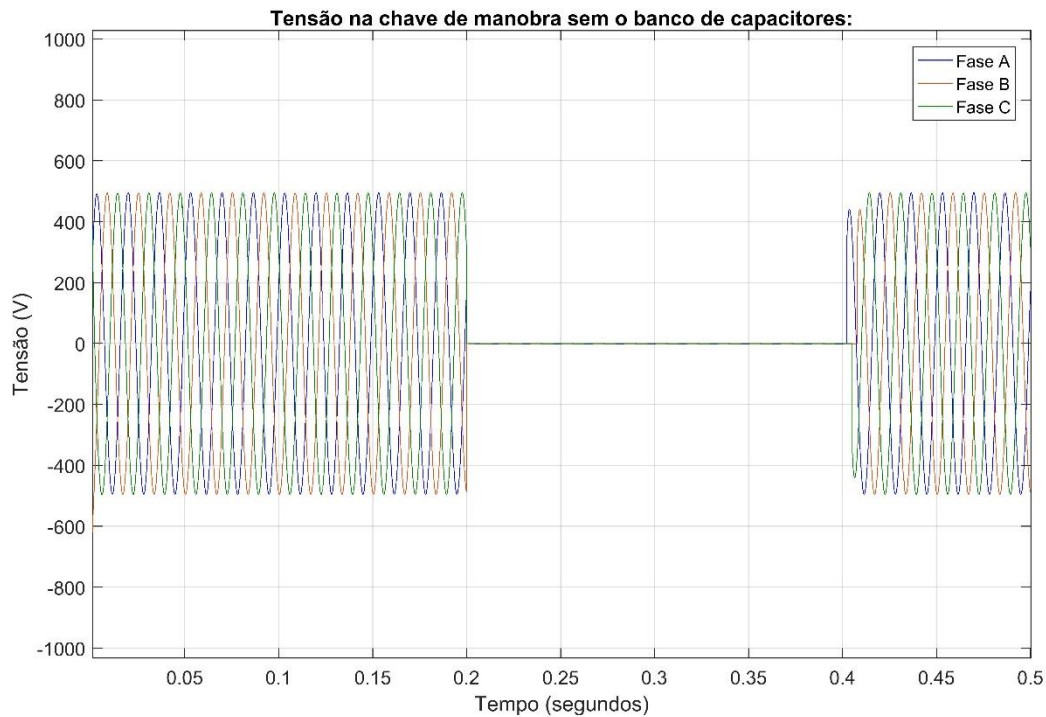


Figura 23 - Tensão na chave de manobra sem o banco de capacitores

Fonte: Autoria própria.

Comparando as Figuras 22 e 23 de que o banco de capacitor tem a função de elevar as tensões cerca de 100V e em contrapartida, possui elevados níveis de tensão no momento da abertura da chave de manobra (transitório).

4.4 MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Como pode ser observado na Figura 24, os medidores de energia ativa e reativa são compostos por um medidor trifásico, da biblioteca do *SimPowerSystems*, ligado em série com um ramo da rede, obtendo assim as correntes I_{ABC} e as tensões V_{ABC} trifásicas em cada ramo do sistema. Em seguida, obteve-se o valor RMS da corrente de uma fase e as perdas técnicas foram calculadas da mesma maneira que na Equação (4). Através desses valores foi utilizado um medidor de potência ativa e reativa obtido na biblioteca do *SimPowerSystems*, que calcula os valores da potência P e potência reativa Q do ramo, expresso na equação (2) e (3).

$$P = (V_a \cdot I_a \cdot \cos \varphi a) + (V_b \cdot I_b \cdot \cos \varphi b) + (V_c \cdot I_c \cdot \cos \varphi c) \quad (2)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot [((V_b - V_c) \cdot I_a \cdot \sin \varphi a) + ((V_c - V_a) \cdot I_b \cdot \sin \varphi b) + ((V_a - V_b) \cdot I_c \cdot \sin \varphi c)] \quad (3)$$

Em que:

V_A , V_B e V_C tensões instantâneas de cada fase;

I_A , I_B e I_C correntes instantâneas de cada fase;

V_{AB} , V_{BC} e V_{CA} tensões instantâneas de linha (MATHEWORKS, 2003).

No cálculo das perdas de energia nos ramos é utilizado a Equação (4) utilizando o valor eficaz da corrente de uma das fases.

$$Perdas_{ij} = 3 \cdot R_{ij} \cdot I_{ij}^2(t) \quad (4)$$

Em que:

I corrente no ramo da rede entre os nós i e j no instante t ;

R resistência elétrica do ramo da linha entre os nós i e j ;

Além dos elementos do sistema nas Figura 11 e 12, na Figura 24 apresenta os blocos entre os ramos das linhas dos alimentadores (estes blocos são subsistemas onde são realizados os cálculos das potências ativa e reativa e das perdas de energia).

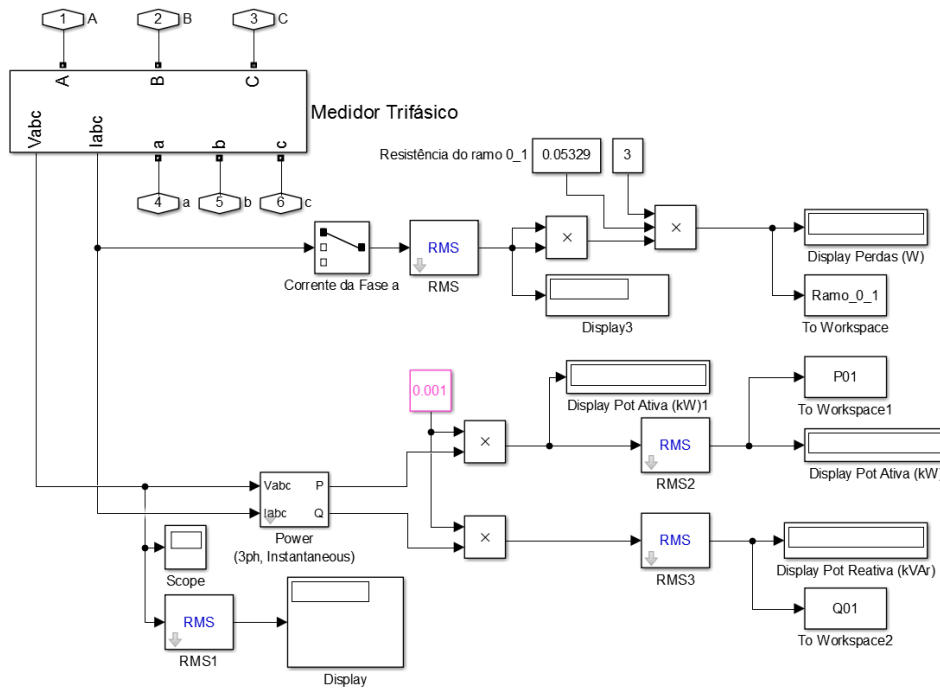


Figura 24 - Subsistema de cálculo das perdas e as potências ativa e reativa
Fonte: Autoria própria.

O medidor trifásico está conectado em série com um ramo da rede, foram obtidas as correntes (I_{ABC}) e as tensões (V_{ABC}) trifásicas deste ramo. Com estes valores de I_{ABC} e V_{ABC} foi utilizado um medidor de potência ativa e reativa.

5 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise e os cálculos de potência ativa e reativa, bem como as perdas técnicas do sistema, neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos pela simulação no *SimPowerSystems*.

Devem ser feitas as seguintes considerações sobre a implementação do sistema no *SimPowerSystems*:

- Os ramos do sistema de distribuição foram representados somente por seus parâmetros série porque as redes de distribuição são linhas curtas.
- Não foi considerada a presença de cargas não lineares no sistema.

A Tabela 7 contém os valores das perdas do alimentador A operando com a chave de manobra aberta, e a Tabela 9 mostra os valores para o sistema operando e paralelismo.

Tabela 7 – Alimentador de 25 MVA operando radialmente

Alimentador A					
Ramo	Perdas (W)	P (kW)	Q (kVAr)	Corrente (A)	Tensão (kV)
00-01	26746,45	14077,40	8953,54	409	13,60
01-02	21,79	651,3	701,8	23,48	13,59
02-03	1,745	130,5	140,5	4,698	13,59
02-04	100,7	521,3	560,2	18,78	13,58
01-05	40231,17	13458	7516,37	379,7	13,53
05-12	148,1	986	1060	35,67	13,52
05-06	37290,57	12429,41	5694,46	337,4	13,51
06-07	6390,29	10175,71	3150	262,6	13,52
07-08	5359	6883	7826	257,5	13,49
08-09	20136,25	6116	6616	225,7	13,31
09-11	2287	3758	4039	138,5	13,28
07-10	0,6025	95,14	102,22	3,443	13,52
10-CH	0,00	0,02185	0,0049	-	13,52
Total (kW)	138,713	69,281	46,360		

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 – Alimentador de 15 MVA operando radialmente

Alimentador B					
Ramo	Perdas (W)	P (kW)	Q (kVAr)	Corrente (A)	Tensão (kV)
00-01	189932,64	24540,68	20042,49	805,7	13,11
01-02	129877,58	24229,29	19301,90	794,8	12,99
02-03	75265,17	24017,65	18840,59	787,3	12,92
03-04	207635,04	23787,53	17932,34	779,5	12,74
04-05	92756,98	23230,70	17058,93	759,1	12,66
05-12	110,2	976,9	1006	36,94	12,65
05-06	37350,09	17151,12	10675,98	533,9	12,61
06-07	4,811	193,5	199,3	7,342	12,61
06-08	26167,18	10724,06	11051,03	409,7	12,53
08-09	656,7	2504	2579	95,68	12,52
08-11	1038	1879	1936	71,84	12,52
06-10	1,409	163,3	168,2	6,194	12,61
10-CH	0,00	0,02049	0,004	-	12,61
Total (kW)	760,795	153,397	120,791		

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 7 e 8, quando os alimentadores estão operando radialmente o alimentador B possui valores de potência ativa e reativa maiores do que o alimentador A, isto de fato ocorre de que à maior demanda requerida pelas cargas no alimentador B. Em decorrência, as perdas neste alimentador também são maiores.

Além disso, o transformador de 15 MVA, do alimentador B opera com um carregamento maior do que o transformador de 25 MVA, do alimentador A. Já que o transformador de 25 MVA opera com um carregamento menor que 50% da sua potência aparente nominal (SOARES, 2012).

As Tabelas 9 e 10 apresentam os valores das perdas do alimentador A e o alimentador de B operando com a chave de manobra fechada, respectivamente.

Tabela 9 - Alimentador de 25 MVA operando em paralelo
Alimentador A

Ramo	Perdas (W)	P (kW)	Q (kVAr)	Corrente (A)	Tensão (kV)
00-01	34503,2	13287,60	13063,49	464,6	13,37
01-02	21,08	629,8	678,7	23,09	13,37
02-03	1,688	126,2	135,6	4,62	13,37
02-04	97,43	504,1	541,8	18,47	13,36
01-05	52732,68	12766,13	11492,15	434,7	13,17
05-12	140,3	934,1	1004	34,72	13,16
05-06	50167,96	11874,22	9571,37	391,3	12,99
06-07	9050,95	9807	7177	312,6	12,96
07-08	4924	6325	7191	246,9	12,93
08-09	18504,11	5620	6080	216,3	12,76
09-11	2101	3454	3711	132,8	12,73
07-10	653,7	547,2	4367,1	113,4	12,94
10-CH	0,00	460,1	4274	110,8	12,95
Total (kW)	172,898	66,335	69,287		

Fonte: A autoria própria.

Conforme pode ser observado na Tabela 9, operando com a chave de manobra fechada, analisando o sistema em regime permanente, após se estabilizarem os fluxos de potência ativa e reativa, as perdas de energia elétrica no alimentador A são levemente maiores quando comparadas com este alimentador operando radialmente.

Tabela 10 – Alimentador de 15 MVA operando em paralelo

Alimentador B					
Ramo	Perdas (W)	P (kW)	Q (kVAr)	Corrente (A)	Tensão (kV)
00-01	166733,36	25296,40	16439,61	754,8	13,32
01-02	113812,72	24976,52	15742,21	744	13,23
02-03	65873,29	24758,17	15304,35	736,5	13,17
03-04	181485,62	24521,98	14474,38	728,7	13,03
04-05	80785,05	23941,26	13615,07	708,4	12,96
05-12	115,6	1024	1055	37,83	12,96
05-06	31074,14	17567,52	6949	487	12,93
06-07	5,057	203,4	209,5	7,527	12,93
06-08	27503,99	11271,94	11615,59	420	12,85
08-09	690,2	2632	2711	95,68	12,84
08-11	1091	1975	2034	73,65	12,83
06-10	411,2	288,3	4097	105,8	12,94
10-CH	0,00	460	4273	110,8	12,94
Total (kW)	669,581	158,916	108,519		

Fonte: Autoria própria.

No alimentador B, ocorre um alívio no carregamento do seu transformador, devido à transferência de carga entre os alimentadores. Neste ramo, possui valores das potências ativa e reativa menor que o alimentador A, conseqüentemente, as perdas diminuem, passando o transformador operar com um carregamento de aproximadamente 50% da sua potência nominal aparente.

As Figuras 25 e 26 apresentam o comportamento das perdas totais na rede durante o processo de abertura e fechamento da chave de manobra nos alimentadores A e B.

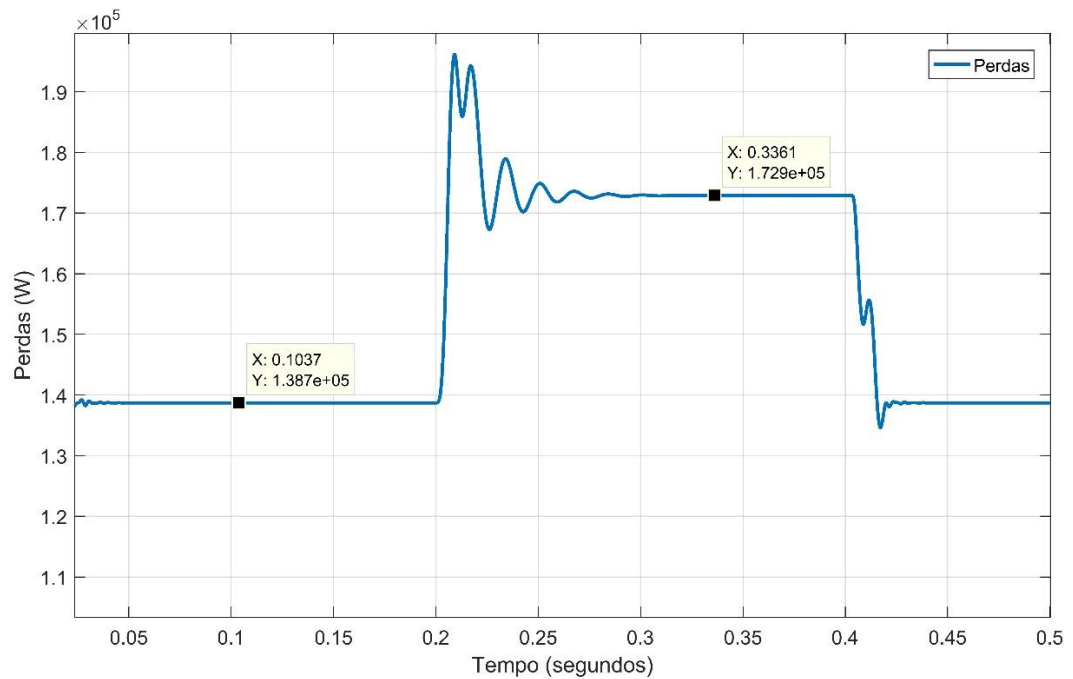


Figura 25 - Perdas totais no alimentador A
Fonte: Autoria própria.

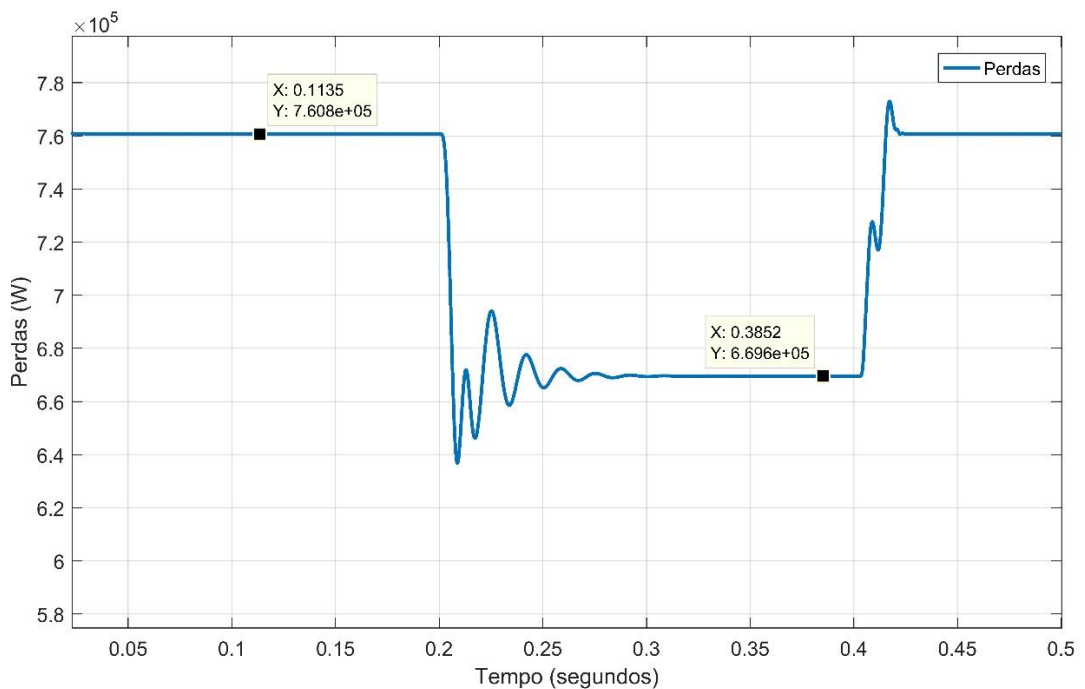


Figura 26 - Perdas totais no alimentador B
Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado nas Figuras 25 e 26, a soma das perdas totais quando os alimentadores estão operando radialmente é de 899,508 kW e de 942,479

kW quando estão operando em paralelo, ou seja, existe uma diminuição nas perdas totais do sistema.

Além disso, ocorre o alívio de carga do alimentador B durante a operação em paralelo de 760,795 kW para 669,581 kW. Em contrapartida, as perdas do alimentador A aumenta de 138,713 kW para 172,898 kW, verifica-se que, quando o sistema passa a operar em paralelismo, entre 0,2 e 0,4 segundos, as perdas do Alimentador A aumentam, enquanto que as perdas do alimentador B diminuem, que devido ao alimentador A assumir parte da carga do alimentador B, que eleva a corrente do transformador A, e, conseqüentemente, causa um aumento nas perdas do alimentador A. Já no alimentador B ocorre o inverso, uma vez que esse alimentador sofre um alívio de carga, reduzindo as corrente do alimentador B e, causando uma redução nas perdas desse alimentador, quando o sistema estiver em paralelismo.

O transformador de 25 MVA do alimentador A opera normalmente com carregamento abaixo de 50% da sua potência aparente nominal, onde que, com este carregamento baixo é desvantajoso ao rendimento deste transformador. Em consequência, com o aumento das perdas não representa um esforço adicional do transformador, pelo contrário, passa a operar com carregamento de 50% da sua potência aparente nominal.

Nas Figuras 27 e 28 são mostradas a potência reativa dos alimentadores A e B, operando radialmente e em paralelo.

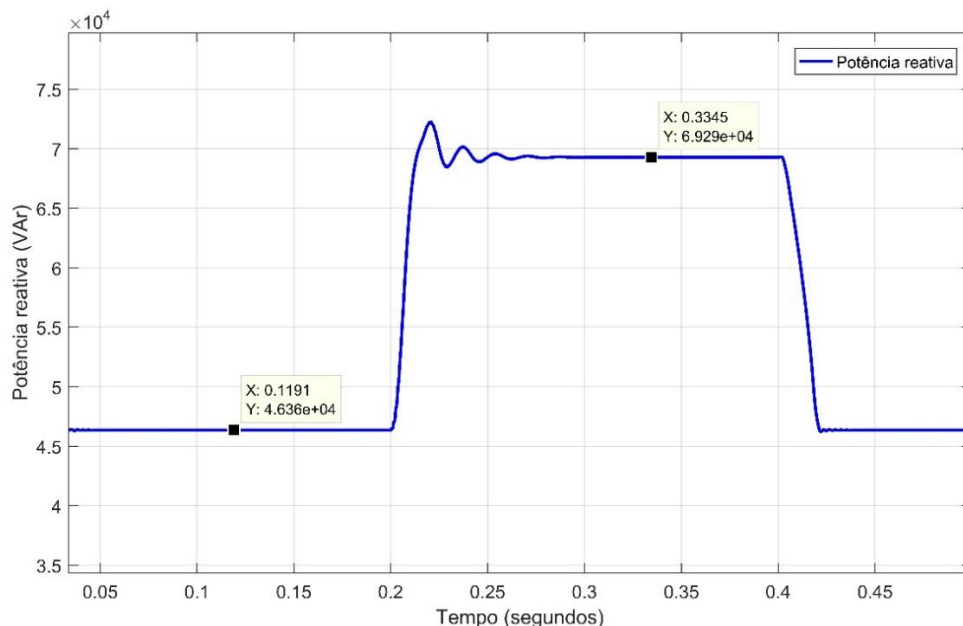


Figura 27 - Potência Reativa do alimentador A

Fonte: Autoria própria.

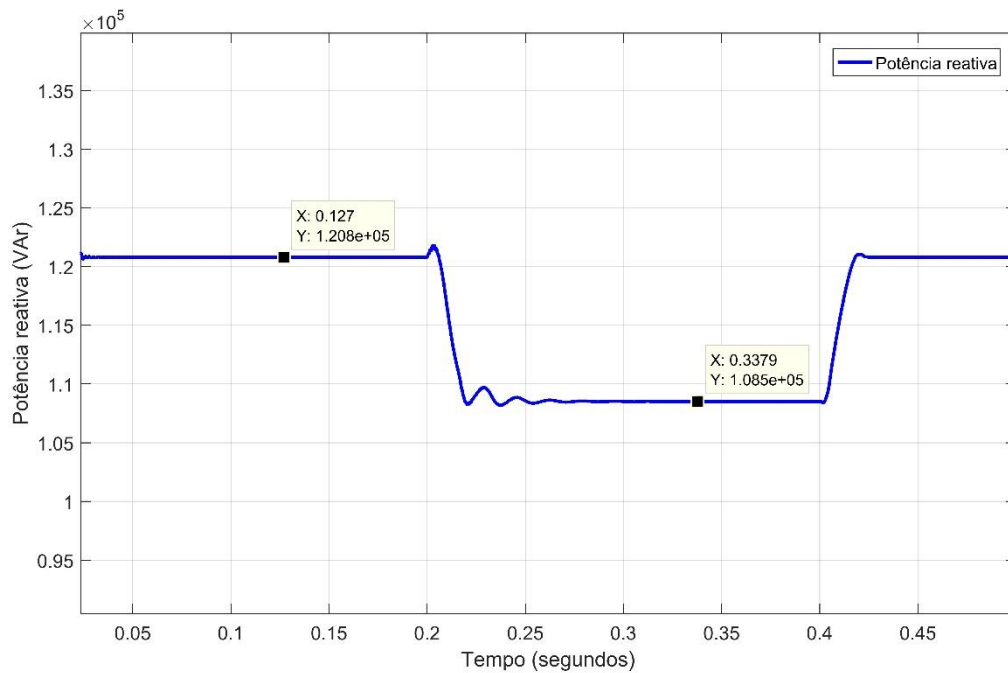


Figura 28 - Potência Reativa do alimentador B

Fonte: Autoria própria.

No momento do fechamento da chave de manobra em 0,2 segundos ocorre a transferência de carga entre os alimentadores. Nas Figuras 27 e 28, mostra que no alimentador A aumenta as perdas, devido que o transformador de 25 MVA possui nível de potência maior do que o transformador de 15 MVA, fazendo com que o alimentador B forneça energia para o alimentador A, ou seja, os valores dos fluxos de potência ativa e reativa (mostrado na Tabela 8 e 10) e pelas perdas no alimentador B diminuem devido as perdas do alimentador A aumentam. No alimentador B, ocorre um alívio no carregamento do seu transformador, devido à transferência de carga entre os alimentadores.

6 CONCLUSÕES

O cálculo de perdas técnicas por segmentos torna-se fundamental para a localização de elevados índices de perdas, sendo a busca por essa melhoria tem-se intensificado com os crescentes índices de perdas nos sistemas de distribuição.

Os valores das perdas de energia são um importante indicador que caracteriza a eficiência de operação de redes elétricas, muitas vezes utilizado para a escolha de estratégias de controle e desenvolvimento ótimo de sistemas.

Os sistemas de distribuição de energia elétrica usando chave de manobra para paralelismo são vistas como soluções temporárias para transferência de cargas ou manutenção de equipamentos. Todavia para o sistema apresentado neste estudo mostra que a operação em paralelo de alimentadores por longos períodos de tempo traria benefícios para os alimentadores tanto sobre o enfoque das perdas de energia e dos seus carregamentos quanto sob o enfoque operativo do sistema.

As manobras de paralelismo entre alimentadores radiais de distribuição não podem ser generalizadas, cada caso deve ser estudado individualmente, cada sistema possui características operacionais próprias que variam de acordo com o período de carga em que são realizadas as manobras de paralelismo, bem como o comportamento das proteções e os níveis dos transitórios tanto na chave de manobra quanto nos transformadores. Sendo que, neste estudo, a operação em paralelo pode ser um sistema vantajoso em casos em que os alimentadores já estão saturados e existe pouca reserva para um aumento na demanda.

REFERÊNCIAS

ABRADEE. **Perdas na Distribuição: baixa tensão, altos prejuízos**, 2015. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/perdas/furto-e-fraude-de-energia>>. Acesso em: 05 Out. 2016.

ARAUJO, A. E. A.; NEVES, W. L. A., **Cálculo de Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Energia**. Ed. UFMG, 2005.

BARBOSA, et all, **Impacto do Paralelismo na Proteção Diferencial de Transformadores de Potência**, O Setor Elétrico, Fevereiro 2010.

BERMAN, A.; MARKUSHEVICH, N., **Analysis of Three-Phase Parallel Distribution Feeders Fed from Different Substations**, IEEE PES 2010 Transmission and Distribution Conference and Exposition, Nova Orleans, Estados Unidos da América, 2010.

BERNARDON, D. P.; VEIGA, F. D. **Modelagem e Aplicação do Programa ATP para Estudos de Paralelismo nas Redes de Distribuição Atendidas por Subestações de Diferentes Fontes**. In: XVII SENDI -. Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 2006.

CAMINHA, AMADEU C.; **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. Editora Blucher, São Paulo, 1977.

CARDOSO, GUSTAVO de A.; **Chave Controlada para Redução de Sobretensões de Manobra em Linhas de Transmissão**; Dissertação de Mestrado, Campina Grande, Paraíba, 2009.

CHEN, T. H.; HUANG, W. T.; et all, **Feasibility Study of Upgrading Primary Feeders from Radial and Open-Loop to Normally Closed-Loop Arrangement**, IEEE Transaction Power Systems, Agosto 2004.

DFITSCHER, L. L.; **Estudo de Paralelismo de Alimentadores para Reconfiguração Automática de Redes de Distribuição**, IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Goiânia, GO, 2012.

HUANG, W.T.; CHEN, T.H., **Assessment of Upgrading Existing Primary Feeders from Radial to Normally Closed Loop Arrangement**, Transmission and Distribution Conference and Exhibition, IEEE/PES, Vol. 3, pp. 2123-2128, 2002.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B.; ROBBA, E. J. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 1ª ed, Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2005.

LEAL, ADRIANO G.; **Sistema para Determinação de Perdas em Redes de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Curvas de Demanda Típicas de Consumidores e Redes Neurais Artificiais**. São Paulo, 2006.

LIMA, I. K.; et all, **Desenvolvimento de Ferramenta Gerencial de Monitoramento e Avaliação de Perdas Totais e Fluxos Reativos no Sistema AES Eletropaulo**. XVII SENDI, 2004.

LIRA, GUILHERME N.; **Algoritmo de Reconfiguração Ótima de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Visando a Minimização de Perdas**. UFPR, Curitiba, 2011.

LODDI, TARCISIO. **Cálculo de Fluxo de Potência Unificado em Sistemas de Transmissão e Redes de Distribuição Através do Método de Newton Desacoplado Rápido com Rotação de Eixos**, Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, PR, 2010.

MAMEDE, J. F. **Instalações Elétricas Industriais**. 7ª Ed. São Paulo, LTC, 2003.

MATHWORKS, **SimPowerSystems for Use with Simulink**. User's Guide Version 3, Copyright TransÉnergie Technologies Inc., under sublicense from Hydro-Québec, and The MathWorks, 1998-2003.

MÉFFE, A. **Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição**, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2001

MME/EPE. **Balço Energético Nacional 2016: Ano Base 2015**. Rio de Janeiro, 2016.

OLIVEIRA, M. E. **Avaliação de Metodologias de Cálculo de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**, Tese de Doutorado, UNESP, Ilha Solteira, SP, 2009.

PAVAN, F.; **Software Computacional de perdas técnicas de energia - PERTEC**. XIX SENDI 2010 – Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, São Paulo, 2010.

PONCE, A. T.; BRITO, B.; SANTOS, E.; et all, **Operação em Tempo Integral de Alimentadores de Distribuição em Anel Fechado**. CLADE 2008 – Congresso Latino Americano de Distribuição Elétrica, Mar Del Prata, Argentina, Setembro 2008.

PRODIST, **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**, Módulo 2, ANEEL 2008.

SANTOS, M. R.; **Paralelismo de Alimentadores Através de Seccionadoras de Vis-À-Vis na Rede Aérea Primária de Distribuição**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, São Paulo, 2008.

SOARES, ALEXANDRE B. J. **Desenvolvimento e Análise de Métodos para o Cálculo das Perdas de Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição**. Dissertação de Mestrado, UFSM, Santa Maria, RS, 2008.

SOARES, ALEXANDRE B. J. **Estudo de Paralelismo de Alimentadores Radiais de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese de Doutorado, Campinas, SP, 2012.