

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ESTUDO DO SIMULADOR OPENDSS

CURITIBA
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ESTUDO DO SIMULADOR OPENDSS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, ao Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Odilon Luís Tortelli

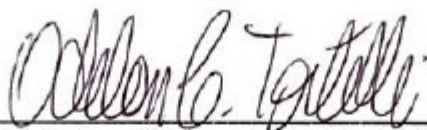
CURITIBA
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

FABIANO FABRICIO DE CARVALHO

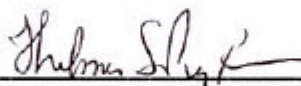
ESTUDO DO SIMULADOR OPENDSS

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista no curso de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

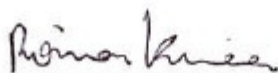


Prof. Dr. Odilon Luis Tortelli

Orientador – Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR



Profa. Dra. Thelma S. Piazza Fernandes
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR



Prof. Dr. Roman Kuiava
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

RESUMO

Os estudos relativos ao setor de distribuição de energia elétrica apresentam grande destaque no ambiente de engenharia principalmente após o surgimento de novas tecnologias e possibilidades de aproveitamento dos recursos distribuídos através da operação em geração distribuída e *Smart Grid*. Nestes sistemas os métodos tradicionais de análises, onde se previam somente os sistemas radiais, demonstram-se ineficazes. Desta forma se propõe o estudo da ferramenta computacional para análises de redes de distribuição OpenDSS onde pretendeu-se explorar as funcionalidades e apontar as contribuições da ferramenta aos estudos na distribuição através de simulações em redes típicas para sistemas radiais e em anel, com ou sem geração. Os resultados obtidos foram apresentados através dos recursos gráficos ou relatórios disponibilizados pelo programa onde se buscou concluir sobre as contribuições apontando as principais possibilidades de análises, recursos e contribuições que as simulações no OpenDSS podem fornecer aos sistemas de distribuição.

Palavras-Chave: Redes de Distribuição. OpenDSS. *Smart Grid*. Geração Distribuída.

ABSTRACT

The studies on the electricity distribution sector have great prominence in the engineering environment especially after the emergence of new technologies and potential use of distributed resources through the distributed generation operation and smart grid concepts. In this context, the conventional analysis methodologies, provided for the radial systems, demonstrated to be ineffective. Thus, in this work it is proposed to study the OpenDSS, a computational tool for distribution systems analysis, where it is intended to explore its features and point out the contributions of the tool, through simulations with typical distribution networks considering radial and meshed topologies, and also including distributed generation. The results were presented through the graphical resources and reports provided by the openDSS, pointing out its main capabilities and contributions on distribution system analysis.

Keywords: Distribution Systems. OpenDSS. Smart Grid. Distributed Generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – SISTEMA DE SUBTRANSMISSÃO.....	14
FIGURA 2 – BARRAMENTOS EM BARRA SIMPLES E SECCIONADA.....	15
FIGURA 3 – REDE AÉREA COMPACTA E CONVENCIONAL.....	17
FIGURA 4 - ESTRUTURA DO <i>SOFTWARE</i> OPENDSS.....	22
FIGURA 5 – MODELO PI PARA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO.....	24
FIGURA 6 – MODELAGEM TRIFÁSICA PARA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO.....	24
FIGURA 7 – MODELO DE COMPONENTES SIMÉTRICAS PARA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO.....	26
FIGURA 8 – LIGAÇÃO DELTA-ESTRELA PARA TRANSFORMADOR.....	27
FIGURA 9 – LIGAÇÃO DE UMA CARGA EM ESTRELA.....	29
FIGURA 10 – SISTEMA PQ 4 BARRAS.....	35
FIGURA 11 – MATRIZ DO SISTEMA PQ 4 BARRAS.....	35
FIGURA 12 – MODELAGEM DA MATRIZ Y_{PRIM}	36
FIGURA 13 – MODELO DO <i>ITERATIVE POWER FLOW</i>	37
FIGURA 14 - MODELO DA BARRA E NÓS.....	43
FIGURA 15 - CONEXÃO DOS NÓS DE UM TRANSFORMADOR À BARRA.....	44
FIGURA 16 - MODELO DO <i>PDELEMENT</i>	45
FIGURA 17 – MODELO DO <i>PCELEMENT</i>	48
FIGURA 18 - MODELO DO ELEMENTO <i>STORAGE</i>	51
FIGURA 19 - ZONAS DE ATUAÇÃO DO OBJETO <i>ENERGYMETER</i>	54
FIGURA 20 - SINTAXE DE COMANDO DO OPENDSS.....	56
FIGURA 21 - SINTAXE DE COMANDO PARA ARQUIVO EXTERNO.....	57
FIGURA 22 – TELA DE INTERFACE PRINCIPAL.....	58
FIGURA 23 – GRÁFICO PARA O COMANDO <i>PLOT CIRCUIT</i>	60
FIGURA 24 – GRÁFICO PARA O COMANDO <i>PLOT PROFILE</i>	60
FIGURA 25 – VISUALIZAÇÃO DO COMANDO <i>PLOT CIRCUIT</i>	61
FIGURA 26 – DIAGRAMA DO CIRCUITO IEEE 4 BARRAS.....	62
FIGURA 27 - VALORES DA TENSÃO PARA OS MODELOS DE CARGA.....	63
FIGURA 28 - VALORES DA POTÊNCIA ATIVA PARA OS MODELOS DE CARGA.....	64
FIGURA 29 - VALORES DA POTÊNCIA REATIVA PARA OS MODELOS DE CARGA.....	64

FIGURA 30 - DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA ALIMENTADOR 48 BARRAS.....	67
FIGURA 31 - PERFIL DA TENSÃO NO ALIMENTADOR 48 BARRAS MODO <i>SNAPSHOT</i>	68
FIGURA 32 - CARREGAMENTO DO TR1_SUB CIRCUITO 48 BARRAS MODO <i>SNAPSHOT</i>	69
FIGURA 33 - ANÁLISE DO FLUXO DE POTÊNCIA NO TRANSFORMADOR TB19 48 BARRAS MODO <i>SNAPSHOT</i>	69
FIGURA 34 - CARREGAMENTO DA LINHA TRONCO1 NO CIRCUITO 48 BARRAS MODO <i>DAILY</i>	70
FIGURA 35 - CARREGAMENTO DO TRANSFORMADOR TR1_SUB NO CIRCUITO 48 BARRAS MODO <i>DAILY</i>	71
FIGURA 36 - PERFIL DA TENSÃO NA CARGA LOAD_B27BTC_A NO CIRCUITO 48 BARRAS MODO <i>DAILY</i>	71
FIGURA 37 – MODELO RESIDENCIAL E RESULTADO PARA A CARGA LOAD_B27BTC_A NO CIRCUITO 48 BARRAS MODO <i>DAILY</i>	72
FIGURA 38 - DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA NO CIRCUITO 48 BARRAS COM FECHAMENTO EM ANEL.....	73
FIGURA 39 - DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA CONDIÇÃO 2b NO CIRCUITO 48 BARRAS COM FECHAMENTO EM ANEL.	75
FIGURA 40 - PERFIL DA TENSÃO NO ALIMENTADOR 48 BARRAS CONDIÇÃO 3b.	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PRINCIPAIS VERBOS DE COMANDO DO OPENDSS	56
TABELA 2 – SEQUÊNCIA DE COMANDO NO OPENDSS	57
TABELA 3 - QUEDA DE TENSÃO PERCENTUAL	65
TABELA 4 - CORRENTE NA CARGA.....	65
TABELA 5 - DADOS DOS GERADORES	72
TABELA 6 - RESULTADOS PARA VARIAÇÃO DA GERAÇÃO	74
TABELA 7 – RESULTADOS EM CONDIÇÃO EXTREMA DE CARGA.....	75
TABELA 8 - LINHAS EM SOBRECARGA NA CONDIÇÃO EXTREMA DE CARGA 2b	76
TABELA 9 - LINHAS EM SOBRECARGA NA CONDIÇÃO EXTREMA DE CARGA 3b	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	14
2.1 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE SUBTRANSMISSÃO.....	14
2.2 CONFIGURAÇÃO DAS SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO.....	15
2.3 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO PRIMÁRIA.....	16
2.4 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO SECUNDÁRIA	17
2.5 PERSPECTIVAS PARA OS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO.....	18
2.5.1. Geração Distribuída (GD).....	18
2.5.2. <i>Smart Grid</i>	19
3 SOFTWARE OPENDSS	21
3.1 BREVE HISTÓRICO.....	21
3.2 ESTRUTURA COMPUTACIONAL.....	22
3.3 MODELAGEM DAS LINHAS, TRANSFORMADORES E CARGAS.....	24
3.3.1. Modelo para linhas de distribuição	24
3.3.2. Modelagem dos transformadores.....	27
3.3.3. Modelagem das cargas	28
3.4 ALGORITMOS DE SOLUÇÃO.....	32
3.5 PRINCIPAIS RECURSOS DE SIMULAÇÃO.....	37
3.5.1. <i>Power Flow</i>	38
3.5.2. <i>Fault Studies</i>	39
3.5.3. <i>Harmonic Flow Analysis</i>	40
3.5.4. Outras funcionalidades.....	41
3.6 ELEMENTOS DO CIRCUITO	43
3.6.1. Modelo das barras e nós de conexão	43
3.6.2. <i>PDElement</i>	45
3.6.2.1. Objeto <i>PDElement</i> - Linha de Distribuição (LD)	45
3.6.2.2. Objeto <i>PDElement</i> – Capacitor	46
3.6.2.3. Objeto <i>PDElement</i> – Reator.....	46
3.6.2.4. Objeto <i>PDElement</i> – Transformador	47
3.6.3. <i>PCElement</i>	48

3.6.3.1. Objeto <i>PCE</i> Lement – Carga.....	48
3.6.3.2. Objeto <i>PCE</i> Lement - Gerador	50
3.6.3.3. Objeto <i>PCE</i> Lement – <i>Storage</i>	51
3.6.4. <i>Controls</i>	52
3.6.5. <i>Energy Meters</i>	53
3.6.6. <i>Monitors</i>	54
3.6.7. Fontes e outros elementos.....	55
3.7 RECURSOS DE PROGRAMAÇÃO	55
3.8 RECURSOS GRÁFICOS.....	58
3.8.1. Comandos do Menu <i>Plot</i>	59
4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS	62
4.1 CASO IEEE 4 BARRAS	62
4.1.1. Simulação 1: Análise dos modelos de carga.....	62
4.2 CASO 48 BARRAS	66
4.2.1. Cenário 1: Fluxo de potência no modo <i>Snapshot</i>	67
4.2.2. Cenário 2: Fluxo de potência no modo <i>Daily</i>	70
4.2.3. Cenário 3: Fluxo de potência no modo <i>Snapshot</i> com circuito em anel.....	72
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	77
5 CONCLUSÃO	79
BIBLIOGRAFIA	82
APÊNDICE A – DADOS DO CIRCUITO IEEE 4 BARRAS	84
APÊNDICE B – DADOS DO CIRCUITO 48 BARRAS	89
APÊNDICE C – SOLUÇÃO COMPLETA NO MODO SNAPSHOT CIRCUITO 48 BARRAS.....	97

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor elétrico brasileiro passou por inúmeras modificações nos últimos anos, fazendo com que as empresas que atuam neste setor buscassem por novas tecnologias e ferramentas visando a modernização e melhoria dos serviços prestados.

Estas modificações iniciaram com o processo de privatização das empresas do setor elétrico ocorrido em 1995 com base na Lei número 9.074/95, e previa a saída do Estado da atuação direta neste setor, repassando às empresas privadas, em forma de concessões, a responsabilidade pela operação, manutenção e ampliação das instalações elétricas.

As concessões formalizaram áreas de atuações em setores de geração, transmissão e distribuição de energia. Estes setores, antes existentes somente por questões técnicas, passaram a existir também por razões comerciais. A função de cada setor foi limitada conforme a sua área de atuação.

Atualmente, as empresas de geração são responsáveis por converter alguma forma de energia em energia elétrica. O setor de transmissão é responsável pelo transporte da energia elétrica dos centros de produção aos de consumo. As empresas de distribuição recebem a energia através do sistema de transmissão para fornecê-la aos consumidores conectados a rede de distribuição (KAGAN, 2010).

Entretanto, no ambiente da distribuição de energia, estas modificações foram o marco inicial para diversas alterações no setor. A missão de fornecer energia elétrica aos consumidores passou a ser acompanhada pelo rigor na qualidade e continuidade dos serviços, planejamento, redução nas perdas elétricas, conforme destacam os módulos do PRODIST¹.

Outra nova realidade é a possibilidade de inserção de geração no ambiente da distribuição. Estes sistemas são conhecidos como Geração Distribuída (GD). Os sistemas com GD alteraram a forma de operação, medição e proteção na distribuição (LATHEEF et al, 2008).

¹ Os Procedimentos de distribuição (PRODIST) são documentos expedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). São divididos em oito módulos e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao setor de distribuição de energia elétrica.

Seguindo esta tendência pela busca da melhoria na qualidade dos serviços prestados, as empresas de distribuição iniciaram investimentos orientados pelo conceito de Redes Elétricas Inteligentes ou *Smart Grids*.

Contudo, a evolução dos sistemas atuais para utilização de sistemas com geração distribuída, aliado ao conceito *Smart Grid*, passa também por uma nova filosofia de estudos elétricos para as redes de distribuição. Neste contexto, o aperfeiçoamento dos estudos elétricos relativos aos sistemas de distribuição demonstra-se imprescindível. Para a realização de tais estudos faz-se necessário o uso de simuladores de rede, com algoritmos matemáticos e arquitetura de software compatível com a realidade de cada sistema.

1.2 OBJETIVOS

Em virtude da necessidade de mudanças na concepção dos estudos elétricos nos sistemas de distribuição, este trabalho visa analisar a ferramenta computacional para simulação de redes de distribuição OpenDSS e verificar as contribuições desta ferramenta aos estudos relativos a estes sistemas, explorando as possibilidades de simulações e o comportamento dos tipos de carga disponibilizados pelo programa através de simulações em diferentes condições de operação nos sistemas propostos.

Para realizar este objetivo, foram seguidas as seguintes etapas:

- estudo da arte sobre as redes de distribuição;
- estudo da ferramenta computacional OpenDSS;
- definição das redes para simulações;
- realização das simulações;
- interpretação dos resultados;
- concluir sobre as contribuições.

1.3 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que inúmeros fatores podem afetar a operação de uma rede de distribuição. Na fase de projeto, buscam-se estimar as condições de operação da rede elétrica com relação ao comportamento da carga, condições de operação do sistema, níveis de carregamento e outras variáveis (KAGAN, 2010). Além disso, durante a vida

útil do sistema, modificações na estrutura da rede elétrica podem ser necessárias, devido a mudanças nos padrões da carga, inserção de GD, reconfiguração na rede e manobras no sistema.

Qualquer que seja a situação, a realização de estudos elétricos através das simulações é fundamental. Estas simulações visam estimar uma condição real de operação através de modelos matemáticos a fim de se obter resultados que devam nortear as decisões das equipes de engenharia.

Nesse sentido, propõe-se a utilização do software OpenDSS como ferramenta de simulação para realização de estudos elétricos nas redes de distribuição.

Dentre os trabalhos apresentados que se baseiam na utilização do OpenDSS, pode-se citar o estudo realizado por ARAMIZU (2010) que verificou o comportamento de uma planta de geração solar em um alimentador de distribuição. Um dos resultados deste estudo reproduziu o módulo da tensão ao longo do alimentador.

Também em ANWAR e POTA (2011) são apresentados resultados obtidos através de simulações com o OpenDSS envolvendo a variação das perdas em função da conexão de geração no alimentador de distribuição, tendo como base o sistema teste IEEE 34 barras.

Desta forma propõe-se a realização deste trabalho acadêmico, cujos objetivos ressaltados anteriormente deverão ser atingidos através da realização das simulações nos sistemas de estudo propostos.

As contribuições destas simulações através da interpretação dos resultados serão apresentadas buscando avaliar a funcionalidade e potencial da ferramenta de simulação.

2 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Conforme destacado na introdução o sistema elétrico de potência (SEP) é fragmentado em blocos que compõe subsistemas interligados, dentre estes blocos destaca-se o sistema de distribuição de energia.

Este sistema de distribuição é subdividido em três níveis de atuação: sistema de subtransmissão, sistema de distribuição primária e sistema de distribuição secundária (KAGAN, 2010).

São abordadas neste capítulo as características que compõe o sistema de distribuição destacando os principais arranjos e a modelagem dos elementos aplicados no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE SUBTRANSMISSÃO

O sistema de subtransmissão interliga as subestações de distribuição ao sistema de transmissão. Este sistema opera em tensões típicas de 69 kV a 138 kV em condições de anel fechado ou em linhas radiais.

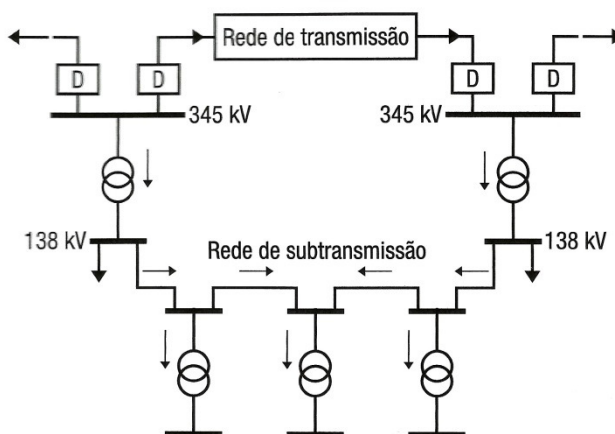


FIGURA 1 – SISTEMA DE SUBTRANSMISSÃO

FONTE: Adaptado de KAGAN (2010)

Na configuração demonstrada acima o sistema de subtransmissão opera em um anel fechado atendendo a três subestações de distribuição. Esta condição em anel oferece melhor confiabilidade, pois no caso do desligamento de uma linha ou uma subestação existe o caminho alternativo para alimentação das cargas (KAGAN, 2010).

2.2 CONFIGURAÇÃO DAS SUBESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO

As subestações de distribuição operam através de arranjos de barramentos e transformadores que adequam os níveis de tensão do sistema de subtransmissão para atendimento dos alimentadores de distribuição primária.

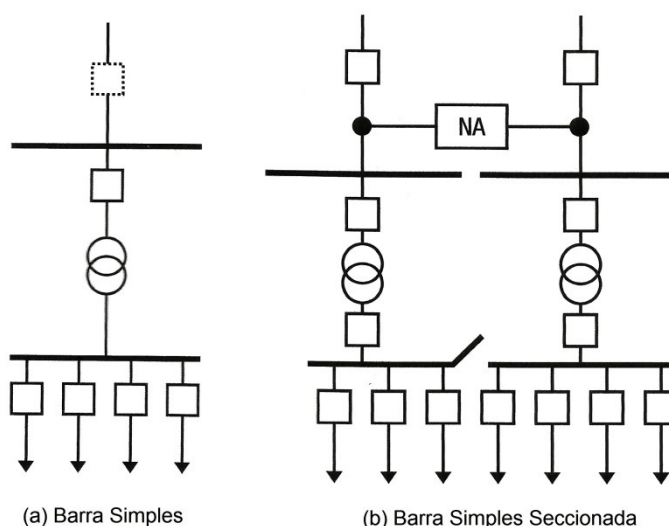


FIGURA 2 – BARRAMENTOS EM BARRA SIMPLES E SECCIONADA.

FONTE: Adaptado de KAGAN (2010)

Estes barramentos possuem configuração onde geralmente não se apresentam muitos recursos alternativos para atendimento às cargas dos alimentadores, em caso de perda de uma fonte.

A configuração (a) apresenta a topologia de um barramento do tipo barra simples onde existe somente um transformador atendendo toda a barra e devido a estas características é considerado um sistema de baixa confiabilidade. A configuração (b) apresenta uma configuração do tipo barra simples seccionada. Neste caso, existem dois transformadores atendendo cada qual a sua barra, porém em caso de contingência existe o recurso do fechamento da chave interligadora e esta característica aumenta a confiabilidade deste arranjo (KAGAN, 2010).

Outras configurações e arranjos podem ser aplicados visando aumentar a confiabilidade do sistema. BEATY e FINK (2012) destacam a utilização do sistema em barra principal e barra de transferência e o sistema em anel como alternativas ao atendimento das cargas conectadas as subestações. Usualmente, tais configurações são encontradas nos barramentos das subestações de transmissão e subtransmissão de energia.

2.3 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO PRIMÁRIA

O sistema de alimentação primária é composto de uma rede de alimentadores de distribuição que se conectam as barras das subestações. Operam em tensões de 13,8kV a 34,5kV e possuem linhas cuja distribuição geográfica se assemelha a topologia das cidades onde são atendidas as cargas KERSTING (2002).

Esta distribuição ramificada é realizada através dos condutores do alimentador primário e secundário. O alimentador primário é constituído por um condutor principal, usualmente chamado de tronco do alimentador, de onde são ramificadas linhas de menor capacidade para atendimento das cargas. Estas linhas são chamadas de ramais (KAGAN, 2010).

A configuração destes alimentadores é na maioria das vezes radial e constituído por linhas aéreas ou subterrâneas. Esta condição radial exige que existam configurações que possibilitem manobras ou reconfigurações de rede com o objetivo de aumentar a confiabilidade destes sistemas (KAGAN, 2010).

Destacam-se as linhas com as seguintes configurações:

- Linhas aéreas:
 - primário radial com recurso;
 - primário seletivo.
- Linhas Subterrâneas:
 - primário seletivo;
 - primário em malha aberta;
 - *spot network*.

As linhas subterrâneas são encontradas em locais de alta densidade de carga. No esquema em primário seletivo, os transformadores de cargas possuem duas opções de alimentação, selecionáveis através de uma chave comutadora. No esquema em malha aberta, dois alimentadores de subestações distintas atendem o alimentador com uma chave mantendo a interligação aberta. O esquema *spot network* é o sistema de alimentação de maior confiabilidade, onde dois alimentadores de uma mesma subestação operam em anel fechado. Esta condição exige sistemas especiais de proteção nas chaves do alimentador e, devido a condições de coordenação de proteção, limitam o número de derivações (KAGAN, 2010).

As linhas aéreas apresentam configurações típicas em sistemas convencionais ou linhas compactas protegidas. As linhas aéreas convencionais são

compostas por cabos nus de alumínio (KAGAN, 2010). As linhas protegidas são compostas por cabos com uma camada protetora em XLPE e se configuram em um sistema mais compacto e de maior confiabilidade (COPEL, 2013).



(A) Rede Aérea tipo compacta protegida.

(B) Rede Aérea tipo convencional.

FIGURA 3 – REDE AÉREA COMPACTA E CONVENCIONAL

FONTE: Adaptado de CEEE-D (2012)

Na configuração radial com recurso das linhas aéreas a alimentação das cargas ocorre através de um tronco principal de onde são derivados os ramais através da conexão de chaves fusíveis. Em determinados trechos podem existir chaves abertas que interligam dois alimentadores distintos, quando necessário. A condição de primário seletivo utiliza a mesma configuração das redes subterrâneas (KAGAN, 2010).

2.4 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO SECUNDÁRIA

Este sistema conecta-se ao sistema de alimentação em tensão primária através dos transformadores carga que adequam os níveis de tensão para atendimento aos consumidores conectados em baixa tensão. Este atendimento ocorre através de linhas trifásicas na tensão usual de 220/127 V ou 380/220V. São atendidos diversos tipos de consumidores, sendo residenciais, industriais ou comerciais (KAGAN, 2010).

Estes sistemas operam normalmente em configurações radiais, mas em alguns casos particulares podem operar em anel. Em linhas aéreas, constituem um sistema trifásico composto de cabos nus em alumínio. Em linhas subterrâneas podem operar em anel, como no sistema reticulado onde toda a rede em baixa tensão configura uma malha em anel fechado. Sistemas como este são cada vez menos

encontrados, devido ao elevado nível de curto circuito, condições de proteção e dificuldades de manutenção (KAGAN, 2010).

2.5 PERSPECTIVAS PARA OS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Conforme se abordou no capítulo introdutório as redes pertencentes aos sistemas de distribuição estão sujeitas a uma nova realidade onde novos conceitos relativos a estes sistemas devem ser considerados. Neste contexto propõe-se destacar algumas das principais características dos sistemas em GD e *Smart Grid*, que despontam como principais fatores motivadores nas modificações mencionadas.

2.5.1. Geração Distribuída (GD)

A Geração Distribuída (GD) é o termo utilizado para definir o sistema em que exista uma ou mais fontes de geração de energia elétrica ao longo de um alimentador, em qualquer potência, próximo aos consumidores (INEE, 2014).

Nos sistemas em GD são encontradas inúmeras formas de geração, que variam de acordo com os recursos disponíveis em cada região.

Kreith e Goswami (2007) destacam os principais recursos disponíveis para GD como sendo a geração solar, geração eólica e biomassa. Destaca-se que estes recursos compreendem as principais fontes renováveis de energia, que podem contribuir significativamente com estes processos.

Através destes recursos o INEE (2014) destaca as principais formas de conexão dos sistemas em GD na distribuição, como sendo:

- a) cogeneradores: que utilizam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo, painéis fotovoltaicos ou pequenas centrais hidrelétricas em paralelo permanente com a rede;
- b) geradores de emergência: operação isolada em emergência;
- c) geradores para operação no horário de ponta: utilizados na redução da demanda de energia somente no horário da ponta de carga.

Todos estes processos podem, no entanto, apresentar impactos significativos na alimentação das cargas do sistema.

De acordo com Kreith e Goswami (2007), o aspecto de segurança e qualidade nas alterações da rede devido a GD podem comprometer a vida útil das cargas alimentadas por estes sistemas.

Thong, Driesen e Belmans (2005), destacam que a quantidade da geração inserida é um dos fatores que mais podem alterar estas redes. Nos sistemas com pouca geração inserida as alterações são muito pequenas e, portanto comportadas pelas redes atuais. Já em sistemas com nível de geração considerável as alterações seriam significativas.

Outro fator importante é que os sistemas de distribuição não foram projetados para operar em um fluxo de potência bidirecional de energia o que pode gerar impactos significativos nos sistemas de proteção, fluxo de potência, distorções harmônicas e magnitude da tensão (LATHEEF et al, 2008).

2.5.2. *Smart Grid*

Pode-se dizer que o conceito *Smart Grid* é um dos fatores motivadores mais importantes para a para evolução das redes de distribuição atuais a uma nova realidade.

Uma rede *Smart Grid* pode ser considerada como uma rede de redes, onde as redes de distribuição de energia elétrica são combinadas com redes de sensores geograficamente dispersos além de dispositivos inteligentes, todos eles ligados em conjunto de uma ou mais redes de telecomunicações (GARCIA; OLIVER; GOSCH, 2010).

Para DUGAN e MCDERMOTT (2011) a este conceito estão associadas características específicas e tecnologias aplicadas que modificam a forma como estas redes são analisadas. As principais características são:

- Recursos Distribuídos:
 - geração distribuída (GD);
 - geração renovável;
 - armazenamento de energia;
 - resposta a demanda.

- Comunicação e Controle:
 - sistemas de medição automatizados em todo sistema;
 - comunicação de alta velocidade para medição e controle;
 - controle integrado de tensão/reativos “*Volt/Var Control*”.
- Melhoria da Confiabilidade:
 - localização automática de falhas;
 - recomposição automática;
 - planejamento (alocação de recursos).

Conforme destaca ARNOLD (2011) o conceito *Smart Grid* compreende uma série de tecnologias que abrangem os principais interesses das concessionárias e consumidores, dentre os quais se destacam:

- reduzir as perdas técnicas e comerciais (fraudes);
- melhorar a qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras;
- reduzir os custos operacionais;
- melhorar o planejamento da expansão da rede;
- melhorar a gestão dos ativos;
- promover a eficiência energética;
- fomentar a inovação e a indústria tecnológica.

Para DUGAN e MCDERMOTT (2011) ainda que estas tecnologias estejam muito distantes da realidade dos sistemas de distribuição “o *Smart Grid* vai acelerar uma evolução natural em direção a otimização dos recursos, operação em tempo real, e algoritmos inteligentes em análise de sistemas de distribuição”.

Há também a necessidade de realizar simulações em uma concepção integrada de energia, controle, sensores de medição e sistemas de comunicação. No passado as incertezas quanto aos dados de simulações foram citadas para justificar os métodos de análise aproximados. “A perspectiva do futuro, para sistemas integrados e estimação de estado em tempo real exigirá os melhores modelos disponíveis” (DUGAN; MCDERMOTT, 2011).

3 SOFTWARE OPENDSS

Os *softwares* simuladores são ferramentas extremamente úteis na realização de trabalhos nos ambientes de engenharia. Ao longo da história, os simuladores demonstraram ser uma inestimável ferramenta para execução de trabalhos de engenharia, possibilitando a simulação de condições reais de operação em um ambiente simulado.

Neste contexto, apresentam-se neste capítulo as características e funcionalidades do OpenDSS propondo uma visão geral desta ferramenta tendo como referência principal o conteúdo extraído do guia do *software*, conforme referência DUGAN (2013).

3.1 BREVE HISTÓRICO

O desenvolvimento do *software* iniciou em 1997 através da empresa de tecnologia *Electrotek Concepts*. Inicialmente o *software* foi chamado de *Distribution System Simulator* (DSS) e seu desenvolvimento foi conduzido por Roger Dugan e Tom McDermott.

Nesta época, a *Electrotek* estava realizando vários estudos com sistemas de distribuição com GD através de métodos convencionais e isto gerava uma série de inconvenientes. DUGAN (2013) menciona que um dos principais fatores limitantes seriam os frequentes ajustes necessários para cada estudo a ser realizado, visto que não são encontrados sistemas em GD exatamente iguais para estudo.

Cientes das limitações dos métodos e ferramentas da época a equipe de desenvolvimento da *Electrotek* avançou nos trabalhos de desenvolvimento do DSS. Como Roger Dugan era presidente do grupo de trabalho de engenharia de *software* do IEEE PES, muitos incentivos a equipe foram oferecidos visto que a aplicação da programação orientada a objetos em ferramentas de engenharia era um tema muito abordado na época.

Em 2004 a *Electric Power Research Institute* (EPRI) adquiriu o *software* DSS. A EPRI estava muito envolvida no objetivo de fomentar estudos de GD nas redes de distribuição. Através destes incentivos surgiu a necessidade de uma ferramenta de simulação dedicada a tal aplicação.

Visando colaborar com o a evolução das redes de distribuição existentes bem como com a implantação de sistemas DG aliados ao conceito *Smart Grid*, em 2008, a EPRI lançou o *software* DSS sob licença livre, sendo renomeado para OpenDSS.

Desde então o OpenDSS continuou evoluindo em uma plataforma de código aberto. A análise de sistemas com GD foi o fator motivador de desenvolvimento desta ferramenta, porém destaca-se que devido aos novos conceitos dos sistemas *Smart Grids* novas funcionalidades são aplicáveis cujas características tornam o OpenDSS uma ferramenta diferenciada para simulações no ambiente de distribuição de energia.

3.2 ESTRUTURA COMPUTACIONAL

O projeto do OpenDSS foi elaborado com o objetivo de criar uma ferramenta cuja interface fosse acessível a todos os níveis de usuário minimizando as limitações de estudos realizáveis, havendo a possibilidade de usuários de nível avançado construir interfaces a outros programas quando desejado. O programa foi desenvolvido sob o conceito de que nunca é possível antecipar as necessidades de cada usuário.

Neste sentido, a estrutura do *software* OpenDSS que define os dados, a interface e os elementos de circuito foram desenvolvidos na linguagem orientada a objetos *Object Pascal*, originalmente através do ambiente de desenvolvimento Delphi. As funções para soluções e cálculos, principalmente a solução de matrizes esparsas foram escritas nas linguagens C e C++.

A estrutura final do *software* OpenDSS resultante deste trabalho pode ser visualizado na figura 4:

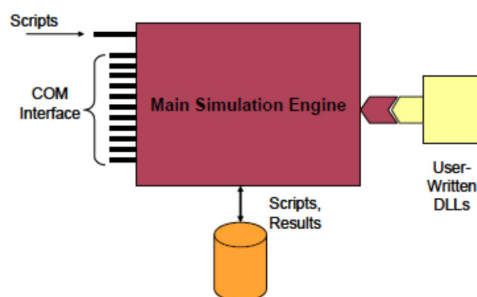


FIGURA 4 - ESTRUTURA DO SOFTWARE OPENDSS

FONTE: DUGAN (2013)

O *software* não possui uma interface gráfica na forma de diagrama unifilar ou trifilar para entrada de dados. Dessa forma, toda a codificação deve ser realizada através de *scripts* de comando.

Uma das formas de realizar esta codificação é através da interface de texto onde o usuário pode utilizar o programa inserindo os *scripts* adequados ao circuito a ser simulado. Dugan e McDermott (2011) destacam que esta solução atende a maioria dos usuários que utilizam o OpenDSS.

O OpenDSS não necessita de um sistema administrador de banco de dados para operação. As saídas do programa são obtidas através dos *scripts results* ou a interface *Component Object Model* (COM), conforme destacado na figura 4. Os resultados das simulações são disponibilizados nos formatos de arquivo de texto ou exportados no formato *Comma Separated Value* (CSV) que podem ser manipulados através de aplicativos como o Microsoft Excel ou MATLAB para pós-processamento.

DUGAN (2013) destaca que através da interface COM é possível inserir valores em qualquer banco de dados ou acessar as funções internas do OpenDSS. Isto permite ao usuário projetar soluções personalizadas através da utilização de linguagens de programação conhecidas, como VBA, C# ou até mesmo o MATLAB.

Outra característica estrutural do OpenDSS é a possibilidade de modificação do código fonte ou a comunicação através do desenvolvimento de arquivos *Dynamic Link Library* (DLL).

A plataforma desenvolvida em código aberto permite que o programa seja modificado desde que o contrato de licença de distribuição seja respeitado. Através do desenvolvimento de uma DLL o usuário pode ter acesso aos módulos internos, realizar novos tipos de estudos, obter relatórios, preocupando-se exclusivamente com o modelo do dispositivo de interesse na simulação, deixando que o OpenDSS execute outras funções do sistema de distribuição.

Ainda que muitas funcionalidades do OpenDSS sejam acessíveis somente a usuários que possuam conhecimentos avançados em programação, a utilização das funções internas através da interface de *scripts* permite a usuários comuns utilizar o *software* manipulando estas funções possibilitando a realização da simulação desejada.

3.3 MODELAGEM DAS LINHAS, TRANSFORMADORES E CARGAS

Nesta seção apresentam-se os modelos para linhas, transformadores e cargas. Os modelos apresentados visam oferecer o suporte necessário a interpretação dos elementos do simulador OpenDSS utilizados nos circuitos simulados neste trabalho.

3.3.1. Modelo para linhas de distribuição

A modelagem para as linhas de distribuição corresponde ao modelo pi, também utilizado nos sistemas de transmissão. O modelo matricial aplicado a configuração mencionada possibilita a parametrização completa da linha. A figura 5 apresenta a configuração deste modelo.

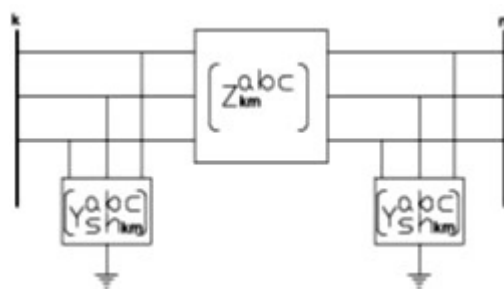


FIGURA 5 – MODELO PI PARA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO

FONTE: PEREIRA(2006)

O modelo pi aplicado a um sistema trifásico de distribuição completo é ilustrado na figura 6.

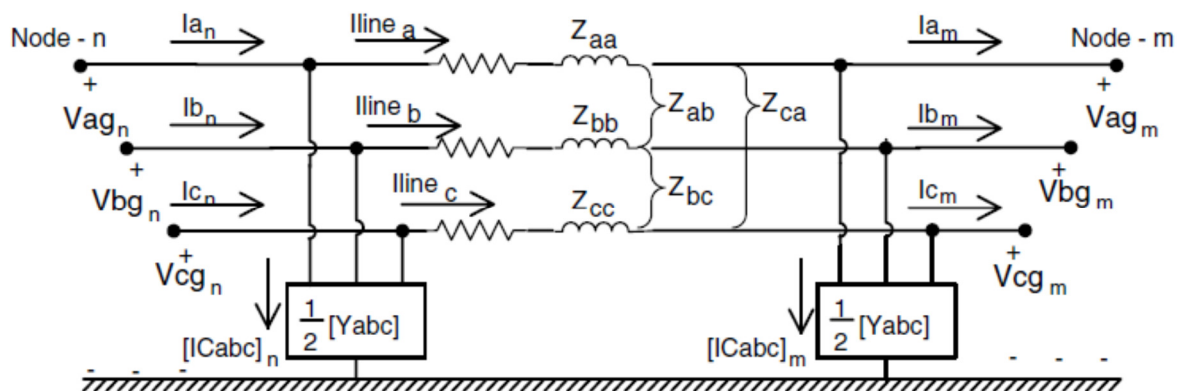


FIGURA 6 – MODELAGEM TRIFÁSICA PARA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO

FONTE: KERSTING (2002).

As matrizes correspondentes a linha deste sistema são:

$$[Z_{nm}^{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{nm}^{aa} & Z_{nm}^{ab} & Z_{nm}^{ac} \\ Z_{nm}^{ba} & Z_{nm}^{bb} & Z_{nm}^{bc} \\ Z_{nm}^{ca} & Z_{nm}^{cb} & Z_{nm}^{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{nm}^{aa} & r_{nm}^{ab} & r_{nm}^{ac} \\ r_{nm}^{ba} & r_{nm}^{bb} & r_{nm}^{bc} \\ r_{nm}^{ca} & r_{nm}^{cb} & r_{nm}^{cc} \end{bmatrix} + j \begin{bmatrix} x_{nm}^{aa} & x_{nm}^{ab} & x_{nm}^{ac} \\ x_{nm}^{ba} & x_{nm}^{bb} & x_{nm}^{bc} \\ x_{nm}^{ca} & x_{nm}^{cb} & x_{nm}^{cc} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$[Ysh_{nm}^{abc}] = j \begin{bmatrix} b_{nm}^{aa} & b_{nm}^{ab} & b_{nm}^{ac} \\ b_{nm}^{ba} & b_{nm}^{bb} & b_{nm}^{bc} \\ b_{nm}^{ca} & b_{nm}^{cb} & b_{nm}^{cc} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

onde,

Z_{nm}^{aa} : impedância própria da fase a entre as barras n e m;

Z_{nm}^{bb} : impedância própria da fase b entre as barras n e m;

Z_{nm}^{cc} : impedância própria da fase c entre as barras n e m;

Z_{nm}^{ab} , Z_{nm}^{ba} : impedância mútua entre as fases a e b entre as barras n e m;

Z_{nm}^{bc} , Z_{nm}^{cb} : impedância mútua entre as fases b e c entre as barras n e m;

Z_{nm}^{ac} , Z_{nm}^{ca} : impedância mútua entre as fases c e a entre as barras n e m;

$[Z_{nm}^{abc}]$: matriz de impedâncias trifásica entre as barras n e m;

$[Ysh_{nm}^{abc}]$: matriz de admitâncias shunt trifásica entre as barras n e m;

b_{nm}^{aa} : susceptância capacitiva da fase a entre as barras n e m;

b_{nm}^{bb} : susceptância capacitiva da fase b entre as barras n e m;

b_{nm}^{cc} : susceptância capacitiva da fase c entre as barras n e m;

b_{nm}^{ab} , b_{nm}^{ba} : susceptância capacitiva mútua entre as fases a e b entre as barras

n e m;

b_{nm}^{bc} , b_{nm}^{cb} : susceptância capacitiva mútua entre as fases a e b entre as barras

n e m;

b_{nm}^{ac} , b_{nm}^{ca} : susceptância capacitiva mútua entre as fases a e b entre as barras

n e m.

KERSTING (2002) destaca também a utilização de um modelo mais simples utilizando os valores de reatância de sequência positiva e sequencia zero. Destaca-se que o OpenDSS também utiliza esta opção de modelagem onde podem ser utilizados tais valores.

Neste caso,

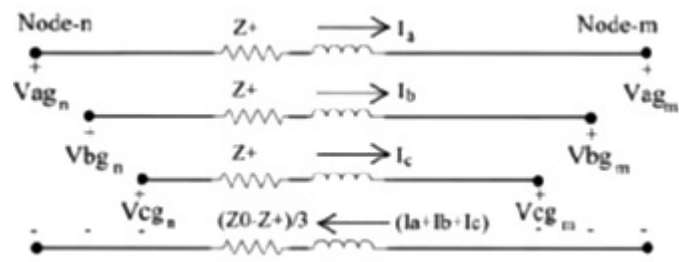


FIGURA 7 – MODELO DE COMPONENTES SIMÉTRICAS PARA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO
FONTE: KERSTING (2002).

$$[Z_{seq}] = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_+ & 0 \\ 0 & 0 & Z_+ \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$[A_s] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s^2 & a_s \\ 1 & a_s & a_s^2 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$[A_s]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s & a_s^2 \\ 1 & a_s^2 & a_s \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

onde,

Z_{seq} : matriz de impedâncias de componente simétricas;

Z_0 : impedância de sequência zero;

Z_+ : impedância de sequência positiva;

a_s : operador rotacional, $a_s = 1/\underline{120^\circ}$;

Utilizando a transformação reversa da impedância obtêm-se os valores aproximados (Z_{aprox}).

$$[Z_{aprox}] = [A_s][Z_{seq}][A_s]^{-1} \quad (3.6)$$

$$[Z_{aprox}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} (2Z_+ + Z_0) & (Z_0 - Z_+) & (Z_0 - Z_+) \\ (Z_0 - Z_+) & (2 \cdot Z_+ + Z_0) & (Z_0 - Z_+) \\ (Z_0 - Z_+) & (Z_0 - Z_+) & (2 \cdot Z_+ + Z_0) \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

onde,

$[Z_{aprox}]$: matriz aproximada de impedâncias trifásica entre as barras n

e m.

3.3.2. Modelagem dos transformadores

Os transformadores se constituem em elementos de extrema importância para realização das simulações. Muitos modelos podem ser utilizados para aplicação em simuladores. Destacam-se a seguir as principais características referentes aos modelos com enfoque na aplicação no simulador OpenDSS.

KERSTING (2002) destaca a utilização de diversos tipos de conexão para os transformadores, como sendo:

- delta – estrela aterrada;
- estrela não aterrada – delta;
- estrela aterrada – estrela aterrada;
- delta-delta;
- estrela aberta – delta.

Destaca-se que no desenvolvimento deste trabalho todos os transformadores são do tipo delta-estrela aterrada ou estrela aterrada - delta.

Neste tipo de conexão haverá sempre uma defasagem angular entre os enrolamentos assim, qualquer que seja a relação de transformação, haverá sempre um multiplicador envolvido nas relações de tensão e corrente, conforme destaca KERSTING (2002).

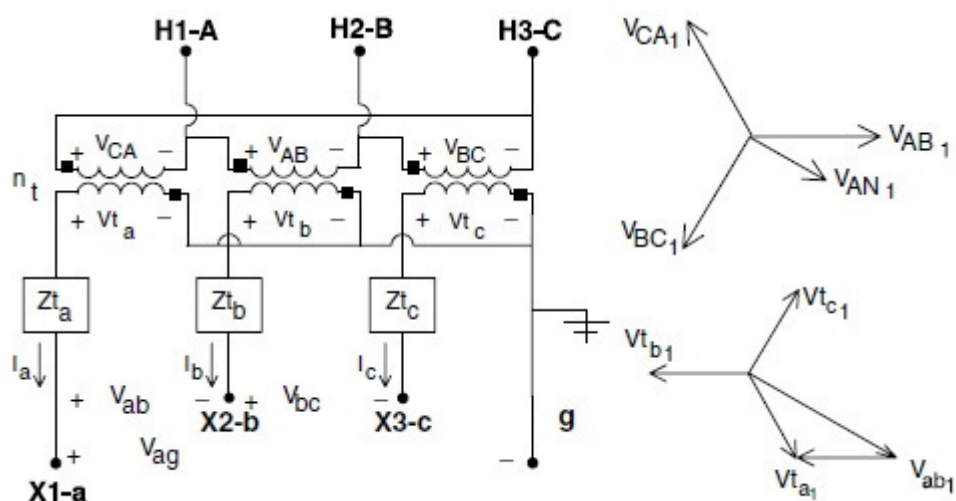


FIGURA 8 – LIGAÇÃO DELTA-ESTRELA PARA TRANSFORMADOR

FONTE: KERSTING (2002)

$$I_a = \frac{I_A}{n \cdot \sqrt{3}} / \alpha_{IA} - 30 \quad (3.8)$$

$$V_{ab} = n \cdot \sqrt{3} \cdot V_{AB} / \delta_{VAB} - 30 \quad (3.9)$$

onde,

I_a / α_{IA} : corrente de linha no enrolamento secundário;

V_{ab} / δ_{Vab} : tensão de linha no enrolamento secundário;

I_A / α_{IA} : corrente de linha no enrolamento primário;

V_{AB} / δ_{VAB} : tensão de linha no enrolamento primário;

n : relação de transformação.

Nesta condição, as impedâncias do transformador equivalem a matriz:

$$[Z_{t_{abc}}] = \begin{bmatrix} Z_{ta} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{tb} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{tc} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

onde,

Z_{ta} : impedância interna da fase a;

Z_{tb} : impedância interna da fase b;

Z_{tc} : impedância interna da fase c.

Conforme aborda KINDERMANN (1997), para obtenção dos parâmetros do transformador este elemento deve ser submetido a ensaios de curto circuito, o que geralmente realiza-se no processo de fabricação. Neste processo, aplica-se tensão no enrolamento primário com secundário em curto circuito. Neste ensaio obtém-se o valor para Z_{ps} , impedância do primário ao secundário, referida ao primário.

3.3.3. Modelagem das cargas

As cargas conectadas a um sistema de distribuição são normalmente especificadas pela potência complexa máxima consumida.

A especificação desta demanda pode ser realizada especificando a potência aparente e o fator de potência, a potência ativa e fator de potência ou as potências ativa e reativa da carga. Destaca-se que a demanda consumida por uma carga é

dependente da tensão de alimentação. Os métodos de cálculo de fluxo de potência para obtenção das tensões de barra também dependem do valor das cargas aplicadas, gerando uma dependência recíproca entre as variáveis. Isto sugere que métodos iterativos de cálculo sejam empregados (KERSTING, 2002).

A utilização destes métodos iterativos depende ainda do modelo da carga, que define a forma com a qual esta carga varia com a tensão de alimentação. De acordo com KERSTING (2002) aplicam-se os seguintes modelos:

- potência ativa e reativa constante (PQ);
- corrente constante;
- impedância constante;
- modelo combinado.

Destacam-se nos itens a seguir a modelagem destas cargas considerando-se o sistema trifásico equilibrado para cargas conectadas em estrela proposto por KERSTING (2002).

Neste esquema conectam-se as cargas conforme a figura abaixo:

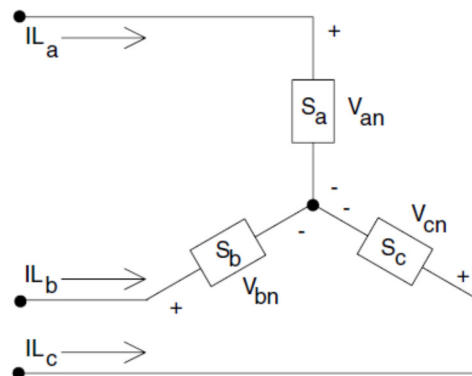


FIGURA 9 – LIGAÇÃO DE UMA CARGA EM ESTRELA
KERSTING (2002)

$$|S_a|/\underline{\theta}_a = P_a + jQ_a \text{ e } |V_{an}|/\underline{\delta}_a \quad (3.11)$$

$$|S_b|/\underline{\theta}_b = P_b + jQ_b \text{ e } |V_{bn}|/\underline{\delta}_b \quad (3.12)$$

$$|S_c|/\underline{\theta}_c = P_c + jQ_c \text{ e } |V_{cn}|/\underline{\delta}_c \quad (3.13)$$

Onde,

$|S_a|/\underline{\theta}_a$: potência aparente complexa da fase a;

$|S_b|/\underline{\theta}_b$: potência aparente complexa da fase b;

$|S_c|/\underline{\theta}_c$: potência aparente complexa da fase c;

$P_a + jQ_a$: potência ativa e reativa da fase a;

$P_b + jQ_b$: potência ativa e reativa da fase b;

$P_c + jQ_c$: potência ativa e reativa da fase c;

$|V_{an}|/\underline{\delta}_a$: tensão fase-neutro, fase a;

$|V_{bn}|/\underline{\delta}_b$: tensão fase-neutro, fase b;

$|V_{cn}|/\underline{\delta}_c$: tensão fase-neutro, fase c.

- Modelo potência ativa e reativa constante (PQ)

Em uma configuração de potência ativa e reativa constante, as correntes de linha são definidas pelas equações:

$$IL_a = \left(\frac{S_a}{V_{an}}\right)^* = \frac{|S_a|}{|V_{an}|} / \underline{\delta}_a - \underline{\theta}_a = |IL_a| / \underline{\alpha}_a \quad (3.14)$$

$$IL_b = \left(\frac{S_b}{V_{bn}}\right)^* = \frac{|S_b|}{|V_{bn}|} / \underline{\delta}_b - \underline{\theta}_b = |IL_b| / \underline{\alpha}_b \quad (3.15)$$

$$IL_c = \left(\frac{S_c}{V_{cn}}\right)^* = \frac{|S_c|}{|V_{cn}|} / \underline{\delta}_c - \underline{\theta}_c = |IL_c| / \underline{\alpha}_c \quad (3.16)$$

onde,

IL_a : corrente da linha a;

IL_b : corrente da linha b;

IL_c : corrente da linha c;

Neste modelo as potências permanecem constantes e as tensões alteram em cada interação do programa.

- Modelo impedância constante

Neste modelo é primeiramente determinada a impedância usando a potência complexa especificada e as tensões de fase assumidas:

$$Z_a = \left(\frac{|V_{an}|^2}{S_a^*}\right)^* = \frac{|V_{an}|^2}{S_a} / \underline{\theta}_a = |Z_a| / \underline{\theta}_a \quad (3.17)$$

$$Z_b = \left(\frac{|V_{bn}|^2}{S_b^*} \right)^* = \frac{|V_{bn}|^2}{S_b} / \underline{\theta}_b = |Z_b| / \underline{\theta}_b \quad (3.18)$$

$$Z_c = \left(\frac{|V_{cn}|^2}{S_c^*} \right)^* = \frac{|V_{cn}|^2}{S_c} / \underline{\theta}_c = |Z_c| / \underline{\theta}_c \quad (3.19)$$

onde,

Z_a : impedância da fase a;

Z_b : impedância da fase b;

Z_c : impedância da fase c;

A obtenção das correntes de cargas é em função das impedâncias constantes, dadas por:

$$IL_a = \frac{V_{an}}{Z_a} = \frac{|V_{an}|}{|Z_a|} / \underline{\delta}_a - \underline{\theta}_a = |IL_a| / \underline{\alpha}_a \quad (3.20)$$

$$IL_b = \frac{V_{bn}}{Z_b} = \frac{|V_{bn}|}{|Z_b|} / \underline{\delta}_b - \underline{\theta}_b = |IL_b| / \underline{\alpha}_b \quad (3.21)$$

$$IL_c = \frac{V_{cn}}{Z_c} = \frac{|V_{cn}|}{|Z_c|} / \underline{\delta}_c - \underline{\theta}_c = |IL_c| / \underline{\alpha}_c \quad (3.22)$$

A impedância calculada em (2.18), (2.19) e (2.20) permanece constante, mas as tensões de fase são alteradas a cada iteração.

- Modelo corrente constante

Neste modelo as magnitudes das correntes são calculadas de acordo com as equações (3.20), (3.21) e (3.22). Em seguida, são mantidas constantes, enquanto os ângulos das tensões variam, resultando numa mudança no ângulo das correntes de modo a que o fator de potência da carga mantenha-se constante.

$$IL_a = |IL_a| / \underline{\delta}_a - \underline{\theta}_a \quad (3.23)$$

$$IL_b = |IL_b| / \underline{\delta}_b - \underline{\theta}_b \quad (3.24)$$

$$IL_c = |IL_c| / \underline{\delta}_c - \underline{\theta}_c \quad (3.25)$$

onde,

θ_{abc} : ângulo do fator de potência;

δ_{abc} : ângulo das tensões de fase.

- Modelo combinado

A combinação de cargas pode ser modelada a partir da atribuição de um percentual da carga total para cada um dos três modelos de carga mencionados. A corrente total na linha de carga será a soma das três componentes especificadas.

3.4 ALGORITMOS DE SOLUÇÃO

O fluxo de potência é um dos recursos mais comuns utilizados pelo OpenDSS já que qualquer recurso de simulação disponível é precedido do cálculo das tensões nodais ou contribuições de correntes. Para obter este fluxo de potência o OpenDSS utiliza o método de injeção de correntes (CIM).

Esta característica representa uma das principais diferenciações entre o OpenDSS e os simuladores convencionais. Conforme destaca DUGAN e MECDERMOTT (2011), muitos simuladores ainda utilizam métodos como o *forward-backward sweep* (FBS) detalhado em KERSTING (2002), que são pouco funcionais para sistemas muito ramificados e em anel.

Conforme aborda CARNEIRO *et al.* (2000), os sistemas de distribuição são caracterizados por baixas relações R/X (resistência/reatância) e condições de desequilíbrio fazendo com que os métodos tradicionais apresentem baixo desempenho.

Desta forma o método CIM desponta como uma alternativa viável para realização de simulações de fluxo de potência em circuitos de distribuição.

CARNEIRO *et al.* (2000) apresenta a formulação completa do método CIM para circuitos trifásicos desequilibrados. Nesta formulação, o algoritmo monta a matriz Y_{prim} para cada elemento, computando os valores de contribuição de corrente e tensões nodais resultando em um sistema de equações. A diagonal da matriz de admitâncias é atualizada a cada iteração. As equações básicas deste método são descritas abaixo.

A corrente para o modelo trifásico de uma barra “k” é obtida por:

$$\Delta I_k^2 = \frac{(P_k^{sp})^s - j(Q_k^{sp})^s}{(E_k^s)^*} - \sum_{i \in \beta_k} \sum_{i \in \alpha_p} Y_{ki}^{st} E_i^t \quad 3.26$$

$$E_k = V_{rk} + jV_{mk} \quad 3.27$$

$$(P_k^{sp})^s = P_{gk}^s - P_{lk}^s \quad 3.28$$

$$(Q_k^{sp})^s = Q_{gk}^s - Q_{lk}^s \quad 3.29$$

onde,

$(P_k^{sp})^s, (Q_k^{sp})^s$, potência ativa e reativa especificadas para a barra k na fase s;

P_{gk}^s, Q_{gk}^s , potência ativa e reativa para os geradores na barra k na fase s;

P_{lk}^s, Q_{lk}^s , potência ativa e reativa para as cargas na barra k na fase s;

$Y_{ki}^{st} = G_{ki}^{st} + jB_{ki}^{st}$, é a matriz de admitância nodal dos elementos da barra k;

$s, t \in \alpha_p$;

$\alpha_p \in \{a, b, c\}$;

$k = \{1, \dots, n\}$, n é o número total de barras;

β_k , conjunto de barras diretamente conectadas a barra k;

E_k , tensão complexa na barra k.

A equação 3.21 pode ser representada pelas suas partes reais e imaginárias.

$$\Delta I_{rk}^2 = \frac{(P_k^{sp})^s V_{rk}^s + (Q_k^{sp})^s V_{mk}^s}{(V_{rk}^s)^2 + (V_{mk}^s)^2} - \sum_{i=1}^n \sum_{t \in \alpha_p} (G_{ki}^{st} V_{ri}^t - B_{ki}^{st} V_{mi}^t) \quad 3.30$$

$$\Delta I_{mk}^2 = \frac{(P_k^{sp})^s V_{mk}^s + (Q_k^{sp})^s V_{rk}^s}{(V_{rk}^s)^2 + (V_{mk}^s)^2} - \sum_{i=1}^n \sum_{t \in \alpha_p} (G_{ki}^{st} V_{mi}^t - B_{ki}^{st} V_{ri}^t) \quad 3.31$$

As equações 3.30 e 3.31 são indicadas através dos parâmetros especificados e calculados.

$$\Delta I_{rk}^s = (I_{rk}^{sp})^s - (I_{rk}^{calc})^s \quad 3.32$$

$$\Delta I_{mk}^s = (I_{mk}^{sp})^s - (I_{mk}^{calc})^s \quad 3.33$$

Aplicando-se o método de newton as equações 3.30 e 3.31 o sistema linear de equações abaixo é obtido.

$$\begin{array}{c|c}
\begin{array}{c} \Delta I_{m1}^{abc} \\ \Delta I_{r1}^{abc} \\ \hline \Delta I_{m2}^{abc} \\ \Delta I_{r2}^{abc} \\ \hline \vdots \\ \hline \Delta I_{mn}^{abc} \\ \Delta I_{rn}^{abc} \end{array} & = & \begin{array}{c|c|c|c|c}
Y_{11}^{abc} & Y_{12}^{abc} & \dots & Y_{1n}^{abc} & \\ \hline
Y_{21}^{abc} & Y_{22}^{abc} & \dots & Y_{2n}^{abc} & \\ \hline
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ \hline
Y_{n1}^{abc} & Y_{n2}^{abc} & \dots & Y_{nn}^{abc} & \\ \hline
\end{array} & \begin{array}{c|c}
\Delta V_{r1}^{abc} \\ \Delta V_{m1}^{abc} \\ \hline \Delta V_{r2}^{abc} \\ \Delta V_{m2}^{abc} \\ \hline \vdots \\ \hline \Delta V_{rn}^{abc} \\ \Delta V_{mn}^{abc} \end{array}
\end{array} \quad (3.34)$$

Os elementos fora da diagonal são idênticos aos elementos correspondentes a matriz de admissão do barramento. Para um sistema trifásico os elementos da matriz 3.34 representam blocos em uma estrutura 6x6 e são obtidos através das equações citadas abaixo. A equação 3.35 representa os elementos fora da diagonal e a 3.36 os elementos da diagonal.

$$Y_{im}^{abc} = \begin{bmatrix} B_{im}^{abc} & G_{im}^{abc} \\ G_{im}^{abc} & -B_{im}^{abc} \end{bmatrix} \quad 3.35$$

$$i, m = 1, 2, \dots, n$$

$$Y_{kk}^{abc} = \begin{bmatrix} (B'_{kk})^{abc} & (G'_{kk})^{abc} \\ (G''_{kk})^{abc} & (B''_{kk})^{abc} \end{bmatrix} \quad 3.36$$

onde,

$$(B'_{kk})^{abc} = B_{kk}^{abc} - \begin{bmatrix} a_k^a & & \\ & a_k^b & \\ & & a_k^c \end{bmatrix} \quad 3.37$$

$$(G'_{kk})^{abc} = G_{kk}^{abc} - \begin{bmatrix} b_k^a & & \\ & b_k^b & \\ & & b_k^c \end{bmatrix} \quad 3.38$$

$$(G''_{kk})^{abc} = G_{kk}^{abc} - \begin{bmatrix} c_k^a & & \\ & c_k^b & \\ & & c_k^c \end{bmatrix} \quad 3.39$$

$$(B''_{kk})^{abc} = -B_{kk}^{abc} - \begin{bmatrix} d_k^a & & \\ & d_k^b & \\ & & d_k^c \end{bmatrix} \quad 3.40$$

Os elementos $a_k^S, b_k^S, c_k^S, d_k^S$ são dependentes do modelo de carga adotado e são atualizados nas iterações de acordo com a equações específica para cada modelo da carga conectada a barra (CARNEIRO *et al*, 2000).

CARNEIRO *et al*. (2000) exemplifica a montagem de uma matriz de admitâncias no método CIM aplicado a um sistema simples de 4 barras compostas somente por barras PQ (potência ativa e reativa especificadas).

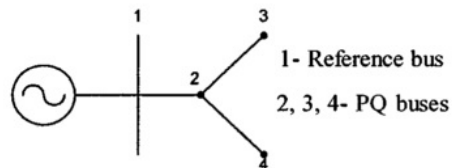
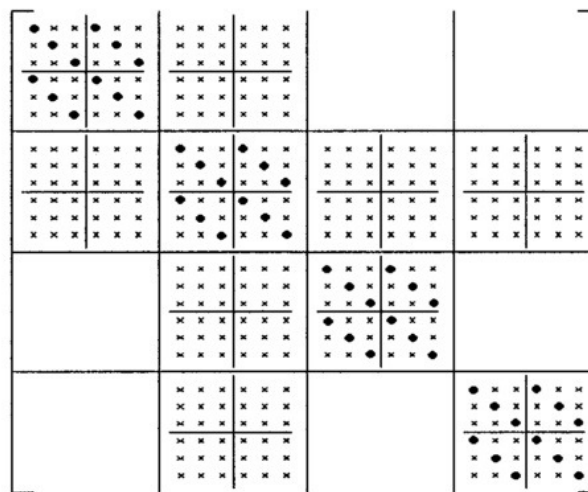


FIGURA 10 – SISTEMA PQ 4 BARRAS

FONTE: CARNEIRO *et al* (2000)

Neste modelo a barra de referência é a barra 1 e as demais barras constituem em sistema PQ. A matriz resultante equivalente a este sistema pode ser visualizada abaixo.



• => elementos que são atualizados
x => elementos não atualizados

FIGURA 11 – MATRIZ DO SISTEMA PQ 4 BARRAS

FONTE: ADAPTADO CARNEIRO *et al* (2000)

No OpenDSS este método opera de forma muito similar excetuando-se o fato de que matriz de admitância quase nunca é alterada mas somente se o programa verificar desvios significativos. Isto faz o método aplicado ser muito mais rápido e convergir em poucas iterações (DUGAN, 2013).

O início do algoritmo para o fluxo de potência no OpenDSS ocorre com a montagem das matrizes primitivas (Y_{prim}) de cada elemento, conforme ilustra a figura abaixo para um sistema trifásico:

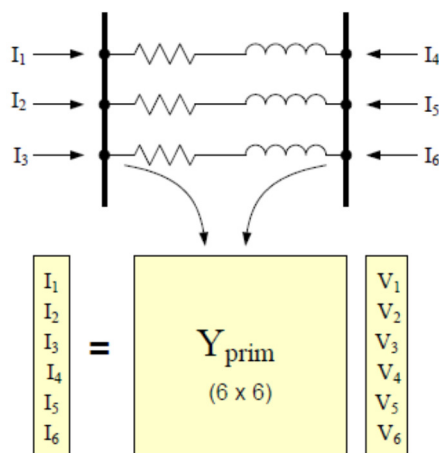


FIGURA 12 – MODELAGEM DA MATRIZ Y_{PRIM}

FONTE: DUGAN (2013)

Obtendo-se a matriz primitiva de cada elemento o programa poderá construir a matriz para todo o sistema.

DUGAN (2013) destaca o algoritmo de solução em três passos básicos:

1. Remoção de todos os elementos de conversão de energia da rede, como geradores e cargas. Calcular o valor inicial de tensão do barramento para a iteração com a matriz de admissão da rede desta forma.
2. Conectar todos os elementos na rede e calcular a injeção de corrente (I_{inj}) de cada elemento de conversão com a sua matriz de admissão, tensão do nó e potência.
3. Utilizar as correntes de injeção de cada elemento para formar uma matriz de injeção de corrente. As tensões dos nós podem ser calculadas com a matriz corrente de injeção e o sistema de matriz de admissão através da operação da matriz. Manter a iteração até que o erro de tensões nodais seja inferior a tolerância.

Este método é chamado de *iterative power flow* (DUGAN, 2013).

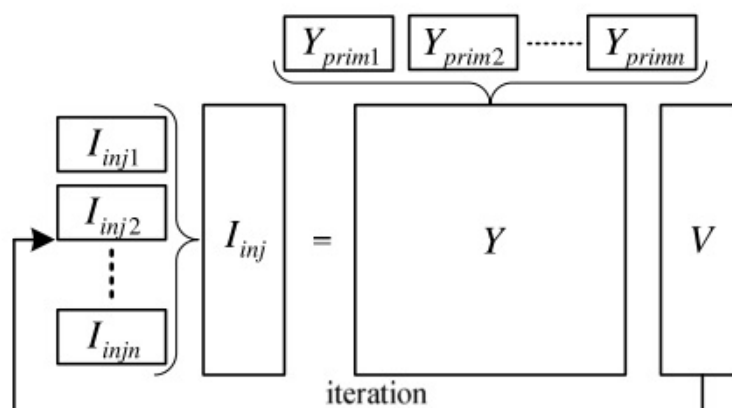


FIGURA 13 – MODELO DO *ITERATIVE POWER FLOW*

FONTE: DUGAN (2013)

Os métodos iterativos são os mais utilizados nas simulações no OpenDSS. A versão 7 do programa possibilita a utilização de dois métodos iterativos: o método normal (CIM) ou o método de *Newton*.

DUGAN (2013) destaca que o método de *Newton* mencionado não corresponde ao conhecido método de *Newton-Raphson* e sim a uma variação do método CIM onde as matrizes são atualizadas a cada iteração, conforme proposto por CARNEIRO *et al.* (2000).

Existe ainda a possibilidade de se utilizar uma solução direta, sem nenhuma iteração. Possibilita-se esta simulação através do método direto, *direct solution* o qual realizará apenas o primeiro passo da simulação, obtendo-se as tensões e correntes sem atualização das matrizes.

3.5 PRINCIPAIS RECURSOS DE SIMULAÇÃO

A versão 7 do OpenDSS permite o acesso a cinco recursos básicos de análises para realização de simulações: *Power Flow*, *Fault Studies*, *Harmonic Flow Analysis*, *Dynamics* e *Geomagnetically Induced Current Analysis*.

Para todos os recursos existe a possibilidade de ajuste do modelo de simulação através do parâmetro *set mode*. A alteração deste parâmetro permite ao usuário modificar o algoritmo de solução fazendo com que o circuito seja submetido a diferentes condições de operação.

Nos tópicos que seguem serão explorados estes recursos indicando suas funcionalidades e possibilidades de simulações.

3.5.1. *Power Flow*

O estudo *Power Flow* é utilizado para análise de fluxo de potência do circuito com a possibilidade de parametrização de características específicas conforme a necessidade de cada simulação.

Segundo DUGAN (2013), o fluxo de potência é executado de várias formas onde a carga pode variar com o tempo. Esta variação temporal da carga é associada a um fator multiplicador através do parâmetro "*LoadMult*", que altera o valor das cargas definidas como variáveis no tempo para as próximas iterações. As cargas fixas não são afetadas.

Os principais modos de simulação do fluxo de potência são:

I. *Snapshot power flow*

Este modo realiza uma simulação instantânea do fluxo de potência com as cargas fixas em seu valor nominal. O programa realiza uma série de iterações até que a convergência seja alcançada.

Por padrão, o OpenDSS realiza no máximo 15 iterações. Este número de iterações pode ser modificado, o número excessivo de iterações sugere que existe alguma incoerência na modelagem do circuito (DUGAN, 2014).

II. *Direct*

O modelo *Direct* realiza uma simulação sem iterações. As cargas são definidas por suas matrizes de admitância como em todos os outros modos. As fontes de tensão são convertidas para fontes de corrente e os valores de tensão e corrente de contribuição em cada barra serão os mesmos obtidos no modo instantâneo *Snapshot* para a primeira iteração.

III. *Daily mode*

Utiliza-se este modo para realizar uma série de soluções com base na curva diária de carga programada. O passo de cada solução pode ser manipulado, sendo o padrão 3600s (1 hora). Define-se a hora inicial da simulação e o programa OpenDSS aplica as mesmas condições do modo *Snapshot* para realização da série de simulações que compõe uma curva diária de carga.

IV. *Yearly mode*

No modo *Yearly* as condições de simulação são similares ao modo *Daily* utilizando-se uma curva anual da carga programada. Cada carga segue sua evolução anual programada, podendo ser atribuído um fator de crescimento para as mesmas, se desejável. Este modo pode suportar a simulação da carga para 8760 horas de operação. O passo de incremento de cada solução é atribuído para simular uma hora de operação, conforme modo *Daily*, mas o resultado final apresenta o somatório de todos os dias compondo a solução total anual.

Os modos de operação permitem que sejam obtidos os resultados de tensão, corrente, fluxo de potência, perdas elétricas e outras informações do circuito.

3.5.2. *Fault Studies*

Utiliza-se o modo *Fault Studies* para realização de estudos de curto circuito no alimentador.

Um estudo convencional de curto circuito pode ser realizado através do parâmetro "*set mode = Faultstudy*". Esta simulação permite a simulação de falta para todas as barras, retornando o valor de todas as tensões, correntes para faltas trifásicas, fase-fase, fase-terra ou fase-fase-terra. Estas simulações são importantes para o dimensionamento de transformadores, ajuste de reles de proteção e dimensionamento de fusíveis.

Através do “*set mode = snapshot*” pode-se realizar a simulação de falta em barras selecionadas do sistema, definindo o valor da resistência de falta no ponto em estudo. Existe ainda a opção de “*set mode = Monte Carlo*” para aplicações de faltas aleatórias nas barras do sistema. Este modo é adequado para estudos de qualidade de energia, quedas de tensão ou contribuição da GD na ocorrência de uma falta em vários pontos do sistema.

3.5.3. *Harmonic Flow Analysis*

A presença de distorções harmônicas nas redes de distribuição é uma grande preocupação das concessionárias de energia. O crescimento da utilização de cargas não lineares faz com que este problema seja cada vez maior, podendo ocasionar o mau funcionamento de equipamentos e a queda na qualidade da energia elétrica fornecida.

Segundo KHAN (2007), o estudo da presença de frequências harmônicas se faz necessário para evitar problemas futuros, nos seguintes casos:

- possibilidade de exceder os valores máximos de distorção harmônica, permitida conforme legislação vigente;
- problemas na aplicação de capacitores para correção de fator de potência;
- mau funcionamento de equipamentos do sistema elétrico de potência, sistemas eletrônicos ou sistemas de controle.

Frequências harmônicas são tensões ou correntes que possuam frequências múltiplas da fundamental. Um estudo de harmônicos deve calcular tanto para a frequência fundamental quanto para as harmônicas as tensões das barras e correntes das linhas (FARHANA; NOR; SAID, 2012).

Pode-se realizar um estudo de fluxo de potência com análise de frequências harmônicas no OpenDSS através do recurso *Harmonic Flow Analysis*.

Segundo DUGAN (2013), estes estudos são recursos naturais do programa devido as origens do *software* DSS, que eram pautados em estudos de fluxo de potência com frequências harmônicas.

Para o cálculo das tensões e correntes das frequências harmônicas o OpenDSS implementa a matriz linear de admitâncias enquanto a equação de rede do

sistema linear é resolvido para cada frequência harmônica (FARHANA; NOR; SAID, 2012).

Este sistema representa a solução da equação:

$$I_m = Y_m * V_m; m = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.41)$$

onde:

I_m = vetor de correntes das fontes

Y_m = vetor nodal de admitâncias

V_m = vetor das tensões das barras

m = ordem do harmônico

Inicialmente, realiza-se a análise de fluxo de potência no modo *snapshot power flow* ou *direct solution* se desejável uma solução mais rápida. Após a convergência, o usuário poderá solicitar a solução de harmônicos através do comando “*Solve mode = harmonics*” (DUGAN, 2013).

FARHANA, NOR e SAID (2012) destacam que o OpenDSS resolverá o sistema para cada frequência especificada em qualquer elemento do circuito. Para interpretar os resultados o usuário poderá programar monitores de energia² no circuito em torno da área de estudo. Os resultados de cada elemento podem ser exportados no formato CSV e computados externamente para cálculo da *Total Harmonic Distortion* (THD).

3.5.4. Outras funcionalidades

O OpenDSS possui outras funcionalidades para realização de simulações que se diferenciam dos modelos usuais de fluxo de potência. Estas funcionalidades estão disponíveis no OpenDSS através dos modos de simulação *Dynamics* e *Geomagnetically Induced Current Analysis*.

² Os monitores de energia são elementos, em forma de objetos do programa OpenDSS, para monitorar determinadas áreas do circuito. Estes elementos retornam inúmeras variáveis de interesse para análise detalhada do ramo do circuito.

I. Modo *Dynamics*

O modo de simulação *Dynamics* é adequado para realização de análises de transitórios em pequenos degraus de tempo, geralmente muito baixos, na ordem de 0,2 ms a 1,0ms.

Para realização destas análises os geradores são modelados como um sistema *single-mass*, composto basicamente por uma fonte de tensão atrás de uma reatância (KUNDUR, 1994).

O modelo disponibilizado no OpenDSS impõe algumas limitações já que não prevê a malha de controle entre a máquina e os reguladores de velocidade, reguladores de tensão e controle de excitação. DUGAN (2013) destaca que o modelo de gerador proposto pelo OpenDSS, apesar de simplificado, atende a maior parte dos estudos típicos para redes de distribuição envolvendo este tipo de geração.

Para iniciar a simulação deve-se utilizar o comando "*Solve mode=dynamics*" para realizar a simulação. A resposta neste modo pode ser visualizada através da programação de monitores de energia próximos do gerador ou na região do circuito em análise.

II. *Geomagnetically Induced Current Analysis* (GIC)

O fenômeno da indução de corrente geomagnética ocorre quando existe a circulação de uma corrente elétrica induzida através dos diferentes potenciais de terra, no neutro aterrado em transformadores conectados em estrela.

Este fenômeno é conhecido desde o início de 1940 e é agravado durante a incidência das tempestades ou explosões solares. Estes eventos geram grandes flutuações transitórias no campo elétrico e magnético da terra determinando a ocorrência da GIC (ALBERTSON, 1981).

HORTON (2012) destaca que a GIC pode alterar significativamente o comportamento do sistema elétrico afetado. As correntes induzidas pelo GIC são caracterizadas como de baixa frequência (*quasi* DC) e podem atingir valores significativos a ponto de ocasionar o

superaquecimento de transformadores, operação incorreta de reles de proteção ou a instabilidade da tensão do sistema.

Para iniciar a simulação deve-se parametrizar a frequência em 0,1 (Hz) através do comando “*Set Frequency = 0.1*” e em seguida o comando “*Solve*”.

3.6 ELEMENTOS DO CIRCUITO

3.6.1. Modelo das barras e nós de conexão

Em muitos simuladores de fluxo de potência, a barra é o elemento de referência para os elementos do circuito e pouco se diferencia o conceito de nó e barra. No OpenDSS isto ocorre de maneira diferente, já que o conceito de nó e barra se distinguem.

A estrutura orientada ao objeto do programa interpreta que a barra é um contêiner que compreende muitos nós. A principal propriedade de uma barra é a tensão e cada nó possui um valor de tensão em relação à referência, no caso o ponto de terra remoto.

A figura 14 ilustra o conceito de barra e nós.

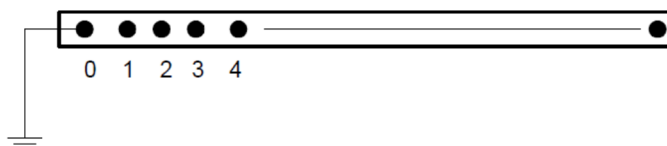


FIGURA 14 - MODELO DA BARRA E NÓS

FONTE: DUGAN (2013)

Através deste objeto interligam-se os elementos do sistema de distribuição em análise. Pode-se conectar qualquer elemento de múltiplos terminais a uma barra do sistema.

A figura 15 ilustra a conexão de um transformador trifásico de dois enrolamentos cujos terminais são conectados aos nós específicos de cada barra.

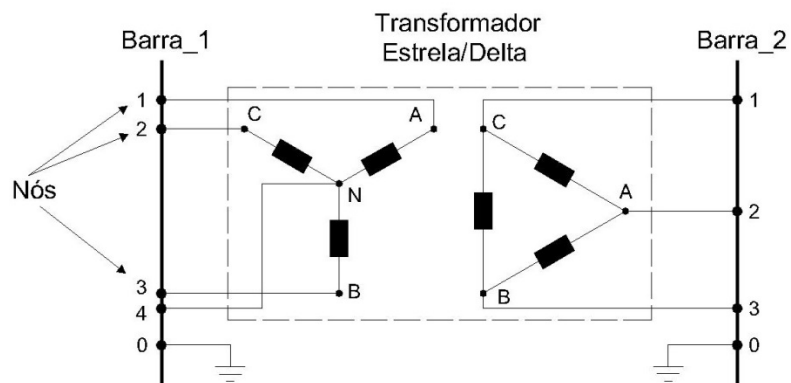


FIGURA 15 - CONEXÃO DOS NÓS DE UM TRANSFORMADOR À BARRA

FONTE: O autor (2014)

Para cada nó existe uma equação de admitância para o cálculo da injeção de corrente no circuito que é somada a cada nó. Esta característica possibilita a modelagem monofásica ou de cargas desequilibradas.

O nó zero é, por definição, sempre conectado a referência e a este nó atribui-se o valor de zero Volt. As demais conexões poderão ser definidas pelo usuário de três formas distintas:

- I. na forma padrão do programa onde não são especificados os nós das barras. O programa assume que o terminal 1 é conectado ao nó 1 e assim sucessivamente. O terminal de neutro é conectado ao nó zero de referência, neste caso;
- II. especificar somente a primeira fase conectada ao terminal 1. O programa assume que o restante das fases estarão conectadas aos outros terminais, na sequência padrão. O terminal de neutro é assumido como conectado a referência;
- III. especificar explicitamente todos os nós conectados à barra. O terminal de neutro, neste caso, será mantido como ponto flutuante. Poderão ser definidos nós de neutro e terra com potenciais distintos à referência, mas deve-se sempre numerá-los após todas as fases.

Realiza-se o comando “nome_da_barra.i.j.k”, onde “i.j.k” são os nós referentes à barra do circuito.

3.6.2. *PDElement*

Define-se no OpenDSS os elementos de entrega de energia como *PDElement*, sigla para *power delivery element*. A função essencial destes elementos é a entrega de energia de um ponto para outro do circuito.

O *PDElement* é definido em seu estado estacionário através da matriz de admitância do elemento. Geralmente possui dois terminais, um de entrada e outro de saída, conforme ilustrado abaixo.

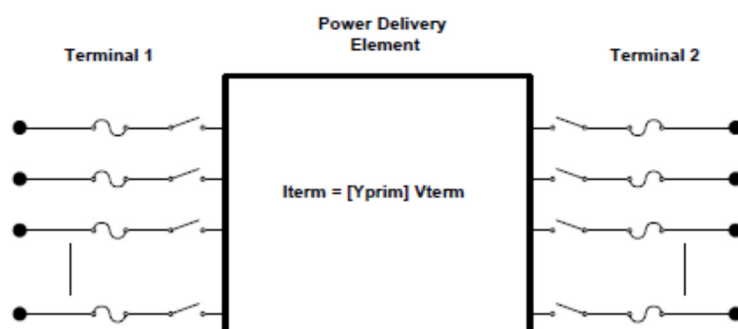


FIGURA 16 - MODELO DO *PDELEMENT*

FONTE: DUGAN (2013)

Durante a utilização do *PDElement* para definição dos componentes do circuito deve-se verificar as características específicas de cada elemento. O OpenDSS possibilita ao usuário a utilização do *PDElement* para definição de linhas de distribuição, bancos de capacitores, transformadores e reguladores de tensão.

3.6.2.1. Objeto *PDElement* - Linha de Distribuição (LD)

A definição de uma linha de distribuição (LD) é uma das formas mais comuns de utilização do objeto *PDElement*. Pode-se definir um elemento LD para sistemas de múltiplas fases ou sistemas unifilares de duas portas.

O *PDElement* LD é definido basicamente pelos valores das impedâncias da LD. Podem-se utilizar os valores das impedâncias através dos valores das

componentes simétricas ou através das matrizes de impedância num modelo completo.

Uma forma útil e organizada de se programar uma LD no OpenDSS é através de um objeto *LineCode*. Através deste recurso define-se um objeto padrão contendo os parâmetros para as linhas. Estes parâmetros serão copiados pelo programa para cada linha declarada de acordo com o *LineCode* especificado a cada nova linha.

Pode-se também utilizar os dados geométricos da LD. Este recurso está disponível através do objeto *LineGeometry*, onde são definidos os dados geométricos da linha, dos cabos e estruturas e a partir destes dados o OpenDSS calculará todos os parâmetros da LD, inserindo-os nas respectivas matrizes de admitância.

3.6.2.2. Objeto *PDElement* – Capacitor

O modelo *PDElement* para um capacitor se constitui de um elemento de fornecimento de energia de dois terminais.

Define-se o primeiro terminal para a barra a qual o banco será conectado especificando cada nó ao terminal do capacitor. O segundo terminal pode ser a continuidade do circuito ou um terminal de neutro ou terra. Caso o segundo terminal não seja especificado o OpenDSS conecta este terminal à terra já que a conexão padrão é a estrela aterrada.

Podem-se utilizar as conexões padrão dos sistemas de distribuição para formação de bancos de capacitores e, alternativamente, o programa possibilita que qualquer outro tipo de conexão seja criada, desde que os nós e terminais sejam devidamente declarados.

3.6.2.3. Objeto *PDElement* – Reator

Assim como nos capacitores o *PDElement* pode ser utilizado para definição de reatores ou banco de reatores. Definem-se as barras as quais o elemento será conectado ou na ausência da definição da segunda barra a conexão padrão estrela aterrada é utilizada.

O elemento reator é por padrão no OpenDSS uma indutância em série a uma resistência. Destaca-se que para algumas aplicações, em filtros ou em simulações de frequências harmônicas, pode ser necessário modelar uma resistência denotada

como R_p , conectada em paralelo ao reator. Esta característica permite ao usuário modificar a resposta em frequência do elemento.

Utiliza-se este elemento para qualquer aplicação dos reatores nos sistemas de distribuição. Destaca-se que as principais aplicações deste elemento são monofásicas através da conexão no neutro de transformadores, geradores ou para modelar cargas desequilibradas e monofásicas do sistema.

3.6.2.4. Objeto *PDElement* – Transformador

Define-se o *PDElement* transformador como um elemento de múltiplos terminais e enrolamentos. O padrão do OpenDSS utiliza o sistema trifásico para dois enrolamentos, o primário em estrela e o secundário em delta. Outras especificações deverão ser definidas pelo usuário.

Sempre que o *PDElement* transformador for modificado no programa o usuário deverá utilizar o comando “wdg=...” para especificar o enrolamento ao qual a modificação do parâmetro deverá ser aplicada.

Destaca-se que os parâmetros do transformador são especificados no programa geralmente nas unidades fundamentais conforme o sistema internacional de unidades (SI), com exceção as reatâncias entre enrolamentos que devem ser definidas por unidade (pu). As constantes térmicas para controle de carregamento são especificadas conforme a norma IEEE/ANSI C57.

3.6.3. *PCElement*

Os *PCElement* são objetos modelados para representar os elementos de conversão de energia. No OpenDSS os elementos de conversão de energia representam as cargas, geradores e dispositivos de armazenamento.

Geralmente possui um terminal conforme ilustrado abaixo.

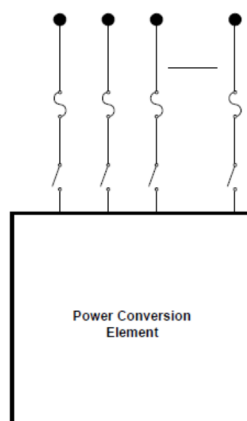


FIGURA 17 – MODELO DO *PCELEMENT*

FONTE: DUGAN (2013)

A representação destes dispositivos pode ser complexa uma vez que a operação destes objetos é dependente das variáveis do sistema em questão. Deve-se utilizar o modelo compatível com as características desejadas de desempenho para a simulação. Nos tópicos deste capítulo são exemplificados os modelos disponíveis para os objetos *PCElement*.

3.6.3.1. Objeto *PCElement* – Carga

A carga é um elemento de conversão de energia que está presente em todas as simulações de um sistema. Sua representação pode ser complexa, já que é extremamente difícil prever o comportamento de uma carga em um sistema de distribuição. Desta forma, para atingir bons resultados em uma simulação, o usuário deverá parametrizar este elemento visando modelar o comportamento da carga o mais próximo possível da realidade.

Para realizar estas parametrizações o OpenDSS disponibiliza uma série de configurações que modelam este objeto. A carga é basicamente definida pelo valor de sua potência ativa nominal em (kW), potência reativa em (kVar) e por seu fator de

potência (PF). Pode-se alterar o modo de operação da carga através de um conjunto de multiplicadores que incluem a alteração para circuito multiplicador global de carga através do comando "*LoadMult=*" que afetará todas as cargas do circuito, a utilização de forma de carga anual, forma carga diária, e uma carga na forma de um ciclo de trabalho, conforme o modo de operação desejado.

No OpenDSS as cargas são assumidas naturalmente como equilibradas para o número de fases especificadas. Caso seja desejado simular cargas desequilibradas o usuário deverá programar cargas monofásicas em separado das polifásicas.

Pode-se especificar a base da carga de três formas distintas:

- potência ativa (P) em (kW) e fator de potência (PF);
- potência ativa (kW) e potência reativa (Q) em (kVar);
- potência aparente (S) em (KVA) e fator de potência (PF).

Além das especificações totais para a base da carga deve-se especificar de que forma a carga pode variar com a tensão do sistema. Para isto, o usuário deverá utilizar o comando para a carga "*Model=*", que deverá receber um número inteiro de acordo com os parâmetros abaixo:

- "*Model=1*", carga normal com P e Q constantes;
- "*Model=2*", carga de impedância constante;
- "*Model=3*", P é constante e Q varia de forma quadrática, conforme um motor;
- "*Model=4*", P varia linearmente e Q varia de forma quadrática, misto de resistência e um motor;
- "*Model=5*", carga do tipo retificador onde P e a corrente são constantes;
- "*Model=6*", P é constante e Q fixado no valor nominal;
- "*Model=7*", P é constante e Q possui a impedância fixada ao valor nominal;

Para simulações de fluxo de potência onde a carga varia com o tempo pode-se especificar o arquivo no formato CSV de onde os parâmetros da carga deverão ser carregados pelo programa.

3.6.3.2. Objeto *PCElement* - Gerador

O gerador é um objeto de conversão de energia no OpenDSS cuja parametrização é similar ao de uma carga do programa. A manipulação do objeto é basicamente definida pelo valor de sua potência ativa nominal em (kW), potência reativa em (kVar) e por seu fator de potência (PF).

Pode-se utilizar o objeto gerador no OpenDSS para realização de diversos estudos sendo que os principais são o modo *dynamics*, *power flow* e o modo *harmonics*.

Para simular a operação do gerador pode-se manipular a variável “*DispValue*” para controle do despacho de carga. Para um valor igual a zero o gerador seguirá a curva padrão fornecida pelo usuário ou, caso do valor de “*DispValue*” seja maior que zero, o gerador só entra em operação na simulação quando o valor do multiplicador global de carga excede ao valor parametrizado em “*DispValue*”.

Em simulações onde o gerador é mantido sempre ligado, pode-se programar a variável “*Status = fixed*” para mantê-lo em operação na simulação. O padrão no OpenDSS é o “*Status = Fixed*” que sempre segue uma curva de despacho fornecida pelo usuário.

O objeto gerador possui contadores de energia para registrar a operação do objeto durante uma simulação. O contador de energia do objeto gerador fornece os seguintes resultados:

- energia ativa total despachada (kWh);
- energia reativa total despachada (kvarh);
- potência ativa máxima (kW);
- potência aparente máxima (kVA);
- horas de operação (h);
- valor monetário da energia despachada (\$).

Em análises de fluxo de potência pode-se definir o comportamento do objeto gerador no OpenDSS alterando-se a variável “*Model=*” das seguintes formas:

- “*Model=1*”, para potência ativa (P) e reativa (Q) constantes;
- “*Model=2*”, para impedância (Z) constante;
- “*Model=3*”, para P constante, o módulo e ângulo da tensão (V) serão as variáveis da solução ao invés de P e Q;

- “*Model=4*”, para P constante e Q fixado. P segue o valor da curva de despacho e Q será um valor fixo;
- “*Model=5*”, para P constante e a reatância com valor fixo. P segue a curva de despacho e Q será calculada para o valor da reatância fixada;
- “*Model=6*”, para um modelo definido pelo usuário;
- “*Model=7*”, para P constante limitado pela corrente.

DUGAN (2013) destaca que se utiliza “*Model=1*” geralmente em estudos de planejamento para a distribuição onde se deseja especificar os valores das potências ativa e reativa. Utiliza-se o modelo de impedância constante para soluções aproximadas ou estudos preliminares da distribuição.

3.6.3.3. Objeto *PCElement – Storage*

O *PCElement Storage* é um objeto do programa OpenDSS utilizado para simulações que envolvam acumuladores de energia. Utiliza-se este elemento em simulações tanto para consumir energia quanto para fornecê-la ao circuito, dentro das capacidades de armazenamento programadas. A figura 18 ilustra a configuração deste elemento no OpenDSS.

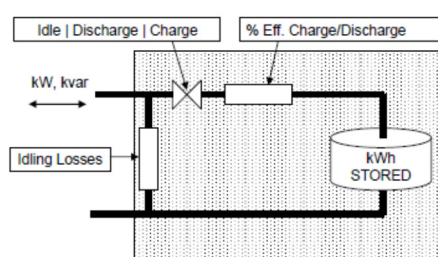


FIGURA 18 - MODELO DO ELEMENTO *STORAGE*.

FONTE: DUGAN (2013)

Conforme se verifica na figura 18, o elemento *Storage* é modelado através de uma fonte interna de energia cujo despacho é controlado por um circuito de disparo para a carga ou descarga. Também pode ser atribuído a este elemento características de eficiência para carga ou descarga além das perdas internas do elemento para as simulações de fluxo de potência.

Como as simulações de fluxo de potência podem ser realizadas nos modos *Snapshot power flow* ou nas configurações em que a carga varia com o tempo, no

modo *Snapshot*, define-se somente um modo de operação para realizar a simulação de carga ou descarga. DUGAN (2013) destaca que nas simulações onde a carga varia com o tempo, utilizam-se os modelos de variação diária ou anual.

Nestes modelos realizam-se simulações mais completas, onde se analisam questões energéticas durante um determinado período de tempo ou ainda verificam-se a eficácia do elemento armazenador de energia. Nestes casos, destaca-se a utilização de elementos de geração foto voltaica que apresentam oscilação de eficiência durante os períodos diurno ou noturno.

3.6.4. Controls

É possível utilizar no OpenDSS elementos de controle para alguns objetos do programa. Estes elementos atuam no controle dos objetos desejados durante a execução do programa, possibilitando a simulação da ação do elemento de controle durante uma simulação.

DUGAN (2013) destaca que o OpenDSS possibilita a manipulação do controle da operação, através da linha de comando, para bancos de capacitores, reguladores de tensão ou comutadores dos transformadores de carga (LTC). Outros elementos podem ser manipulados, mas deve-se programar o controle através da interface COM do OpenDSS.

Os elementos de controle atuam durante a execução da simulação emitindo mensagens ao programa. Caso seja necessário realizar uma atuação de controle, o algoritmo do OpenDSS coloca esta mensagem em uma fila para que o comando seja executado na próxima iteração.

Estas simulações podem ser realizadas nos diversos modos disponíveis no OpenDSS, e são muito utilizadas nas análises de fluxo de potência. Nestas análises quando for necessária a simulação da operação dos dispositivos de controle de bancos de capacitores, LTC ou reguladores de tensão o OpenDSS disponibiliza a utilização de objetos específicos para tais elementos chamados de *CapControl* e *RegControl*.

O objeto *CapControl* é manipulado através do monitoramento da tensão e corrente no terminal de um *PCElement* ou *PDElement*, enviando mensagens de fechamento ou abertura para um objeto capacitor. Realiza-se o controle através da

parametrização do objeto *CapControl* manipulando-se, essencialmente, as seguintes variáveis:

- *Type* indica a variável monitorada (tensão ou corrente);
- *ON*, valor atingido pela variável para ligar o capacitor;
- *OFF*, valor atingido pela variável para desligar o capacitor;
- *Delay* indica a contagem de tempo para atuação

Para utilizar um *RegControl* deve-se indicar a qual transformador o objeto esta associado. Pode-se utilizar este controle para monitorar a tensão do enrolamento indicado, podendo enviar uma mensagem de comutação para o TAP de qualquer enrolamento do mesmo transformador.

Outra possibilidade é o monitoramento remoto da tensão. Indica-se, neste caso, a barra remota que deve ser monitorada e o enrolamento do transformador que deve ter o TAP alterado.

3.6.5. *Energy Meters*

O objeto *EnergyMeter* é um contador de energia que simula o comportamento de um medidor de energia real. Utiliza-se este objeto no OpenDSS para monitorar variáveis do sistema em um determinado ponto ou uma área específica do circuito.

O *EnergyMeter* opera através de vários registradores que são associados a este objeto e possibilitam o retorno das variáveis desejadas. Estes registradores podem ser acumuladores de energia, indicadores de sobrecarga, perdas do circuito ou qualquer outro registro disponível no OpenDSS.

Deve-se utilizar o *EnergyMeter* sempre iniciando-o através do terminal de algum outro objeto do circuito. Este terminal indica o início da zona de atuação do medidor.

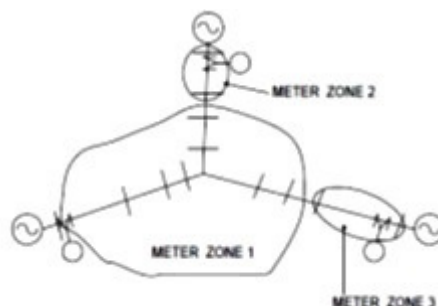


FIGURA 19 - ZONAS DE ATUAÇÃO DO OBJETO *ENERGYMETER*

FONTE: DUGAN (2013)

Devem-se indicar quais objetos pertencentes a esta zona deverão ter os dados computados pelos registradores. Realiza-se este procedimento especificando um vetor com o nome de todos estes objetos através do comando “*zonelist=[objeto1.nome_do_objeto1, objeto2.nome_do_objeto2]*”. Para obter os resultados utiliza-se o comando “*Show Meters*” como opção para a solução da simulação.

3.6.6. *Monitors*

O objeto *Monitor* é um monitor de energia que pode ser programado para monitorar inúmeras variáveis do circuito. Este monitor opera de forma distinta dos medidores de energia já que não possui registradores e não realiza o monitoramento de uma zona específica do circuito durante a simulação.

Deve-se associar o objeto *Monitor* a um *PDElement* ou *PCElement*. Por padrão registra-se durante a simulação o tempo e o módulo e ângulo da tensão, corrente para todas as fases. Pode-se configurar o monitoramento de outras variáveis através do parâmetro *mode*.

Para parametrizar o valor de *mode*, o OpenDSS disponibiliza uma máscara de bits para configuração. Configura-se o peso do valor desejado realizando-se o somatório dos valores conforme o que segue abaixo:

- 0: modo padrão. São registrados os valores complexos de tensão e corrente para todas as fases;
- 1: potência complexa ativa e reativa por fase;
- 2: monitoramento dos TAP's do enrolamento de um transformador;
- 3: variáveis de estado de um *PCElement*;

- 16: componentes de sequência positiva, negativa e zero;
- 32: registra somente o módulo das variáveis;
- 64: registra somente valores de sequência positiva.

Os dados registrados são salvos em um arquivo de texto “TXT” pelo OpenDSS mas pode-se exportá-los para um arquivo “CSV”. Também é possível exibir gráficos através de uma ferramenta disponibilizada no OpenDSS.

3.6.7. Fontes e outros elementos

O OpenDSS possui alguns objetos do programa que não representam necessariamente um dispositivo real do circuito. São três elementos chamados de *Vsource*, *Isource* e *Fault object* utilizados como dispositivos auxiliares no programa.

O objeto *Vsource* é utilizado na inicialização de uma simulação de fluxo de potência e representa a fonte equivalente do sistema elétrico a qual o alimentador está conectado.

O *Vsource* é comumente definido após a declaração do circuito representando a barra da subestação do sistema através da declaração da tensão base do sistema em (kV) e potência de curto circuito em (MVA).

Para simulações que envolvam componentes não lineares, como no modo *Harmonics*, pode-se utilizar o objeto *Isource* para simular uma fonte de injeção de corrente em qualquer barra do circuito. Este objeto permite a simulação de um espectro de frequências que são múltiplas da fundamental do circuito.

O OpenDSS possui um objeto específico para estudos de curto circuito, denominado *Fault Object*. Podem-se declarar inúmeros *Fault Object* para o mesmo circuito, sendo necessário informar para cada um o ponto do circuito onde a falta será aplicada. A exceção é modo Monte Carlo que aplica faltas aleatórias em diversos pontos do circuito.

3.7 RECURSOS DE PROGRAMAÇÃO

Os *scripts* de comando de programação no OpenDSS podem ser executados de três formas distintas: através da janela de execução do próprio programa, através da interface COM ou através do direcionamento do compilador para um arquivo de

texto comum. A utilização da interface COM do programa exigirá o conhecimento da linguagem de programação externa para comunicação com o OpenDSS.

A sintaxe padrão para programação é definida através de uma ordem de comandos, indicando-se a ação, o objeto e seu nome seguido de todos os parâmetros separados por uma vírgula, conforme ilustrado abaixo:

```
CommandVerb ElementClass.Element.Param1=Val1, Param2=Val2
```

FIGURA 20 - SINTAXE DE COMANDO DO OPENDSS

FONTE: DUGAN (2013)

Caso seja utilizado um comando genérico, não vinculado a um elemento do circuito, pode-se utilizar a mesma sintaxe, porém sem a necessidade de definir o elemento citando-se diretamente os parâmetros após o verbo de comando.

Alguns caracteres são reservados pelo compilador, dentre os quais se destacam: O caractere “~” significa a continuação da linha do programa imediatamente acima; “!” é utilizado para inserir um comentário em uma linha do programa; “//” representa um comentário não interpretado pelo compilador; “=” para atribuição de valor a uma variável. Utilizam-se ainda os caracteres “|” para representar uma separação de linhas de uma matriz e o “.” para delimitar uma classe e objeto. Destacam-se na tabela 1 os verbos de comando interpretados pelo OpenDSS.

TABELA 1 – PRINCIPAIS VERBOS DE COMANDO DO OPENDSS

Verbo	Descrição
<i>New</i>	Cria um novo elemento do circuito.
<i>Edit</i>	Edita um elemento específico do circuito.
<i>Set</i>	Define a opção de solução.
<i>Solve</i>	Realiza a simulação do circuito atual.
<i>Show</i>	Exibe o resultado do fluxo de potência em um arquivo TXT.
<i>Export</i>	Exporta o resultado para um arquivo CSV.
<i>Plot</i>	Plota na tela em formato gráfico o resultado da simulação.

FONTE: O autor (2014)

Verifica-se que para algumas funções de programação no OpenDSS pode ser necessária a utilização de um arquivo externo contendo as informações do elemento, visando melhor organização do código já que alguns parâmetros podem utilizar várias linhas do programa. A figura 21 destaca o carregamento de um arquivo CSV contendo os multiplicadores de carga de um objeto *LoadShape*.

```
LoadShape.LS1 mult=(File='Example.csv')
```

FIGURA 21 - SINTAXE DE COMANDO PARA ARQUIVO EXTERNO

FONTE: DUGAN (2013)

Utilizando-se corretamente as funções mencionadas é possível realizar diversas simulações no OpenDSS. Destaca-se que a execução do programa é realizada de forma estruturada em uma varredura *top-down* devendo-se seguir uma sequência lógica na programação do *script* de comando. Na tabela abaixo é ilustrada uma sequência de passos para realizar tal execução.

TABELA 2 – SEQUÊNCIA DE COMANDO NO OPENDSS

Passo	Ação	Principais Comandos	Comentários
1	Definição do circuito.	a) <i>Clear</i> ; b) <i>New</i> .	Limpar registradores e definir elementos do circuito: fontes, transformadores, linhas e cargas.
2	Configurar opções do circuito.	a) <i>Set</i> .	Use o comando <i>Set</i> para configurar os elementos do circuito.
3	Resolver o problema de fluxo de potência.	a) <i>CalcVoltageBases</i> ; b) <i>Solve</i> .	Primeiramente devem-se calcular as tensões base para todas as barras antes do comando <i>Solve</i> ;
4	Realizar análise.	a) <i>Visualize</i> ; b) <i>Plot</i> ; c) <i>Export</i> .	O comando <i>Visualize</i> para um elemento específico. O comando <i>Plot</i> para todo o circuito. O comando <i>Export</i> para exportar os resultados em formato CSV ou TXT.

FONTE: O autor (2014)

O usuário pode consultar em tempo de execução o comando *help* disponível na interface gráfica do OpenDSS para obter a descrição de todas as funções do programa.

3.8 RECURSOS GRÁFICOS

Apesar de não possuir uma interface gráfica para programação do circuito através do diagrama ou projeto, o OpenDSS apresenta alguns recursos disponíveis através das barras de ferramentas do programa.

Estes recursos são acessados através da interface principal, que é a tela inicial. Na figura 22 destaca-se esta interface e todas as abas de comando disponíveis ao usuário.

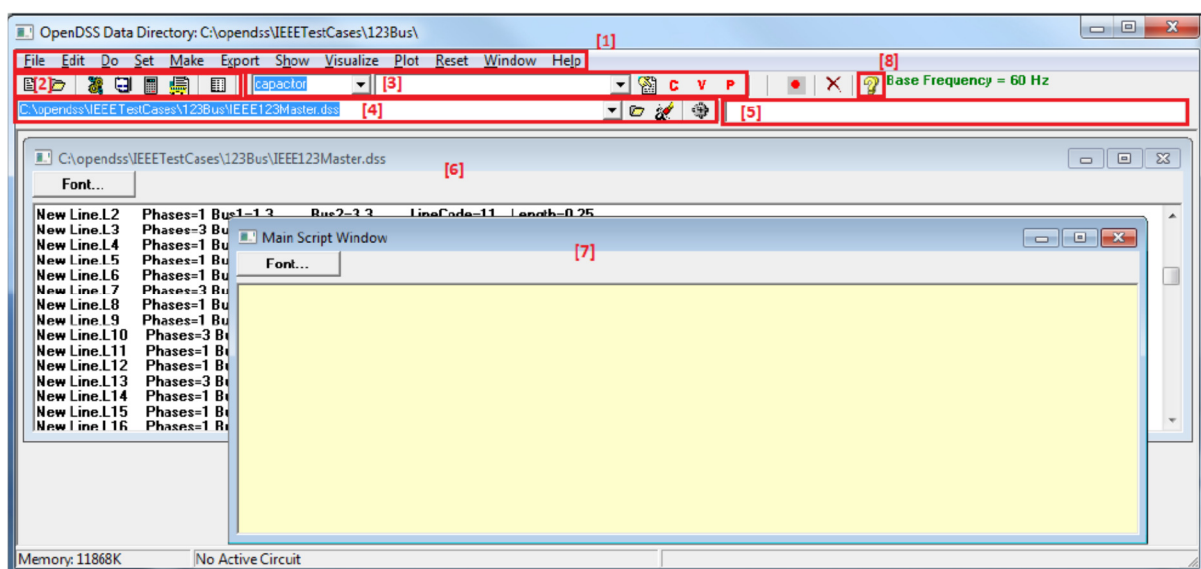


FIGURA 22 – TELA DE INTERFACE PRINCIPAL

FONTE: DUGAN (2013)

Verifica-se na lista abaixo a descrição dos principais componentes destacados na figura 22.

- 1) Aba principal: possibilita o acesso a maior parte dos recursos de interesse de uma simulação. Destacam-se as abas:
 - *Set* permite alterar os parâmetros dos elementos da simulação;
 - *Export* permite salvar arquivos no formato CSV;
 - *Show* apresenta o conteúdo dos resultados diretamente na interface gráfica;
 - *Visualize*, apresenta o resultado gráfico para o elemento selecionado;
 - *Plot* apresenta o resultado gráfico para todo o circuito.

- 2) Aba de acesso direto a funções como “*Solve*”, “*Summary*” e “*Do Command*”;
- 3) Permite ao usuário a seleção para alteração ou visualização por tipo de elemento;
- 4) Abas de execução de *script*. Permite selecionar qual o *script* é o *script* em execução;
- 5) Menu alternativo para exibição de resultados;
- 6) Janela de *scripts* para editar os arquivos no formato *.dss.
- 7) Tela auxiliar para execução dos *scripts* de comando. Funciona como um bloco de notas, mas também permite a execução do código;
- 8) Botão de acesso aos tópicos de ajuda.

Estes recursos estão disponíveis através dos *scripts* de programação, mas destaca-se a agilidade na manipulação dos objetos e visualização dos resultados através da utilização dos componentes desta interface.

3.8.1. Comandos do Menu *Plot*

Os circuitos de distribuição apresentam características específicas quanto a sua topologia, podendo ser extremamente malhados, ramificados ou muito extensos.

Características como as citadas acima podem dificultar a visualização dos resultados das simulações. Visando facilitar este trabalho o OpenDSS possui uma interface exibição gráfica chamada de DSSView.

Esta interface permite ao usuário plotar alguns resultados e verificar, visualmente, as variáveis desejadas. Estes recursos estão disponíveis através do *script* de comando ou da aba do programa *plot*. Destaca-se a utilização do recurso *plot circuit* e *plot profile*.

O comando *plot circuit* gera um gráfico com o desenho do circuito cujas espessuras das linhas podem variar de acordo com a corrente, potência, tensão ou perdas ao longo do circuito.

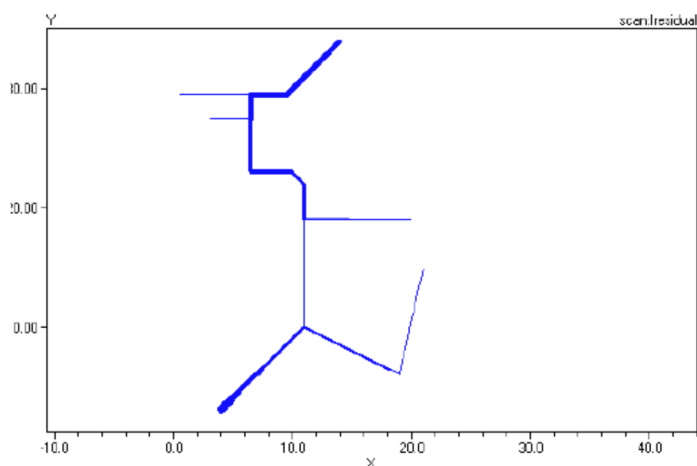


FIGURA 23 – GRÁFICO PARA O COMANDO *PLOT CIRCUIT*
 FONTE: DUGAN (2013)

Destaca-se que para a visualização do circuito deve-se programar a coordenada de todas as barras do circuito através do parâmetro *Buscoords*.

Outra possibilidade de visualização é o recurso *plot profile*. Este recurso imprime um gráfico que representa a tensão ao longo do alimentador, exibindo as fases e as distâncias conforme programado pelo usuário. A figura 24 ilustra esta função.

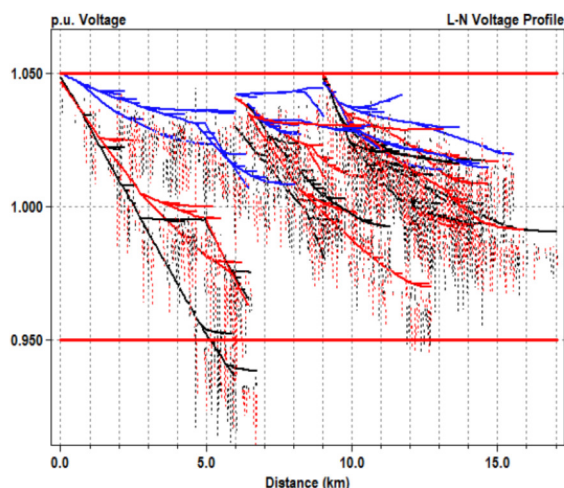


FIGURA 24 – GRÁFICO PARA O COMANDO *PLOT PROFILE*
 FONTE: DUGAN (2013)

Destaca-se que para utilizar este recurso deve-se inserir um monitor de energia no ponto inicial desejado do circuito para cálculo das distâncias, que no caso é a soma dos comprimentos das linhas desde o monitor até última barra.

A tela gerada pelo comando *circuit plot* possibilita também a visualização de algumas variáveis de trechos do circuito. Isto é possível selecionando-se o trecho e pressionando-se o botão direito do *mouse*, conforme destacado na figura 25.

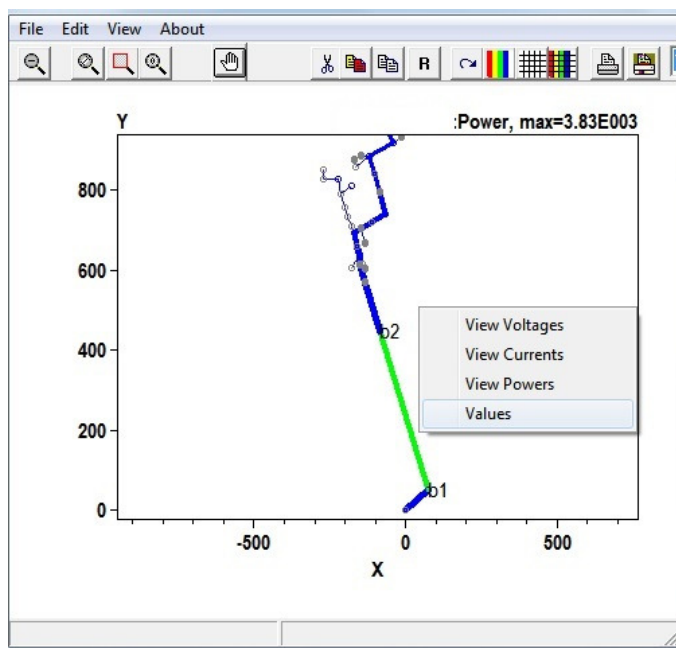


FIGURA 25 – VISUALIZAÇÃO DO COMANDO *PLOT CIRCUIT*

FONTE: O autor (2014)

Conforme se verificou, os modos gráficos disponíveis no OpenDSS podem ser extremamente úteis para realização estudos nos alimentadores de distribuição e além podem ser utilizados como ferramentas de conferência durante a programação de um novo circuito. Destaca-se também a possibilidade de se exportar dados e gerar gráficos em programas editores de planilhas eletrônicas.

4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Como forma de verificar as funcionalidades do OpenDSS foram realizadas simulações em dois casos teste: IEEE 4 barras e o caso 48 barras.

4.1 CASO IEEE 4 BARRAS

Este caso teste utiliza um sistema radial de 4 barras elaborado pelo comitê de estudos de redes de distribuição do IEEE. Este circuito pode ser visualizado abaixo.

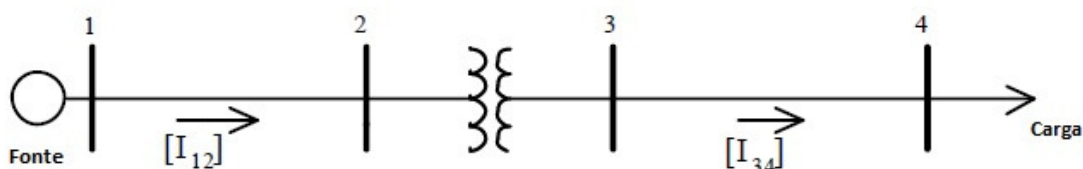


FIGURA 26 – DIAGRAMA DO CIRCUITO IEEE 4 BARRAS

FONTE: IEEE (2006)

O circuito é composto por um único transformador utilizado para rebaixar o nível de tensão de distribuição para atendimento da carga conectada à barra 4. Neste barramento esta conectada uma única carga. Os dados deste circuito são apresentados no apêndice A.

4.1.1. Simulação 1: Análise dos modelos de carga

Na simulação realizada neste circuito objetivou-se analisar os modelos de carga disponibilizados pelo programa. Conforme se abordou, o programa possibilita a utilização de modelos de carga cujo comportamento modifica-se com modulo da tensão.

Os dados do circuito em todas as simulações foram os mesmos, somente alterou-se o modelo da carga.

Foi introduzida ao circuito uma carga variável, cujo ciclo de variação diário é demonstrado no apêndice A5. O patamar de carga varia de 25% a 125% da potência base em 6 MVA. Este é um modelo de carga teórico, criado para introduzir distorções na tensão do circuito e possibilitar variações na carga.

Estas cargas foram denominadas conforme o modelo disponível no OpenDSS, descritos abaixo:

- CG1, carga normal com P e Q constantes;
- CG2, carga de impedância constante;
- CG3, P é constante e Q varia de forma quadrática, conforme um motor;
- CG4, P varia linearmente e Q varia de forma quadrática, misto de resistência e um motor;
- CG5, carga do tipo retificador onde P e a corrente são constantes;
- CG6, P é constante e Q fixado no valor nominal;
- CG7, P é constante e Q possui a impedância fixada ao valor nominal;

Para possibilitar a variação da carga durante a simulação utilizou-se o modo *Daily*. Os resultados destas simulações são apresentados nos gráficos das figuras 27, 28 e 29. As medições foram realizadas na barra 4 utilizando-se os valores da fase A do circuito.

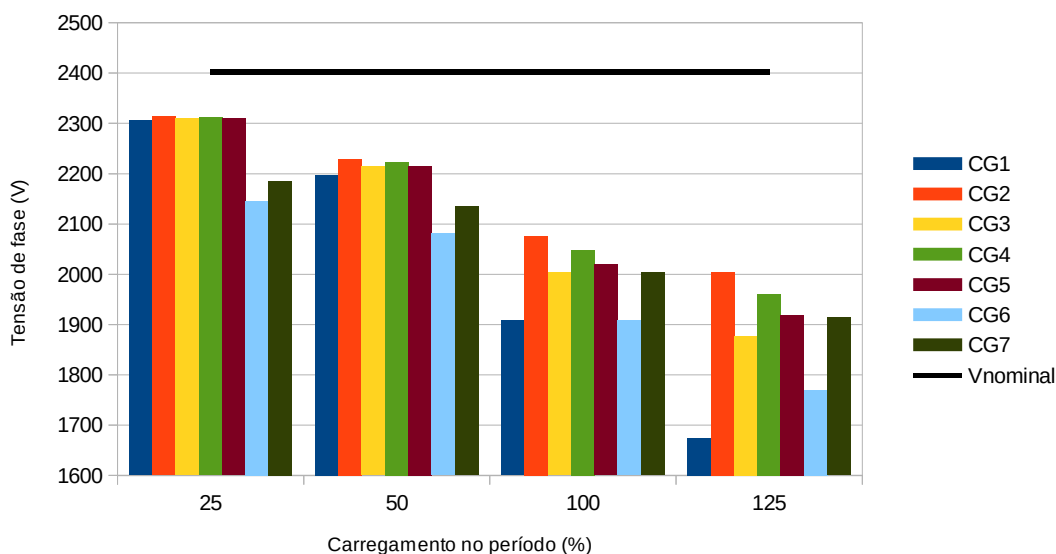


FIGURA 27 - VALORES DA TENSÃO PARA OS MODELOS DE CARGA

FONTE: O autor (2014)

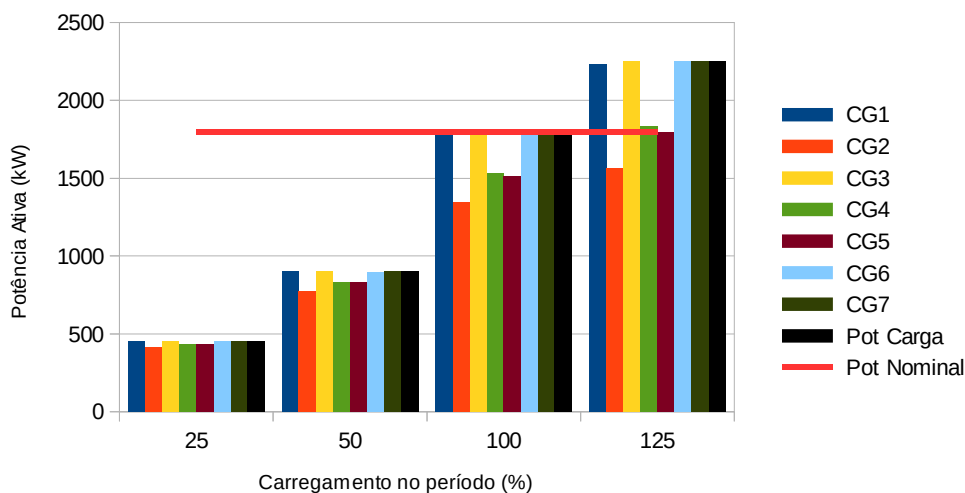


FIGURA 28 - VALORES DA POTÊNCIA ATIVA PARA OS MODELOS DE CARGA

FONTE: O autor (2014)

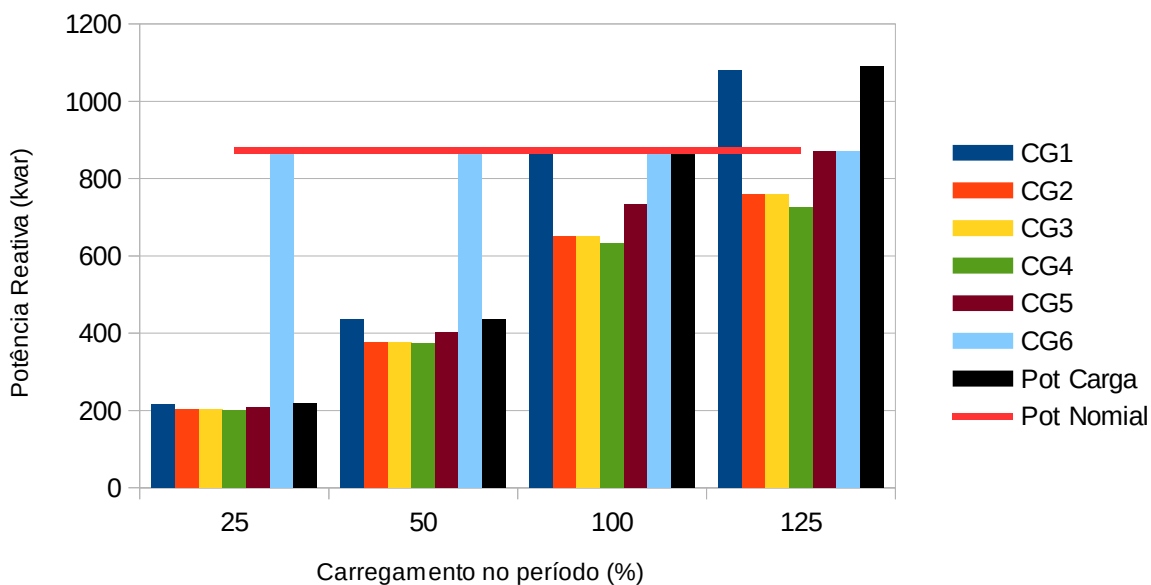


FIGURA 29 - VALORES DA POTÊNCIA REATIVA PARA OS MODELOS DE CARGA

FONTE: O autor (2014)

O comportamento da tensão demonstrado na figura 27 é o esperado para um circuito radial onde a tensão na carga é inferior ao da fonte devido à queda de tensão nas linhas e no transformador. Observa-se que, além deste fenômeno, a tensão na barra se modificou, para cada modelo de carga, devido a alterações das cargas com a variação da tensão. Este efeito ficou mais evidente na medida em que a carga

aumentou, reduzindo a tensão na barra 4 devido a queda de tensão para todos os modelos de carga. Nas tabelas 3 e 4 demonstram-se os valores de queda de tensão e corrente para a carga.

TABELA 3 - QUEDA DE TENSÃO PERCENTUAL

Carregamento (%)	Queda de Tensão (%)						
	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7
25	4,00	3,69	3,84	3,76	3,84	10,71	9,00
50	8,53	7,18	7,80	7,47	7,76	13,34	11,11
100	20,55	13,59	16,58	14,77	15,91	20,55	16,58
125	30,30	16,53	21,85	18,39	20,13	26,34	20,33

FONTE: O autor (2014).

TABELA 4 - CORRENTE NA CARGA

Carregamento (%)	Corrente da Carga (A)						
	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	CG6	CG7
25	216,84	200,51	213,46	206,17	208,18	457,44	389
50	455,15	386,5	439,5	410,64	416,35	601,97	530
100	1047,92	719,64	948	810,8	832,72	1048	948
125	1480,85	868,87	1249,95	1007,35	1040,9	1363,92	1210

FONTE: O autor (2014).

A variação da tensão na barra 4 devido as modificações de carga foram similares em todos os modelos até 50% do carregamento. Para o carregamento em 100% e 125% ocorrem alterações significativas entre os modelos.

Destacam-se os modelos CG1, CG6 e CG7 que apresentaram maior variação no módulo da tensão. O modelo CG1 mantém a potência ativa e reativa constantes na simulação, o que ficou evidenciado nas figuras 28 e 29. Mantendo a potência constante ocorreu uma elevada queda de tensão na linha, também agravada pela elevação na corrente de carga, conforme se demonstra na tabela 4.

Os modelos CG6 e CG7 mantém a potência ativa constante e trabalham alterando a potência reativa da carga. DUGAN (2014) menciona que modelo 7 “calcula uma reatância que criaria a quantidade especificada de reativos para tensão em 1pu. No entanto, quando a tensão cai, de modo que o reativo cai pelo quadrado da tensão o fator de potência realmente melhora (...)”. Esta característica reduziu o valor da potência reativa dissipada pela carga, pois em uma impedância constante calculada a potência dissipada pela carga varia de forma quadrática com a tensão.

O modelo CG6 fixou a potência ativa e manteve a potência reativa no valor nominal da carga. Este efeito introduziu uma queda de tensão elevada, mesmo nos patamares inferiores de carga. Contudo, em eventos de sobrecarga, este modelo manteve a queda de tensão abaixo de um modelo de carga com valor fixado, como em CG1, já que a potência reativa não acompanhou a elevação da carga.

Para possibilitar a realização destas simulações atribui-se uma tensão mínima no OpenDSS para a carga de 0,7pu. Conforme destaca DUGAN (2014), a violação do módulo da tensão acima dos valores mínimos e máximos pode comprometer a convergência da simulação. Além disto, visando manter a convergência, quando há violações na tensão mínima ou máxima o programa altera o modelo de carga para impedância constante, modelo 2, já que para este modelo a convergência é mais provável.

4.2 CASO 48 BARRAS

Este caso utiliza um sistema radial de 48 barras de um circuito alimentador localizado na cidade de Curitiba. O circuito possui uma rede trifásica de 1,7 km de comprimento e atende a 620 consumidores sendo 384 com perfil residencial e 236 com perfil comercial e uma demanda de 4,12 MVA. O diagrama deste alimentador pode ser visualizado no apêndice B1.

O circuito alimentador é conectado a barra de uma subestação de distribuição do tipo barra simples seccionada. Esta barra é alimentada por um transformador de carga 69/13,8 kV com primário conectado em estrela aterrada e o secundário em delta. Para referenciar o sistema em delta do secundário a terra existe um reator de aterramento na barra da subestação com fechamento em zig-zag. O neutro do reator é solidamente aterrado.

Na barra da subestação também são conectados outros 6 alimentadores que não foram introduzidos nesta simulação.

A potência de curto circuito no ponto de conexão com o sistema de subtransmissão é 1753 MVA o que demonstra uma conexão firme e confiável ao sistema interligado.

O circuito possui 44 transformadores conectados ao longo do alimentador. Estes transformadores reduzem a tensão de distribuição de 13,8kV para a tensão de consumo em baixa tensão 220/127V e são conectados em delta/estrela aterrada.

As cargas, que representam os consumidores atendidos, foram concentradas nas barras de baixa tensão conforme o perfil comercial ou residencial e estão descritas no apêndice B1.

Em todas as simulações foram introduzidas as coordenadas das barras para possibilitar a representação gráfica do alimentador conforme sua distribuição geográfica real.

4.2.1. Cenário 1: Fluxo de potência no modo *Snapshot*

Neste cenário utilizou-se o circuito 48 barras para análise do modo de simulação *Snapshot*. Os parâmetros adotados nesta simulação foram os nominais do circuito, conforme apêndice B.

Verificou-se a convergência da simulação em apenas duas iterações, cuja solução completa é apresentada no apêndice C. Além desta resposta, apresentam-se neste capítulo outros recursos do simulador para análise do fluxo de potência. Na figura 30 destaca-se a distribuição de potência ao longo do alimentador através do recurso “*plot circuit*” do OpenDSS.

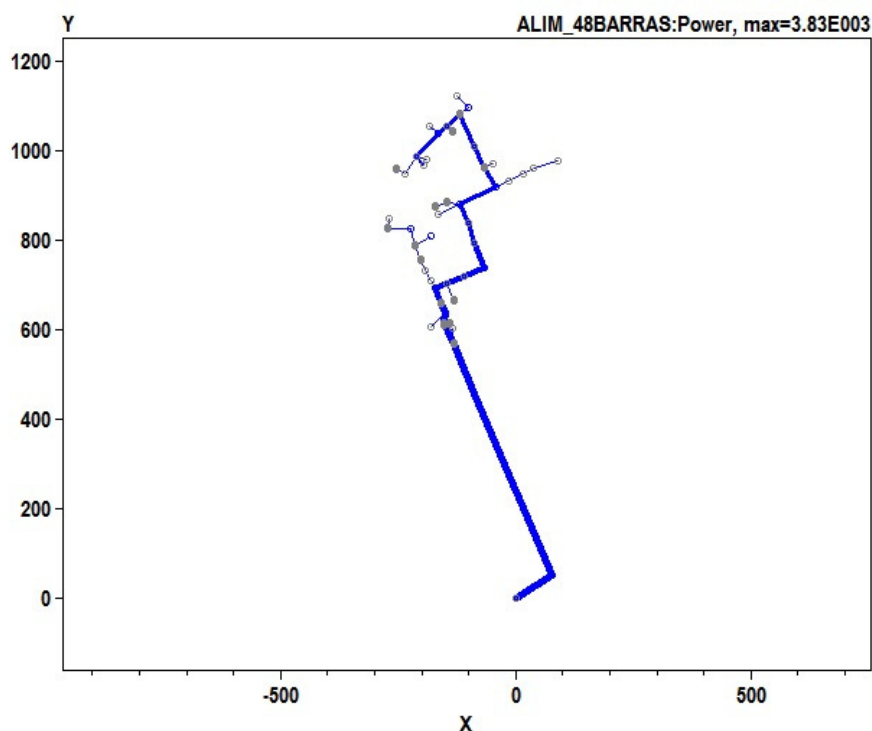


FIGURA 30 - DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA ALIMENTADOR 48 BARRAS.

FONTE: O autor (2014)

Verifica-se visualmente através da espessura das linhas na figura 30 a distribuição do fluxo de potência ao longo do alimentador. Como se trata de um circuito radial fica claro o maior carregamento nas linhas do tronco do alimentador.

O perfil de tensão ao longo do circuito pode ser visualizado na figura 31, obtida através do comando “*plot profile*”.

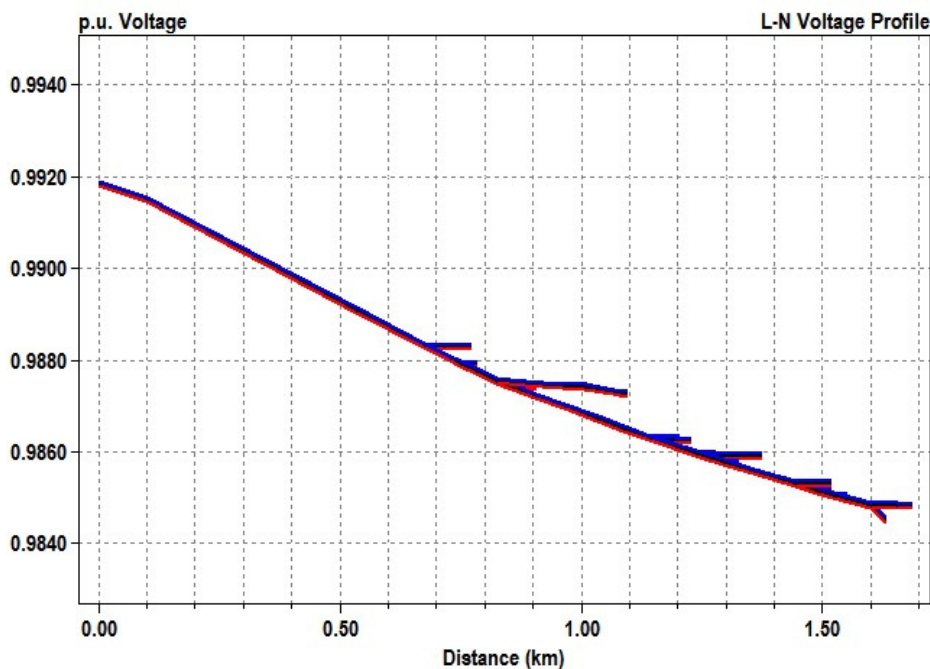


FIGURA 31 - PERFIL DA TENSÃO NO ALIMENTADOR 48 BARRAS MODO *SNAPSHOT*.

FONTE: O autor (2014)

As fases do circuito são diferenciadas pelas cores, sendo a fase A azul, fase B vermelha e fase C preta. O gráfico demonstra o perfil da tensão em pu ao longo do alimentador. Nota-se que a tensão no último barramento está acima de 0,98 pu.

Este recurso mostra-se útil para estudos de implantação de bancos de capacitores já que é possível verificar visualmente em qual ponto do alimentador a correção do nível de tensão pode ser necessária.

Demonstra-se na figura 32 a análise de carregamento do transformador da subestação TR1_SUB, obtida através do comando “*visualize*”. Verifica-se a distribuição da potência ativa e reativa por fase no elemento. Através desta ferramenta pode-se constatar o fluxo de potência neste ponto do circuito. O OpenDSS exibe o elemento e seus terminais e aponta o fluxo de potência na direção do elemento.

Destaca-se que para o fluxo saindo do transformador a potência é indicada como negativa e isto indica que o sentido do fluxo de potência é do transformador para a barra.

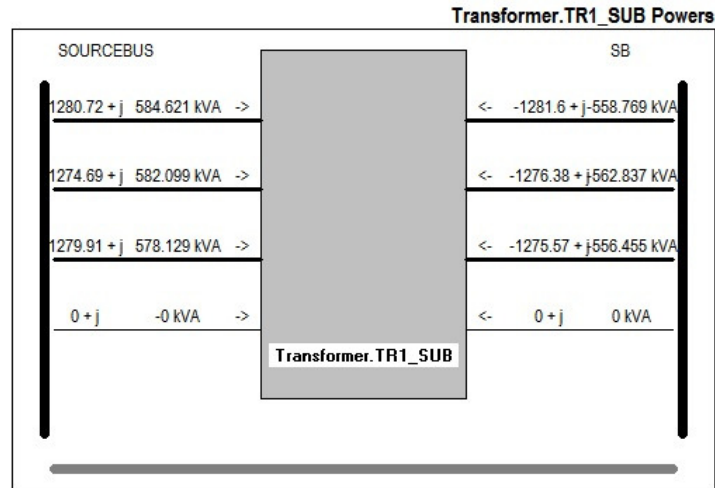


FIGURA 32 - CARREGAMENTO DO TR1_SUB CIRCUITO 48 BARRAS MODO *SNAPSHOT*

FONTE: O autor (2014)

Aplicando este recurso para obter as correntes dos elementos verifica-se que a análise de sentido do fluxo de potência não é tão intuitiva. Na figura 33 podem-se verificar as correntes do primário e secundário do transformador TB19, porém o resultado aponta as correntes entrando no elemento e sem um sinal para identificar o sentido.

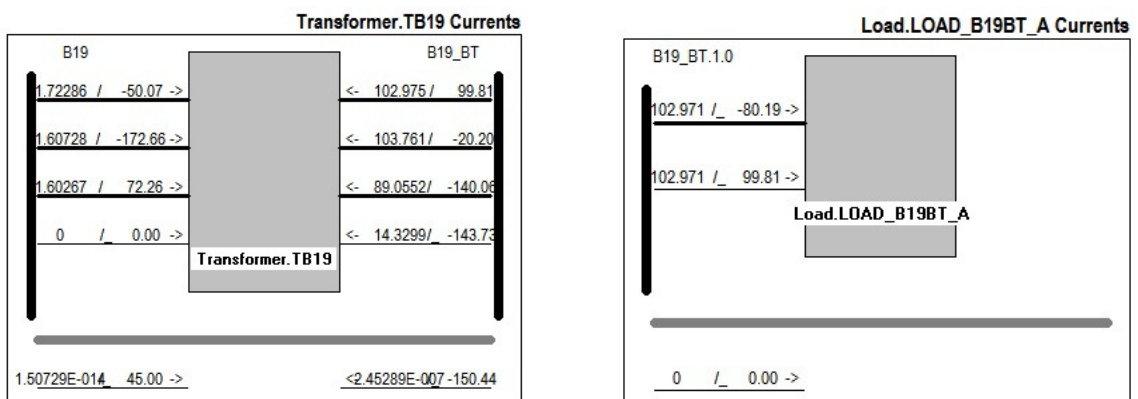


FIGURA 33 - ANÁLISE DO FLUXO DE POTÊNCIA NO TRANSFORMADOR TB19 48 BARRAS MODO *SNAPSHOT*

FONTE: O autor (2014)

Ao verificar a carga conectada a fase A do TB19, constata-se que a corrente esta saindo do transformador no sentido da carga, logo o ângulo da corrente no resultado para o transformador deverá ser deslocado em 180°, indicando assim o

sentido real da corrente. Em circuitos radiais esta análise torna-se intuitiva, porém destaca-se que no caso de existência de GD deve-se verificar o sentido do fluxo de potência, conforme figura 33, para certificar-se do sentido real da corrente.

4.2.2. Cenário 2: Fluxo de potência no modo *Daily*

Este cenário realiza a simulação do fluxo de potência no modo *Daily*. Este modo executa uma série de soluções seguindo as curvas de carga descritas no apêndice B5. Nesta simulação foram adotados os mesmos parâmetros de circuito do cenário 1, descritos no apêndice B.

Os resultados obtidos no modo *Daily* demonstram o comportamento do circuito em um cenário de 24 horas de operação. Nesta simulação foram considerados três perfis de carga: residencial, comercial tipo 1 e comercial tipo 2, descritos no apêndice B3.

Ao contrário do modo instantâneo *Snapshot*, no modo *Daily* os resultados são sempre exibidos em função do tempo proposto, conforme se destaca na figura abaixo.

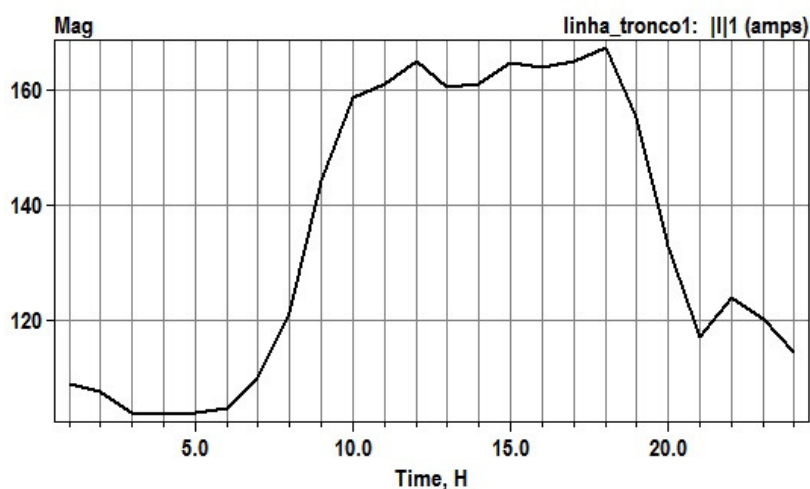


FIGURA 34 - CARREGAMENTO DA LINHA TRONCO1 NO CIRCUITO 48 BARRAS MODO *DAILY*
 FONTE: O autor (2014)

Neste cenário a linha tronco1 é a que apresenta o maior carregamento do sistema. Verifica-se que o pico de corrente ocorre às 18 horas com valor de 167,3 A, aproximando-se do valor instantâneo obtido no modo *Snapshot* que foi 176,8 A. Justifica-se esta proximidade de valores ao se verificar o comportamento das cargas que apresentam valores próximos aos nominais às 18 horas.

Outra análise importante deste modo aplica-se aos transformadores do circuito. A figura 35 apresenta a potência de saída do transformador TR1_SUB,

percebe-se que o gráfico corresponde à curva de carga deste sistema destacando-se a potência por fase fornecida durante o período.

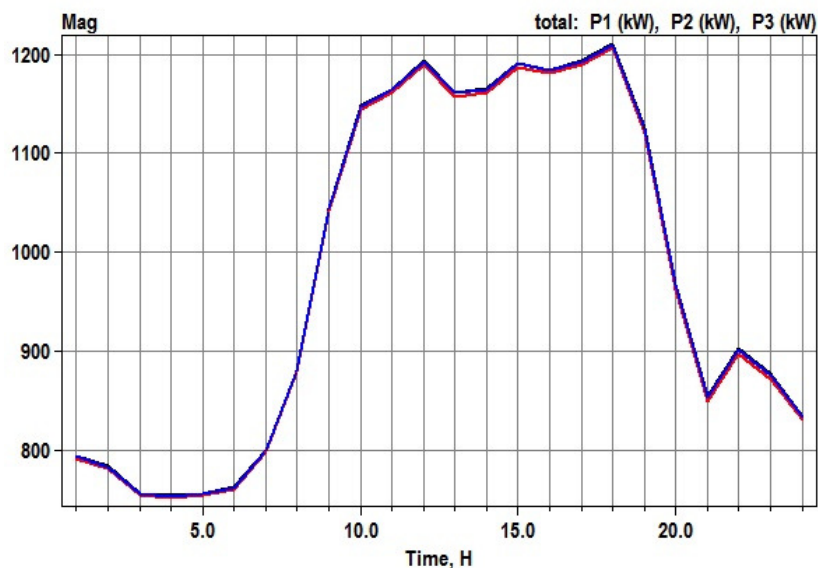


FIGURA 35 - CARREGAMENTO DO TRANSFORMADOR TR1_SUB NO CIRCUITO 48 BARRAS
MODO *DAILY*

FONTE: O autor (2014)

Análises do perfil de tensão podem ser realizadas de forma similar as citadas para potência ou corrente. Na figura 36, apresenta-se o perfil de tensão verificado na fase “a” da carga LOAD_B27BTC_A.



FIGURA 36 - PERFIL DA TENSÃO NA CARGA LOAD_B27BTC_A NO CIRCUITO 48 BARRAS
MODO *DAILY*

FONTE: O autor (2014)

Na figura 37 compara-se o resultado de potência obtido na simulação para a carga LOAD_B27BTC_A com o modelo adotado para o tipo de carga residencial.

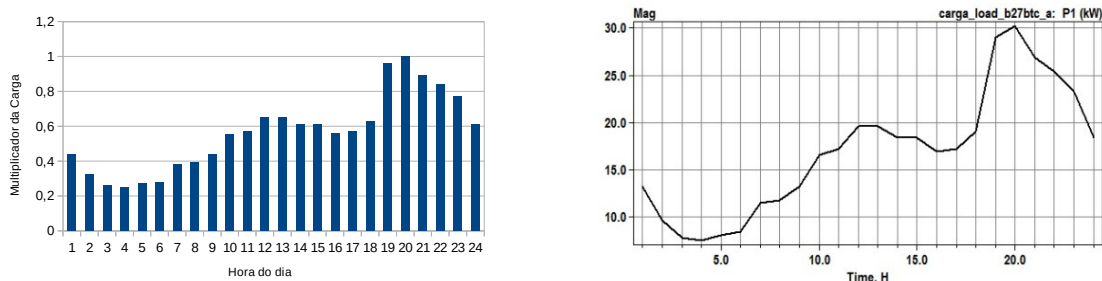


FIGURA 37 – MODELO RESIDENCIAL E RESULTADO PARA A CARGA LOAD_B27BTC_A NO CIRCUITO 48 BARRAS MODO *DAILY*.

FONTE: O autor (2014)

Verifica-se nesta comparação a compatibilidade da resposta com o comportamento desejado.

4.2.3. Cenário 3: Fluxo de potência no modo *Snapshot* com circuito em anel

Neste cenário realizaram-se análises de fluxo de potência no OpenDSS com objetivo de verificar as funcionalidades do programa em circuitos com fechamento em anel, inclusão de GD e condições severas de carregamento. Para isto, foram realizadas modificações no circuito 48 barras em estudo introduzindo-se duas novas linhas conectando as barras 18 a 25 e 18 a 47 e também conectando três geradores ao circuito, nas barras 2, 39 e 33.

Os dados do circuito permaneceram os mesmos descritos no apêndice B e utilizados no cenário 2. Os dados dos geradores conectados ao circuito são apresentados na tabela 5, sendo PG e QG a potência ativa e reativa gerada, xs a reatância síncrona e o modelo 1 refere-se ao modo PQ constante do OpenDSS.

TABELA 5 - DADOS DOS GERADORES

NOME	BARRA	Tensão (V)	PG (kW)	QG(kVar)	xs	Conexão	Modelo
G1	B2	13800	5000	0	0,254	Δ	1
G2	B33	13800	500	0	0,254	Δ	1
G3	B39	13800	500	0	0,254	Δ	1

FONTE: O autor (2014).

Os resultados obtidos demonstram a capacidade do OpenDSS em realizar simulações em circuitos com fechamento em anel com a mesma facilidade da aplicação em circuitos radiais.

Novamente a solução se deu em duas iterações do programa em todas as condições de geração. Nesta condição, atribui-se para os geradores G1, G2 e G3 as potências 5000 kW, 500 kW e 500 kW respectivamente.

Novamente utilizando o comando *plot circuit* foi possível observar a distribuição do fluxo de potência no circuito, conforme se destaca na figura abaixo.

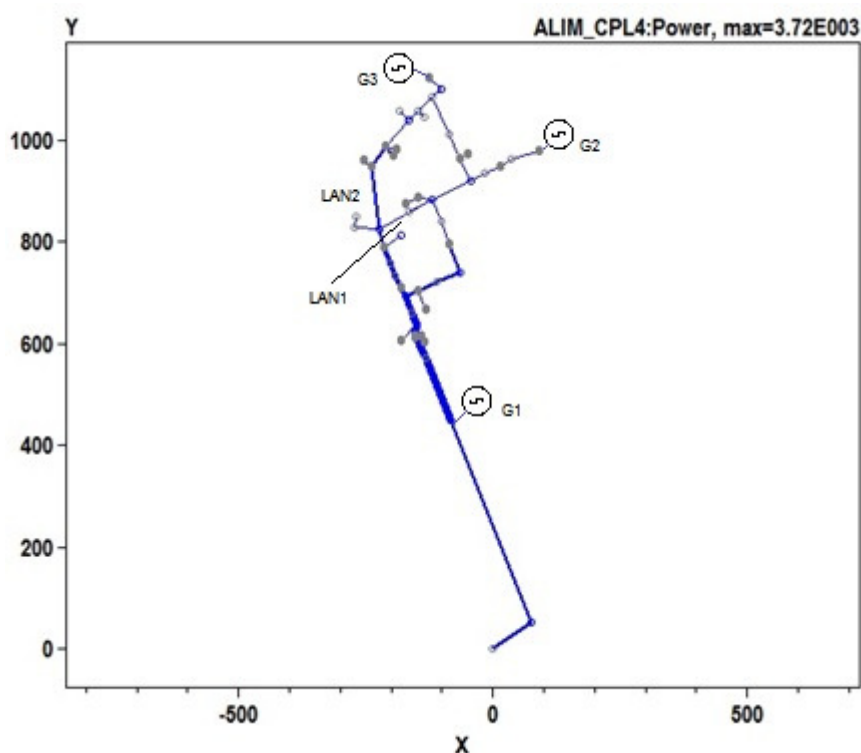


FIGURA 38 - DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE POTÊNCIA NO CIRCUITO 48 BARRAS COM FECHAMENTO EM ANEL.

FONTE: O autor (2014)

Foram criadas condições de geração e realizadas análises para o comportamento da tensão, potência e corrente de alguns pontos significativos do circuito.

Os resultados obtidos constam na tabela 6.

TABELA 6 - RESULTADOS PARA VARIAÇÃO DA GERAÇÃO

Condição	PG (kW)			fp	Tensão na barra (pu)				Corrente (A)			Potência por fase (kW)
	G1	G2	G3		G1	SB	B2	B33	B39	LAN1	LAN2	Linha_Tronco 1
1a	5000	10	10	1	0,99	0,99	0,99	0,99	2	72	86	-395
2a	50	500	10	1	0,99	0,98	0,98	0,98	9	68	155	1092
3a	50	10	500	1	0,99	0,98	0,98	0,98	4	63	155	1092
4a	5000	500	500	0,8	1,00	1,01	1,01	1,00	11	58	124	-727

FONTE: O autor (2014).

Percebe-se que o programa apresentou resultados coerentes para o sistema em anel. Destaca-se a inversão de fluxo apontada no transformador da subestação TR1_SUB quando a geração G1 esta em 100%.

Não se verificou elevação de tensão nas barras críticas apontadas, principalmente nas barras B2, B33 e B39 que tiveram inserção de geração. A tensão sofre pequena elevação quando o fator de potência de gerador G1 passa para 0,8 contribuindo com potência reativa para o sistema.

Atribui-se esta baixa variação no módulo da tensão ao modelo de gerador adotado já que o modelo 1 não regula a barra do sistema mas sim mantém o despacho de geração constante.

Em uma nova condição, para condicionar o circuito a uma situação extrema de carga, conectou-se uma carga à barra B29 no valor de 10MVA e fator de potência igual a 0,92. Analisou-se o circuito para três condições:

- condição 1b, mantendo-se a geração de todos os geradores em 100% e circuito em anel;
- condição 2b, sem geração mas com anel fechado;
- condição 3b, sem geração e com anel aberto.

Mesmo nestas condições severas de carregamento ocorreu a convergência da simulação em 3 iterações.

As linhas do circuito apresentaram níveis de carregamento adequados³, com exceção as linhas destacadas na tabela 8. Através do comando “*export*” do OpenDSS, verificaram-se linhas em sobrecarga na condição 2b.

TABELA 8 - LINHAS EM SOBRECARGA NA CONDIÇÃO EXTREMA DE CARGA 2b

Nome	Corrente (A)	Corrente Nominal (A)	Corrente Emergência (A)	%Normal	%Emergência
LD_TRONCO_2	623,2	525	787	118,71	79,19
LD_TRONCO_3	623,2	525	787	118,71	79,19
LD_TRONCO_4	615,2	525	787	117,18	78,17
LD_TRONCO_5	611,6	525	787	116,50	77,72
LD_TRONCO_6	608,2	525	787	115,85	77,28
LD_TRONCO_7	603,8	525	787	115,01	76,72

FONTE: O autor (2014).

Na condição 3b os níveis de tensão foram inferiores a condição 1b e 2b nas barras próximas a barra B29 devido à ausência de geração e operação em anel aberto, demonstrando a melhora significativa das variáveis monitoradas em condição de anel fechado e na presença de GD.

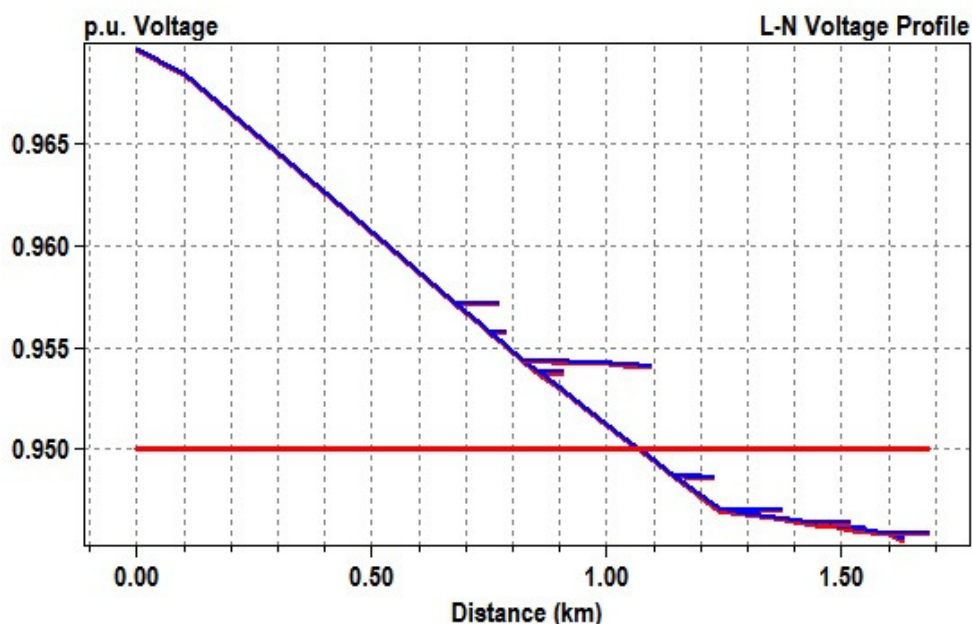


FIGURA 40 - PERFIL DA TENSÃO NO ALIMENTADOR 48 BARRAS CONDIÇÃO 3b.

FONTE: O autor (2014)

³ Limitação de corrente para cabos em alumínio protegidos conforme norma técnica Copel NTC 841100.

A condição 3b também elevou o carregamento das linhas do tronco do alimentador. A abertura do anel forçou a redistribuição do fluxo de potência onde se verificou que novas linhas entraram em sobrecarga, conforme se destaca na tabela 9.

TABELA 9 - LINHAS EM SOBRECARGA NA CONDIÇÃO EXTREMA DE CARGA 3b

Nome	Corrente (A)	Corrente Nominal (A)	Corrente Emergência (A)	%Normal	%Emergência
LD_TRONCO_2	622,5	525	787	118,7	79,2
LD_TRONCO_3	622,5	525	787	118,7	79,2
LD_TRONCO_4	614,4	525	787	117,1	78,1
LD_TRONCO_5	610,8	525	787	116,5	77,7
LD_TRONCO_6	607,4	525	787	115,8	77,3
LD_TRONCO_7	603,0	525	787	115,0	76,7
LD_TRONCO_13	574,5	525	787	109,5	73,1
LD_TRONCO_14	570,9	525	787	108,8	72,6
LD_TRONCO_15	569,7	525	787	108,6	72,4
LD_TRONCO_16	569,7	525	787	108,6	72,4
LD_TRONCO_17	566,2	525	787	107,9	72,0
LD_TRONCO_18	564,8	525	787	107,7	71,8
LD_TRONCO_19	556,7	525	787	106,1	70,8

FONTE: O autor (2014).

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo são abordadas as funcionalidades do OpenDSS através da simulação de dois circuitos típicos para as redes de distribuição.

No primeiro caso utilizam-se os sete modelos de carga disponíveis no programa e através do circuito de distribuição IEEE 4 barras simulam-se variações de patamares de carga onde é possível verificar as respostas para cada modelo através de resultados gráficos. Ressaltam-se nestas simulações as diferenças e particularidades verificadas entre os modelos de carga apontando possíveis desvios ou violações para o circuito em teste.

No segundo caso, as simulações são realizadas através do circuito 48 barras proposto em 3 cenários distintos. No primeiro cenário utiliza-se o modo *Snapshot* para simulação do fluxo de potência obtendo-se o resultado completo para os valores

nominais do circuito. Através de resultados gráficos são exploradas as potencialidades da ferramenta para análise do fluxo de potência nos elementos do circuito.

Para o segundo cenário observam-se os resultados gráficos obtidos no modo *Daily* ressaltando-se a capacidade da ferramenta em fornecer subsídios para análises de uma curva diária de carga. Comprova-se o acompanhamento da curva de carga proposta através da comparação entre a curva proposta e o resultado obtido.

Em um terceiro cenário modifica-se o circuito 48 barras e realizam-se análises no modo *Snapshot*. As modificações propostas possibilitam observar os resultados obtidos quando existe o fechamento em anel na rede de distribuição, a inserção de GD e uma condição extrema de carga. Destacam-se as alterações no fluxo de potência, modificações no perfil de tensão e sobrecarga em linhas do alimentador ressaltando a capacidade do *software* em gerar resultados satisfatórios para circuitos operando sob estas condições.

5 CONCLUSÃO

As crescentes modificações sofridas pelo setor elétrico brasileiro após sua divisão em ativos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica ocasionou uma série de mudanças de concepções em todas as áreas onde, entre as modificações e impactos verificados, destacam-se os ocorridos no setor de distribuição de energia elétrica.

Pode-se dizer que no setor de distribuição estas alterações foram o marco inicial para uma nova concepção da utilização dos recursos, onde a necessidade contínua da melhoria na qualidade dos serviços prestados passou a ser acompanhada de novas tecnologias e recursos na distribuição, como os sistemas *Smart Grid* e GD.

Constata-se que estes novos sistemas podem oferecer melhorias nos indicadores das empresas e proporcionar o aproveitamento energético dos recursos distribuídos. Contudo, tendo em vista os impactos ocasionados nos sistemas de distribuição, a utilização destes recursos deve ser acompanhada de uma nova filosofia de estudos dos sistemas, onde a utilização de simuladores demonstrou-se imprescindível.

Neste contexto este trabalho tratou do estudo do *software* simulador de redes de distribuição OpenDSS, destacando as contribuições desta ferramenta aos estudos relativos a estes sistemas, através da revisão documental da teoria envolvida, do conteúdo disponível nos manuais do OpenDSS e da realização de simulações de fluxo de potência em dois circuitos propostos, explorando as possibilidades de simulações e resultados.

Destacou-se as possibilidades de simulações no OpenDSS através dos recursos disponíveis para simulação de uma rede de distribuição, em análises instantâneas no modo *Snapshot* e em modos em que a carga pode variar no tempo, como no modo *Daily*.

Abordou-se também a funcionalidade de simular o comportamento de diversos modelos de carga disponíveis no programa. Através das simulações computacionais realizadas utilizando-se os diversos modelos de carga, foi possível apontar algumas das principais características de cada modelo quando submetidos a uma variação da tensão de alimentação da rede, o que gerou resultados distintos para cada modelo de carga. Demonstrou-se que, em diferentes patamares de carga, os modelos disponíveis no OpenDSS se apresentaram compatíveis com a teoria

proposta reforçando a dificuldade de um simulador em modelar as particularidades do comportamento de uma carga real em um ambiente simulado.

As simulações de fluxo de potência realizadas permitiram obter o resultado completo para uma rede de distribuição típica, no caso do alimentador de 48 barras. Conforme se observa no apêndice C, o OpenDSS realiza a resposta completa do circuito o que permite fornecer subsídios para diversos estudos relativos a distribuição. Destaca-se a possibilidade de geração de resultados gráficos no próprio programa, onde se observa o fluxo de potência no circuito em uma figura correspondente ao projeto real do circuito.

Conforme se abordou, a operação das redes de distribuição sob o conceito *Smart Grid* e GD podem alterar diversos parâmetros das redes de distribuição como a tensão, corrente e fluxo de potência. Possibilitou-se verificar o carregamento diário em um alimentador de distribuição através do modo *Daily* onde se destacaram as análises de carregamento de linhas e transformadores. Através dos resultados gráficos obteve-se o perfil de tensão durante a operação diária para as cargas.

Cabe ressaltar que o fechamento e abertura em anel na rede deve ser um dos focos dos estudos na operação de sistemas de distribuição. Observou-se esta possibilidade ao realizar simulações no OpenDSS utilizando os recursos gráficos disponíveis para analisar a redistribuição do fluxo de potência no alimentador e o perfil de tensão do circuito. Em condições de anel aberto ou fechado os resultados obtidos no OpenDSS possibilitaram verificar possíveis sobrecargas em linhas, principalmente em uma condição extrema de carga.

Para análises em sistemas com GD, o OpenDSS demonstrou-se igualmente adequado apresentando resultados muito coerentes. Observou-se o perfil de tensão em alguns pontos do sistema, apontando os desvios quando os geradores são inseridos em condições de anel aberto ou fechado. Destacaram-se as contribuições dos geradores em diferentes condições de carga através dos recursos gráficos disponíveis, comprovando-se mais uma vez a capacidade da ferramenta em fornecer resultados satisfatórios em diversas condições de operação.

Através dos resultados obtidos entende-se que o OpenDSS pode ser uma ferramenta de grande contribuição e incentivos para modernização dos sistemas de distribuição, possibilitando a avaliação da inserção de novas tecnologias e o aproveitamento energético dos recursos distribuídos. Por se tratar de um *software* de licença livre o OpenDSS continua evoluindo e agregando novos recursos e

possibilidades de simulações, através de incentivos e contribuições de todos os envolvidos nesta área de estudo em diversos países. Isto permite dizer que em poucos anos esta importante ferramenta se tornará referência na área de estudos elétricos para redes de distribuição.

BIBLIOGRAFIA

- ANWAR, A.; POTA, H. R. ***Loss Reduction of Power Distribution Network Using Optimum Size and Location of Distributed Generation***. IEEE, 2011.
- ARNOLD, G.W. ***Challenges and Opportunities in Smart Grid: A Position Article***. IEEE, 2011.
- ARBERTSON, V. D. et al. ***Load flow studies in the presence of geomagnetically-induced currents***. IEEE, 1981.
- BEATY, H. W.; FINK, D. G. ***Standard Handbook for Electrical Engineers***. 16. ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2012.
- CARNEIRO, S. et al. ***Three-Phase Power Flow Calculations Using the Current Injection Method***. IEEE, 2000.
- CEEE-D. ***Padronização de Distribuição: Estruturas para redes de distribuição aéreas com cabos cobertos fixados em espaçadores***. Rio Grande do Sul, 2012.
- COPEL. ***NTC 841100: Projeto de redes de distribuição compacta protegida***. Paraná, 2013.
- DUGAN, R. C. ***Reference guide, The Open Distribution System Simulator OpenDSS***. Electric Power Research Institute, 2013.
- DUGAN, R. C. ***OpenDSS, EPRI Distribution System Simulator discussion list***. Lista de discussão. Disponível em: <<https://sourceforge.net/p/electricdss/discussion/>>. Acesso em: 05/11/2014.
- DUGAN, R. C.; MCDERMOTT, T. E. ***An open source platform for collaborating on smart grid research***. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2011.
- FARHANA, C. K.; NOR, K. M.; SAID, D. M. ***Time Series Simulation of the Impact of Harmonics Using Measured Harmonic Data***. IEEE, 2012.
- GARCIA, A. P.; OLIVER, J.; GOSCH, D. ***An Intelligent Agent-Based Distributed Architecture for Smart-Grid Integrated Network Management***. IEEE, 2010.
- HORTON, R. et al. ***A Test Case for the Calculation of Geomagnetically Induced Currents***. IEEE, 2012.
- IEEE STANDARD 1547 – ***Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems***. Dezembro, 2008.
- INEE, PORTAL: Disponível: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp?Cat=gd>. Acesso em: 05/11/2014.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.C.B.; ROBBA, E.J. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2010.

KERSTING, W. H., **Distribution System Modeling and Analysis**, Boca Raton, CRC Press, 2002

KHAN, S. A.; KHAN, S.; AHAMED, G. **Industrial power systems**. London: CRC Press, 2007. p. 57-59.

KINDERMANN, G. **Curto-Circuito**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997.

KUNDUR, P. **Power System Stability and Control**. New York: McGraw-Hill, Inc, 1994. p. 169-198.

KREITH, F.; GOSWAMI, D. Yogi. **Energy Efficiency and Renewable Energy**. Editora CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.

LATHEEF, A. *et al.* **Present Understanding of the Impact of Distributed Generation on Power Quality**. IEEE: *Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08)*, 2008

PEREIRA, H. Q. **Fluxo de Potência Trifásico: Um Estudo Comparativo Uma Nova Metodologia de Solução**. Curitiba, PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2006.

THONG, V.V.; DRIESEN, J.; BELMANS, R. **Power quality and voltage stability of distribution system with distributed energy resources**. *International Journal of Distributed Energy Resources*, ISSN 1614-7138, Volume 1 Number 3. Editora: Technology & Science Publishers, Kassel, Alemanha, 2005.

APÊNDICE A – DADOS DO CIRCUITO IEEE 4 BARRAS

A1 – DADOS DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

O sistema de distribuição esta conectado a uma barra infinita, representando a barra da subestação cuja tensão de linha é 12,47 kV a uma frequência de 60 HZ. O sistema é do tipo estrela aterrada.

A2 – DADOS DO TRANSFORMADOR

TABELA A2 – DADOS DO TRANSFORMADOR

Conexão	Potência (kVA)	Tensão Primário (kV)	Tensão Secundário (kV)	R (%)	XHL(%)
Estrela aterrada	6000	12,47	4,16	1	6

FONTE: O autor (2014).

A3 – DADOS DA CARGA

TABELA A3 – DADOS NOMINAIS DA CARGA

Conexão	Tipo	Potência Aparente (kVA)	Potência Ativa (kW)	Potência Retiva (kVar)	Tensão de Linha (kV)	f.p.
Estrela aterrada	Trifásica	6000	5400	2610	4,16	0,9 (ind)

FONTE: O autor (2014).

A4 – DADOS DAS LINHAS

Os valores de resistência e reatância indutiva das linhas são apresentados na forma matricial. A matriz R representa a resistência da linha e a matriz X representa a reatância indutiva, ambas em ohms por quilômetro.

- Matriz R:

$$\begin{vmatrix} 0,2843 & 0,0969 & 0,0954 \\ 0,0969 & 0,2899 & 0,0982 \\ 0,0954 & 0,0982 & 0,2868 \end{vmatrix} \quad (\Omega/\text{km})$$

- Matriz X:

$$\begin{vmatrix} 0,6698 & 0,3117 & 0,2392 \\ 0,3117 & 0,6513 & 0,2632 \\ 0,2392 & 0,2632 & 0,6618 \end{vmatrix} \quad (\Omega/\text{km})$$

Na tabela 1 são apresentados os demais dados das linhas do circuito. As colunas “i” e “k” representam as barras de conexão das linhas.

TABELA A4 – DADOS DAS LINHAS

Nome	Tipo	Conexão	i	k	R	X	Comprimento (km)
LINHA_S-1	Trifásica	Estrela aterrada	1	2	Matriz R	Matriz X	0,6096
LINHA_3-4	Trifásica	Estrela aterrada	3	4	Matriz R	Matriz X	0,7620

FONTE: O autor (2014).

A5 – PERFIL DA CARGA

O perfil diário da carga é apresentado na figura A5. A potência base é igual a 6 MVA.

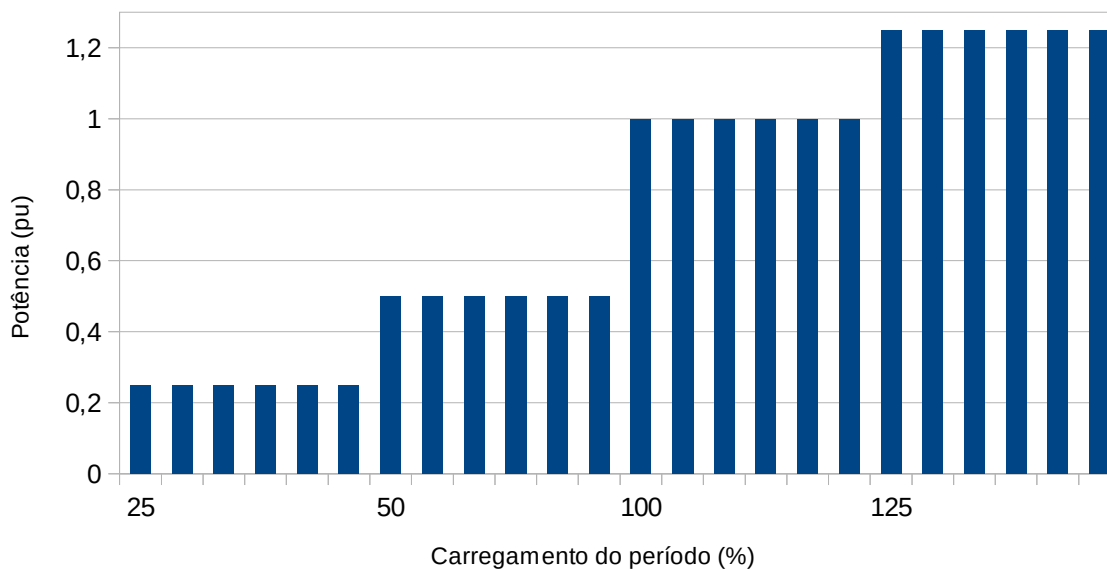


FIGURA A5 – DIAGRAMA DO CIRCUITO IEEE 4 BARRAS.

Fonte: O autor (2014)

A6 – *SCRIPTS* DE COMANDO NO OpenDSS

```
clear
//*****Definição do circuito
New circuit.IEEE4NODE
~ basekv = 12.47
~ pu=1
~ angle=0
~ phases=3
~ bus1 = 1
set DefaultBaseFrequency = 60
set datapath =
C:\Users\Fabiano\Documents\OpenDSS\IEEE44_NODE_TEST_FEEDER
New loadshape.daily 24 1
~ mult = (0.25 0.25 0.25 0.25 0.25 0.25 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 1 1 1 1 1 1.25 1.25
1.25 1.25 1.25 1.25 )
Set Emergvmaxpu = 1.45
Set Emergvminpu = 0.5
Set Normvmaxpu = 1.4
Set Normvminpu = 0.55
```

```

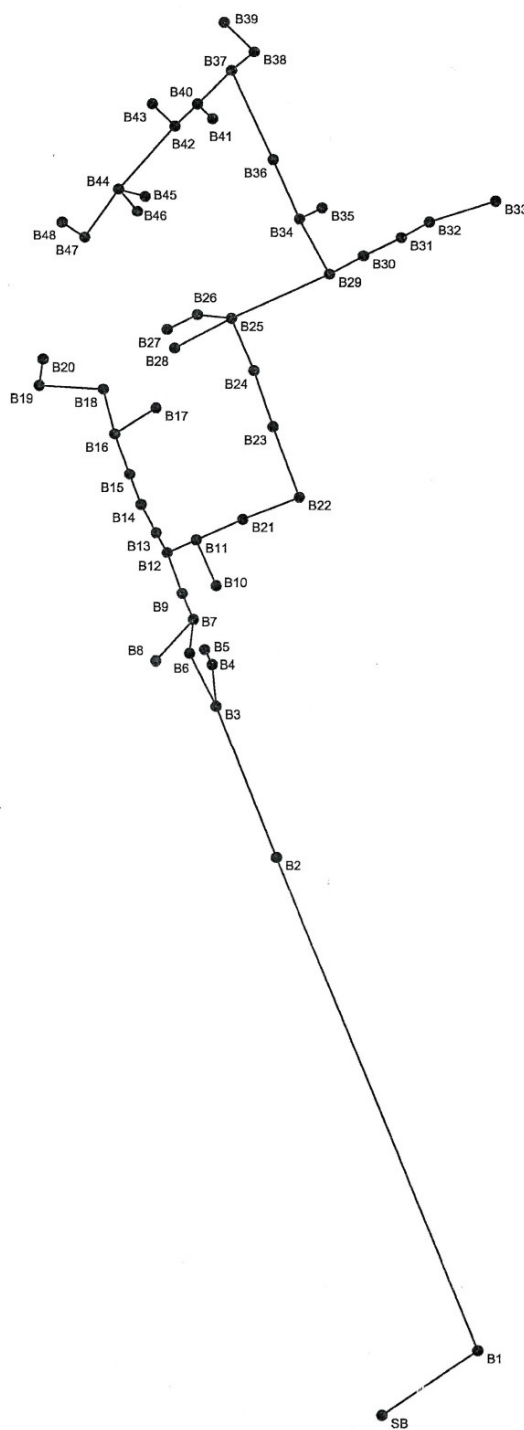
//***** Define o código de linha
New linecode.L1
~ nphases = 3
~ rmatrix = (0.2843 0.0969 0.0954 | 0.0969 0.2899 0.0982 | 0.0954 0.0982 0.2868)
~ xmatrix = (0.6698 0.3117 0.2392 | 0.3117 0.6513 0.2632 | 0.2392 0.2632 0.6618)
~ units = km
//*****
New line.LINHA_S-1
~ bus1 = 1
~ bus2 = 2
~ length = 0.6096
~ phases = 3
~ units = km
~ linecode = L1
//*****
New transformer.TF1
~ phases = 3
~ windings = 2
~ buses = (2, 3)
~ conns = (wye, wye)
~ kvs = (12.47, 4.16)
~ kvas = (6000, 6000)
~ XHL = 6
~ wdg = 1 %r=0.5
~ wdg = 2 %r=0.5
//*****
New line.LINHA_3-4
~ bus1 = 3
~ bus2 = 4
~ length = 0.762
~ phases = 3
~ units = km
~ linecode = L1
//*****
New load.Carga1
~ bus1 = 4
~ phases = 3
~ kv = 4.16
~ kva = 6000
~ pf = 0.9
~ model = 1
~ class = 1
~ duty = daily
! monitor no transformador modo V
New monitor.CARGA1_VT element = load.Carga1 terminal = 1 mode = 32 ppolar =
no
New monitor.CARGA1_PQ element = load.Carga1 terminal = 1 mode = 1 ppolar =
no
//***** modo de solução
Set voltagebases=(12.47 4.16)

```

```
Calc voltage bases  
Set mode = Daily stepsize=60m number=24  
batchedit load.* vminpu=0.7  
Solve
```


APÊNDICE B – DADOS DO CIRCUITO 48 BARRAS

B1 – Diagrama Elétrico



B2 – DADOS DOS TRANSFORMADORES

TABELA B2 – DADOS DOS TRANSFORMADORES CIRCUITO 48 BARRAS

Nome do Elemento	Barra AT	Barra BT	POT (kVA)	Tensão Prim (V)	Tensão Sec (V)	Pedas Totais (W)	XHL (%)	Conexão	
								Prim	Sec
TR1_SUB	Source Bus	SB	40000	69000	13800	19997	15	Y	Δ
TB3A	B3	B3_BTA	75	13200	220	1350	3,46	Δ	Y
TB3B	B3	B3_BT B	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB4	B4	B4_BT	112,5	13200	220	2070	3,6	Δ	Y
TB8	B8	B8_BT	225	13200	220	3469	4,76	Δ	Y
TB6A	B6	B6_BTA	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB6B	B6	B6_BT B	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB5	B5	B5_BT	75	13200	220	1350	3,46	Δ	Y
TB9	B9	B9_BT	150	13200	220	2252	3,5	Δ	Y
TB10	B10	B10_BT	112,5	13200	220	2070	3,33	Δ	Y
TB11	B11	B11_BT	75	13200	220	1350	3,46	Δ	Y
TB13	B13	B13_BT	75	13200	220	1350	3,46	Δ	Y
TB21	B21	B21_BT	30	13200	220	679	3,39	Δ	Y
TB14	B14	B14_BT	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB15	B15	B15_BT	75	13200	220	1350	3,46	Δ	Y
TB16	B16	B16_BT	500	13200	220	6215	5,08	Δ	Y
TB23	B23	B23_BT	150	13200	220	2252	3,33	Δ	Y
TB19	B19	B19_BT	75	13200	220	1350	3,46	Δ	Y
TB24	B24	B24_BT	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB20	B20	B20_BT	800	13200	220	11032	4,41	Δ	Y
TB28	B28	B28_BT	225	13200	220	3469	4,76	Δ	Y
TB27A	B27	B27_BTA	225	13200	220	3469	4,76	Δ	Y
TB27B	B27	B27_BT B	150	13200	220	2252	3,5	Δ	Y
TB27C	B27	B27_BTC	225	13200	220	3469	4,76	Δ	Y
TB26A	B26	B26_BTA	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB26B	B26	B26_BT B	500	13200	220	6215	5,08	Δ	Y
TB26C	B26	B26_BTC	500	13200	220	6215	5,08	Δ	Y
TB30	B30	B30_BT	75	13200	220	1350	3,46	Δ	Y
TB31	B31	B31_BT	225	13200	220	3469	4,76	Δ	Y
TB47	B47	B47_BT	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB48	B48	B48_BT	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB32	B32	B32_BT	150	13200	220	2252	3,5	Δ	Y
TB34	B34	B34_BT	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB46	B46	B46_BT	4050	13200	220	50894	5	Δ	Y
TB35	B35	B35_BT	225	13200	220	3469	4,76	Δ	Y
TB33	B33	B33_BT	500	13200	220	6215	5,08	Δ	Y
TB45	B45	B45_BT	500	13200	220	6215	5,08	Δ	Y
TB44	B44	B44_BT	150	13200	220	2252	3,5	Δ	Y

TB36	B36	B36_BT	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB41	B41	B41_BT	225	13200	220	3469	4,76	Δ	Y
TB40A	B40	B40_BTA	150	13200	220	2252	3,5	Δ	Y
TB40B	B40	B40_BT	112,5	13200	220	1974	3,4	Δ	Y
TB43	B43	B43_BT	300	13200	220	4278	4,45	Δ	Y
TB37	B37	B37_BT	150	13200	220	2252	3,5	Δ	Y
TB39	B39	B39_BT	300	13200	220	4278	4,45	Δ	Y

FONTE: O autor (2014).

B3 – DADOS DAS CARGAS

TABELA B3 – DADOS DAS CARGAS CIRCUITO 48 BARRAS

Nome do Elemento	Barra BT	POT (KVA) FASE A	POT (KVA) FASE B	POT (KVA) FASE C	POT (KVA) TOTAL	Tensão (V)	fp	Tipo
LOAD_B3BTA_A	B3_BTA	11,2	-	-	11	127	0,95	Residencial
LOAD_B3BTA_B	B3_BTA	-	9,2	-	9	127	0,95	Residencial
LOAD_B3BTA_C	B3_BTA	-	-	11,2	11	127	0,95	Residencial
LOAD_B3BTB_A	B3_BT	6,6	-	-	7	127	0,95	Residencial
LOAD_B3BTB_B	B3_BT	-	6,6	-	7	127	0,95	Residencial
LOAD_B3BTB_C	B3_BT	-	-	7,6	8	127	0,95	Residencial
LOAD_B4BT_T	B4_BT	30,9	30,5	30,6	92	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B8BT_T	B8_BT	25,7	25,7	25,7	77	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B6BTA_T	B6_BTA	12,0	12,0	12,0	36	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B6BTB_T	B6_BT	14,9	15,2	14,9	45	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B5BT_A	B5_BT	11,4	-	-	11	127	0,95	Residencial
LOAD_B5BT_B	B5_BT	-	14,9	-	15	127	0,95	Residencial
LOAD_B5BT_C	B5_BT	-	-	14,9	15	127	0,95	Residencial
LOAD_B9BT_T	B9_BT	33,3	33,3	33,3	100	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B10BT_A	B10_BT	11,7	-	-	12	127	0,95	Residencial
LOAD_B10BT_B	B10_BT	-	13,2	-	13	127	0,95	Residencial
LOAD_B10BT_C	B10_BT	-	-	11,7	12	127	0,95	Residencial
LOAD_B11BT_T	B11_BT	15,3	15,2	15,2	46	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B13BT_T	B13_BT	7,5	7,5	7,5	23	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B21BT_T	B21_BT	8,9	8,9	8,9	27	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B14BT_T	B14_BT	12,2	12,2	12,2	36	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B15BT_T	B15_BT	4,5	5,4	4,2	14	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B16BT_T	B16_BT	69,0	69,0	69,2	207	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B23BT_A	B23_BT	28,4	-	-	28	127	0,95	Residencial
LOAD_B23BT_B	B23_BT	-	26,7	-	27	127	0,95	Residencial
LOAD_B23BT_C	B23_BT	-	-	24,6	25	127	0,95	Residencial
LOAD_B19BT_A	B19_BT	13,4	-	-	13	127	0,95	Residencial
LOAD_B19BT_B	B19_BT	-	13,5	-	14	127	0,95	Residencial

LOAD_B19BT_C	B19_BT	-	-	11,6	12	127	0,95	Residencial
LOAD_B24BT_T	B24_BT	9,9	9,9	9,9	30	220	0,92	Residencial
LOAD_B20BT_T	B20_BT	108,0	108,0	108,3	324	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B27BTA_A	B27_BTA	20,1	-	-	20	127	0,95	Residencial
LOAD_B27BTA_B	B27_BTA	-	22,1	-	22	127	0,95	Residencial
LOAD_B27BTA_C	B27_BTA	-	-	14,0	14	127	0,95	Residencial
LOAD_B27BTB_T	B27_BT B	11,0	11,0	11,0	33	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B27BTC_A	B27_BTC	31,8	-	-	32	127	0,95	Residencial
LOAD_B27BTC_B	B27_BTC	-	28,7	-	29	127	0,95	Residencial
LOAD_B27BTC_C	B27_BTC	-	-	28,7	29	127	0,95	Residencial
LOAD_B26BTA_T	B26_BTA	2,1	2,1	2,1	6	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B30BT_A	B30_BT	8,4	-	-	8	127	0,95	Residencial
LOAD_B30BT_B	B30_BT	-	8,4	-	8	127	0,95	Residencial
LOAD_B30BT_C	B30_BT	-	-	10,2	10	127	0,95	Residencial
LOAD_B31BT_T	B31_BT	20,1	20,1	20,1	60	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B47BT_A	B47_BT	3,5	-	-	3	127	0,95	Residencial
LOAD_B47BT_B	B47_BT	-	2,3	-	2	127	0,95	Residencial
LOAD_B47BT_C	B47_BT	-	-	3,5	3	127	0,95	Residencial
LOAD_B48BT_T	B48_BT	22,8	22,8	22,8	68	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B32BT_T	B32_BT	13,2	13,2	13,4	40	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B34BT_T	B34_BT	8,0	8,0	8,0	24	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B46BT_T	B46_BT	664,2	666,5	660,9	1992	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B35BT_T	B35_BT	28,1	28,1	28,2	84	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B33BT_T	B33_BT	9,3	9,3	9,3	28	220	0,92	Comercial 1
LOAD_B44BT_A	B44_BT	9,5	-	-	9	127	0,95	Residencial
LOAD_B44BT_B	B44_BT	-	11,2	-	11	127	0,95	Residencial
LOAD_B44BT_C	B44_BT	-	-	12,7	13	127	0,95	Residencial
LOAD_B36BT_A	B36_BT	7,2	-	-	7	127	0,95	Residencial
LOAD_B36BT_B	B36_BT	-	9,2	-	9	127	0,95	Residencial
LOAD_B36BT_C	B36_BT	-	-	5,7	6	127	0,95	Residencial
LOAD_B40BTA_A	B40_BTA	22,4	-	-	22	127	0,95	Residencial
LOAD_B40BTA_B	B40_BTA	-	25,6	-	26	127	0,95	Residencial
LOAD_B40BTA_C	B40_BTA	-	-	22,4	22	127	0,95	Residencial
LOAD_B40BTB_T	B40_BT B	16,5	16,5	16,5	50	220	0,92	Comercial 2
LOAD_B43BT_T	B43_BT	41,3	41,3	41,3	124	220	0,92	Comercial 1

FONTE: O autor (2014).

B4 – DADOS DAS LINHAS

Os parâmetros das linhas foram definidos através de três objetos *line code*, contendo as matrizes com os valores para resistência e reatância indutiva. A matriz R representa a resistência da linha e a matriz X representa a reatância indutiva, ambas em ohms por quilômetro de acordo com o condutor utilizado pela linha.

- CABO_ISOL_400

Matriz R:

$$\begin{vmatrix} 0,078 & 0 & 0 \\ 0 & 0,078 & 0 \\ 0 & 0 & 0,078 \end{vmatrix} (\Omega/\text{km})$$

Matriz X:

$$\begin{vmatrix} 0,21 & 0 & 0 \\ 0 & 0,21 & 0 \\ 0 & 0 & 0,21 \end{vmatrix} (\Omega/\text{km})$$

- CABO_ISOL_185

Matriz R:

$$\begin{vmatrix} 0,164 & 0 & 0 \\ 0 & 0,164 & 0 \\ 0 & 0 & 0,164 \end{vmatrix} (\Omega/\text{km})$$

Matriz X:

$$\begin{vmatrix} 0,25 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0,25 \end{vmatrix} (\Omega/\text{km})$$

- CABO_ISOL_35

Matriz R:

$$\begin{vmatrix} 0,868 & 0 & 0 \\ 0 & 0,868 & 0 \\ 0 & 0 & 0,868 \end{vmatrix} (\Omega/\text{km})$$

Matriz X:

$$\begin{vmatrix} 0,32 & 0 & 0 \\ 0 & 0,32 & 0 \\ 0 & 0 & 0,32 \end{vmatrix} (\Omega/\text{km})$$

Na tabela 1 são apresentados os demais dados das linhas do circuito. As colunas “i” e “k” representam as barras de conexão das linhas.

TABELA B4 – DADOS DAS LINHAS CIRCUITO 48 BARRAS

Nome	Tipo	Conexão	i	k	Parâmetros (Line Code)	Comprimento (m)
LD_TRONCO_1	Trifásica	Delta	SB	B1	CABO_ISOL_400	100,07
LD_TRONCO_2	Trifásica	Delta	B1	B2	CABO_PROT_185	435,10
LD_TRONCO_3	Trifásica	Delta	B2	B3	CABO_PROT_185	140,03
LD_TRONCO_4	Trifásica	Delta	B3	B6	CABO_PROT_185	54,96
LD_TRONCO_5	Trifásica	Delta	B6	B7	CABO_PROT_185	20,37
LD_TRONCO_6	Trifásica	Delta	B7	B9	CABO_PROT_185	30,85
LD_TRONCO_7	Trifásica	Delta	B9	B12	CABO_PROT_185	43,11
LD_TRONCO_8	Trifásica	Delta	B12	B13	CABO_PROT_185	26,87
LD_TRONCO_9	Trifásica	Delta	B13	B14	CABO_PROT_185	33,82
LD_TRONCO_10	Trifásica	Delta	B14	B15	CABO_PROT_185	34,15
LD_TRONCO_11	Trifásica	Delta	B15	B16	CABO_PROT_185	42,59
LD_TRONCO_12	Trifásica	Delta	B16	B18	CABO_PROT_185	45,11
LD_TRONCO_13	Trifásica	Delta	B12	B11	CABO_PROT_185	33,26
LD_TRONCO_14	Trifásica	Delta	B11	B21	CABO_PROT_185	48,53
LD_TRONCO_15	Trifásica	Delta	B21	B22	CABO_PROT_185	59,09
LD_TRONCO_16	Trifásica	Delta	B22	B23	CABO_PROT_185	68,75
LD_TRONCO_17	Trifásica	Delta	B23	B24	CABO_PROT_185	55,43
LD_TRONCO_18	Trifásica	Delta	B24	B25	CABO_PROT_185	53,69
LD_TRONCO_19	Trifásica	Delta	B25	B29	CABO_PROT_185	93,91
LD_TRONCO_20	Trifásica	Delta	B29	B34	CABO_PROT_185	59,00
LD_TRONCO_21	Trifásica	Delta	B34	B36	CABO_PROT_185	60,93
LD_TRONCO_22	Trifásica	Delta	B36	B37	CABO_PROT_185	87,20
LD_TRONCO_23	Trifásica	Delta	B37	B38	CABO_PROT_185	31,43
LD_TRONCO_24	Trifásica	Delta	B37	B40	CABO_PROT_185	46,18
LD_TRONCO_25	Trifásica	Delta	B40	B42	CABO_PROT_185	33,46
LD_TRONCO_26	Trifásica	Delta	B42	B44	CABO_PROT_185	76,01
LD_TRONCO_27	Trifásica	Delta	B44	B47	CABO_PROT_185	55,43
LD_RAMAL_1	Trifásica	Delta	B3	B4	CABO_PROT_35	41,14
LD_RAMAL_2	Trifásica	Delta	B4	B5	CABO_PROT_35	53,10
LD_RAMAL_3	Trifásica	Delta	B7	B8	CABO_PROT_35	33,63
LD_RAMAL_4	Trifásica	Delta	B16	B17	CABO_PROT_35	47,12
LD_RAMAL_5	Trifásica	Delta	B18	B19	CABO_PROT_35	59,07
LD_RAMAL_6	Trifásica	Delta	B19	B20	CABO_PROT_35	29,21
LD_RAMAL_7	Trifásica	Delta	B11	B10	CABO_PROT_35	48,45
LD_RAMAL_8	Trifásica	Delta	B25	B26	CABO_PROT_35	24,16
LD_RAMAL_9	Trifásica	Delta	B26	B27	CABO_PROT_35	59,79
LD_RAMAL_10	Trifásica	Delta	B25	B28	CABO_PROT_35	59,00
LD_RAMAL_11	Trifásica	Delta	B29	B30	CABO_PROT_35	38,89

LD_RAMAL_12	Trifásica	Delta	B30	B31	CABO_PROT_35	41,54
LD_RAMAL_13	Trifásica	Delta	B31	B32	CABO_PROT_35	25,57
LD_RAMAL_14	Trifásica	Delta	B32	B33	CABO_PROT_35	29,63
LD_RAMAL_15	Trifásica	Delta	B34	B35	CABO_PROT_35	28,12
LD_RAMAL_16	Trifásica	Delta	B38	B39	CABO_PROT_35	41,94
LD_RAMAL_17	Trifásica	Delta	B40	B41	CABO_PROT_35	24,97
LD_RAMAL_18	Trifásica	Delta	B42	B43	CABO_PROT_35	24,97
LD_RAMAL_19	Trifásica	Delta	B44	B45	CABO_PROT_35	29,84
LD_RAMAL_20	Trifásica	Delta	B44	B46	CABO_PROT_35	31,43
LD_RAMAL_21	Trifásica	Delta	B47	B48	CABO_PROT_35	29,63

FONTE: O autor (2014).

B5 – PERFIL DAS CARGAS

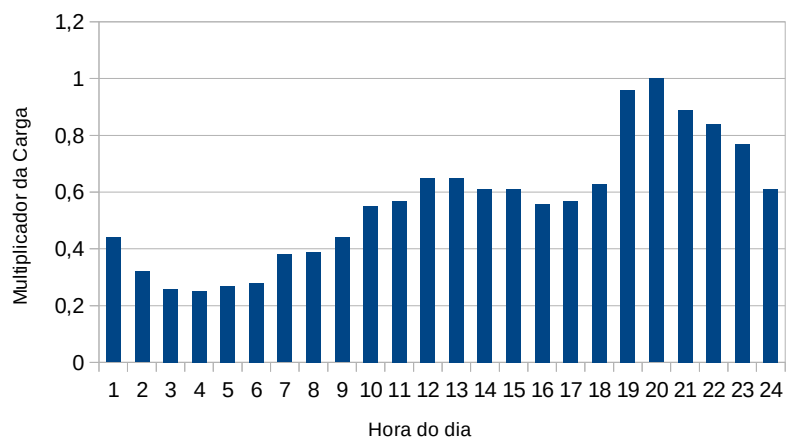


FIGURA B5A – PERFIL DIÁRIO PARA CARGAS DO TIPO RESIDENCIAIS

FONTE: O autor (2014)

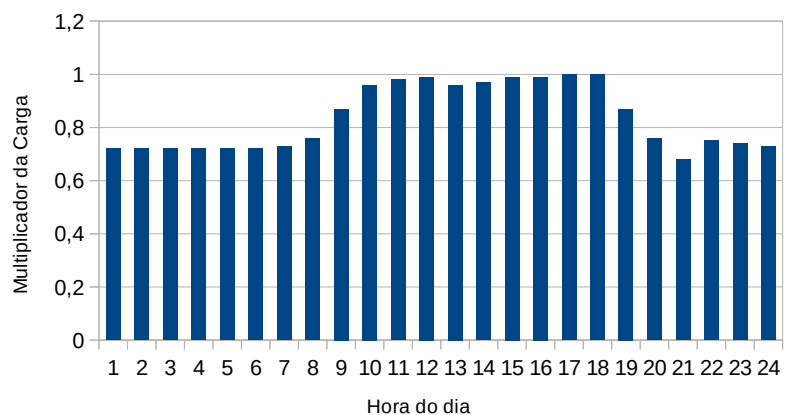


FIGURA B5B – PERFIL DIÁRIO PARA CARGAS COMERCIAIS DO TIPO 1

FONTE: O autor (2014)

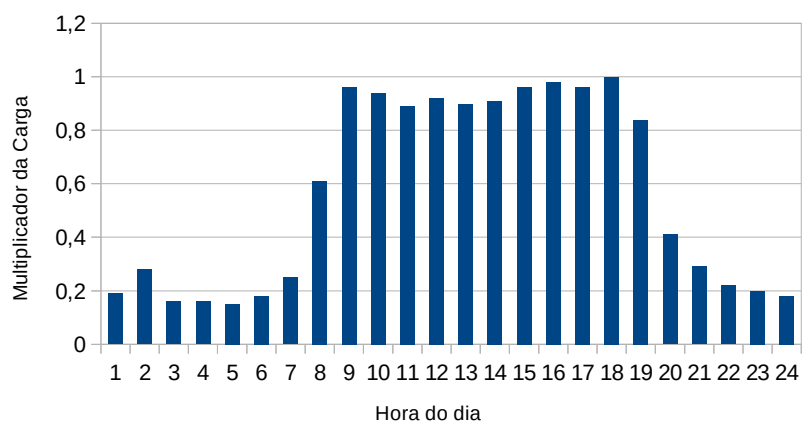


FIGURA B5C – PERFIL DIÁRIO PARA CARGAS COMERCIAIS DO TIPO 2.

FONTE: O autor (2014)

APÊNDICE C – SOLUÇÃO COMPLETA NO MODO SNAPSHOT CIRCUITO 48 BARRAS

TABELA C1 – SOLUÇÃO PARA TENSÃO DE FASE NAS BARRAS EM ALTA TENSÃO CIRCUITO 48 BARRAS

Barra	Va(V)	Ang_a	Va(pu)	Vb(V)	Ang_b	Vb(pu)	Vc(V)	Ang_c	Vc(pu)
SOURCEBUS	39785	0	1,00	39785	-120	1,00	39785	120	1,00
SB	7903	-31	0,99	7902	-151	0,99	7903	89	0,99
B1	7900	-31	0,99	7899	-151	0,99	7900	89	0,99
B2	7881	-31	0,99	7880	-151	0,99	7881	89	0,99
B3	7874	-31	0,99	7874	-151	0,99	7875	89	0,99
B6	7872	-31	0,99	7872	-151	0,99	7872	89	0,99
B7	7871	-31	0,99	7871	-151	0,99	7872	89	0,99
B9	7870	-31	0,99	7870	-151	0,99	7870	89	0,99
B12	7868	-31	0,99	7868	-151	0,99	7869	89	0,99
B13	7868	-31	0,99	7868	-151	0,99	7869	89	0,99
B14	7868	-31	0,99	7867	-151	0,99	7868	89	0,99
B15	7868	-31	0,99	7867	-151	0,99	7868	89	0,99
B16	7867	-31	0,99	7867	-151	0,99	7868	89	0,99
B18	7867	-31	0,99	7867	-151	0,99	7868	89	0,99
B11	7867	-31	0,99	7867	-151	0,99	7868	89	0,99
B21	7866	-31	0,99	7865	-151	0,99	7866	89	0,99
B22	7864	-31	0,99	7863	-151	0,99	7864	89	0,99
B23	7862	-31	0,99	7861	-151	0,99	7862	89	0,99
B24	7860	-31	0,99	7860	-151	0,99	7860	89	0,99
B25	7858	-31	0,99	7858	-151	0,99	7859	89	0,99
B29	7856	-31	0,99	7855	-151	0,99	7856	89	0,99
B34	7854	-31	0,99	7854	-151	0,99	7855	89	0,99
B36	7852	-31	0,99	7852	-151	0,99	7853	89	0,99
B37	7850	-31	0,99	7850	-151	0,99	7851	89	0,99
B38	7850	-31	0,99	7850	-151	0,99	7851	89	0,99
B40	7849	-31	0,99	7849	-151	0,99	7850	89	0,99
B42	7848	-31	0,99	7848	-151	0,99	7849	89	0,99
B44	7847	-31	0,98	7846	-151	0,98	7847	89	0,98
B47	7847	-31	0,98	7846	-151	0,98	7847	89	0,98
B4	7874	-31	0,99	7874	-151	0,99	7875	89	0,99
B5	7874	-31	0,99	7874	-151	0,99	7874	89	0,99
B8	7871	-31	0,99	7871	-151	0,99	7872	89	0,99
B17	7867	-31	0,99	7867	-151	0,99	7868	89	0,99
B19	7866	-31	0,99	7866	-151	0,99	7867	89	0,99
B20	7866	-31	0,99	7866	-151	0,99	7866	89	0,99
B10	7867	-31	0,99	7867	-151	0,99	7868	89	0,99
B26	7858	-31	0,99	7858	-151	0,99	7859	89	0,99

B27	7858	-31	0,99	7857	-151	0,99	7858	89	0,99
B28	7858	-31	0,99	7858	-151	0,99	7859	89	0,99
B30	7855	-31	0,99	7855	-151	0,99	7856	89	0,99
B31	7855	-31	0,99	7855	-151	0,99	7856	89	0,99
B32	7855	-31	0,99	7855	-151	0,99	7856	89	0,99
B33	7855	-31	0,99	7855	-151	0,99	7856	89	0,99
B35	7854	-31	0,99	7854	-151	0,99	7854	89	0,99
B39	7850	-31	0,99	7850	-151	0,99	7851	89	0,99
B41	7849	-31	0,99	7849	-151	0,99	7850	89	0,99
B43	7848	-31	0,99	7848	-151	0,98	7849	89	0,99
B45	7847	-31	0,98	7846	-151	0,98	7847	89	0,98
B46	7844	-31	0,98	7844	-151	0,98	7845	89	0,98
B48	7846	-31	0,98	7846	-151	0,98	7847	89	0,98

FONTE: O autor (2014).

TABELA C2 – SOLUÇÃO PARA TENSÃO DE FASE NAS BARRAS EM BAIXA TENSÃO CIRCUITO 48 BARRAS

Barra	Va(V)	Ang_a	Va(pu)	Vb(V)	Ang_b	Vb(pu)	Vc(V)	Ang_c	Vc(pu)
B3_BTA	130	-62	1,03	131	178	1,03	130	58	1,03
B3_BT B	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B4_BT	129	-62	1,02	129	178	1,02	129	58	1,02
B8_BT	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,03
B6_BTA	131	-62	1,03	131	178	1,03	131	58	1,03
B6_BT B	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,03
B5_BT	130	-62	1,03	130	178	1,02	130	58	1,02
B9_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B10_BT	131	-62	1,03	130	178	1,03	131	58	1,03
B11_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B13_BT	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,03
B21_BT	129	-63	1,02	129	178	1,02	129	58	1,02
B14_BT	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,03
B15_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B16_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B23_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B19_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,03
B24_BT	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,03
B20_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B28_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B27_BTA	130	-62	1,03	130	178	1,03	131	58	1,03
B27_BT B	130	-62	1,03	130	179	1,03	130	59	1,03
B27_BT C	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B26_BTA	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03

B26_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B26_BTC	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B30_BT	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,02
B31_BT	130	-62	1,03	130	178	1,02	130	58	1,02
B47_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B48_BT	129	-62	1,02	129	178	1,02	129	58	1,02
B32_BT	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,03
B34_BT	130	-62	1,03	130	179	1,03	130	59	1,03
B46_BT	129	-62	1,02	129	178	1,02	129	58	1,02
B35_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B33_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B45_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B44_BT	130	-62	1,03	130	178	1,03	130	58	1,03
B36_BT	131	-62	1,03	130	178	1,03	131	59	1,03
B41_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B40_BTA	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B40_BTB	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B43_BT	130	-62	1,02	130	178	1,02	130	58	1,02
B37_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03
B39_BT	131	-61	1,03	131	179	1,03	131	59	1,03

FONTE: O autor (2014).

TABELA C3 – SOLUÇÃO PARA CORRENTE DAS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO CIRCUITO 48
BARRAS

Nome Elemento	I_A (A)	Ang_A	I_B (A)	Ang_B	I_C (A)	Ang_C
LD_TRONCO_1	176,88	-54,48	176,49	-174,71	176,05	65,52
LD_TRONCO_2	176,88	-54,48	176,49	-174,71	176,05	65,52
LD_TRONCO_3	176,88	-54,48	176,49	-174,71	176,06	65,52
LD_TRONCO_4	169,12	-54,58	168,45	-174,85	168,09	65,49
LD_TRONCO_5	165,67	-54,57	165,00	-174,85	164,64	65,49
LD_TRONCO_6	162,39	-54,57	161,71	-174,85	161,36	65,50
LD_TRONCO_7	158,10	-54,55	157,43	-174,84	157,07	65,52
LD_TRONCO_8	27,52	-54,71	27,41	-174,88	27,39	65,41
LD_TRONCO_9	26,54	-54,71	26,43	-174,89	26,41	65,41
LD_TRONCO_10	25,01	-54,71	24,90	-174,90	24,88	65,42
LD_TRONCO_11	24,41	-54,72	24,30	-174,91	24,29	65,41
LD_TRONCO_12	15,56	-54,47	15,45	-174,77	15,43	65,74
LD_TRONCO_13	130,58	-54,51	130,02	-174,83	129,68	65,54
LD_TRONCO_14	127,03	-54,59	126,46	-174,86	126,22	65,50
LD_TRONCO_15	125,92	-54,58	125,35	-174,86	125,11	65,51
LD_TRONCO_16	125,92	-54,58	125,35	-174,86	125,11	65,51
LD_TRONCO_17	122,39	-54,68	122,07	-174,95	121,73	65,32
LD_TRONCO_18	121,11	-54,68	120,79	-174,95	120,45	65,32
LD_TRONCO_19	112,90	-54,92	113,14	-175,06	112,78	64,90
LD_TRONCO_20	106,37	-54,99	106,51	-175,18	106,14	64,85
LD_TRONCO_21	101,76	-54,99	101,89	-175,19	101,52	64,85
LD_TRONCO_22	100,72	-55,09	100,94	-175,16	100,71	64,77

LD_TRONCO_23	0,00	58,82	0,00	-61,17	0,00	178,83
LD_TRONCO_24	100,72	-55,09	100,94	-175,17	100,71	64,77
LD_TRONCO_25	95,52	-55,32	95,72	-175,26	95,71	64,61
LD_TRONCO_26	90,21	-55,33	90,41	-175,27	90,40	64,59
LD_TRONCO_27	3,29	-55,35	3,28	-173,82	3,36	65,53
LD_RAMAL_1	5,62	-52,53	5,85	-173,75	5,63	64,82
LD_RAMAL_2	1,69	-45,71	1,91	-170,24	1,69	65,43
LD_RAMAL_3	3,28	-54,91	3,28	-174,91	3,28	65,09
LD_RAMAL_4	0,00	58,91	0,00	-61,09	0,00	178,91
LD_RAMAL_5	15,56	-54,47	15,45	-174,77	15,43	65,74
LD_RAMAL_6	13,84	-55,02	13,84	-175,02	13,84	64,98
LD_RAMAL_7	1,59	-47,83	1,59	-171,83	1,49	70,21
LD_RAMAL_8	8,23	-51,32	7,65	-173,31	7,72	71,46
LD_RAMAL_9	7,98	-51,23	7,40	-173,28	7,46	71,65
LD_RAMAL_10	0,00	58,86	0,00	-61,13	0,00	178,87
LD_RAMAL_11	6,53	-53,88	6,64	-173,24	6,65	65,61
LD_RAMAL_12	5,46	-54,66	5,46	-174,66	5,46	65,34
LD_RAMAL_13	2,89	-54,53	2,89	-174,53	2,89	65,47
LD_RAMAL_14	1,19	-54,34	1,19	-174,34	1,19	65,66
LD_RAMAL_15	3,59	-55,07	3,59	-175,07	3,59	64,93
LD_RAMAL_16	0,00	58,82	0,00	-61,17	0,00	178,83
LD_RAMAL_17	0,00	58,82	0,00	-61,17	0,00	178,82
LD_RAMAL_18	5,31	-55,13	5,31	-175,13	5,31	64,87
LD_RAMAL_19	0,00	58,81	0,00	-61,19	0,00	178,81
LD_RAMAL_20	85,61	-55,46	85,61	-175,46	85,61	64,54
LD_RAMAL_21	2,92	-55,24	2,92	-175,24	2,92	64,76

FONTE: O autor (2014).

TABELA C4 – SOLUÇÃO PARA CORRENTE DOS TRANSFORMADORES CIRCUITO 48 BARRAS

Nome Elemento	I_A (A)	Ang_A	I_B (A)	Ang_B	I_C (A)	Ang_C
TB3A	1,30	-53,20	1,31	-166,69	1,43	70,00
TB3B	0,84	-49,55	0,91	-167,24	0,90	68,10
TB4	3,95	-55,45	3,95	-175,45	3,95	64,55
TB8	3,28	-54,92	3,28	-174,92	3,28	65,08
TB6A	1,53	-54,66	1,53	-174,66	1,53	65,34
TB6B	1,92	-54,78	1,92	-174,78	1,92	65,22
TB5	1,69	-45,73	1,91	-170,25	1,69	65,42
TB9	4,28	-55,26	4,28	-175,26	4,28	64,74
TB10	1,59	-47,84	1,59	-171,85	1,49	70,19
TB11	1,97	-55,16	1,97	-175,16	1,97	64,84
TB13	0,98	-54,65	0,98	-174,65	0,98	65,35
TB21	1,12	-55,53	1,12	-175,53	1,12	64,47
TB14	1,53	-54,68	1,53	-174,68	1,53	65,32
TB15	0,59	-54,46	0,59	-174,46	0,59	65,54
TB16	8,85	-55,16	8,85	-175,16	8,85	64,84
TB23	3,53	-51,24	3,29	-171,52	3,40	72,20
TB19	1,72	-50,07	1,61	-172,66	1,60	72,26
TB24	1,28	-54,63	1,28	-174,63	1,28	65,37
TB20	13,84	-55,02	13,84	-175,02	13,84	64,98
TB28	0,00	-121,14	0,00	118,87	0,00	-1,13
TB27A	2,70	-48,42	2,32	-177,34	2,19	76,03

TB27B	1,41	-54,57	1,41	-174,57	1,41	65,43
TB27C	3,88	-51,99	3,68	-170,23	3,88	71,42
TB26A	0,25	-54,29	0,25	-174,29	0,25	65,71
TB26B	0,00	-121,14	0,00	118,87	0,00	-1,13
TB26C	0,00	-121,14	0,00	118,87	0,00	-1,13
TB30	1,07	-49,91	1,19	-166,76	1,19	66,81
TB31	2,56	-54,82	2,56	-174,82	2,56	65,18
TB47	0,37	-56,34	0,37	-162,70	0,45	70,46
TB48	2,92	-55,24	2,92	-175,24	2,92	64,76
TB32	1,71	-54,66	1,71	-174,66	1,71	65,34
TB34	1,02	-54,57	1,02	-174,57	1,02	65,43
TB46	85,61	-55,46	85,61	-175,46	85,61	64,54
TB35	3,59	-55,07	3,59	-175,07	3,59	64,93
TB33	1,19	-54,36	1,19	-174,36	1,19	65,64
TB45	0,00	-121,19	0,00	118,81	0,00	-1,19
TB44	1,32	-47,02	1,53	-167,72	1,42	65,45
TB36	1,05	-45,69	0,96	-177,46	0,83	74,20
TB41	0,00	-121,18	0,00	118,83	0,00	-1,18
TB40A	3,08	-47,99	3,08	-172,43	2,87	69,85
TB40B	2,14	-54,97	2,14	-174,97	2,14	65,03
TB43	5,31	-55,13	5,31	-175,13	5,31	64,87
TB37	0,00	-121,18	0,00	118,83	0,00	-1,17
TB39	0,00	-121,18	0,00	118,83	0,00	-1,17

FONTE: O autor (2014).

TABELA C5 – SOLUÇÃO PARA CORRENTE DAS CARGAS MONOFÁSICAS CIRCUITO 48 BARRAS

Nome Elemento	I fase (A)	Ang fase	I neutro (A)	Ang neutro
LOAD_B3BTA_A	85,87	-80,01	85,87	99,99
LOAD_B3BTA_B	70,46	160,13	70,46	-19,87
LOAD_B3BTA_C	85,87	40,00	85,87	-140,00
LOAD_B3BTB_A	50,41	-79,55	50,41	100,45
LOAD_B3BTB_B	50,41	160,45	50,41	-19,55
LOAD_B3BTB_C	58,07	40,41	58,07	-139,59
LOAD_B5BT_A	87,42	-80,02	87,42	99,98
LOAD_B5BT_B	114,49	159,74	114,49	-20,26
LOAD_B5BT_C	114,49	39,75	114,49	-140,25
LOAD_B10BT_A	89,61	-79,81	89,61	100,19
LOAD_B10BT_B	101,17	160,12	101,17	-19,88
LOAD_B10BT_C	89,62	40,19	89,62	-139,81
LOAD_B23BT_A	218,43	-80,25	218,43	99,75
LOAD_B23BT_B	205,28	159,81	205,28	-20,19
LOAD_B23BT_C	189,01	39,88	189,01	-140,12
LOAD_B19BT_A	102,97	-80,19	102,97	99,81
LOAD_B19BT_B	103,76	159,80	103,76	-20,20
LOAD_B19BT_C	89,05	39,93	89,05	-140,07
LOAD_B27BTA_A	154,21	-79,96	154,21	100,04
LOAD_B27BTA_B	169,65	159,97	169,65	-20,03
LOAD_B27BTA_C	107,26	40,23	107,26	-139,77
LOAD_B30BT_A	64,46	-79,91	64,46	100,09

LOAD_B30BT_B	64,46	160,09	64,46	-19,91
LOAD_B30BT_C	78,35	39,97	78,35	-140,03
LOAD_B47BT_A	26,80	-79,55	26,80	100,45
LOAD_B47BT_B	17,60	160,51	17,60	-19,49
LOAD_B47BT_C	26,80	40,46	26,80	-139,54
LOAD_B44BT_A	72,84	-79,72	72,84	100,28
LOAD_B44BT_B	85,92	160,22	85,92	-19,78
LOAD_B44BT_C	97,46	40,18	97,46	-139,82
LOAD_B36BT_A	55,16	-79,68	55,16	100,32
LOAD_B36BT_B	70,54	160,23	70,54	-19,77
LOAD_B36BT_C	43,64	40,39	43,64	-139,61
LOAD_B40BTA_A	172,32	-80,16	172,32	99,84
LOAD_B40BTA_B	197,15	159,73	197,15	-20,27
LOAD_B40BTA_C	172,33	39,85	172,33	-140,15

FONTE: O autor (2014).

TABELA C6 – SOLUÇÃO PARA CORRENTE DAS CARGAS TRIFÁSICAS CIRCUITO 48 BARRAS

Nome Elemento	I_A (A)	Ang_A	I_B (A)	Ang_B	I_C (A)	Ang_C
LOAD_B4BT_T	236,87	-85,46	236,89	154,54	236,88	34,55
LOAD_B8BT_T	197,07	-84,92	197,10	155,08	197,08	35,08
LOAD_B6BTA_T	91,94	-84,66	91,95	155,34	91,94	35,34
LOAD_B6BTB_T	115,07	-84,79	115,08	155,21	115,08	35,22
LOAD_B9BT_T	257,00	-85,27	257,03	154,73	257,02	34,74
LOAD_B11BT_T	118,13	-85,16	118,14	154,84	118,13	34,84
LOAD_B13BT_T	58,75	-84,66	58,76	155,34	58,76	35,35
LOAD_B21BT_T	67,05	-85,54	67,06	154,46	67,05	34,46
LOAD_B14BT_T	91,99	-84,68	92,00	155,32	91,99	35,32
LOAD_B15BT_T	35,70	-84,47	35,70	155,53	35,70	35,54
LOAD_B16BT_T	531,15	-85,17	531,20	154,83	531,17	34,84
LOAD_B24BT_T	76,67	-84,63	76,67	155,37	76,67	35,37
LOAD_B20BT_T	830,54	-85,03	830,63	154,97	830,58	34,98
LOAD_B27BTB_T	84,30	-84,58	84,31	155,42	84,30	35,43
LOAD_B26BTA_T	15,28	-84,30	15,29	155,70	15,28	35,71
LOAD_B31BT_T	153,63	-84,83	153,65	155,17	153,64	35,18
LOAD_B48BT_T	175,07	-85,25	175,09	154,75	175,07	34,76
LOAD_B32BT_T	102,29	-84,67	102,31	155,33	102,30	35,34
LOAD_B34BT_T	61,32	-84,58	61,33	155,42	61,33	35,43
LOAD_B46BT_T	5136,18	-85,46	5136,80	154,54	5136,47	34,54
LOAD_B35BT_T	215,61	-85,08	215,64	154,92	215,62	34,93
LOAD_B33BT_T	71,38	-84,36	71,39	155,64	71,38	35,65
LOAD_B40BTB_T	128,33	-84,98	128,35	155,02	128,34	35,03
LOAD_B43BT_T	318,65	-85,14	318,69	154,86	318,67	34,87

FONTE: O autor (2014).

New line.LD_TRONCO_1 bus1 = SB bus2 = B1 length = 100.07 phases = 3 units = m
linecode = CABO_ISOL_400 Normamps = 1037 Emergamps = 1555

New line.LD_TRONCO_2 bus1 = B1 bus2 = B2 length = 435.10 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_3 bus1 = B2 bus2 = B3 length = 140.03 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_4 bus1 = B3 bus2 = B6 length = 54.96 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_5 bus1 = B6 bus2 = B7 length = 20.37 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_6 bus1 = B7 bus2 = B9 length = 30.85 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_7 bus1 = B9 bus2 = B12 length = 43.11 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_8 bus1 = B12 bus2 = B13 length = 26.87 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_9 bus1 = B13 bus2 = B14 length = 33.82 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_10 bus1 = B14 bus2 = B15 length = 34.15 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_11 bus1 = B15 bus2 = B16 length = 42.59 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_12 bus1 = B16 bus2 = B18 length = 45.11 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_13 bus1 = B12 bus2 = B11 length = 33.26 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_14 bus1 = B11 bus2 = B21 length = 48.53 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_15 bus1 = B21 bus2 = B22 length = 59.09 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_16 bus1 = B22 bus2 = B23 length = 68.75 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_17 bus1 = B23 bus2 = B24 length = 55.43 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_18 bus1 = B24 bus2 = B25 length = 53.69 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_19 bus1 = B25 bus2 = B29 length = 93.91 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_20 bus1 = B29 bus2 = B34 length = 59.00 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_21 bus1 = B34 bus2 = B36 length = 60.93 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_22 bus1 = B36 bus2 = B37 length = 87.20 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_23 bus1 = B37 bus2 = B38 length = 31.43 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_24 bus1 = B37 bus2 = B40 length = 46.18 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_25 bus1 = B40 bus2 = B42 length = 33.46 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_26 bus1 = B42 bus2 = B44 length = 76.01 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

New line.LD_TRONCO_27 bus1 = B44 bus2 = B47 length = 55.43 phases = 3 units
= m linecode = CABO_PROT_185 Normamps = 525 Emergamps = 787

//*****

// Definição das LD's RAMAIS

New line.LD_RAMAL_1 bus1 = B3 bus2 = B4 length = 41.14 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_2 bus1 = B4 bus2 = B5 length = 53.1 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_3 bus1 = B7 bus2 = B8 length = 33.63 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_4 bus1 = B16 bus2 = B17 length = 47.12 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_5 bus1 = B18 bus2 = B19 length = 59.07 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_6 bus1 = B19 bus2 = B20 length = 29.21 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_7 bus1 = B11 bus2 = B10 length = 48.45 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_8 bus1 = B25 bus2 = B26 length = 24.16 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_9 bus1 = B26 bus2 = B27 length = 59.79 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_10 bus1 = B25 bus2 = B28 length = 59 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_11 bus1 = B29 bus2 = B30 length = 38.89 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_12 bus1 = B30 bus2 = B31 length = 41.54 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_13 bus1 = B31 bus2 = B32 length = 25.57 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_14 bus1 = B32 bus2 = B33 length = 29.63 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_15 bus1 = B34 bus2 = B35 length = 28.12 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_16 bus1 = B38 bus2 = B39 length = 41.94 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_17 bus1 = B40 bus2 = B41 length = 24.97 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_18 bus1 = B42 bus2 = B43 length = 24.97 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_19 bus1 = B44 bus2 = B45 length = 29.84 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_20 bus1 = B44 bus2 = B46 length = 31.43 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

New line.LD_RAMAL_21 bus1 = B47 bus2 = B48 length = 29.63 phases = 3 units = m
linecode = CABO_PROT_35 Normamps = 187 Emergamps = 280

//*****

New transformer.TB3a

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B3, B3_bta)
~ kva= (75)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB3b

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B3, B3_btb)
~ kva= (112.5)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB4

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B4, B4_bt)
~ kva= (112.5)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB8

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B8, B8_bt)
~ kva= (225)
~ XHL = 4.7

New transformer.TB6a

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B6, B6_bta)
~ kva= (112.5)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB6b

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B6, B6_btb)

~ kva= (112.5)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB5

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B5, B5_bt)
~ kva= (75)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB9

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B9, B9_bt)
~ kva= (150)
~ XHL = 3.5

New transformer.TB10

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B10, B10_bt)
~ kva= (112.5)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB11

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B11, B11_bt)
~ kva= (75)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB13

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B13, B13_bt)
~ kva= (75)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB21

~ phases = 3

~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B21, B21_bt)
~ kva= (30)
~ XHL = 3.3

New transformer.TB14

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B14, B14_bt)
~ kva= (112.5)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB15

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B15, B15_bt)
~ kva= (75)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB16

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B16, B16_bt)
~ kva= (500)
~ XHL = 5.0

New transformer.TB23

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B23, B23_bt)
~ kva= (150)
~ XHL = 3.3

New transformer.TB19

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B19, B19_bt)
~ kva= (75)

~ XHL = 3.4

New transformer.TB24

~ phases = 3
 ~ windings = 2
 ~ conns = (delta, wye)
 ~ kvs = (13.2, 0.22)
 ~ buses = (B24, B24_bt)
 ~ kva= (112.5)
 ~ XHL = 3.4

New transformer.TB20

~ phases = 3
 ~ windings = 2
 ~ conns = (delta, wye)
 ~ kvs = (13.2, 0.22)
 ~ buses = (B20, B20_bt)
 ~ kva= (800)
 ~ XHL = 4.4

New transformer.TB28

~ phases = 3
 ~ windings = 2
 ~ conns = (delta, wye)
 ~ kvs = (13.2, 0.22)
 ~ buses = (B28, B28_bt)
 ~ kva= (225)
 ~ XHL = 4.7

New transformer.TB27a

~ phases = 3
 ~ windings = 2
 ~ conns = (delta, wye)
 ~ kvs = (13.2, 0.22)
 ~ buses = (B27, B27_bta)
 ~ kva= (225)
 ~ XHL = 4.7

New transformer.TB27b

~ phases = 3
 ~ windings = 2
 ~ conns = (delta, wye)
 ~ kvs = (13.2, 0.22)
 ~ buses = (B27, B27_btb)
 ~ kva= (150)
 ~ XHL = 3.5

New transformer.TB27c

~ phases = 3
 ~ windings = 2

```

~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B27, B27_btc)
~      kva= (225)
~      XHL = 4.7

```

New transformer.TB26a

```

~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B26, B26_bta)
~      kva= (112.5)
~      XHL = 3.4

```

New transformer.TB26b

```

~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B26, B26_btb)
~      kva= (500)
~      XHL = 5

```

New transformer.TB26c

```

~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B26, B26_btc)
~      kva= (500)
~      XHL = 5

```

New transformer.TB30

```

~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B30, B30_bt)
~      kva= (75)
~      XHL = 3.4

```

New transformer.TB31

```

~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B31, B31_bt)
~      kva= (225)
~      XHL = 4.7

```

New transformer.TB47

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B47, B47_bt)
~      kva= (112.5)
~      XHL = 3.4
```

New transformer.TB48

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B48, B48_bt)
~      kva= (112.5)
~      XHL = 3.4
```

New transformer.TB32

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B32, B32_bt)
~      kva= (150)
~      XHL = 3.5
```

New transformer.TB34

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B34, B34_bt)
~      kva= (112.5)
~      XHL = 3.4
```

New transformer.TB46

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B46, B46_bt)
~      kva= (4050)
~      XHL = 5
```

New transformer.TB35

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
```


~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B35, B35_bt)
~ kva= (225)
~ XHL = 4.7

New transformer.TB33

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B33, B33_bt)
~ kva= (500)
~ XHL = 5

New transformer.TB45

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B45, B45_bt)
~ kva= (500)
~ XHL = 5

New transformer.TB44

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B44, B44_bt)
~ kva= (150)
~ XHL = 3.5

New transformer.TB36

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B36, B36_bt)
~ kva= (112.5)
~ XHL = 3.4

New transformer.TB41

~ phases = 3
~ windings = 2
~ conns = (delta, wye)
~ kvs = (13.2, 0.22)
~ buses = (B41, B41_bt)
~ kva= (225)
~ XHL = 4.7

New transformer.TB40a

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B40, B40_bta)
~      kva= (150)
~      XHL = 3.5
```

New transformer.TB40b

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B40, B40_btb)
~      kva= (112.5)
~      XHL = 3.4
```

New transformer.TB43

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B43, B43_bt)
~      kva= (300)
~      XHL = 4.4
```

New transformer.TB37

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B37, B37_bt)
~      kva= (150)
~      XHL = 3.5
```

New transformer.TB39

```
~      phases = 3
~      windings = 2
~      conns = (delta, wye)
~      kvs = (13.2, 0.22)
~      buses = (B39, B39_bt)
~      kva= (300)
~      XHL = 4.4
```

//*****

// DEFINICAO DAS CARGAS

New Load.Load_B3BTA_a phases=1 Bus1= B3_bta.1.0 kV=0.127 kVA=11.2
PF=0.95 model=1 class=1

New Load.Load_B3BTA_b phases=1 Bus1= B3_bta.2.0 kV=0.127 kVA=9.2 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B3BTA_c phases=1 Bus1= B3_bta.3.0 kV=0.127 kVA=11.2
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B3BTB_a phases=1 Bus1= B3_btb.1.0 kV=0.127 kVA=6.6 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B3BTB_b phases=1 Bus1= B3_btb.2.0 kV=0.127 kVA=6.6 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B3BTB_c phases=1 Bus1= B3_btb.3.0 kV=0.127 kVA=7.6 PF=0.95
model=1 class=1
New load.Load_B4BT_t bus1 = B4_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 92 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B8BT_t bus1 = B8_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 77 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B6BTA_t bus1 = B6_bta phases = 3 kv = 0.220 kva = 36 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B6BTB_t bus1 = B6_btb phases = 3 kv = 0.220 kva = 45 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New Load.Load_B5BT_a phases=1 Bus1= B5_bt.1.0 kV=0.127 kVA=11.4 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B5BT_b phases=1 Bus1= B5_bt.2.0 kV=0.127 kVA=14.9 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B5BT_c phases=1 Bus1= B5_bt.3.0 kV=0.127 kVA=14.9 PF=0.95
model=1 class=1
New load.Load_B9BT_t bus1 = B9_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 100 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New Load.Load_B10BT_a phases=1 Bus1= B10_bt.1.0 kV=0.127 kVA=11.7
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B10BT_b phases=1 Bus1= B10_bt.2.0 kV=0.127 kVA=13.2
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B10BT_c phases=1 Bus1= B10_bt.3.0 kV=0.127 kVA=11.7
PF=0.95 model=1 class=1
New load.Load_B11BT_t bus1 = B11_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 46 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B13BT_t bus1 = B13_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 23 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B21BT_t bus1 = B21_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 27 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B14BT_t bus1 = B14_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 36 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B15BT_t bus1 = B15_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 14 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B16BT_t bus1 = B16_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 207 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New Load.Load_B23BT_a phases=1 Bus1= B23_bt.1.0 kV=0.127 kVA=28.4
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B23BT_b phases=1 Bus1= B23_bt.2.0 kV=0.127 kVA=26.7
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B23BT_c phases=1 Bus1= B23_bt.3.0 kV=0.127 kVA=24.6
PF=0.95 model=1 class=1

New Load.Load_B19BT_a phases=1 Bus1= B19_bt.1.0 kV=0.127 kVA=13.4
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B19BT_b phases=1 Bus1= B19_bt.2.0 kV=0.127 kVA=13.5
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B19BT_c phases=1 Bus1= B19_bt.3.0 kV=0.127 kVA=11.6
PF=0.95 model=1 class=1
New load.Load_B24BT_t bus1 = B24_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 30 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B20BT_t bus1 = B20_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 324 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New Load.Load_B27BTA_a phases=1 Bus1= B27_bta.1.0 kV=0.127 kVA=20.1
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B27BTA_b phases=1 Bus1= B27_bta.2.0 kV=0.127 kVA=22.1
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B27BTA_c phases=1 Bus1= B27_bta.3.0 kV=0.127 kVA=14.0
PF=0.95 model=1 class=1
New load.Load_B27BTB_t bus1 = B27_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 33 pf =
0.92 model = 1 class = 1
New Load.Load_B27BTC_a phases=1 Bus1= B27_btc.1.0 kV=0.127 kVA=31.8
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B27BTC_b phases=1 Bus1= B27_btc.2.0 kV=0.127 kVA=28.7
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B27BTC_c phases=1 Bus1= B27_btc.3.0 kV=0.127 kVA=28.7
PF=0.95 model=1 class=1
New load.Load_B26BTA_t bus1 = B26_BTA phases = 3 kv = 0.220 kva = 6 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New Load.Load_B30BT_a phases=1 Bus1= B30_bt.1.0 kV=0.127 kVA=8.4 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B30BT_b phases=1 Bus1= B30_bt.2.0 kV=0.127 kVA=8.4 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B30BT_c phases=1 Bus1= B30_bt.3.0 kV=0.127 kVA=10.2
PF=0.95 model=1 class=1
New load.Load_B31BT_t bus1 = B31_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 60 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New Load.Load_B47BT_a phases=1 Bus1= B47_bt.1.0 kV=0.127 kVA=3.5 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B47BT_b phases=1 Bus1= B47_bt.2.0 kV=0.127 kVA=2.3 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B47BT_c phases=1 Bus1= B47_bt.3.0 kV=0.127 kVA=3.5 PF=0.95
model=1 class=1
New load.Load_B48BT_t bus1=B48_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 68 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B32BT_t bus1=B32_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 40 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B34BT_t bus1=B34_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 24 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New load.Load_B46BT_t bus1=B46_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 1992 pf =
0.92 model = 1 class = 1
New load.Load_B35BT_t bus1=B35_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 84 pf = 0.92
model = 1 class = 1

```

New load.Load_B33BT_t bus1=B33_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 28 pf = 0.92
model = 1 class = 1
New Load.Load_B44BT_a phases=1 Bus1= B44_bt.1.0 kV=0.127 kVA=9.5 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B44BT_b phases=1 Bus1= B44_bt.2.0 kV=0.127 kVA=11.2
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B44BT_c phases=1 Bus1= B44_bt.3.0 kV=0.127 kVA=12.7
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B36BT_a phases=1 Bus1= B36_bt.1.0 kV=0.127 kVA=7.2 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B36BT_b phases=1 Bus1= B36_bt.2.0 kV=0.127 kVA=9.2 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B36BT_c phases=1 Bus1= B36_bt.3.0 kV=0.127 kVA=5.7 PF=0.95
model=1 class=1
New Load.Load_B40BTA_a phases=1 Bus1= B40_bta.1.0 kV=0.127 kVA=22.4
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B40BTA_b phases=1 Bus1= B40_bta.2.0 kV=0.127 kVA=25.6
PF=0.95 model=1 class=1
New Load.Load_B40BTA_c phases=1 Bus1= B40_bta.3.0 kV=0.127 kVA=22.4
PF=0.95 model=1 class=1
New load.Load_B40BTB_t bus1=B40_BTBT phases = 3 kv = 0.220 kva = 50 pf =
0.92 model = 1 class = 1
New load.Load_B43BT_t bus1=B43_BT phases = 3 kv = 0.220 kva = 124 pf = 0.92
model = 1 class = 1
//! monitor no transformador modo V
New monitor.TOTAL element = transformer.TR1_SUB terminal = 2 mode = 32 ppolar
= no
New Energymeter.em1 transformer.TR1_SUB
//*****
//
// OPCAÇÃO DE SIMULAÇÃO
set maxiterations = 20
Set voltagebases = "69 13.8 0.220"
Calc voltagebases
Set mode = snapshot
Solve
BusCoords BusXY.csv
Plot type = circuit quantity = power dots = y labels = n subs=y
Visualize element=transformer.TR1_SUB what=powers
Plot profile

```

C2 – DADOS DAS COORDENADAS DAS BARRAS, ARQUIVO***BusCoords, BusXY.CSV* OpenDSS CIRCUITO 48 BARRAS****Nome da barra, Coord_X, Coord_Y**

b1, 75.99, 51.99
b10, -131.88, 667
b10_bt, -131.88, 668
b11, -147.96, 704
b11_bt, -147.96, 705
b12, -171, 693.99
b13, -179.85, 710
b13_bt, -179.85, 711
b14, -192, 732
b14_bt, -192, 732
b15, -201.09, 757
b15_bt, -201.09, 758
b16, -213, 789
b16_bt, -213, 790
b17, -180, 810.99
b18, -222, 825.99
b19, -273, 828
b19_bt, -273, 829
b2, -84, 447.99
b20, -270, 849.99
b20_bt, -270, 849.99
b21, -111, 720
b21_bt, -111, 721
b22, -66, 738.99
b23, -87, 795
b23_bt, -87, 796
b24, -102, 840
b24_bt, -102, 841
b25, -120, 882.99
b26, -147, 885.99
b26_bta, -147, 886
b26_btb, -147, 887
b26_btc, -147, 888
b27, -171, 874
b27_bta, -171, 875
b27_btb, -171, 876
b27_btc, -171, 877
b28, -165, 858
b28_bt, -165, 859
b29, -42, 918.99
b3, -132, 570
b3_bta, -132, 571
b3_btb, -132, 572
b30, -15, 933

b30_bt, -15, 934
b31, 15, 948
b31_bt, 15, 949
b32, 37.17, 961
b32_bt, 37.17, 962
b33, 90, 978
b33_bt, 90, 979
b34, -66, 963
b34_bt, -66, 964
b35, -48, 972
b35_bt, -48, 973
b36, -87, 1011
b36_bt, -87, 1012
b37, -120, 1083
b37_bt, -120, 1084
b38, -102, 1098.99
b39, -126, 1122
b39_bt, -126, 1123
b4, -135, 603
b4_bt, -135, 604
b40, -147, 1056.99
b40_bta, -147, 1056
b40_btb, -147, 1057
b41, -135, 1044
b41_bt, -135, 1045
b42, -165, 1038.99
b43, -183, 1056
b43_bt, -183, 1057
b44, -210, 987
b44_bt, -210, 988
b45, -189, 981
b45_bt, -189, 982
b46, -195, 969
b46_bt, -195, 970
b47, -237, 948
b47_bt, -237, 949
b48, -255, 960
b48_bt, -255, 961
b5, -141, 615
b5_bt, -141, 616
b6, -153, 617
b6_bta, -153, 612
b6_btb, -153, 613
b7, -150, 639.99
b8, -180, 606
b8_bt, -180, 607
b9, -159, 660
b9_bt, -159, 661
sb, 0, 0
sourcebus, 0, 1