

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JACSON MOURA BAPTISTA

SIMULADOR DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA - SimSEP

Niterói
2017

JACSON MOURA BAPTISTA

SIMULADOR DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA - SimSEP

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Orientador :
Prof. Dr. Márcio André Ribeiro Guimaraens

Niterói
2017

JACSON MOURA BAPTISTA

SIMULADOR DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA - SimSEP

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 12 de Julho de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcio André Ribeiro Guimaraens, D.Sc (Orientador)
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Julio Cesar Stacchini de Souza, D.Sc
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Renan da Silva Maciel, D. Sc
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Rainer Zanghi, D. Sc
UFF – Universidade Federal Fluminense

Aos meus pais, Edson e Jaqueline, e
ao meu irmão Daniel, por todo apoio e
paciência nessa difícil jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus e aos meus pais por serem desde sempre o meu porto seguro, meu melhor espelho e maiores exemplos. Todos esses anos de dedicação a mim contribuíram para a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

Obrigado ao meu irmão que, mesmo em nossas diferentes maneiras de enxergar o mundo, sempre me incentivou a alcançar os meus objetivos.

Obrigado ao meu orientador, Márcio André Ribeiro Guimaraens, que confiou a mim a responsabilidade de desenvolver um projeto como esse.

Agradeço a minha namorada Gabriela Rezende por estar presente nesta fase decisiva da minha vida, me apoiando, incentivando e encorajando a realizar os meus sonhos.

Agradeço ao meu amigo e colega de curso Ayres Nishio que, com sua habilidade nata em linguagem de programação, me ensinou ferramentas essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

"É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota."

Theodore Roosevelt

RESUMO

Ao longo dos anos, o cálculo do fluxo de potência juntamente com o processo de estimação de estados da rede vêm sendo utilizados como ferramentas vitais nos estudos de planejamento e operação do sistema. Este último visa estimar as grandezas elétricas de maneira confiável a partir de telemidas redundantes e sujeitas à vários tipos de erros. Seus resultados servem de base para a monitoração e análise da segurança do sistema elétrico de potência. Esse trabalho irá apresentar um programa desenvolvido através do *software* MATLAB R2010a, com o objetivo de estudos sistemáticos da rede em regime permanente bem como modelagem dos equipamentos elétricos envolvidos, cálculo do fluxo de potência da rede e estimação do estado de um sistema composto por N barras, emitindo relatórios dos fluxos de carga e estados estimados para as 24 horas do dia com periodicidade definida pelo usuário. Resultados foram obtidos realizando simulações no sistema IEEE 14 barras.

Palavras-chave: Sistema de Potência, Estimação de Estados, Fluxo de Potência, Curvas de Cargas.

ABSTRACT

Over the years, the power flow calculation along with the network states estimation process have been used as vital tools in planning studies and system operation. The latter aims to reliably estimate electrical quantities from redundant telemetry and subject to various types of errors. Its results serve as a basis for the safety of the electric power system monitoring and analysis. This work will present a program developed through the software MATLAB R2010a, with the objective of systematic studies of the network in permanent regime as well as modeling of the electrical equipment involved, the network power flow calculation and state of a system composed of N bars estimation, reporting load flows and estimated states to 24 hours a day with user-defined periodicity. Results were obtained by performing simulations in the IEEE 14 bus system.

Keywords: Power System, State Estimation, Power Flow, Load Curves.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2 OBJETIVO	14
1.3 ESTRUTURA DO TCC	14
2 SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA	16
2.1INTRODUÇÃO	16
2.2 FLUXO DE POTÊNCIA.....	16
2.3 MODELAGEM DO FLUXO DE POTÊNCIA	17
2.3.1 MODELAGEM DA LINHA DE TRANSMISSÃO	18
2.4 FORMULAÇÃO BÁSICA DO PROBLEMA DE FLUXO DE CARGA	19
2.5 CÁLCULO DO FLUXO DE POTÊNCIA.....	21
2.5.1 MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON DESACOPLADO	23
2.6 CURVAS DE CARGA	25
2.7 SISTEMAS SUPERVIÓRIOS DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS - SCADA.....	27
2.8 ESTIMAÇÃO DE ESTADO	29
2.8.1 DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS	30
2.8.2 IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS	32
3 MODELAGEM COMPUTACIONAL SimSEP	34
3.1 APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA	34
3.1.1 FUNÇÃO AUXILIAR "ler_sistema.m"	37
3.1.2 SUBROTINA FUNCIONAL "ger_carga.m"	38
3.1.3 FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_sistema_v2.m"	39
3.1.4 FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_excel.m"	40
3.1.5 FUNÇÃO AUXILIAR "ler_excel.m"	42
3.1.6 FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_voltage_ang_v2.m"	42
3.1.7 FUNÇÃO AUXILIAR "ler_medidores.m"	44
3.1.8 FUNÇÕES AUXILIARES DE ESCRITA DO PLANO DE MEDIÇÃO	48
A função auxiliar "escrever_medidores_leitura.m" irá ler cada um dos "N" arquivos no formato MED gerados pelo subprograma anterior com o auxílio da função "ler_medidores.m"	50
3.1.9 SUBROTINA FUNCIONAL "run_ee.m"	50

4. RESULTADOS E UTILIZAÇÃO DOS SUBPROGRAMAS.....	51
4.1 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "ler_sistema.m"	51
4.2 UTILIZANDO A SUBROTINA FUNCIONAL "ger_carga_v7"	52
4.3 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_sistema_v2.m".....	53
4.4 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_excel.m"	54
4.5 UTILIZANDO FUNÇÃO AUXILIAR "ler_excel.m".....	54
4.6 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_voltage_ang_v2.m"	55
4.7 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "ler_medidores.m"	55
4.8 UTILIZANDO AS FUNÇÕES AUXILIARES DE ESCRITA DOS MEDIDORES	56
4.9 UTILIZANDO O SUBPROGRAMA "run_ee"	56
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	58
5.1 TRABALHOS FUTUROS	59
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
7 ANEXOS	62
ANEXO I: IEEE 14 Test Case	62
ANEXO II: sistema IEEE 14 barras	63
ANEXO III: matriz M - dados dos ramos	64
ANEXO IV : matriz N - dados do fluxo de potência das barras	66
ANEXO V: matriz das potências ativas das barras	67
ANEXO VI: matriz das potências reativas das barras	68
ANEXO VII: fluxo de potência às 19:00h - planilha Fluxos.xlsx	69
ANEXO VIII: mat_voltage - matriz dos módulos das tensões das barras	70
ANEXO IX: mat_ang - matriz dos ângulos das tensões das barras	71
ANEXO X: arquivo Relatorio-19.txt às 19:00 horas	72
ANEXO XI: matriz "mat_med"	73
Anexo XII: plano de medição para às 19:00 horas atualizado	75
Anexo XIII: estimacão de estados para às 19:00 horas	76
ANEXO XIV: comparativo das curvas de cargas simuladas pelo SimSEP	79
ANEXO XV: erro vetorial total médio com o Estimador Convencional	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema Elétrico de Potência (Fonte: www.fiepr.org.br)	16
Figura 2: Diagrama Unifilar (Fonte: autoria própria)	17
Figura 3: Modelagem da LT (Fonte: autoria própria)	18
Figura 4: modelo Pi da linha de transmissão (MONTICELLI, 1983)	19
Figura 5: Curva de carga característica de unidades consumidoras residenciais (Fonte: autoria própria)	26
Figura 6: Curva de carga característica de unidades consumidoras comerciais (Fonte: autoria própria)	26
Figura 7: Curva de carga característica de unidades consumidoras industriais (Fonte: autoria própria)	27
Figura 8: fluxograma SimSEP	36
Figura 9: fluxograma da função auxiliar "ler_sistema.m"	37
Figura 10: fluxograma da subrotina funcional "ler_sistema.m"	39
Figura 11: fluxograma da função auxiliar "escrever_sistema_v2.m"	40
Figura 12: fluxograma da função auxiliar "escrever_excel.m"	41
Figura 13: fluxograma da função auxiliar "ler_excel.m"	42
Figura 14: fluxograma da função auxiliar "escrever_voltage_ang_v2.m"	43
Figura 15: arquivo "S1_CS01_39M.med" no formato MED	45
Figura 16: fluxograma da função auxiliar "ler_medidores.m"	47
Figura 17: fluxograma da função auxiliar "escrever_medidores_ref.m"	49
Figura 18: fluxograma da subrotina funcional "run_ee.m"	51
Figura 19: função auxiliar "ler_sistema.m"	52
Figura 20: inserindo o arquivo no formato "ieee14.cdf"	52
Figura 21: gerador de curvas de carga	53
Figura 22: função auxiliar "escrever_sistema_v2.m"	53
Figura 23: ler_excel.m	54
Figura 24: escrever_voltage_ang_v2.m	55
Figura 25: ler_medidores.m	55
Figura 26: comparativo de curvas de cargas	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Incógnitas das barras PQ, PV e Barra de Referência(MONTICELLI, 1983)	20
Tabela 2: Convenção de sinais do fluxo de potência (MONTICELLI, 1983)	21
Tabela 3: Convenção de medidas.....	46
Tabela 4:Variáveis de armazenamento da estrutura de medidores do arquivo "S1_CS01_39M.med"	47

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil possui um dos maiores potenciais energéticos do mundo e, em sua abundância, destaca-se o potencial hídrico que corresponde a 61,5% da capacidade instalada (ANEEL, 2017).

Em sua vasta maioria, essa fonte de energia encontra-se distante dos grandes centros urbanos e precisam ser convertida em energia elétrica para posteriormente ser transportada até eles, por meio de linhas de transmissão. O ato de gerar, transportar e distribuir a energia elétrica compõe a base do Sistema Elétrico de Potência (SEP).

No que diz respeito a transmissão, o Brasil apresenta uma grande extensão de rede que pode ser explicado pelo fato de sua matriz energética estar baseada no seu potencial hídrico (ANEEL, 2017).

As regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte do Norte estão interligadas pelo SIN - Sistema Interligado Nacional e até o ano de 2015, concentrava 1.080 linhas de transmissão (ONS, 2015).

Em um sistema desse porte, faz-se necessário a supervisão e controle dos fluxos de cargas que são transmitidos por essas linhas, com o objetivo de promover a operação segura do SEP.

Diante disso, o desenvolvimento de sistemas supervisórios de controle e aquisição de dados, também conhecidos como sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), surgem como uma ferramenta de extrema importância para a tomada de decisão e ações de controle em tempo real do SEP, fornecendo uma base de dados para a estimação de estados.

Atualmente o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) possui um sistema de supervisão e controle que possui, dentre outras funções, os módulos de estimação de estados e fluxo de potência. Este sistema chama-se REGER e é utilizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

1.2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de estudos sistemáticos da rede em regime permanente bem como modelagem dos equipamentos elétricos envolvido, cálculo do fluxo de potência da rede e estimação do estado de um sistema composto por N barras, emitindo relatórios dos fluxos de carga e estados estimados para as 24 horas do dia com periodicidade definida pelo usuário.

Esta ferramenta computacional deve ser capaz de simular o IEEE 14 Test Case (ANEXO I) o qual corresponde a uma porção do sistema elétrico de potência Norte Americano e é composto por 14 barras, no que se refere a:

- geração de curvas de cargas para unidades consumidoras residenciais e comerciais ligadas às barras do sistema;
- cálculo do fluxo de potência para as 24 horas do dia;
- emissão de relatório com o resultado do fluxo de potência nas 14 barras e 20 ramos existentes em determinado período estipulado pelo usuário;
- aquisição de dados do plano de medição do sistema (trata-se de um relatório que contém as medições realizadas pelos medidores instalados nas barras e ramos);
- emissão de relatório para as 24 horas do dia referente às medidas coletadas pelos medidores, podendo ser ao todo, 10 tipos de medidores; e
- estimação do estado do sistema para as 24 horas do dia.

1.3 ESTRUTURA DO TCC

Além deste capítulo, o presente trabalho possui mais cinco outros e um anexo. Eles estão estruturados da seguinte forma:

O Capítulo 2 é um breve resumo do Sistema Elétrico de Potência - SEP e faz uma abordagem sucinta sobre o fluxo de potência, demonstrando sua modelagem e formulação básica do problema. Apresenta o método de Newton Raphson Desacoplado e características das curvas de cargas para unidades consumidoras

residenciais e comerciais. Discorre ainda sobre a estimação de estados e sistemas supervisórios de controle (SSC).

O Capítulo 3 apresenta a visão geral do programa que foi desenvolvido, o Simulador de Sistemas Elétricos de Potência - SimSEP. Apresenta, também, as sub-rotinas que o compõe e irá descrever detalhadamente a funcionalidade de cada um deles dentro do SimSEP.

O Capítulo 4 encarrega-se de demonstrar a forma de utilização do programa e os resultados obtidos com ele, utilizando como dados de entrada o IEEE 14 *Test Case*.

O Capítulo 5 engloba as principais conclusões alcançadas com o SimSEP, bem como propostas de trabalhos futuros para melhoria e continuidade no desenvolvimento deste simulador

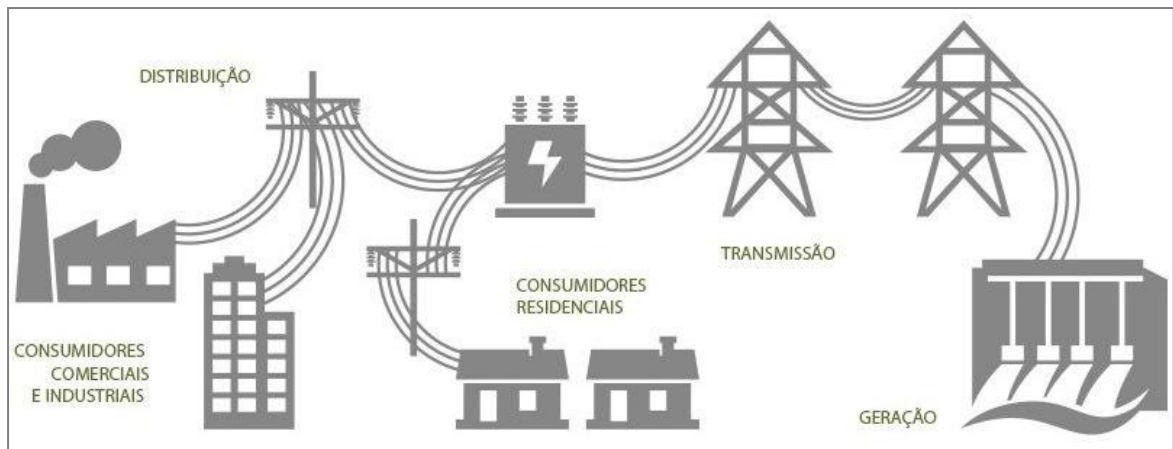
Os anexos referem-se aos relatórios e resultados encontrados pelo SimSEP no decorrer da execução do programa.

2 SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

2.1 INTRODUÇÃO

O SEP é uma das ferramentas para conversão e transporte da energia elétrica. Este pode ser dividido em três partes: centrais geradoras, responsáveis pela conversão de alguma forma de energia em energia elétrica; linhas de transmissão, responsáveis por interligar as centrais geradoras aos sistemas de distribuição; e a distribuição propriamente dita, a qual liga todas as cargas individuais às linhas de transmissão. A Figura 1 ilustra o Sistema Elétrico de Potência.

Figura 1: Sistema Elétrico de Potência (Fonte: www.fiepr.org.br)



2.2 FLUXO DE POTÊNCIA

Ao falar em transporte de energia, deve-se lembrar que o estudo do fluxo de potência, também chamado de fluxo de carga, em redes de energia elétrica é de extrema importância para o planejamento, operação, controle e supervisão do SEP. As principais informações fornecidas por ele são: módulo e ângulo da tensão em

cada barra, fluxo de potência ativa e reativa que circulam em cada ramo mais as perdas (STEVENSON, 1986).

Seu cálculo é feito a partir da modelagem estática (regime permanente), físico-matemática, do sistema elétrico, o que significa dizer que a rede é representada por um conjunto de equações e inequações algébricas, e seus resultados representam o comportamento do sistema analisado para uma determinada condição específica de geração e carga (MONTICELLI, 1983).

2.3 MODELAGEM DO FLUXO DE POTÊNCIA

Para a modelagem do fluxo de potência é fundamental escolher as condições de geração e carga do sistema, de modo que estas sejam as mais próximas possíveis da operação real.

Para isso, algumas considerações devem ser feitas e entendidas: em primeiro lugar, a principal função do sistema de geração é produzir energia elétrica suficiente para que esta seja consumida pelas unidades finais (injeção de potência ativa nas barras); em segundo lugar, as linhas de transmissões são modeladas como um circuito RL em série; por fim, todo o sistema de distribuição consome a energia elétrica que foi transportada pelas linhas de transmissão.

Figura 2: Diagrama Unifilar (Fonte: autoria própria)

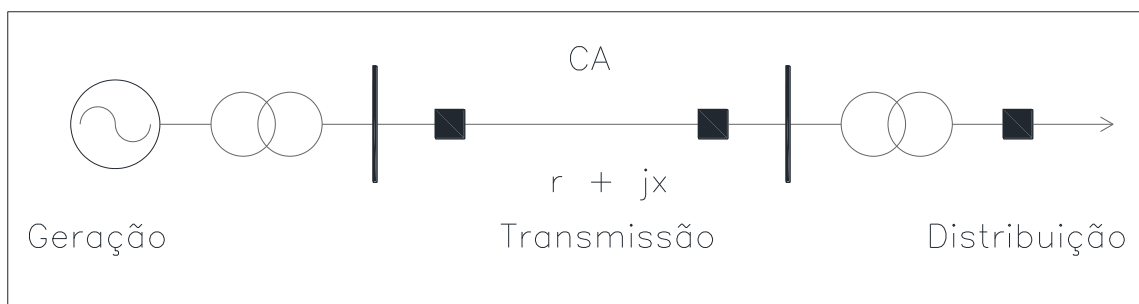
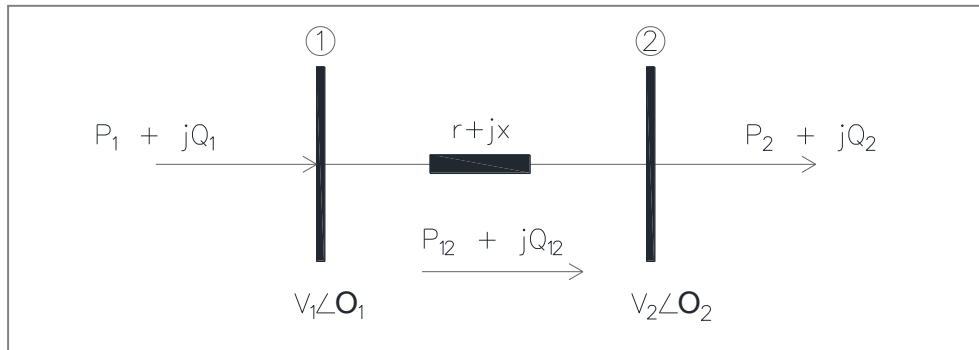


Figura 3: Modelagem da LT (Fonte: autoria própria)



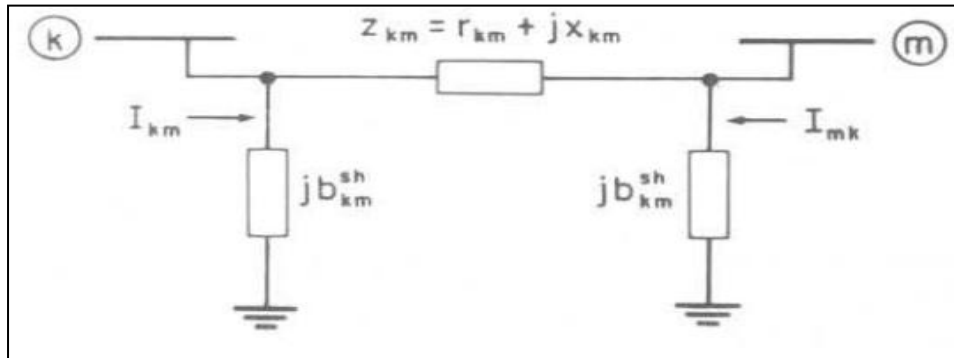
De acordo com a modelagem da LT visto na Figura 3, observa-se que os componentes de um sistema elétrico de energia podem ser divididos em dois grupos:

Os que estão ligados entre um nó qualquer e o nó-terra, como é o caso de geradores, cargas, reatores e capacitores; e os que estão ligados entre dois nós quaisquer da rede, como é o caso de linhas de transmissão, transformadores e defasadores. Os geradores e cargas são considerados como a parte externa do sistema, e são modelados através de injeções de potência nos nós da rede. A parte interna do sistema é constituída pelos demais componentes, ou seja, linhas de transmissão, transformadores, reatores, etc (MONTICELLI, 1983, p.1)

2.3.1 MODELAGEM DA LINHA DE TRANSMISSÃO

O modelo equivalente π da linha de transmissão é representado conforme Figura 4 em que a resistência série é r_{km} , a reatância série é x_{km} e a susceptância shunt é b_{km}^{sh} .

Figura 4: modelo Pi da linha de transmissão (MONTICELLI, 1983)



A impedância do elemento série é representado por $z_{km} = r_{km} + jx_{km}$ e a admitância série por $y_{km} = g_{km} + jb_{km}$ em que:

$$g_{km} = \frac{r_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2} \quad (2.1)$$

$$b_{km} = \frac{-x_{km}}{r_{km}^2 + x_{km}^2}$$

No que diz respeito a obtenção das equações do fluxo de carga, a potência líquida injetada em cada nó da rede equivale a soma das potências que fluem pela parte interna que possui esse nó como um de seus terminais. Em outras palavras, pode-se aplicar tanto a Primeira quanto a Segunda Lei de Kirchhoff para demonstrar o fluxo de potência entre as barras do SEP.

2.4 FORMULAÇÃO BÁSICA DO PROBLEMA DE FLUXO DE CARGA

Em sua formulação mais básica, o problema de fluxo de potência resume-se a atribuição de quatro variáveis para cada barra da rede em questão, das quais duas delas entram no problema como incógnitas e as outras como dados. São elas:

- V_k = magnitude de tensão nodal da barra k;

- Θ_k = ângulo da tensão nodal;
- P_k = injeção líquida de potência ativa; e
- Q_k = injeção líquida de potência reativa.

A partir delas definem-se três tipos de barras: PQ, PV e V Θ (ou barra de referência). A Tabela 1 mostra as incógnitas que são dadas para cada uma delas, as variáveis que deverão ser calculadas e sua representação para o sistema.

Tabela 1: Incógnitas das barras PQ, PV e Barra de Referência

BARRA	DADOS	CALCULADOS	REPRESENTAÇÃO
PQ	P_k e Q_k	V_k e Θ_k	Barra de carga
PV	P_k e V_k	Q_k e Θ_k	Barra de geração
V Θ (Referência)	V_k e Θ_k	P_k e Q_k	Referência do sistema; Fechamento do balanço de potência

Fonte: MONTICELLI, 1983

É importante ressaltar que esses três tipos de barras representam a formulação básica do problema de fluxo de potência. No entanto, existem situações particulares em que podem aparecer outros tipos de barras, como por exemplo, barras PQV, P e V. Estas não serão abordadas nesse trabalho.

Para a formulação do problema de fluxo de potência tem-se duas equações por barra. Elas representam o fato da potência ativa e reativa injetadas em cada uma delas serem a soma dos fluxos correspondentes que saem da barra por meio das linhas de transmissão (MONTICELLI, 1983). Essas equações podem ser expressas como:

$$P_k = \sum_{m \in \Omega_k} P_{km}(V_k, V_m, \theta_k, \theta_m) \quad (2.2)$$

$$Q_k + Q_k^{sh}(V_k) = \sum_{m \in \Omega_k} Q_{km}(V_k, V_m, \theta_k, \theta_m)$$

sendo:

$k = 1, \dots, NB$ (número de barras da rede);

Ω_k = conjunto das barras vizinhas da barra k ;

V_k, V_m = magnitudes das tensões das barras terminais do ramo $k - m$;

Θ_k, Θ_m = ângulos das tensões das barras terminais do ramo $k - m$;

P_{km} = fluxo de potência ativa do ramo $k - m$;

Q_{km} = fluxo de potência reativa no ramo $k - m$;

Q_k^{sh} = injeção de potência reativa devido ao elemento *shunt* na barra k ($Q_k^{sh} = b_k^{sh} V_k^2$, onde b_k^{sh} é a susceptância *shunt* ligada à barra k).

Para chegar nas equações 2.2, é utilizada a convenção de sinais conforme Tabela 2:

Tabela 2: Convenção de sinais do fluxo de potência (MONTICELLI, 1983)

CONVENÇÃO	ENTRANDO NA BARRA	SAINDO NA BARRA
Injeção líquida de potências	+	-
Fluxos de potência	-	+
Elemento <i>shunt</i>	+	-

Existem ainda duas inequações que servem de restrição para o problema de fluxo de potência formulado pelas equações 2.2: restrições nas magnitudes das tensões das barras PQ ($V_k^{min} \leq V_k \leq V_k^{max}$) e limite de injeção de potência reativa nas barras PV ($Q_k^{min} \leq Q_k \leq Q_k^{max}$).

2.5 CÁLCULO DO FLUXO DE POTÊNCIA

O problema relacionado ao fluxo de potência não linear apresenta duas equações:

$$P_k^{calculado} = \sum_{m \in \Omega_k} V_m (G_{km} \cos \Theta_{km} + B_{km} \sin \Theta_{km}) \quad (2.3)$$

$$Q_k^{\text{calculado}} = \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \sin \Theta_{km} - B_{km} \cos \Theta_{km}) \quad (2.4)$$

onde:

k = número de barras do sistema.

Existem vários métodos numéricos iterativos utilizados para a resolução do problema do fluxo de potência utilizando as equações 2.3 e 2.4, dos quais podemos citar: Gauss-Seidel e Newton-Raphson.

De maneira geral, esse dois métodos consistem em dois passos a saber: primeiramente resolve-se as duas equações acima, 2.3 e 2.4. Por fim consideram-se os dispositivos de controle e os limites de operação do sistema (MONTICELLI, 1983).

Num dado SEP, deve-se identificar os tipos de barras que constituem esse sistema, considerando uma delas como V Θ (referência). A Tabela 1 mostra quais são as variáveis que serão dadas e quais deverão ser calculadas através de métodos numéricos iterativos. Após isso, o estado do sistema (V_k e Θ_k) para todas as barras será conhecido. Em posse dessas duas variáveis de estado, o cálculo do fluxo de potência ativa, reativa e o fluxo de corrente entre os ramos da rede podem ser calculados.

Considerando um sistema com uma quantidade de barras PQ sendo igual a NPQ e uma quantidade de barras PV sendo NPV, divide-se o problema formulado anteriormente em dois subsistemas: subsistema 1 e subsistema 2. Ambos os subsistemas serão abordados a seguir:

- a) Subsistema 1: corresponde ao cálculo das variáveis V_k e Θ_k para as barras PQ, e Θ_k para as barras PV. A dimensão desse subsistema é $2NPQ + NPV$. Neste subsistema, o número de incógnitas Θ é igual a $NPV + NPQ$. Já o número de incógnitas V é igual a NPQ. Portanto:

$$\Delta P_k = P_k^{\text{esp}} - P_k^{\text{calculado}}(V, \Theta) = 0 \quad (2.5)$$

$$\Delta Q_k = Q_k^{\text{esp}} - Q_k^{\text{calculado}}(V, \Theta) = 0 \quad (2.6)$$

- b) Subsistema 2: corresponde ao cálculo das variáveis P_k e Q_k (potências nodais) para a barra $V\theta$, e Q_k para as barras PV, uma vez conhecidas as tensões e os ângulos de cada uma das barras. A dimensão desse subsistema é $NPV + 2$.

Em resumo, as variáveis de estado do subsistema 1 podem ser armazenadas num vetor " x " do seguinte modo: $x = \begin{bmatrix} \theta \\ V \end{bmatrix}$. Os valores de ΔP_k e ΔQ_k são os resíduos ou erros, também conhecidos como *mismatches*, das potências ativa e reativa. A metodologia de solução através dos métodos iterativos consiste em arbitrar um valor inicial para a tensão e atualizá-las sucessivamente até que o *mismatche* seja menor do que um erro pré-estabelecido.

As equações 2.5 e 2.6 podem ser escritas na forma vetorial e armazenadas em uma função vetorial $g(\underline{x})$ da seguinte forma:

$$g(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Para a resolução do problema descrito foi utilizado o método foi o Newton-Raphson Desacoplado.

2.5.1 MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON DESACOPLADO

O método de Newton-Raphson é um método iterativo robusto para a solução do problema de fluxo de potência, e baseia-se no fluxo das potências ativas e reativas em cada uma das barras do sistema. A cada iteração os *mismatches* são calculado e comparado com a tolerância especificada. Através dele verificamos se o problema converge (*mismatches* < tolerância) ou não (*mismatches* > tolerância).

O problema descrito nas equações 2.3 e 2.4 pode ser modelado como um sistema de matrizes conforme mostrado abaixo.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Os elementos H, N, M e L representam as submatrizes da matriz Jacobiana (J) e correspondem as derivadas parciais das potências ativas e reativas em função dos ângulos e tensões.

$$J = \begin{bmatrix} H & N \\ M & L \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$H = \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad ; \quad N = \frac{\partial P}{\partial V} \quad ; \quad M = \frac{\partial Q}{\partial \theta} \quad ; \quad L = \frac{\partial Q}{\partial V} \quad (2.10)$$

As dimensões dessas submatrizes são:

Submatriz H: (NPQ + NPV) x (NPQ + NPV);

Submatriz N: (NPQ + NPV) x (NPQ);

Submatriz M: (NPQ + NPV) x (NPQ + NPV);

Submatriz L: NPQ x NPQ.

O método de Newton-Rapshon Desacoplado surge como uma maneira de otimização do método de Newton-Rapshon através da seguinte simplificação na matriz Jacobiana: submatriz N = 0 e a submatriz M = 0 (MONTICELLI, 1983). Tal simplificação é possível devido ao fato de que a sensibilidade das submatrizes H e L serem maiores do que N e M, uma vez que existe um forte acoplamento entre as variáveis P, θ e Q, V.

Neste método existem aproximações na matriz jacobiana os quais altera o seu processo de convergência. Ou seja, muda o caminho percorrido entre o ponto inicial e a solução, mas não altera a solução final.

Devido ao acoplamento das variáveis P, θ e Q, V, os termos $N\Delta V$ e $M\Delta\theta$ da equação 2.8 são ignorados. Assim, o algoritmo de Newton-Rapshon Desacoplado tornar-se da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \Delta P(V^v, \theta^v) &= H(V^v, \theta^v) \Delta\theta^v \\ \Delta Q(V^v, \theta^v) &= L(V^v, \theta^v) \Delta V^v \\ \theta^{v+1} &= \theta^v + \Delta\theta^v \\ V^{v+1} &= V^v + \Delta V^v \end{aligned} \quad (2.11)$$

Pelas equações 2.11, as variáveis Θ e V são atualizadas ao mesmo tempo em cada iteração. Por fim, o método desacoplado consiste em aplicar o esquema de resolução de maneira alternada:

$$\begin{aligned}\Delta P(V^v, \Theta^v) &= H(V^v, \Theta^v) \Delta \Theta^v \\ \Theta^{v+1} &= \Theta^v + \Delta \Theta^v \\ \Delta Q(V^v, \Theta^{v+1}) &= L(V^v, \Theta^v) \Delta V^v \\ V^{v+1} &= V^v + \Delta V^v\end{aligned}\tag{2.12}$$

Este método iterativo possui verdadeiros ganhos computacionais devido ao não armazenamento das submatrizes N e M .

2.6 CURVAS DE CARGA

Segundo Cotrim (2009, p. 116) "Define-se curva de carga como a curva que apresenta a demanda em função do tempo, $D(t)$, para dado período T " e variam de acordo com a classificação da unidade consumidora.

As unidades consumidoras são classificadas em residenciais, comerciais, industriais, rurais, poder público, iluminação pública, serviço público e de consumo próprio¹. Este trabalho contempla as unidades consumidoras residenciais e comerciais que possuem curvas de cargas com características específicas e distintas.

Curvas de carga de unidades consumidoras residenciais caracterizam-se por um aumento significativo de consumo entre 18:00h e 21:00h. Isso se deve ao retorno das pessoas às suas residenciais depois da jornada de trabalho. Já durante a madrugada o consumo é baixo. A Figura 4 demonstra esse comportamento.

¹ Resolução Normativa Nº 414 de 09 de setembro de 2010 - ANEEL

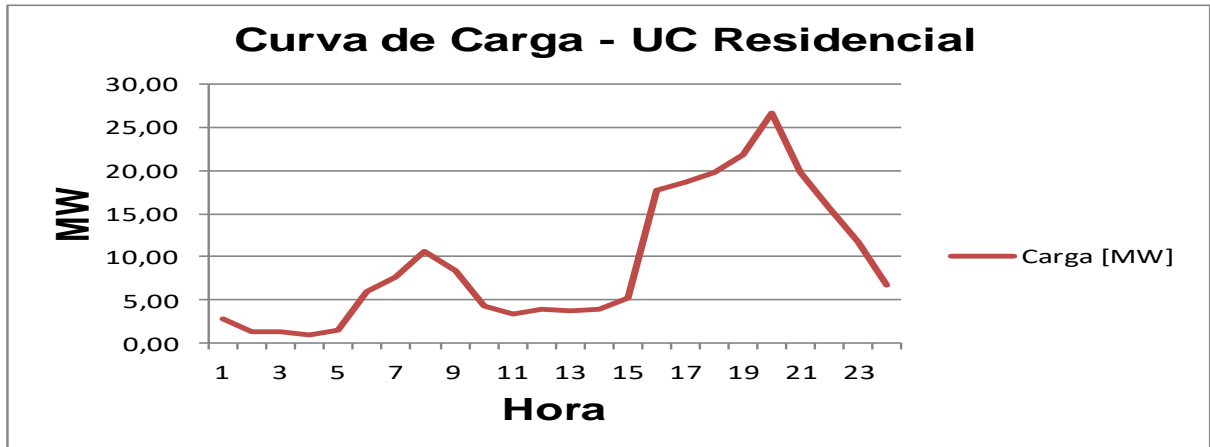


Figura 5: Curva de carga característica de unidades consumidoras residenciais
(Fonte: autoria própria)

Curvas de carga de unidades consumidoras comerciais caracterizam-se pelo aumento do consumo por volta das 07:00h e mantém-se constantes ao longo do restante do dia. O decréscimo dessa curva ocorre em meio às 20:00h. Este comportamento pode ser observado na Figura 5.

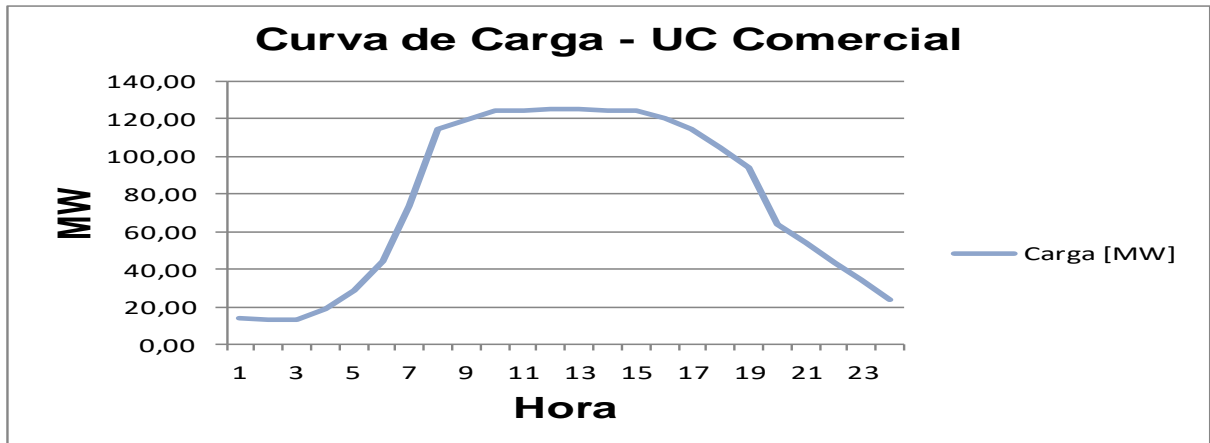


Figura 6: Curva de carga característica de unidades consumidoras comerciais
(Fonte: autoria própria)

Curvas de carga de unidades consumidoras industriais caracterizam-se pelo consumo elevado e praticamente constante ao longo das 24 horas do dia, com uma redução brusca no horário de ponta. A figura 6 demonstra esse comportamento.

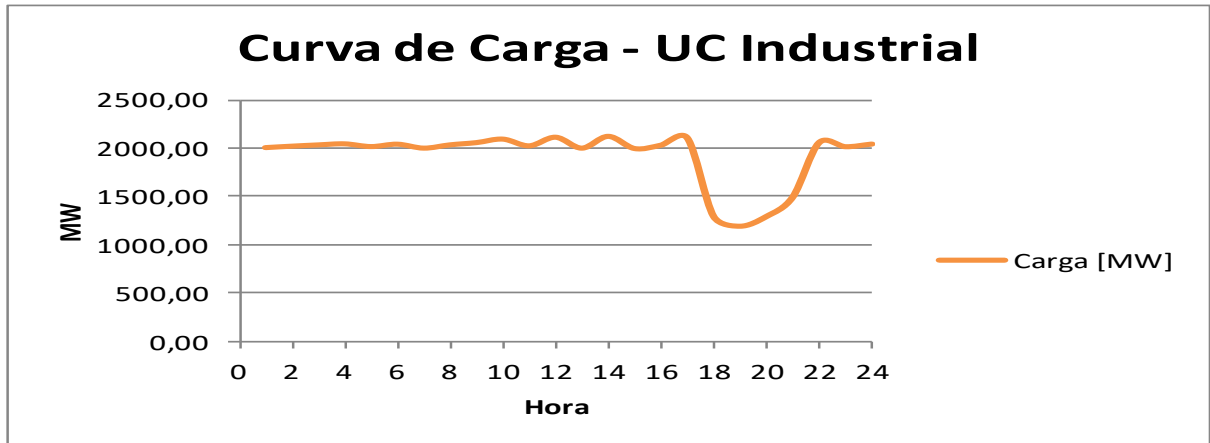


Figura 7: Curva de carga característica de unidades consumidoras industriais
(Fonte: autoria própria)

2.7 SISTEMAS SUPERVIÓRIOS DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS - SCADA

No que se refere ao controle de segurança do sistema, o SEP opera dentro de certos limites e caso estes sejam violados, pode ocorrer uma sucessão de falhas em todo o sistema ou em grande parte dele, causando um enorme colapso também conhecido como *blackout* (Wood, 1996).

A fim de evitar esse tipo de problema, equipamentos e sistemas de medição, supervisão e monitoramento - SCADA - são instalados no SEP com o objetivo de fornecer dados confiáveis ao operador e permitir que ele opere o sistema de maneira segura.

O SCADA é um sistema computacional de telecomunicações que supervisiona e coordena a operação de um processo.

Este sistema permite o rastreamento de dados do SEP os quais são coletados através de equipamentos de aquisição de dados e, posteriormente, são manipulados e armazenados.

Seu principal objetivo é fornecer uma base de dados ao operador de modo a informá-lo, em tempo real, de todos os eventos importantes que ocorrem no sistema que está sendo supervisionado.

Tratando-se do monitoramento do SEP, os dados obtidos através do sistema SCADA - tensão nas barras, fluxo de potência nas linhas, na geração, etc... - são as informações utilizadas para verificar a segurança de operação do sistema que correspondem a problemas de fluxo de potência, configurações de rede, análise de contingência e estimadores de estado.

Atualmente existem diversas ferramentas computacionais utilizadas pelo ONS relacionadas à tomada de decisão em tempo real para operação do SEP, que se apoiam em Sistemas de Supervisão e Controle - SSC. Essas ferramentas têm como finalidade²:

- configuração topológica do modelo barra-circuito da rede elétrica baseada nas telessinalizações recebidas em tempo real, com a utilização dos programas configuradores dos SSC;
- estimação de estados a partir de telemedições recebidas em tempo real e consequentemente geração de modelo da rede elétrica para o instante corrente, por uso em análises de regime permanente, com a utilização dos programas de estimação de estados dos SSC;
- análise de contingência para regime permanente por meio de simulações de perda de equipamentos no modelo corrente da rede elétrica, obtido do Estimador de estados para um dado conjunto de telessinalizações e telemedições. Para essa análise utilizam os programas de análise de contingência dos SSC;
- redespacho dos recursos de potência ativa/reativa, visando indicar todos os controles ótimos a serem implementados para eliminação de violações detectadas. Essas simulações são realizadas com o uso de programas de fluxo de potência ótimo dos SSC; e
- análise da segurança dinâmica em tempo real por meio de estudos de estabilidade eletromecânica com simulação de variação de intercâmbio e simulação de equipamentos.

² ONS - Submódulo 18.2, item 4.6 (Ferramentas Computacionais para operação em tempo real)

As medidas obtidas em tempo real podem estar corrompidas por diferentes tipos de erros, cabendo aos estimadores de estado filtrar ou detectar, identificar e remover estes erros através de análises estatísticas do problema.

2.8 ESTIMAÇÃO DE ESTADO

A estimação de estado "é o processo de atribuição de um valor a uma variável de estado desconhecida do sistema com base em medidas redundantes e portadoras de erros" (Wood, 1996, p.453).

Sua função é filtrar erros de pequena magnitude, detectar medidas portadoras de erros grosseiros e estimar grandezas que, por algum motivo, não foram medidas. O método estatístico mais utilizado para se atingir a melhor estimativa de estados é o método dos mínimos quadrados.

Entende-se como variáveis de estado todas aquelas que são indispensáveis para a determinação de todo estado do sistema e, no que diz respeito ao SEP, as variáveis de estado são a magnitude e ângulo da tensão em todas as barras (Wood, 1996).

Com as medidas das variáveis de estado, pode-se calcular o fluxo de potência, a geração, a carga do sistema e assim por diante. Isto pressupõe que, tanto a configuração da rede quanto sua impedância são conhecidas (Wood, 1996).

Em relação as medidas advindas do monitoramento das linhas de transmissão, todas elas são passivas de erros que podem ser classificados como: erros de baixa magnitude e erros de alta magnitude.

Os erros de alta magnitude são conhecidos como erros grosseiros e a presença deste tipo de erro na medição prejudica o processo de estimação de estado. Desta forma, eles devem ser detectados e, posteriormente, identificados.

Esse processo se dá através de critérios estatísticos para estimar o valor das variáveis de estado.

2.8.1 DETECÇÃO DE ERROS GROSSEIROS

Os erros grosseiros possuem alto grau de imprecisão e destoam das medidas retiradas do plano de medição. Os valores medidos correspondem a:

$$z^{medido} = z^{estimado} + \eta \quad (2.13)$$

sendo:

z^{medido} = vetor das quantidades medidas;

$z^{estimado}$ = vetor dos valores estimados;

η = vetor dos resíduos da estimação.

Conforme item 2.8, o critério estatístico muito utilizado para estimar o estado do sistema é o método dos mínimos quadrados. Este método consiste na minimização ponderada do desvio quadrático entre cada medida (z^{medido}) e o seu valor estimado ($z^{estimado}$).

É importante lembrar que no processo de detecção de erros grosseiros, supõe-se que vetor η possui distribuição normal com média zero - medidas não tendenciosas - e a matriz de covariância dos erros é igual a R. Por sua vez, R é dado por:

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_i^2 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

sendo:

σ_i^2 = variância³ do i-ésimo medidor.

³ Variância é definida para dados ilimitados, como a média dos quadrados dos desvios (STOUT, 1974, p. 37)

A partir das suposições do vetor η possuir distribuição normal com média zero, dos parâmetros de linha serem conhecidos e o modelo de medição ser linearizado num ponto próximo a solução, a detecção de medidas portadoras de erros grosseiros pode ser feita analisando o valor dos resíduos de medição (η) através da soma dos resíduos de modelagem $J(\underline{x})$, o qual possui distribuição qui-quadrado X^2 , utilizando testes de hipóteses (Pereira, 2005). Por sua vez, o índice $J(\underline{x})$ é dado por:

$$\min_x J(x) = [z^{medido} - f(x)]^T [R^{-1}] [z^{medido} - f(x)] \quad (2.15)$$

onde:

x = vetor de variáveis o qual se deseja otimizar;

R = matriz de covariância dos erros; e

$f(x)$ = função objetivo a qual se obtém uma medida a partir do vetor " x ".

Na hipótese de não existir medidas portadoras de erros grosseiros, compara-se imediatamente após a convergência da estimação de estado, os valores obtidos de $J(\underline{x})$ a um parâmetro K , o qual é determinado previamente pela distribuição X^2 (qui-quadrado) para " n " graus de liberdade⁴.

Nos casos em que $J(\underline{x}) < K$, pode-se aceitar a hipótese da ausência de medidas portadoras de erros grosseiros no conjunto de medidas e os resultados obtidos pelo estimador de estado são considerados confiáveis. Caso contrário, as medidas espúrias devem ser identificadas a fim de não prejudicar o processo de estimação de estado.

Atualmente, avanços na tecnologia de medição correspondentes a unidades de medidas fasoriais têm impulsionado pesquisas no campo da estimação de estado. Tais unidades são capazes de medir com maior exatidão fasores de tensão de barramentos e corrente de ramos, sincronizados na rede elétrica através de GPS (*Global Positioning System*) (GUIMARAENS, 2015).

⁴ Graus de liberdade = $N_m - N_s$, onde N_m corresponde ao número de medidores independentes e N_s o número de variáveis de estado a estimar.

Porém, apesar de suas vantagens (maior precisão, exatidão, taxa de amostragem, etc.), a unidade de medida fasorial ainda é uma tecnologia cara. Como consequência, supõe-se que as medidas obtidas pelo SCADA serão usadas durante algum tempo juntamente com as medidas fasórias (GUIMARAENS, 2015).

2.8.2 IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS

Quando $J(\underline{x}) > K$, existem medidas portadoras de erros grosseiros no conjunto atual de medidas e deve-se calcular os resíduos normalizados r_i^{norm} . Estes resíduos são dados por:

$$r_i^{norm} = \frac{|r_i|}{\Omega_{ii}} \quad (2.16)$$

sendo:

r_i^{norm} = resíduo "i" normalizado;

r_i = elemento "i" do vetor de resíduos;

Ω_{ii} = matriz de covariância dos resíduos.

Após a identificação do maior resíduo normalizado, este deve ser eliminado e, assim, torna-se necessário o recálculo da estimação de estado do sistema o qual está sendo observado.

Medidas críticas são aquelas que apresentam resíduo r_i igual a zero e a coluna da matriz de covariância dos resíduos Ω correspondente a essa medida é, também, igual a zero. A matriz Ω é dada por:

$$\Omega = R - H\{[H^t][R^{-1}][H]\}^{-1} H^t \quad (2.17)$$

onde:

R = matriz de covariância dos erros dos medidores; e

H = matriz de coeficientes das funções lineares $f_i(x)$.

Se esta for uma medida crítica, a alternativa é a recuperação da medida. Caso não seja uma medida crítica, esta deve ser eliminada e a estimação de estados é efetuada novamente. Os resultados obtidos pelo estimador de estados serão ditos confiáveis caso seja aceita a hipótese de não haver erros grosseiros no plano de medição.

Para estimar o desempenho do sistema em tempo real, tais medições se fazem necessárias tanto para o controle de segurança do sistema quanto para restrições referentes ao despacho econômico.

3 MODELAGEM COMPUTACIONAL SimSEP

3.1 APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA

O Simulador de Sistemas Elétricos de Potência - SimSEP foi desenvolvido através do MATLAB R2010a, ferramenta computacional de alto desempenho com inúmeras aplicações a engenharia.

Trata-se de um simulador do SEP, que utiliza como base de dados as informações de um sistema supervisorio a fim de estimar o estado do sistema IEEE 14 barras (ANEXO II) durante as 24 horas do dia.

Como dado de entrada solicita o arquivo no formato IEEE CDF (Common Data Format), e a partir dele são geradas 13 curvas de cargas para o sistema. Por *default* a barra 1 é a barra de referência.

Em posse das cargas geradas na etapa anterior, o SimSEP emite os primeiros "N" arquivos no formato IEEE CDF contendo as informações das potências ativas e reativas das barras do sistema. Essas informações serão lidas e, para cada um dos "N" arquivos, será calculado o fluxo de potência. Os resultados do fluxo serão armazenados no Excel.

Posteriormente, o SimSEP irá acessar os dados armazenados no Excel e, assim, será capaz de emitir relatórios finais no formato IEEE CDF contendo as informações de potência ativa, reativa, módulo e ângulo das tensões das 14 barras do sistema para todas as horas do dia.

O SimSEP possui uma função de leitura do plano de medição que permite verificar os valores e os tipos de grandezas que foram medidas tanto nas barras quanto nos ramos do sistema em observação. Após a leitura das medidas, este simulador irá comparar o que de fato ocorreu no sistema por força da natureza com o que foi lido pelos medidores.

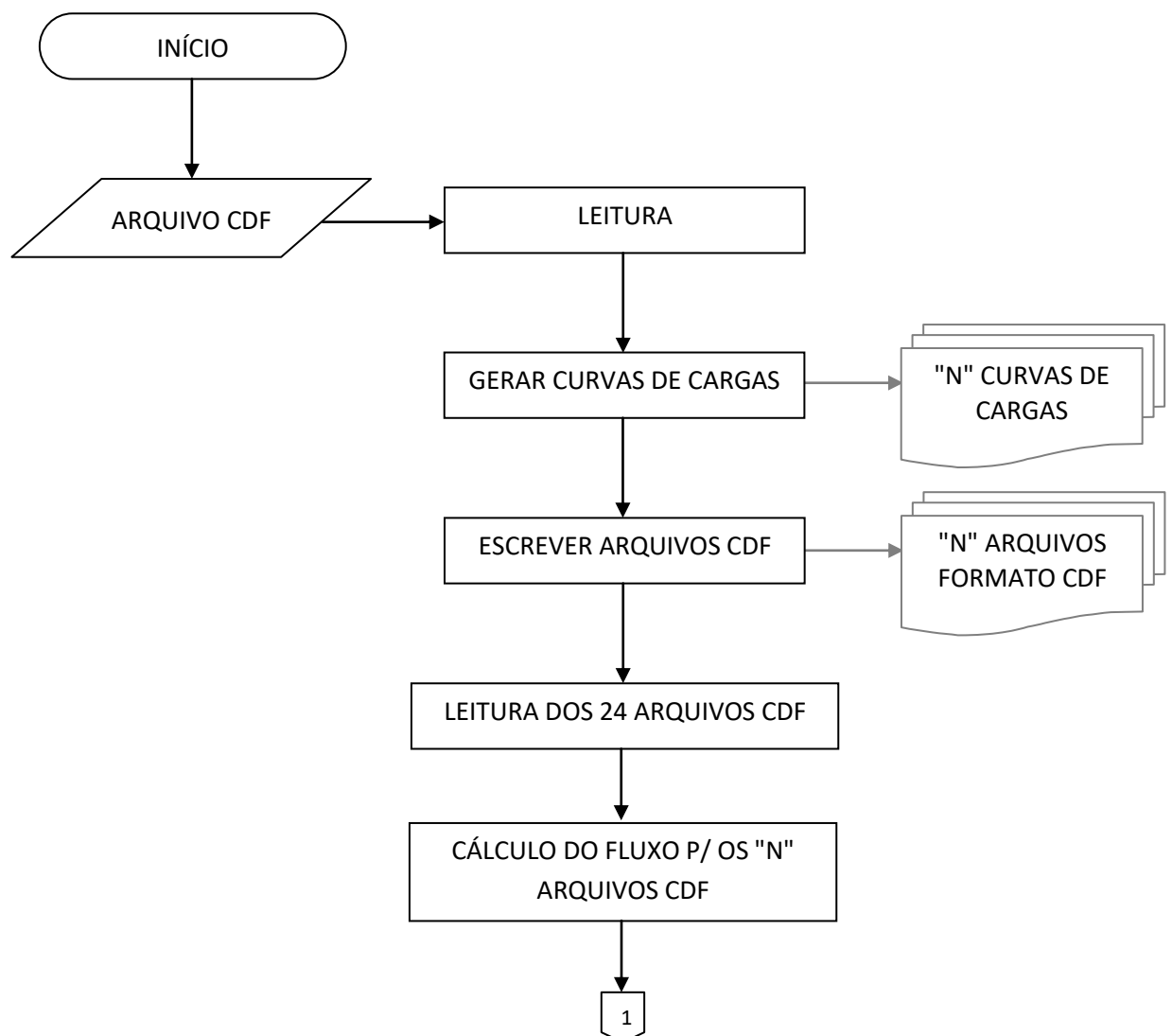
Ainda serão emitidos "N" arquivos onde cada um deles terá as seguintes informações: barras e ramos que contêm medidores, tipos de medidores que foram instalados, medidas do que de fato ocorreu no sistema e o que foi lido pelos medidores. Por fim, o SimSEP será capaz de estimar o estado do sistema para as "N" horas do dia.

Este simulador possui algumas simplificações. Ele considera as potências ativas e reativas geradas, constantes ao longo do tempo e, independentemente da soma total dessas potências, não será analisado o despacho econômico ótimo para o caso. Este assunto será abordado em trabalhos futuros e já encontra-se em desenvolvimento por alunos desta universidade.

Para este trabalho foram modeladas as curvas de cargas das unidades consumidoras residenciais e comerciais, de modo que cada barra do sistema contenha uma ou outra.

Para testar esse simulador foi escolhido como dado de entrada, o IEEE 14 *Test Case*, no qual foi arbitrado como referência os dados do fluxo de potência das 19:00h e seu fluxograma encontra-se na Figura 7.

Fluxograma:



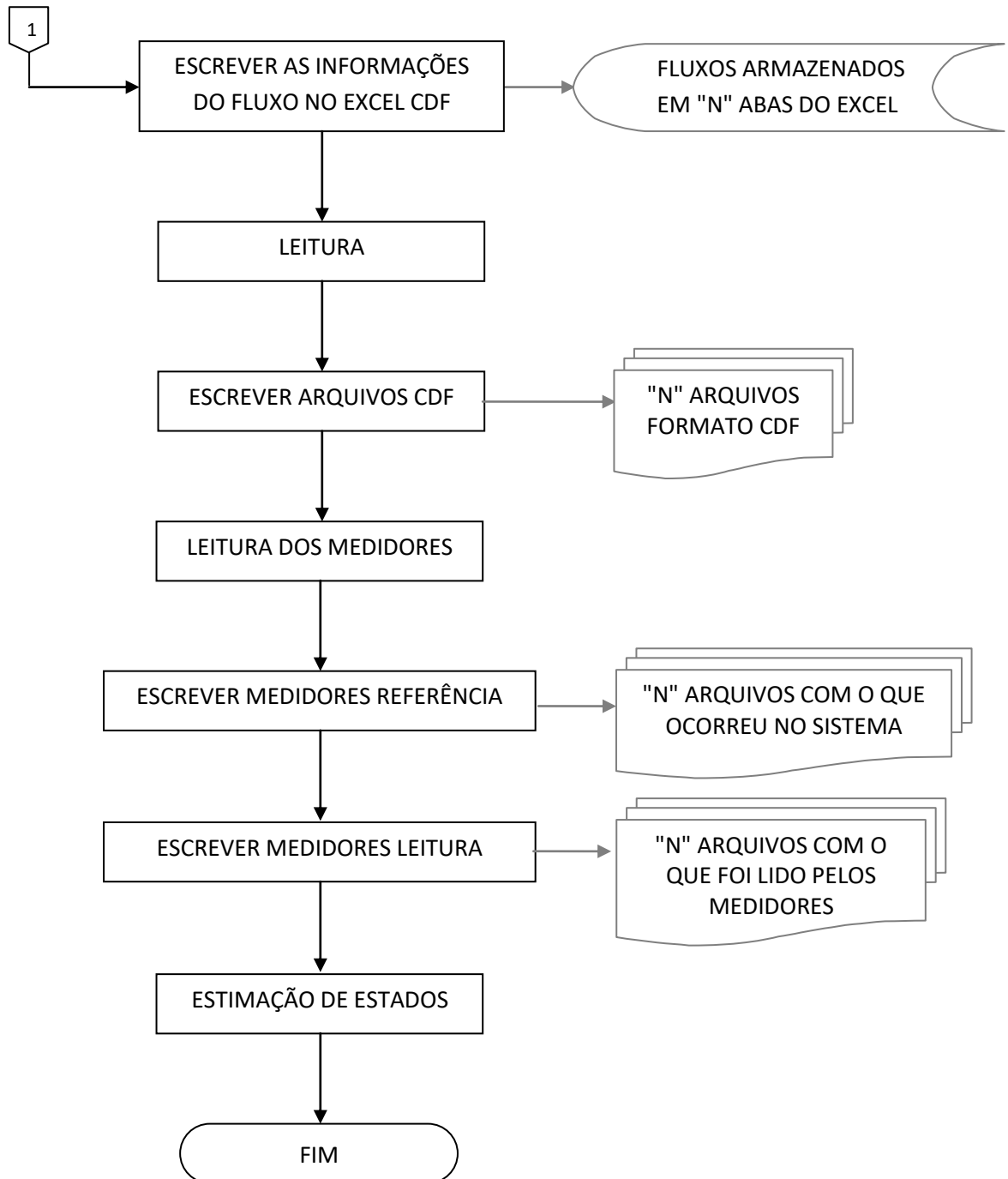


Figura 8: fluxograma SimSEP

O programa SimSEP se divide da seguinte forma: subrotinas funcionais e funções auxiliares. São eles:

- a) ler_sistema.m (Função Auxiliar);
- b) ger_carga.m; (Subrotina Funcional);

- c) escrever_sistema_v2.m; (Função Auxiliar);
- d) escrever_excel.m (Função Auxiliar);
- e) ler_excel.m (Função Auxiliar);
- f) escrever_voltage_ang_v2.m (Função Auxiliar);
- g) ler_medidores.m (Função Auxiliar);
- h) escrever_medidores_ref.m (Função Auxiliar);
- i) escrever_medidores_leitura.m (Função Auxiliar);
- j) run_ee.m (Subrotina Funcional);
- k) Flow2.m (Subrotina Funcional);
- l) Fluxos.xlsx (Função Auxiliar);
- m) Simulador_de_Medidas_II.xlsx (Função Auxiliar).

Na próxima seção serão apresentados cada um deles.

3.1.1 FUNÇÃO AUXILIAR "ler_sistema.m"

Tem a função de ler arquivos no formato Common Data Format (cdf) de acordo com o formato comum de intercâmbio de dados de fluxo de potência resolvidos (IEEE, 1973).

Após a leitura desse arquivo, a função auxiliar "ler_sistema.m" irá armazenar matrizes com as informações contidas no arquivo listadas a seguir: "BUS DATA " e "BRANCH DATA. Vale ressaltar que o SimSEP recebe sistemas limitados a memória disponível ao MATLAB.

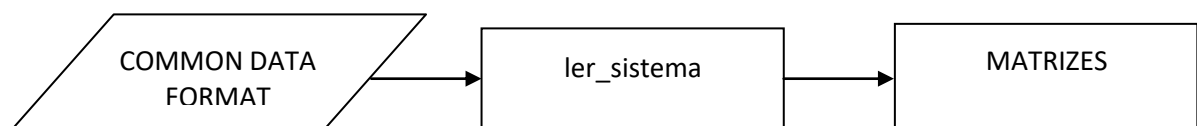


Figura 9: fluxograma da função auxiliar "ler_sistema.m"

3.1.2 SUBROTINA FUNCIONAL "ger_carga.m"

O "ger_carga.m" tem a função de gerar curvas de cargas para cada barra do sistema e para as "N" horas do dia. Elas possuem o formato característico de unidades consumidoras residenciais e comerciais, conforme mencionado no item 3.1.

Através do menu, os usuários poderão escolher que tipo de unidades consumidoras estarão ligadas a cada uma das 13 barras. Por *default*, a barra 1 é a barra de referência e todas as outras devem ser escolhidas da seguinte forma:

- Digitar "1" para uma barra que contenha unidades consumidoras exclusivamente residenciais; e
- Digitar "2" para aquelas que devam conter unidades consumidoras exclusivamente comerciais.

Após esses *inputs*, o programa irá mostrar automaticamente as curvas de carga para o usuário. Os valores de potência ativa e reativa serão armazenados em duas matrizes de dimensões 14xN em que as linhas representam as 14 barras do sistema e as colunas as N horas do dia. As curvas de cargas foram modeladas ponto a ponto de modo a obedecer a proporcionalidade das curvas de cargas para as unidades consumidoras descritas acima.

No que se refere a potência ativa e, a partir dessas informações, esta subrotina funcional verifica o *input* dado pelo usuário para cada uma das barras levando em consideração que, para unidades consumidoras residenciais, há um aumento significativo do consumo no horário compreendido entre 18:00 e 21:00.

Então, o SimSEP simula cargas de maneira aleatória e proporcionalmente mais altas nessa faixa de horário do que para as demais horas do dia. Para unidades consumidoras comerciais, o SimSEP simula cargas de maneira aleatória e proporcionalmente mais altas na faixa de horário compreendida entre 07:00 e 20:00.

Para modelar a potência reativa foi utilizado como base o triângulo das potências. Sendo " P_i " e " Q_i ", respectivamente, as potências ativas e reativas de cada hora " i " do dia, calculou-se o ângulo " θ " da seguinte forma:

$$\arctg \theta = Q_i / P_i \quad (3.1)$$

Vale ressaltar que, para cada barra "k" do sistema, o ângulo "θ" foi mantido constante ao longo do dia. Dessa forma, as potências reativas foram calculadas como segue:

$$Q_i = P_i * \tan \theta \quad (3.2)$$

No programa SimSEP são contempladas apenas barras que possuam as características acima, de modo que uma barra contenha características de curva de carga residencial ou comercial. Não foi desenvolvido nesse programa curvas de cargas industriais e nem barras multi-tipos.

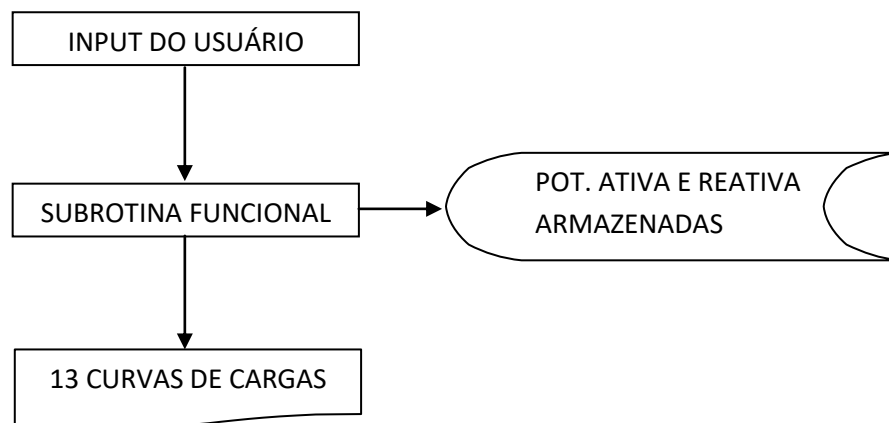


Figura 10: fluxograma da subrotina funcional "ler_sistema.m"

3.1.3 FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_sistema_v2.m"

Esta função auxiliar necessita dos dados referentes a potência ativa e reativa calculados no item anterior. A partir delas, essa função irá gerar "N" arquivos no formato cdf, em que "N" é o numero de observações que o usuário quer fazer no período "T" de 24h para cada uma das barras do sistema.

Os arquivos de saída terão o formato cdf e serão salvos em pasta específica com nome "ieeeN-Y.txt", onde "Y" varia de 1 a 24 de acordo com especificação do usuário e representa as horas, minutos ou segundos do dia em observação.

Vejamos, por exemplo, o arquivo "ieee14-17.txt". Este refere-se as informações do fluxo de potência para das 14 barras às 17 horas.

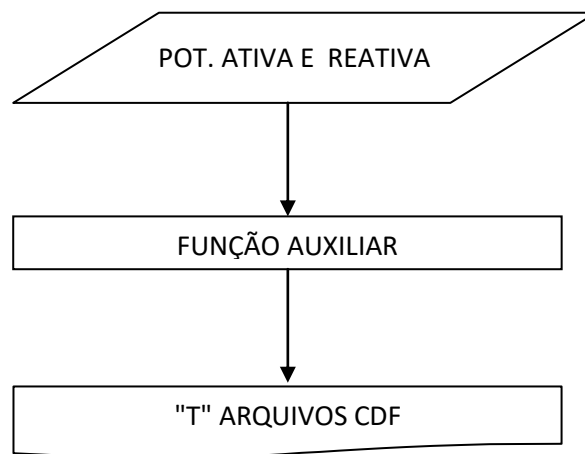


Figura 11: fluxograma da função auxiliar "escrever_sistema_v2.m"

3.1.4 FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_excel.m"

Para demonstração dos resultados e exemplificação do problema neste trabalho, foi criada planilha "Fluxos.xlsx" que contém 24 abas de armazenagem de dados do fluxo de potência para as 24 horas do dia.

Esta função auxiliar é dividida em três partes: leitura de arquivo, cálculo do fluxo de potência e armazenamento de dados no Excel. Dentro de um processo iterativo que varia de 1 a 24, essa função auxiliar irá ler cada um dos arquivos "ieeeN-Y.txt", calcular o fluxo de potência e armazenar o resultado do fluxo na planilha "Fluxos.xlsx".

Para isso, ela utiliza a função auxiliar "ler_sistema.m", responsável pela leitura de cada um dos arquivos "ieeeN-Y.txt", a subrotina funcional "Flow2.m", responsável

pelo cálculo do fluxo de potência de cada um dos arquivos lidos e a planilha "Fluxos.xlsx" que foi previamente criada e formatada para receber os dados do fluxo.

Portanto, na planilha "Fluxos.xlsx" serão encontradas as seguintes informações:

- Fluxo de potência ativa e reativa entre as barras;
- Fluxo de corrente entre as barras (tanto em coordenadas polares quanto em coordenadas retangulares); e
- Módulo e ângulo de tensão de cada barra.

Nesta etapa do programa é importante fazer a seguinte observação: até o presente momento, as simulações feitas visam retratar a realidade do que de fato ocorreu nas barras e ramos do sistema observado.

Como foi visto em seções anteriores, existe diferença entre o que de fato ocorreu e o que foi lido pelos medidores, e que todas as medidas são portadoras de algum tipo de erro.

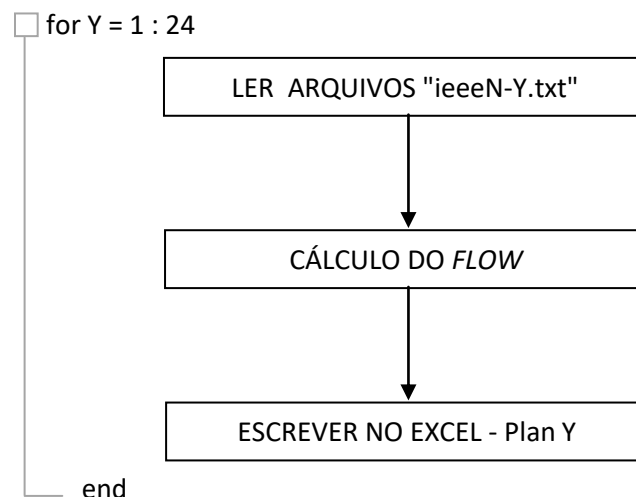


Figura 12: fluxograma da função auxiliar "escrever_excel.m"

3.1.5 FUNÇÃO AUXILIAR "ler_excel.m"

A função auxiliar "ler_excel.m" foi criada para ler a planilha "Fluxos.xlsx". Ela acessa cada uma das "N" abas dessa planilha e armazena as informações correspondentes ao módulo e ângulo da tensão, respectivamente, das 14 barras para as 24 horas do dia. Ambas as variáveis são matrizes de mesma dimensão, onde as linhas representam as 14 barras do sistema e as colunas as 24 horas do dia.

Após essa função ser chamada, o SimSEP irá pedir para que o usuário entre com o nome do arquivo do Excel que deseja ler as informações de módulo e ângulo das tensões. Conforme dito no item 3.1.4, para esse estudo a planilha que contém tais informações é a "Fluxos.xlsx".

A figura 12 mostra um pequeno fluxograma dessa função auxiliar.

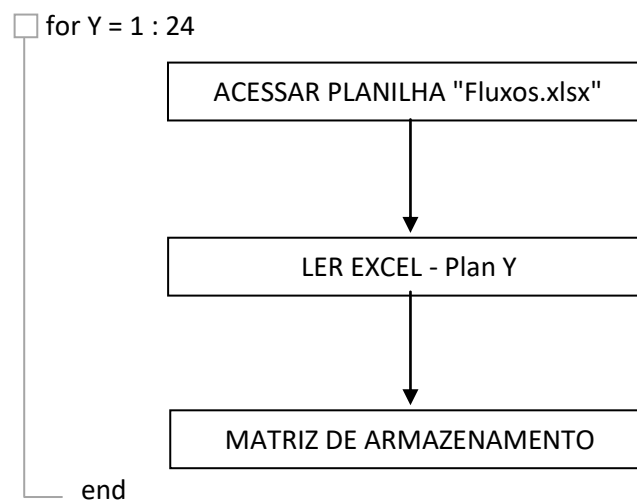


Figura 13: fluxograma da função auxiliar "ler_excel.m"

3.1.6 FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_voltage_ang_v2.m"

Conforme apresentado no item anterior, nessa etapa, os módulos (V) e ângulos (θ) das tensões para as 24 horas do dia de cada barra, encontram-se

armazenados. Resta apenas adicionar essas informações aos arquivos "ieee14-Y.txt". Para isso, foi criada a função auxiliar "escrever_voltage_ang_v2.m".

Trata-se de uma função que possui como variáveis de entrada as matrizes armazenadas no item anterior e as informações referentes a potência ativa e reativa armazenadas conforme o item 3.1.2. A partir delas, esse subprograma gera "Y" arquivos do tipo "Relatório-Y.txt" que são idênticos aos arquivos "ieeeN-Y.txt" com apenas duas alterações: as informações de módulo e ângulo das tensões para as barras estão incluídas nele.

Estes relatórios contém todas as informações atualizadas que são necessárias para a estimação de estado do sistema, a qual será vista em tópicos adiante. São elas:

- Fluxo de Potência Ativo e Reativo nos ramos; e
- Módulo e Ângulo das tensões de cada barra.

Vale ressaltar que, durante a execução desse subprograma, estes arquivos serão copiados automaticamente para um diretório específico a fim de rodar a estimação de estado na etapa final do SimSEP.

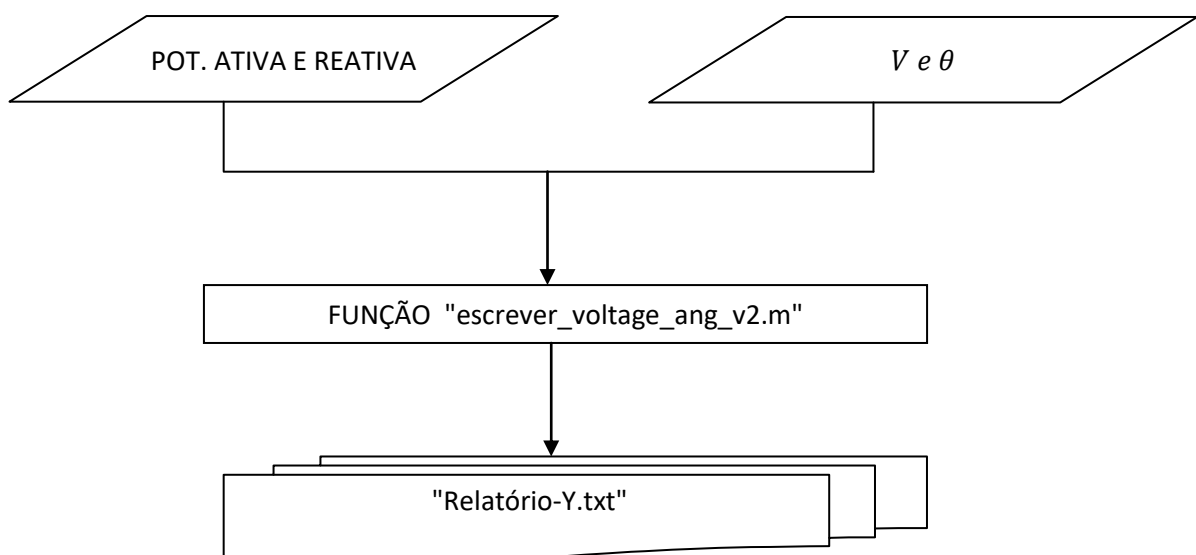


Figura 14: fluxograma da função auxiliar "escrever_voltage_ang_v2.m"

O próximo passo é simular a leitura dos medidores instalados nos ramos e barras do sistema em questão.

3.1.7 FUNÇÃO AUXILIAR 'ler_medidores.m'

Trata-se de uma função que tem como objetivo efetuar a leitura do arquivo referente ao plano de medição do sistema. Ao chamar essa função, o usuário deverá entrar com o nome do arquivo que contém tais medidas no formato MED que, neste trabalho, é o arquivo "S1_CS01_39M.med".

A figura 14 refere-se ao plano de medição utilizado nesse trabalho e os dados contidos nesse arquivo simulam aqueles adquiridos do SCADA.

S1_CS01_39M - Notepad

File

Edit

Format

View

Help

0001	0001	0002	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000148	+1.56805	+1.56277
0002	0001	0005	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000045	+0.75460	+0.74333
0003	0002	0003	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000044	+0.73305	+0.73388
0004	0004	0007	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000013	+0.28126	+0.28230
0005	0004	0009	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000008	+0.16101	+0.15779
0006	0005	0002	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000019	-0.40536	-0.40007
0007	0006	0011	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.07337	+0.07601
0008	0006	0012	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.07850	+0.07841
0009	0006	0013	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000009	+0.17927	+0.18023
0010	0007	0008	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000003	+0.00000	+0.00030
0011	0008	0007	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000003	+0.00000	-0.00032
0012	0009	0010	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.05275	+0.05426
0013	0009	0014	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000006	+0.09340	+0.09201
0014	0012	0013	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.01662	+0.02064
0015	0000	0003	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000065	-0.94406	-0.94516
0016	0000	0006	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000006	-0.11019	-0.10990
0017	0000	0009	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000014	-0.29595	-0.29200
0018	0000	0010	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000005	-0.09091	-0.09077
0019	0000	0013	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000007	-0.13855	-0.13880
0020	0000	0001	01	06	000	0	0.015	1.100	0.000028	+1.06000	+1.05559
0021	0001	0002	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000010	-0.20386	-0.20295
0022	0001	0005	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03634	+0.03370
0023	0002	0003	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03554	+0.03694
0024	0004	0007	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000006	-0.09754	-0.09367
0025	0004	0009	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000003	-0.00375	-0.00497
0026	0005	0002	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000003	-0.01848	-0.01689
0027	0006	0011	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03518	+0.03765
0028	0006	0012	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.02552	+0.02249
0029	0006	0013	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.07440	+0.07119
0030	0007	0008	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000008	-0.16881	-0.16718
0031	0008	0007	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000008	+0.17326	+0.17211
0032	0009	0010	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.04268	+0.04407
0033	0009	0014	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03494	+0.03654
0034	0012	0013	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000003	+0.00803	+0.00930
0035	0000	0003	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.05965	+0.06160
0036	0000	0006	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.05243	+0.05382
0037	0000	0009	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000008	-0.17115	-0.17388
0038	0000	0010	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000005	-0.05872	-0.06127
0039	0000	0013	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000005	-0.06255	-0.06259

Figura 15: arquivo "S1_CS01_39M.med" no formato MED

Com pode ser observado, o arquivo no formato MED da figura acima simula a existência de um plano de medição com um total de 39 medições e pode representar

até 10 tipos de medidores diferentes, os quais possuem como convenção de medidas os itens listados na Tabela 3.

O arquivo "S1_CS01_39M.med" é estruturado em 12 colunas a saber:

- Coluna 1: número do medidor;
- Coluna 2: número de barra DE;
- Coluna 3: número de barra PARA;
- Coluna 4: número do circuito;
- Coluna 5: tipo de medidor;
- Coluna 6: Medida associada a PMU;
- Coluna 7: utiliza ou não o medidor;
- Coluna 8: exatidão do medidor;
- Coluna 9: fundo de escala do medidor;
- Coluna 10: variância;
- Coluna 11: valor de referência;
- Coluna 12: valor medido.

Tabela 3: Convenção de medidas

MEDIDORES	TIPO
Fluxo de Potência Ativa	1
Injeção de Potência Ativa	2
Medidas de Ângulo	3
Fluxo de Potência Reativa	4
Injeção de Potência Reativa	5
Tensão	6
Corrente de Ramo Real	7
Corrente de Ramo Imaginário	8
Injeção de Corrente Real	9
Injeção de Corrente Imaginária	10

A função auxiliar "ler_medidores.m" lê essas 12 colunas e armazena as informações contidas em cada uma delas conforme Tabela 4:

Tabela 4: Variáveis de armazenamento da estrutura de medidores do arquivo "S1_CS01_39M.med"

Coluna	Estrutura dos medidores	Variáveis de armazenamento
1	Nº do medidor	medidores.num
2	Nº da barra DE	medidores.de
3	Nº da barra PARA	medidores.para
4	Nº do circuito	medidores.circ
5	Tipo de medidor	medidores.tipo
6	Medida associada a PMU	medidores.pmu_num
7	Utiliza ou não o medidor	medidores.ok
8	Exatidão do medidor	medidores.acc
9	Fundo de escala do medidor	medidores.fs
10	Variância	medidores.dp
11	Valor de referência	medidores.ref
12	Valor medido	medidores.leitura

Para o desenvolvimento das próximas funções auxiliares, fez-se necessário a criação de duas variáveis. A primeira armazena o número de medidas existentes no arquivo de plano de medição, a segunda armazena as informações contidas no arquivo "S1_CS01_39M.med".

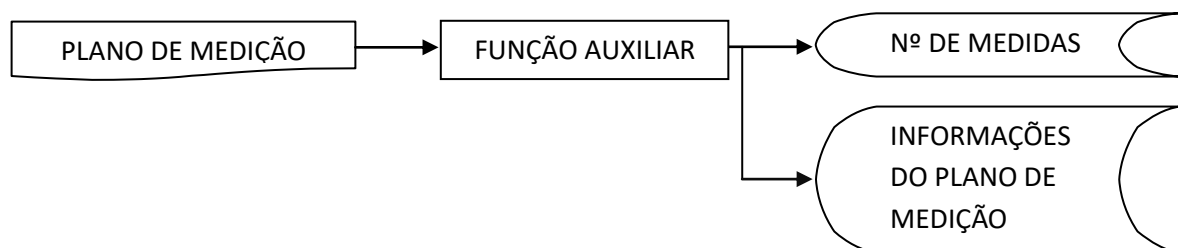


Figura 16: fluxograma da função auxiliar "ler_medidores.m"

3.1.8 FUNÇÕES AUXILIARES DE ESCRITA DO PLANO DE MEDIÇÃO

São as duas funções auxiliares de escrita do plano de medição a saber: "escrever_medidores_ref.m" e "escrever_medidores_leitura.m". Nesta etapa do programa, tem-se duas fontes de dados: a planilha "Fluxos.xlsx" e as informações armazenadas referentes ao plano de medição (arquivo "S1_CS01_39M.med" no formato MED). Cabe agora verificar nesse arquivo quais ramos e barras possuem medidores, bem como, quais tipos de medidores estão instalados neles.

Em posse dessas informações, deve-se acessar cada uma das "N" abas da planilha "Fluxos.xlsx" e fazer com que os valores da coluna 11 (medidores.ref) do arquivo de plano de medição, sejam substituídos, linha a linha, pelo seu valor correspondente da planilha, respeitando o tipo de medidor encontrado.

Para realizar essa tarefa, foi desenvolvida a função auxiliar "escrever_medidores_ref.m" e dentro dela foram criadas duas variáveis onde serão armazenados os dados contidos na planilha "Fluxos.xlsx".

A primeira variável (VAR1) armazena os dados "barra DE", "barra PARA", "fluxo de potência ativa" e "reativa" contidos nas "N" abas desta planilha. A segunda variável (VAR2) armazena os dados referente ao módulo e ângulo da tensão contidos nas "N" abas desta planilha.

Dentro de uma iteração com ii virando de 1 até N e uma iteração interna a essa com jj variando de 1 até o nº total de medidores, essa função auxiliar irá comparar se os elementos "medidores.de(jj)" e "medidores.para(jj)" e "medidores.tipo(jj)" - armazenados pela função auxiliar anterior (esta sequência chaveada será chamada de VAR3 para melhor exemplificar o fluxograma seguinte) -, encontram-se, também, dentro das variáveis VAR1 e VAR2. Caso seja verdadeiro, "medidores.ref(jj)" receberá o valor correspondente ao seu tipo de medidor. A figura 16 mostra o fluxograma da função auxiliar "escrever_medidores_ref.m".

Ao final de cada iteração, esta função auxiliar irá gerar arquivos do tipo "S1_CS01_39M-K.txt", onde "K" varia de 1 a N de acordo com especificação do usuário e N representa as horas, minutos ou segundos do dia em observação.

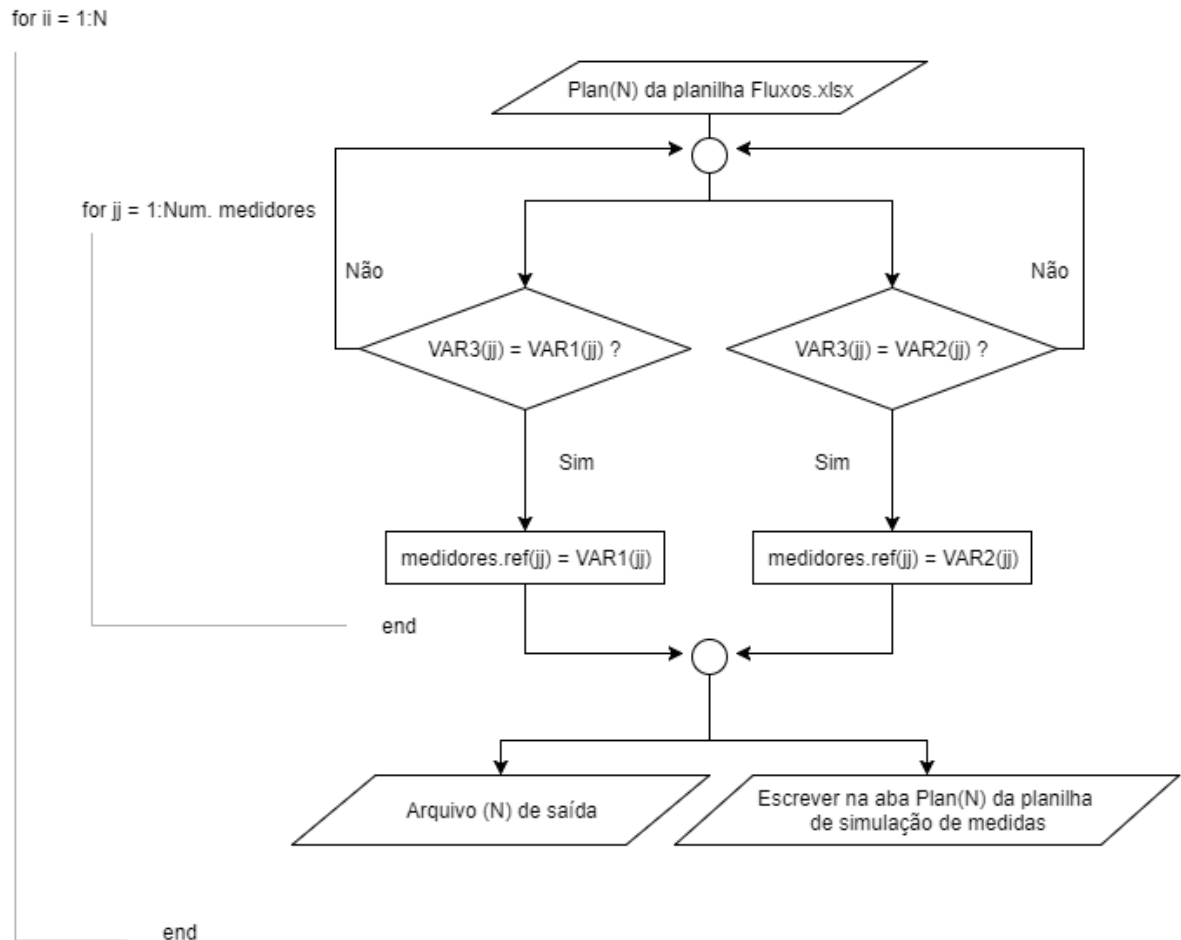


Figura 17: fluxograma da função auxiliar "escrever_medidores_ref.m"

Ao final do processo iterativo mostrado na figura 16, a função auxiliar "escrever_medidores_ref.m" terá dois dados de saída: "N" arquivos no formato MED com valores referentes a coluna 11 atualizados e "N" abas da planilha de simulação de medidas contendo os dados necessários para simular medições no sistema o qual está sendo observado.

Neste trabalho, a planilha capaz de simular as medições feitas pelos medidores instalados nos ramos e barras do sistema é a planilha "Simulador de Medidas_II.xlsx". Ela foi previamente formatada para receber os dados de saída da função auxiliar "escrever_medidores_ref.m" e, a partir deles, simular as medições feitas pelos medidores. Essas servirão de base comparativa entre o que de fato aconteceu no sistema e o que foi lido pelos medidores.

A função auxiliar "escrever_medidores_leitura.m" irá ler cada um dos "N" arquivos no formato MED gerados pelo subprograma anterior com o auxílio da função "ler_medidores.m".

Em seguida, acessará cada uma das "N" abas da planilha "Simulador de Medidas_II.xlsx" que contém o valores simulados lidos pelos medidores, para posteriormente escrever "N" arquivos no formato MED com as colunas 11 e 12 atualizadas. Tais colunas armazenam os seguintes valores: o que de fato ocorreu no sistema e o que foi lido pelo medidor, respectivamente.

3.1.9 SUBROTINA FUNCIONAL "run_ee.m"

Esta subrotina é a etapa final da modelagem e sua função é estimar o estado do sistema para um determinado período considerado. Necessita da função "ee.m" responsável pelo cálculo da estimação de estado do sistema e de dois dados de entrada que foram simulados pelo SimSEP. Os demais ficam a cargo do usuário pois referem-se ao número máximo de iterações, tolerância máxima, etc.

Dentro de um processo iterativo onde *ii* varia de 1 a 24, ele utiliza os arquivos que foram simulados pelas funções auxiliares "escrever_voltage_ang_v2.m" no formato IEEE CDF e "escrever_medidores_leitura.m" no formato MED, mais a função "ee.m".

Para exemplificar o funcionamento dessa subrotina sem que haja prejuízo visual do fluxograma que será apresentado a seguir, os arquivos provenientes da função auxiliar "escrever_voltage_ang_v2.m" serão chamados de ARQ_1, e os provenientes da função auxiliar "escrever_medidores_leitura.m" de ARQ_2.

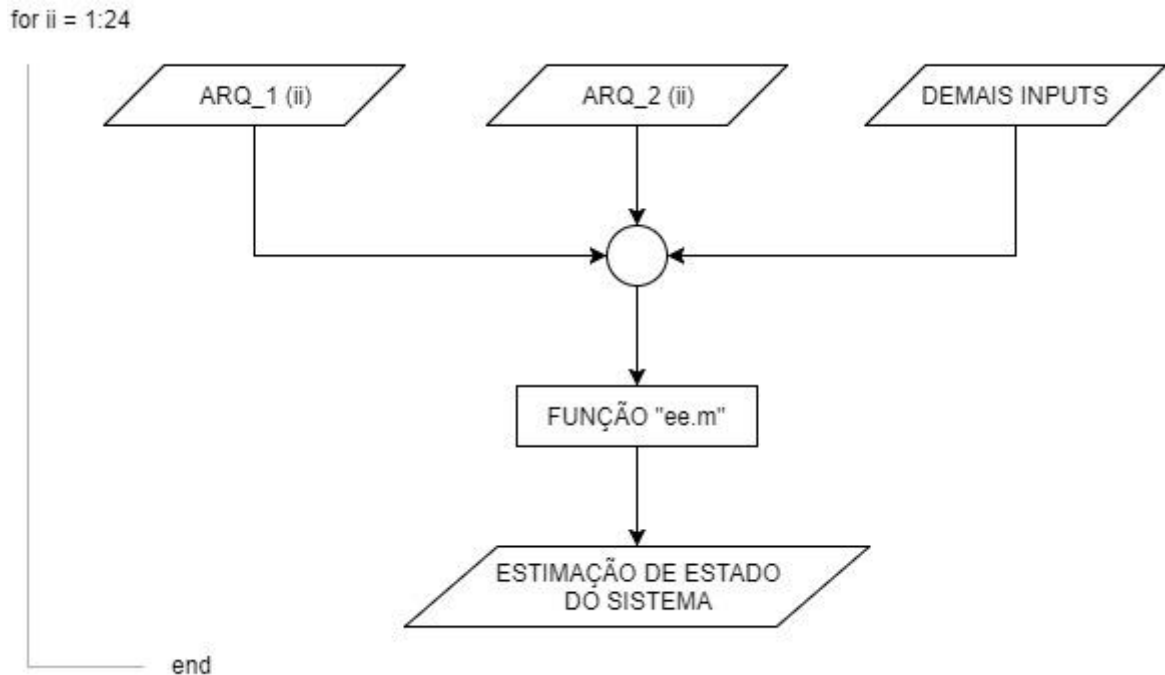


Figura 18: fluxograma da subrotina funcional "run_ee.m"

4. RESULTADOS E UTILIZAÇÃO DOS SUBPROGRAMAS

Nesta seção será demonstrado o modo de utilização do programa SimSEP, bem como o resultado final obtido por este simulador utilizando como dado de entrada o arquivo "ieee14.cdf" o qual foi arbitrado como referência o fluxo de potência às 19:00 horas e um período de tempo "T" de hora em hora .

Por conta da grande quantidade de dados armazenados em matrizes e para que não haja prejuízo visual no acompanhamento do passo-a-passo da execução do SimSEP, as imagens de algumas telas do MATLAB serão mostradas na seção de anexos deste documento.

4.1 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "ler_sistema.m"

Esta função deve ser chamada conforme mostrado na Figura 18:

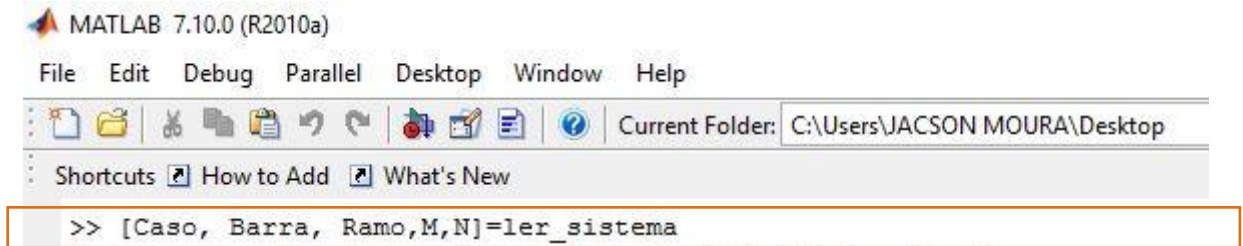


Figura 19: função auxiliar "ler_sistema.m"

Em seguida o programa irá pedir ao usuário que ele entre com o arquivo no formato IEEE CDF o qual deseja ler.

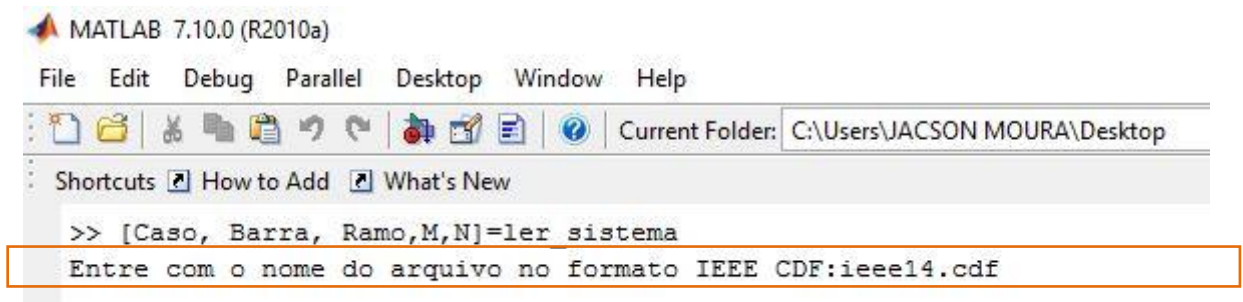


Figura 20: inserindo o arquivo no formato "ieee14.cdf"

Nesse momento já encontram-se armazenadas nas matrizes as informações referentes aos ramos e as informações referentes a cada uma das 14 barras do sistema, respectivamente. Tais informações podem ser vistas nos Anexos III e IV.

4.2 UTILIZANDO A SUBROTINA FUNCIONAL "ger_carga_v7"

Como os dados do arquivo "ieee14.cdf" já foram lidos e armazenados pelo função auxiliar anterior, basta acessar a subrotina funcional "ger_carga_v7.m" e apertar a tecla *run*. Em seguida o menu irá aparecer na tela do MATLAB juntamente com uma pequena descrição de como devem ser escolhidas as curvas de cargas que serão ligadas às barras.

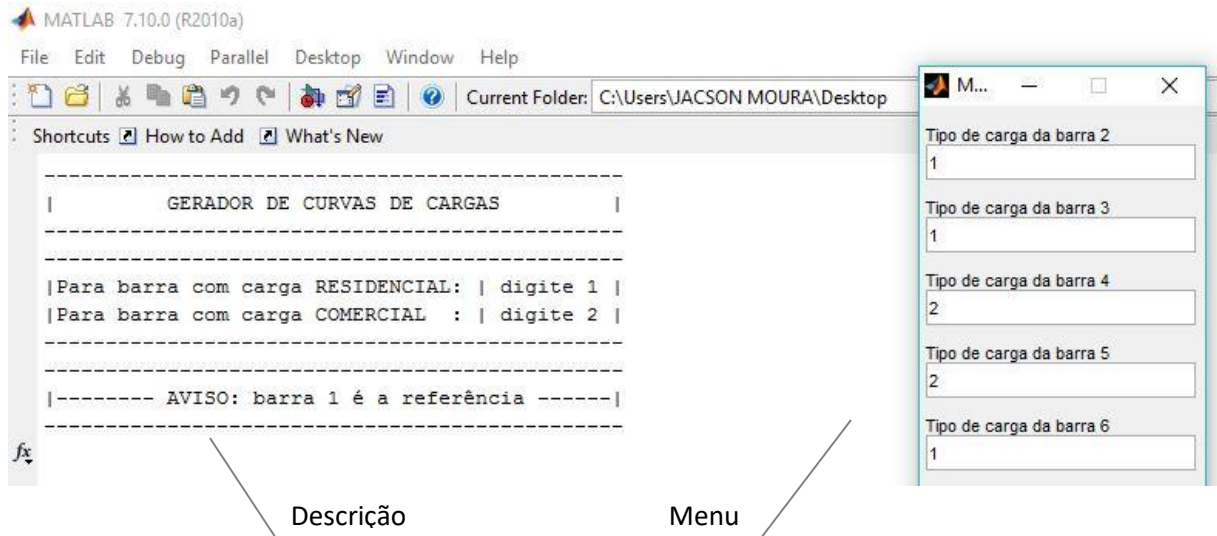


Figura 21: gerador de curvas de carga

Após o preenchimento do menu, os dados referentes a potência ativa e reativa ficarão armazenados em duas variáveis. Elas encontram-se nos Anexos V e VI.

4.3 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_sistema_v2.m"

Como trata-se de uma função, sua chamada deve ser feita da seguinte forma:

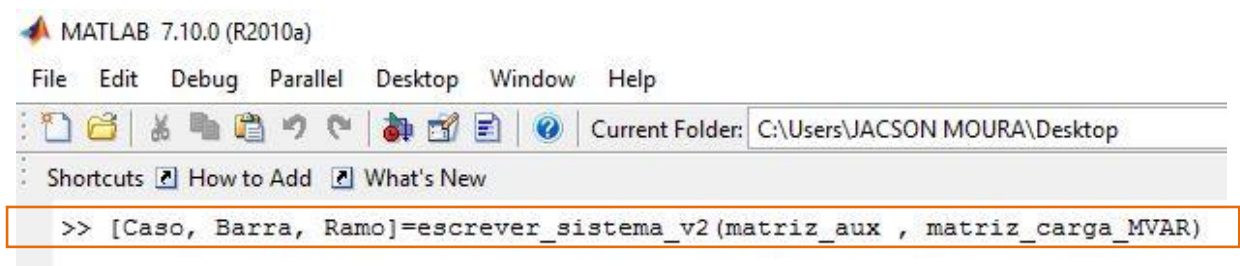


Figura 22: função auxiliar "escrever_sistema_v2.m"

Logo em seguida será mostrado na tela do MATLAB o caso que está sendo analisado, as estruturas das barras e dos ramos do sistema.

4.4 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_excel.m"

Esta é uma função pequena e seu fluxograma foi mostrado no item 3.1.4. Como as informações das quais ele precisa já encontram-se armazenadas na memória do MATLAB, para executá-lo basta apertar o botão *run* e aguardar que as informações sejam escritas na planilha "Fluxos.xlsx". Por sua vez, esta planilha já encontra-se formatada para receber esses dados conforme ANEXO VII.

4.5 UTILIZANDO FUNÇÃO AUXILIAR "ler_excel.m"

Após essa função ser chamada, o SimSEP pedirá ao usuário que ele entre com o arquivo do Excel do qual deseja ler as informações sobre fluxo de potência. É importante ressaltar que o nome do arquivo não precisa ser escrito com sua extensão ".xlsx", uma vez que já foi colocada essa extensão implicitamente nas linhas de código desse programa.

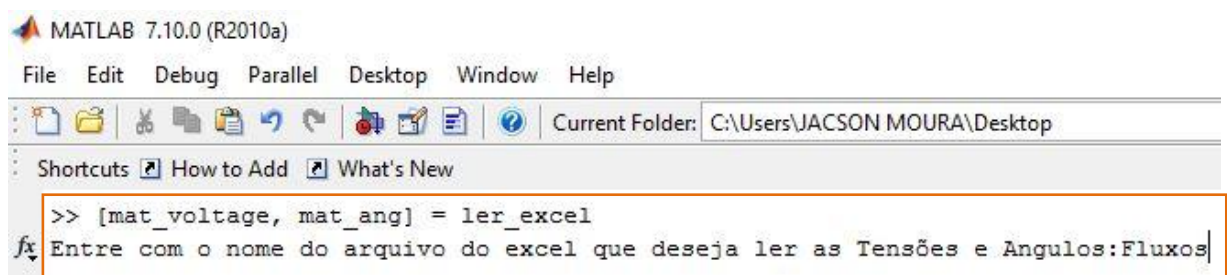


Figura 23: ler_excel.m

Em seguida será mostrado na tela do MATLAB as matrizes que receberam os dados referentes aos módulos e ângulos das tensões. Essas matrizes encontram-se nos anexos VIII e IX.

4.6 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "escrever_voltage_ang_v2.m"

Esta é a função que encerra a parte de escrita dos arquivos no formato padrão IEEE CDF. Ela é utilizada da seguinte forma:

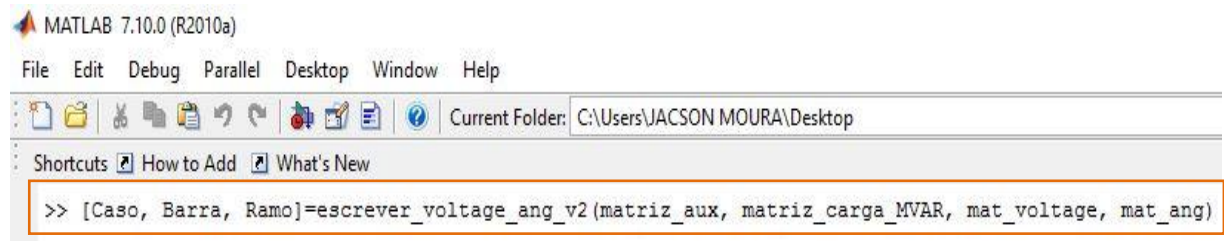


Figura 24: escrever_voltage_ang_v2.m

Dentre todos os 24 arquivos de saída no formato IEEE CDF, segue no ANEXO X o Relatorio-19.txt com os valores de módulo e ângulo de tensão, potência ativa e reativa atualizados após o *flow*.

4.7 UTILIZANDO A FUNÇÃO AUXILIAR "ler_medidores.m"

A metodologia de chamada dessa função é análoga àquela do item 4.6. Em seguida, o SimSEP pedirá ao usuário o arquivo que contém o plano de medição, lembrando que esse arquivo corresponde a lista de dados adquiridos do SCADA.

A Figura 24 mostra a função "ler_medidores.m" e o arquivo que, neste trabalho, contém o plano de medição do sistema: S1_CS01_39M.med.

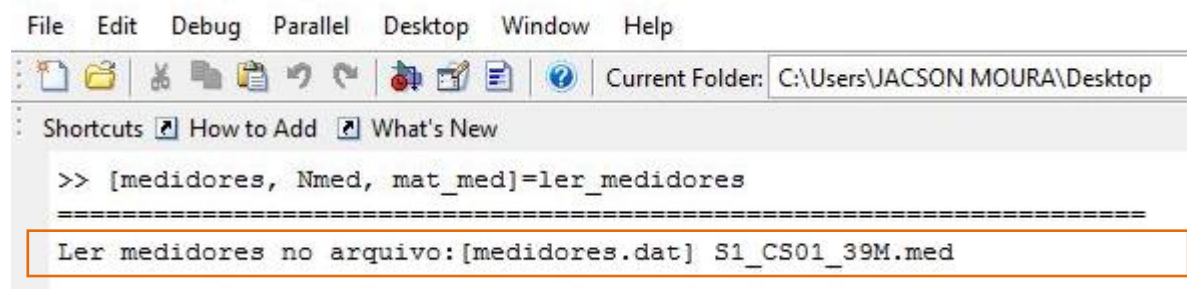


Figura 25: ler_medidores.m

É importante observar que esta função, diferentemente da função auxiliar "ler_excel.m", necessita que seja inserido sua extensão ".med". Caso contrário, o MATLAB irá indicar um erro de execução e nenhum arquivo será lido.

O ANEXO XI mostra a matriz que, conforme dito no item 3.1.7, armazena as informações referentes ao plano de medição do arquivo "S1_CS01_39M.med".

4.8 UTILIZANDO AS FUNÇÕES AUXILIARES DE ESCRITA DOS MEDIDORES

Foi explicado no item 3.1.8 como a função auxiliar "escrever_medidores_ref.m" foi desenvolvida e, de acordo com esse item, o plano de medição será escrito com a coluna 11 (medidores.ref) atualizada.

Como nessa etapa do programa as informações das quais este subprograma precisa para ser executado já encontram-se salvas na memória do MATLAB, basta clicar no botão *run* para que os arquivos do tipo "S1_CS01_39M-K.txt" comecem a ser escritos. O plano de medição para às 19:00 encontra-se no ANEXO XII.

A utilização da função auxiliar "escrever_medidores_leitura.m" é análoga a função "escrever_medidores_ref.m". Nada será apresentado na tela do MATLAB, porém, os arquivos referentes ao plano de medição no formato MED serão escritos em um diretório específico.

Como nessa etapa todas informações das quais este subprograma precisa para ser executado já encontram-se salvas na memória do MATLAB, basta clicar no botão *run*.

4.9 UTILIZANDO O SUBPROGRAMA "run_ee"

Este programa deve ser executado dentro de um diretório específico, pois ele utiliza arquivos que foram salvos dentro de suas subpastas. Como ele precisa basicamente dos pares de arquivos mencionados no item 3.1.10, e estes já encontram-se escritos e copiados para os seus respectivos diretórios, basta apertar a tecla *run* para que seja estimado o estado do sistema para as 24 horas do dia.

O resultado da estimação de estados para as 19:00 horas encontra-se no ANEXO XIII. Em apenas 3 iterações este simulador foi capaz de estimar o estado do sistema "*IEEE 14 Test Case*" com um erro vetorial total médio de 0,5969%.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

No ANEXO XIII pode-se observar que o SimSEP foi capaz de identificar uma possível medida portadora de erro grosseiro do plano de medição (medida de número 24), filtrar erros de pequena magnitude e ainda identificar possíveis conjuntos de medidas críticas do sistema cumprindo, assim, o seu papel de estimador de estados.

No que diz respeito a modelagem das curvas de cargas para unidades consumidoras residenciais e comerciais, o SimSEP alcançou o resultado esperado uma vez que o padrão de curvas simuladas pelo subprograma "ger_carga_v7.m" encontram-se muito próximas daquelas encontradas no SIN para essas mesmas classificações de unidades consumidoras. O ANEXO XIV mostra o comparativo entre as curvas simuladas pelo SimSEP e as curvas do SIN.

Em relação as simplificações feitas em relação a modelagem do SEP no que diz respeito às potências ativas e reativas geradas serem mantidas constantes ao longo do tempo, não foi tomada nenhuma ação no que diz respeito ao despacho econômico ótimo. Porém, tal decisão não afetou o resultado da estimação de estado das 24 horas do dia para o sistema "*IEEE 14 Test Case*".

O ANEXO XV mostra o resultado da estimação de estados alcançado por Márcio Guimaraens em sua tese de doutorado para o mesmo sistema apresentado nesse trabalho. Naquela ocasião, o erro vetorial total médio foi de 0,7111%.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho de conclusão de curso é a parte inicial de um projeto ainda maior, mais robusto e complexo que já se encontra em desenvolvimento por alunos da graduação em Engenharia Elétrica desta Universidade.

Correspondem a temas como "Despacho Automático de Geração" que tem como objetivo operar o sistema de maneira estratégica garantindo o fornecimento seguro de energia elétrica, "Análise de Defeitos na Rede" a fim de verificar o comportamento da rede diante às faltas que podem ocorrer no sistema, e "Modelagem de Carga no *Load Flow*" os quais irão se juntar ao programa apresentado nesse trabalho e o deixará ainda mais próximo da realidade.

Para alcançar esse propósito, faz-se necessário a inclusão da modelagem de curvas de cargas para unidades consumidoras industriais e a opção do usuário conectar cargas mistas a uma mesma barra.

Outro ponto importante a ser observado para trabalhos futuros é o tempo de execução do SimSEP. Primeiramente foi tomada a decisão de não escrever os dados referentes aos fluxos de potências no formato ".txt". Uma solução mais rápida de implementação foi escrever todos esses dados em uma planilha do Excel, aqui designada como Fluxos.xlsx.

Porém, quando comparado com o tempo de leitura e escrita de arquivos no formato ".txt", o MATLAB leva muito mais tempo executando essa mesma tarefa no Excel do que para aquele formato de arquivo. Em sistemas maiores, como por exemplo o caso *IEEE 30 BUS*, este poderá ser um problema.

Como o próximo passo é testar o Simulador de Sistemas Elétricos de Potência - SimSEP no caso *IEEE 30, 57, 118 e 300 BUS*, o SimSEP deverá passar por uma otimização nas linhas de códigos referentes a leitura e escrita das matrizes em formato ".txt" com a finalidade de tornar sua execução mais rápida.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MONTICELLI, Alcir José. **Fluxo de carga em redes de energia elétrica**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1983. 164 p.

STEVENSON, William D. Jr. **Elementos de análise de sistemas de potência**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill Ltda, 1986. 458 p.

STOUT, Melville B. **Curso Básico de Medidas Elétricas - Volume 1**. Rio de Janeiro: Ed. Universidade de São Paulo, 1974.

GUIMARAENS, Marcio Andre Ribeiro. **Supressão de erros grosseiros de medição através da cooperação entre estimadores de estado independentes**. Niterói, 2015. Tese (Doutorado em Computação Científica em Sistemas de Potência) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2015.

LOPES, Thales Terrola. **Estimadores de estado em sistemas de energia elétrica incluindo restrições Fuzzy**. Rio de Janeiro, 2008. 33 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PEREIRA, Fernando Silva. **Análise de observabilidade para o estimador de estados e parâmetros**. São Carlos, 2005. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PEREIRA, L. A .C., 2008. **Estimação de Estado Utilizando Funções Objetivo Não-Quadráticas e Contínuas**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ONS - Submódulo 18.2 - Relação dos sistemas e modelos computacionais. Disponível em: <http://apps05.ons.org.br/procedimentorede/procedimento_rede/procedimento_rede.aspx>. Acesso em: 08 de jun. 2017.

ONS - Dados relevantes 2015. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/DADOS_2015/html/3-6.html>. Acesso em: 16 de jul. 2017.

UNIVERSIDADE DE WASHINGTON. Disponível em: <<http://www2.ee.washington.edu/research/pstca/pf14/ieee14cdf.txt>>. Acesso em: 26 mai. 2017.

UNIVERSIDADE DE WASHINGTON. Disponível em: <http://www2.ee.washington.edu/research/pstca/pf14/pg_tca14fig.htm>. Acesso em: 26 mai. 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - BIG Banco de Informações. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 09 de jun. 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Atlas de Energia Elétrica do Brasil - Parte I: Energia no Brasil e no Mundo. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf> Acesso em: 09 de jun. 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf> Acesso em: 02 de jul. 2017.

IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems - Vol. PAS-92, 1973, p.1916 - 1925.

7 ANEXOS

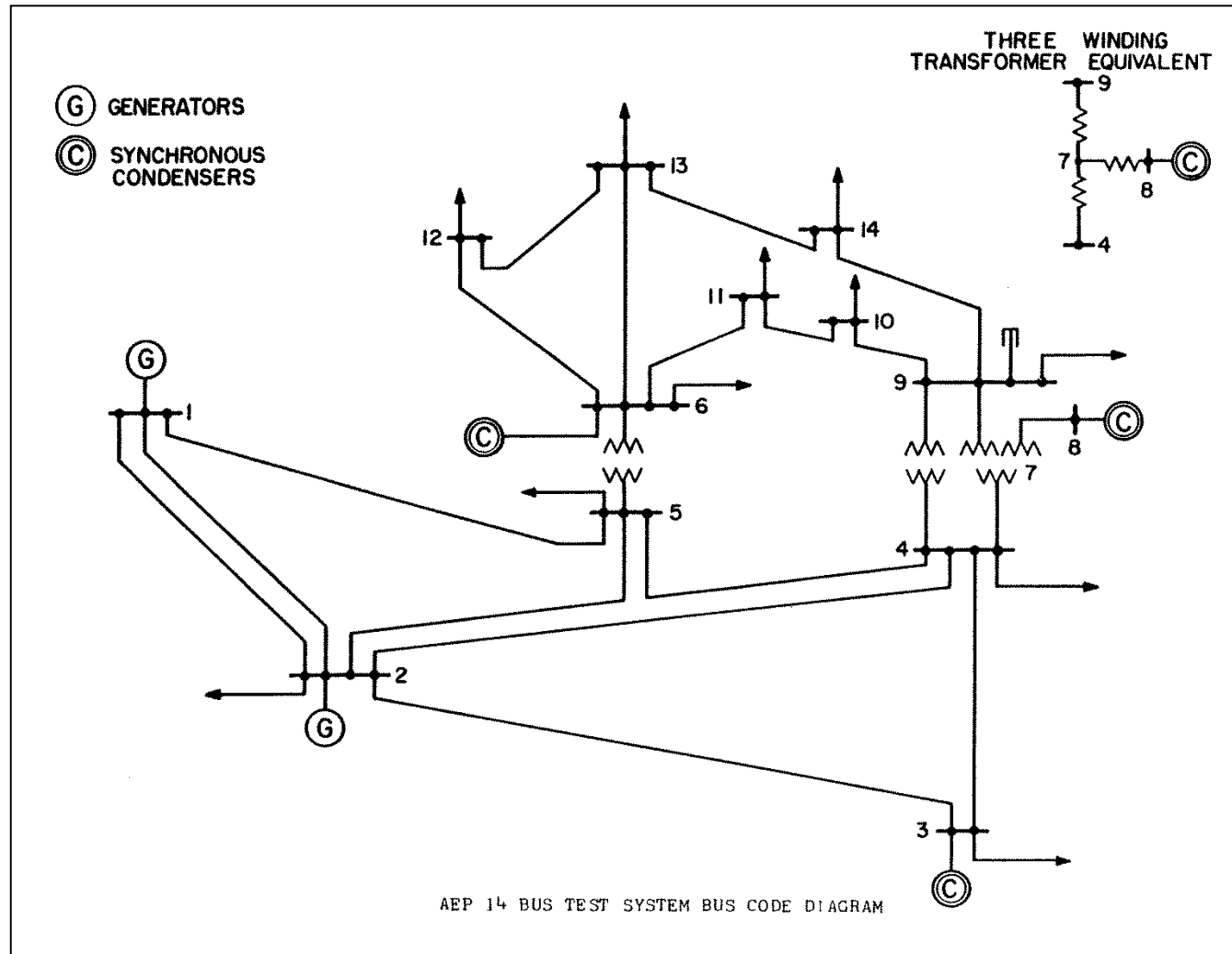
ANEXO I: IEEE 14 Test Case

ieee14 - Notepad

File Edit Format View Help

08/19/93 UW ARCHIVE																		100.0 1962 W IEEE 14 Bus Test Case																	
=====1=====2=====3=====4=====5=====6=====7=====8=====9=====0=====1=====2=====3=====																																			
1234 NNNNNNNNNNNN AAZZZ TT X.XXXX+XXX.XX+XXXXX.XX+XXXXX.XX+XXXXX.XX+XXXX.XX XXXX.XX X.XXXX+XXXX.XX+XXXX.XX+XX.XXXX+XX.XXXX 1234 1234																																			
BUS DATA FOLLOWS																		14 ITEMS																	
1 Bus 1 132kV 1 1 3 1.0600 0.00 0.00 0.00 232.39 -16.55 0.00 1.0600 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
2 Bus 2 132kV 1 1 2 1.0450 -4.98 21.70 12.70 40.00 43.56 0.00 1.0450 50.00 -40.00 0.0000 0.0000 0																																			
3 Bus 3 132kV 1 1 2 1.0100 -12.73 94.20 19.00 0.00 25.08 0.00 1.0100 40.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
4 Bus 4 132kV 1 1 0 1.0180 -10.31 47.80 -3.90 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
5 Bus 5 132kV 1 1 0 1.0200 -8.77 7.60 1.60 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
6 Bus 6 33kV 1 1 2 1.0700 -14.22 11.20 7.50 0.00 12.73 0.00 1.0700 24.00 -6.00 0.0000 0.0000 0																																			
7 Bus 7 MID 1 1 0 1.0620 -13.36 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
8 Bus 8 11kV 1 1 2 1.0900 -13.36 0.00 0.00 0.00 17.62 0.00 1.0900 24.00 -6.00 0.0000 0.0000 0																																			
9 Bus 9 33kV 1 1 0 1.0560 -14.94 29.50 16.60 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.1900 0																																			
10 Bus 10 33kV 1 1 0 1.0510 -15.10 9.00 5.80 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
11 Bus 11 33kV 1 1 0 1.0570 -14.79 3.50 1.80 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
12 Bus 12 33kV 1 1 0 1.0550 -15.08 6.10 1.60 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
13 Bus 13 33kV 1 1 0 1.0500 -15.16 13.50 5.80 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
14 Bus 14 33kV 1 1 0 1.0360 -16.03 14.90 5.00 0.00 0.00 0.00 0.0000 0.00 0.00 0.0000 0.0000 0																																			
-999																																			
=====1=====2=====3=====4=====5=====6=====7=====8=====9=====0=====1=====2=====3=====																																			
1234 1234 AAZZZ C T+xx.xxxxxx+xx.xxxxxx xxx.xxxxx 12345 12345 12345 1234 1 x.xxxx +xxx.xx x.xxxx x.xxxx .xxxxx x.xxxx x.xxxx 1234																																			
BRANCH DATA FOLLOWS																		21 ITEMS																	
1 2 1 1 1 0 0.019380 0.059170 0.05280 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
1 5 1 1 1 0 0.054030 0.223040 0.04920 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
2 3 1 1 1 0 0.046990 0.197970 0.04380 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
2 4 1 1 1 0 0.058110 0.176320 0.03400 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
2 5 1 1 1 0 0.056950 0.173880 0.03460 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
3 4 1 1 1 0 0.067010 0.171030 0.01280 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
4 5 1 1 1 0 0.013350 0.042110 0.00000 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
4 7 1 1 1 0 0.000000 0.209120 0.00000 0 0 0 0 0 0.9780 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
4 9 1 1 1 0 0.000000 0.556180 0.00000 0 0 0 0 0 0.9690 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
5 6 1 1 1 0 0.000000 0.252020 0.00000 0 0 0 0 0 0.9320 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
6 11 1 1 1 0 0.094980 0.198900 0.00000 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
6 12 1 1 1 0 0.122910 0.255810 0.00000 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
6 13 1 1 1 0 0.066150 0.130270 0.00000 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			
7 8 1 1 1 0 0.000000 0.176150 0.00000 0 0 0 0 0 0.0000 0.00 0.0000 0.0000 .00000 0.0000 0.0000																																			

ANEXO II: sistema IEEE 14 barras



ANEXO III: matriz M - dados dos ramos

M =

Columns 1 through 16

1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0194	0.0592	0.0528	0	0	0	0	0	0	0
1.0000	5.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0540	0.2230	0.0492	0	0	0	0	0	0	0
2.0000	3.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0470	0.1980	0.0438	0	0	0	0	0	0	0
2.0000	4.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0581	0.1763	0.0340	0	0	0	0	0	0	0
2.0000	5.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0570	0.1739	0.0346	0	0	0	0	0	0	0
3.0000	4.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0670	0.1710	0.0128	0	0	0	0	0	0	0
4.0000	5.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0134	0.0421	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0000	7.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.2091	0	0	0	0	0	0	0.9780	0
4.0000	9.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.5562	0	0	0	0	0	0	0.9690	0
5.0000	6.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.2520	0	0	0	0	0	0	0.9320	0
6.0000	11.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0950	0.1989	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0000	12.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.1229	0.2558	0	0	0	0	0	0	0	0
6.0000	13.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0662	0.1303	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0000	8.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.1762	0	0	0	0	0	0	0	0
7.0000	9.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.1100	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0000	10.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0318	0.0845	0	0	0	0	0	0	0	0
9.0000	14.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.1271	0.2704	0	0	0	0	0	0	0	0
10.0000	11.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.0820	0.1921	0	0	0	0	0	0	0	0
12.0000	13.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.2209	0.1999	0	0	0	0	0	0	0	0
13.0000	14.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0.1709	0.3480	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO IV : matriz N - dados do fluxo de potência das barras

N =

Columns 1 through 16

1.0000	132.0000	1.0000	1.0000	3.0000	1.0600	0	0	0	232.3900	-16.5500	0	1.0600	0	0	0
2.0000	132.0000	1.0000	1.0000	2.0000	1.0450	-4.9800	21.7000	12.7000	40.0000	43.5600	0	1.0450	50.0000	-40.0000	0
3.0000	132.0000	1.0000	1.0000	2.0000	1.0100	-12.7300	94.2000	19.0000	0	25.0800	0	1.0100	40.0000	0	0
4.0000	132.0000	1.0000	1.0000	0	1.0180	-10.3100	47.8000	-3.9000	0	0	0	0	0	0	0
5.0000	132.0000	1.0000	1.0000	0	1.0200	-8.7700	7.6000	1.6000	0	0	0	0	0	0	0
6.0000	33.0000	1.0000	1.0000	2.0000	1.0700	-14.2200	11.2000	7.5000	0	12.7300	0	1.0700	24.0000	-6.0000	0
7.0000	NaN	1.0000	1.0000	0	1.0620	-13.3600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.0000	11.0000	1.0000	1.0000	2.0000	1.0900	-13.3600	0	0	0	17.6200	0	1.0900	24.0000	-6.0000	0
9.0000	33.0000	1.0000	1.0000	0	1.0560	-14.9400	29.5000	16.6000	0	0	0	0	0	0	0
10.0000	33.0000	1.0000	1.0000	0	1.0510	-15.1000	9.0000	5.8000	0	0	0	0	0	0	0
11.0000	33.0000	1.0000	1.0000	0	1.0570	-14.7900	3.5000	1.8000	0	0	0	0	0	0	0
12.0000	33.0000	1.0000	1.0000	0	1.0550	-15.0800	6.1000	1.6000	0	0	0	0	0	0	0
13.0000	33.0000	1.0000	1.0000	0	1.0500	-15.1600	13.5000	5.8000	0	0	0	0	0	0	0
14.0000	33.0000	1.0000	1.0000	0	1.0360	-16.0300	14.9000	5.0000	0	0	0	0	0	0	0

Columns 17 through 18

```

0      0
0      0
0      0
0      0
0      0
0      0
0      0
0      0
0.1900 0
0      0
0      0
0      0
0      0
0      0

```

ANEXO V: matriz das potências ativas das barras

matriz_aux =

Columns 1 through 16

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2550	1.5190	0.8680	1.3020	1.0850	6.5100	7.8120	10.6330	7.8120	4.5570	3.0380	3.6890	3.6890	3.9060	5.6420	17.7940
14.1300	6.5940	3.7680	5.6520	4.7100	28.2600	33.9120	46.1580	33.9120	19.7820	13.1880	16.0140	16.0140	16.9560	24.4920	77.2440
7.1700	3.3460	1.9120	2.8680	2.3900	14.3400	17.2080	23.4220	17.2080	10.0380	6.6920	8.1260	8.1260	8.6040	12.4280	39.1960
1.1400	0.5320	0.3040	0.4560	0.3800	2.2800	2.7360	3.7240	2.7360	1.5960	1.0640	1.2920	1.2920	1.3680	1.9760	6.2320
1.6800	0.7840	0.4480	0.6720	0.5600	3.3600	4.0320	5.4880	4.0320	2.3520	1.5680	1.9040	1.9040	2.0160	2.9120	9.1840
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.4250	4.1300	4.4250	9.1450	13.8650	23.3050	35.9900	37.4650	38.9400	39.2350	38.9400	39.2350	38.9400	38.9400	39.2350	37.4650
1.3500	0.6300	0.3600	0.5400	0.4500	2.7000	3.2400	4.4100	3.2400	1.8900	1.2600	1.5300	1.5300	1.6200	2.3400	7.3800
0.5250	0.2450	0.1400	0.2100	0.1750	1.0500	1.2600	1.7150	1.2600	0.7350	0.4900	0.5950	0.5950	0.6300	0.9100	2.8700
0.9150	0.8540	0.9150	1.8910	2.8670	4.8190	7.4420	7.7470	8.0520	8.1130	8.0520	8.1130	8.0520	8.0520	8.1130	7.7470
2.0250	1.8900	2.0250	4.1850	6.3450	10.6650	16.4700	17.1450	17.8200	17.9550	17.8200	17.9550	17.8200	17.8200	17.9550	17.1450
2.2350	1.0430	0.5960	0.8940	0.7450	4.4700	5.3640	7.3010	5.3640	3.1290	2.0860	2.5330	2.5330	2.6820	3.8740	12.2180

Columns 17 through 24

0	0	0	0	0	0	0	0
18.6620	19.7470	21.7000	20.6150	19.7470	15.6240	11.7180	6.7270
81.0120	85.7220	94.2000	89.4900	85.7220	67.8240	50.8680	29.2020
41.1080	43.4980	47.8000	45.4100	43.4980	34.4160	25.8120	14.8180
6.5360	6.9160	7.6000	7.2200	6.9160	5.4720	4.1040	2.3560
9.6320	10.1920	11.2000	10.6400	10.1920	8.0640	6.0480	3.4720
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
35.9900	32.7450	29.5000	20.0600	16.8150	13.5700	10.3250	7.3750
7.7400	8.1900	9.0000	8.5500	8.1900	6.4800	4.8600	2.7900
3.0100	3.1850	3.5000	3.3250	3.1850	2.5200	1.8900	1.0850
7.4420	6.7710	6.1000	4.1480	3.4770	2.8060	2.1350	1.5250
16.4700	14.9850	13.5000	9.1800	7.6950	6.2100	4.7250	3.3750
12.8140	13.5590	14.9000	14.1550	13.5590	10.7280	8.0460	4.6190

ANEXO VI: matriz das potências reativas das barras

matriz_carga_MVAR =

Columns 1 through 16

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.9050	0.8890	0.5080	0.7620	0.6350	3.8100	4.5720	6.2230	4.5720	2.6670	1.7780	2.1590	2.1590	2.2860	3.3020	10.4140
2.8500	1.3300	0.7600	1.1400	0.9500	5.7000	6.8400	9.3100	6.8400	3.9900	2.6600	3.2300	3.2300	3.4200	4.9400	15.5800
-0.5850	-0.2730	-0.1560	-0.2340	-0.1950	-1.1700	-1.4040	-1.9110	-1.4040	-0.8190	-0.5460	-0.6630	-0.6630	-0.7020	-1.0140	-3.1980
0.2400	0.1120	0.0640	0.0960	0.0800	0.4800	0.5760	0.7840	0.5760	0.3360	0.2240	0.2720	0.2720	0.2880	0.4160	1.3120
1.1250	0.5250	0.3000	0.4500	0.3750	2.2500	2.7000	3.6750	2.7000	1.5750	1.0500	1.2750	1.2750	1.3500	1.9500	6.1500
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.4900	2.3240	2.4900	5.1460	7.8020	13.1140	20.2520	21.0820	21.9120	22.0780	21.9120	22.0780	21.9120	21.9120	22.0780	21.0820
0.8700	0.4060	0.2320	0.3480	0.2900	1.7400	2.0880	2.8420	2.0880	1.2180	0.8120	0.9860	0.9860	1.0440	1.5080	4.7560
0.2700	0.1260	0.0720	0.1080	0.0900	0.5400	0.6480	0.8820	0.6480	0.3780	0.2520	0.3060	0.3060	0.3240	0.4680	1.4760
0.2400	0.2240	0.2400	0.4960	0.7520	1.2640	1.9520	2.0320	2.1120	2.1280	2.1120	2.1280	2.1120	2.1120	2.1280	2.0320
0.8700	0.8120	0.8700	1.7980	2.7260	4.5820	7.0760	7.3660	7.6560	7.7140	7.6560	7.7140	7.6560	7.6560	7.7140	7.3660
0.7500	0.3500	0.2000	0.3000	0.2500	1.5000	1.8000	2.4500	1.8000	1.0500	0.7000	0.8500	0.8500	0.9000	1.3000	4.1000

Columns 17 through 24

0	0	0	0	0	0	0	0
10.9220	11.5570	12.7000	12.0650	11.5570	9.1440	6.8580	3.9370
16.3400	17.2900	19.0000	18.0500	17.2900	13.6800	10.2600	5.8900
-3.3540	-3.5490	-3.9000	-3.7050	-3.5490	-2.8080	-2.1060	-1.2090
1.3760	1.4560	1.6000	1.5200	1.4560	1.1520	0.8640	0.4960
6.4500	6.8250	7.5000	7.1250	6.8250	5.4000	4.0500	2.3250
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
20.2520	18.4260	16.6000	11.2880	9.4620	7.6360	5.8100	4.1500
4.9880	5.2780	5.8000	5.5100	5.2780	4.1760	3.1320	1.7980
1.5480	1.6380	1.8000	1.7100	1.6380	1.2960	0.9720	0.5580
1.9520	1.7760	1.6000	1.0880	0.9120	0.7360	0.5600	0.4000
7.0760	6.4380	5.8000	3.9440	3.3060	2.6680	2.0300	1.4500
4.3000	4.5500	5.0000	4.7500	4.5500	3.6000	2.7000	1.5500

ANEXO VII: fluxo de potência às 19:00h - planilha Fluxos.xlsx

Fluxos - Microsoft Excel

ANEXO VIII: mat_voltage - matriz dos módulos das tensões das barras

mat_voltage =

Columns 1 through 16

1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600
1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450
1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100
1.0375	1.0383	1.0385	1.0370	1.0357	1.0300	1.0248	1.0225	1.0238	1.0256	1.0265	1.0261	1.0262	1.0260	1.0249	1.0175
1.0371	1.0378	1.0379	1.0367	1.0356	1.0309	1.0265	1.0244	1.0256	1.0273	1.0281	1.0277	1.0278	1.0277	1.0267	1.0196
1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700
1.0830	1.0838	1.0839	1.0818	1.0798	1.0730	1.0661	1.0638	1.0646	1.0661	1.0670	1.0665	1.0667	1.0666	1.0655	1.0596
1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900
1.0903	1.0916	1.0918	1.0880	1.0845	1.0733	1.0617	1.0582	1.0591	1.0613	1.0627	1.0620	1.0622	1.0621	1.0605	1.0522
1.0857	1.0873	1.0877	1.0843	1.0816	1.0705	1.0604	1.0566	1.0583	1.0612	1.0629	1.0620	1.0622	1.0621	1.0602	1.0492
1.0775	1.0786	1.0789	1.0771	1.0757	1.0692	1.0638	1.0614	1.0627	1.0647	1.0658	1.0652	1.0653	1.0652	1.0640	1.0565
1.0695	1.0699	1.0698	1.0676	1.0655	1.0604	1.0542	1.0531	1.0528	1.0531	1.0535	1.0533	1.0534	1.0534	1.0530	1.0520
1.0704	1.0710	1.0711	1.0684	1.0660	1.0591	1.0516	1.0498	1.0500	1.0509	1.0516	1.0512	1.0513	1.0513	1.0505	1.0472
1.0790	1.0814	1.0821	1.0784	1.0756	1.0619	1.0510	1.0459	1.0488	1.0531	1.0554	1.0543	1.0545	1.0542	1.0516	1.0353

Columns 17 through 24

1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600	1.0600
1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450	1.0450
1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100	1.0100
1.0174	1.0179	1.0177	1.0222	1.0240	1.0279	1.0314	1.0350
1.0195	1.0198	1.0195	1.0235	1.0252	1.0288	1.0318	1.0350
1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700	1.0700
1.0599	1.0610	1.0615	1.0671	1.0693	1.0731	1.0766	1.0802
1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900	1.0900
1.0528	1.0547	1.0559	1.0651	1.0686	1.0745	1.0800	1.0858
1.0494	1.0506	1.0510	1.0590	1.0622	1.0685	1.0744	1.0808
1.0565	1.0570	1.0569	1.0612	1.0630	1.0668	1.0705	1.0745
1.0526	1.0539	1.0552	1.0598	1.0615	1.0636	1.0657	1.0677
1.0478	1.0492	1.0504	1.0561	1.0582	1.0614	1.0645	1.0677
1.0351	1.0360	1.0355	1.0443	1.0479	1.0562	1.0639	1.0726

ANEXO IX: mat_ang - matriz dos ângulos das tensões das barras

col_ang =

Columns 1 through 16

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.4601	0.8732	1.0131	0.7441	0.6242	-0.9964	-1.7837	-2.5256	-1.8955	-1.1247	-0.7523	-0.9177	-0.9067	-0.9586	-1.3841	-4.3060
-0.3035	0.6968	1.0463	0.5176	0.3543	-3.3254	-4.8787	-6.6251	-5.0669	-3.1965	-2.3031	-2.6957	-2.6772	-2.8029	-3.8240	-10.8907
-0.5308	0.1958	0.4366	-0.1032	-0.3816	-3.3443	-4.8954	-6.2017	-5.1323	-3.7981	-3.1460	-3.4382	-3.4149	-3.5050	-4.2490	-9.2712
-0.3268	0.2904	0.4925	0.0049	-0.2615	-2.8324	-4.2310	-5.3473	-4.4518	-3.3241	-2.7699	-3.0193	-2.9975	-3.0739	-3.7059	-7.9462
-0.9439	-0.0773	0.1820	-0.7852	-1.4520	-5.6040	-8.3748	-10.0209	-8.8788	-7.3360	-6.5488	-6.9140	-6.8639	-6.9699	-7.8652	-13.6217
-1.0679	-0.2404	0.0136	-0.8367	-1.3971	-5.2172	-7.6449	-9.1928	-8.0731	-6.5911	-5.8430	-6.1870	-6.1448	-6.2461	-7.0975	-12.6372
-1.0679	-0.2404	0.0136	-0.8367	-1.3971	-5.2172	-7.6449	-9.1928	-8.0731	-6.5911	-5.8430	-6.1870	-6.1448	-6.2461	-7.0975	-12.6372
-1.3428	-0.4636	-0.2028	-1.2127	-1.9186	-6.1839	-9.0721	-10.7469	-9.6017	-8.0423	-7.2439	-7.6152	-7.5629	-7.6700	-8.5778	-14.3874
-1.3260	-0.4275	-0.1589	-1.1650	-1.8597	-6.1700	-9.0497	-10.7557	-9.5737	-7.9749	-7.1592	-7.5376	-7.4858	-7.5956	-8.5233	-14.4839
-1.1699	-0.2773	-0.0094	-0.9972	-1.6756	-5.9345	-8.7622	-10.4535	-9.2750	-7.6853	-6.8758	-7.2512	-7.2004	-7.3095	-8.2306	-14.1586
-1.0780	-0.1925	0.0650	-1.0130	-1.7877	-6.1992	-9.2778	-10.9802	-9.8519	-8.2920	-7.4864	-7.8634	-7.8063	-7.9140	-8.8294	-14.6370
-1.1321	-0.2403	0.0205	-1.0502	-1.8138	-6.2284	-9.2866	-10.9987	-9.8546	-8.2798	-7.4680	-7.8475	-7.7906	-7.8992	-8.8217	-14.6843
-1.3962	-0.4370	-0.1488	-1.2030	-1.9250	-6.4950	-9.5201	-11.3422	-10.0677	-8.3533	-7.4804	-7.8842	-7.8299	-7.9475	-8.9406	-15.3399

Columns 17 through 24

0	0	0	0	0	0	0	0
-4.4670	-4.6141	-4.9826	-4.3321	-3.9868	-2.8365	-1.7620	-0.4618
-11.3160	-11.7565	-12.7251	-11.4352	-10.6988	-8.0306	-5.5320	-2.4646
-9.5255	-9.7297	-10.3129	-9.0555	-8.4138	-6.3860	-4.4813	-2.1814
-8.1513	-8.3022	-8.7739	-7.6463	-7.0818	-5.3438	-3.7100	-1.7437
-13.8036	-13.7909	-14.2210	-12.0270	-11.0336	-8.4285	-5.9702	-3.0786
-12.8393	-12.8875	-13.3596	-11.4314	-10.5373	-8.0964	-5.7943	-3.0685
-12.8393	-12.8875	-13.3596	-11.4314	-10.5373	-8.0964	-5.7943	-3.0685
-14.5612	-14.5262	-14.9385	-12.6576	-11.6317	-8.9763	-6.4687	-3.5233
-14.6711	-14.6552	-15.0973	-12.8185	-11.7875	-9.0876	-6.5393	-3.5410
-14.3488	-14.3423	-14.7906	-12.5516	-11.5360	-8.8608	-6.3363	-3.3638
-14.7898	-14.7081	-15.0761	-12.6509	-11.5751	-8.8628	-6.3009	-3.3047
-14.8439	-14.7737	-15.1561	-12.7456	-11.6723	-8.9511	-6.3787	-3.3689
-15.5469	-15.5449	-16.0336	-13.6320	-12.5415	-9.6639	-6.9493	-3.7532

ANEXO X: arquivo Relatorio-19.txt às 19:00 horas

Relatorio-19 - Notepad

File Edit Format View Help

08/19/93 UW ARCHIVE 100.0 1962 W IEEE 14 Bus Test Case

=====1=====2=====3=====4=====5=====6=====7=====8=====9=====0=====1=====2=====3==

1234 NNNNNNNNNNNN AAZZZ TT X.XXXX+XXX.XX+XXXXX.XX+XXXXX.XX+XXXXX.XX+XXXX.XX XXXX.XX X.XXXX+XXXX.XX+XXXX.XX+XX.XXXX+XX.XXXX 1234 1234

BUS DATA FOLLOWS

14 ITEMS

1	Bus 1	132kV	1	1	3	1.0600	0.00	0.00	0.00	232.39	-16.55	0.00	1.0600	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
2	Bus 2	132kV	1	1	2	1.0450	-4.98	21.70	12.70	40.00	43.56	0.00	1.0450	50.00	-40.00	0.0000	0.0000	0
3	Bus 3	132kV	1	1	2	1.0100	-12.73	94.20	19.00	0.00	25.08	0.00	1.0100	40.00	0.00	0.0000	0.0000	0
4	Bus 4	132kV	1	1	0	1.0177	-10.31	47.80	-3.90	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
5	Bus 5	132kV	1	1	0	1.0195	-8.77	7.60	1.60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
6	Bus 6	33kV	1	1	2	1.0700	-14.22	11.20	7.50	0.00	12.73	0.00	1.0700	24.00	-6.00	0.0000	0.0000	0
7	Bus 7	NaNkV	1	1	0	1.0615	-13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
8	Bus 8	11kV	1	1	2	1.0900	-13.36	0.00	0.00	0.00	17.62	0.00	1.0900	24.00	-6.00	0.0000	0.0000	0
9	Bus 9	33kV	1	1	0	1.0559	-14.94	29.50	16.60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.1900	0
10	Bus 10	33kV	1	1	0	1.0510	-15.10	9.00	5.80	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
11	Bus 11	33kV	1	1	0	1.0569	-14.79	3.50	1.80	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
12	Bus 12	33kV	1	1	0	1.0552	-15.08	6.10	1.60	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
13	Bus 13	33kV	1	1	0	1.0504	-15.16	13.50	5.80	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0
14	Bus 14	33kV	1	1	0	1.0355	-16.03	14.90	5.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0

-999

=====1=====2=====3=====4=====5=====6=====7=====8=====9=====0=====1=====2=====3==

1234 1234 AAZZZ C T+xx.xxxxxx+xx.xxxxxx xxx.xxxxx 12345 12345 12345 1234 1 x.xxxx +xxx.xx x.xxxx x.xxxx .xxxxx x.xxxx x.xxxx 1234

BRANCH DATA FOLLOWS

21 ITEMS

1	2	1	1	1	0	0.019380	0.059170	0.05280	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
1	5	1	1	1	0	0.054030	0.223040	0.04920	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
2	3	1	1	1	0	0.046990	0.197970	0.04380	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
2	4	1	1	1	0	0.058110	0.176320	0.03400	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
2	5	1	1	1	0	0.056950	0.173880	0.03460	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
3	4	1	1	1	0	0.067010	0.171030	0.01280	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
4	5	1	1	1	0	0.013350	0.042110	0.00000	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
4	7	1	1	1	0	0.000000	0.209120	0.00000	0	0	0	0	0	0.9780	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
4	9	1	1	1	0	0.000000	0.556180	0.00000	0	0	0	0	0	0.9690	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
5	6	1	1	1	0	0.000000	0.252020	0.00000	0	0	0	0	0	0.9320	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
6	11	1	1	1	0	0.094980	0.198900	0.00000	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
6	12	1	1	1	0	0.122910	0.255810	0.00000	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
6	13	1	1	1	0	0.066150	0.130270	0.00000	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000
7	8	1	1	1	0	0.000000	0.176150	0.00000	0	0	0	0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.0000	.00000	0.0000	0.0000

ANEXO XI: matriz "mat_med"

mat_med =

1.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0001	0.2159	1.5628
2.0000	1.0000	5.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.1691	0.7433
3.0000	2.0000	3.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.2186	0.7339
4.0000	4.0000	7.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0846	0.2823
5.0000	4.0000	9.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0488	0.1578
6.0000	5.0000	2.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.1429	-0.4001
7.0000	6.0000	11.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0141	0.0760
8.0000	6.0000	12.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0181	0.0784
9.0000	6.0000	13.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0430	0.1802
10.0000	7.0000	8.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0	0.0003
11.0000	8.0000	7.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0	-0.0003
12.0000	9.0000	10.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0250	0.0543
13.0000	9.0000	14.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0347	0.0920
14.0000	12.0000	13.0000	1.0000	1.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0029	0.0206
15.0000	0	3.0000	1.0000	2.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0001	-0.2920	-0.9452
16.0000	0	6.0000	1.0000	2.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0347	-0.1099
17.0000	0	9.0000	1.0000	2.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0738	-0.2920
18.0000	0	10.0000	1.0000	2.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0279	-0.0908
19.0000	0	13.0000	1.0000	2.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0339	-0.1388
20.0000	0	1.0000	1.0000	6.0000	0	0	0.0150	1.1000	0.0000	1.0600	1.0556
21.0000	1.0000	2.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.1689	-0.2029
22.0000	1.0000	5.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0526	0.0337
23.0000	2.0000	3.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.1122	0.0369
24.0000	4.0000	7.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.1106	-0.0937
25.0000	4.0000	9.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0335	-0.0050
26.0000	5.0000	2.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0299	-0.0169
27.0000	6.0000	11.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0308	0.0377
28.0000	6.0000	12.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0009	0.0225

29.0000	6.0000	13.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0028	0.0712
30.0000	7.0000	8.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0599	-0.1672
31.0000	8.0000	7.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0604	0.1721
32.0000	9.0000	10.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0551	0.0441
33.0000	9.0000	14.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.0369	0.0365
34.0000	12.0000	13.0000	1.0000	4.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0032	0.0093
35.0000	0	3.0000	1.0000	5.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.2704	0.0616
36.0000	0	6.0000	1.0000	5.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.2033	0.0538
37.0000	0	9.0000	1.0000	5.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	0.1825	-0.1739
38.0000	0	10.0000	1.0000	5.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0180	-0.0613
39.0000	0	13.0000	1.0000	5.0000	0	0	0.0200	1.0000	0.0000	-0.0145	-0.0626

Anexo XII: plano de medição para às 19:00 horas atualizado

S1_CS01_39M-19 - Notepad

File	Edit	Format	View	Help							
0001	0001	0002	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000148	+1.56883	+1.56277
0002	0001	0005	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000045	+0.75510	+0.74333
0003	0002	0003	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000044	+0.73238	+0.73388
0004	0004	0007	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000013	+0.28074	+0.28230
0005	0004	0009	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000008	+0.16080	+0.15779
0006	0005	0002	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000019	-0.40612	-0.40007
0007	0006	0011	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.07353	+0.07601
0008	0006	0012	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.07789	+0.07841
0009	0006	0013	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000009	+0.17746	+0.18023
0010	0007	0008	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000003	+0.00000	+0.00030
0011	0008	0007	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000003	+0.00000	-0.00032
0012	0009	0010	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.05228	+0.05426
0013	0009	0014	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000006	+0.09426	+0.09201
0014	0012	0013	01	01	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.01612	+0.02064
0015	0000	0003	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000065	-0.94200	-0.94516
0016	0000	0006	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000006	-0.11200	-0.10990
0017	0000	0009	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000014	-0.29500	-0.29200
0018	0000	0010	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000005	-0.09000	-0.09077
0019	0000	0013	01	02	000	0	0.020	1.000	0.000007	-0.13496	-0.13880
0020	0000	0001	01	06	000	0	0.015	1.100	0.000028	+1.06000	+1.05559
0021	0001	0002	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000010	-0.20404	-0.20295
0022	0001	0005	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03855	+0.03370
0023	0002	0003	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03560	+0.03694
0024	0004	0007	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000006	-0.09681	-0.09367
0025	0004	0009	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000003	-0.00428	-0.00497
0026	0005	0002	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000003	-0.02099	-0.01689
0027	0006	0011	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03561	+0.03765
0028	0006	0012	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.02501	+0.02249
0029	0006	0013	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.07219	+0.07119
0030	0007	0008	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000008	-0.17163	-0.16718
0031	0008	0007	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000008	+0.17624	+0.17211
0032	0009	0010	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.04219	+0.04407
0033	0009	0014	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.03610	+0.03654
0034	0012	0013	01	04	000	0	0.020	1.000	0.000003	+0.00758	+0.00930
0035	0000	0003	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000005	+0.06075	+0.06160
0036	0000	0006	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000004	+0.05231	+0.05382
0037	0000	0009	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000008	+0.04585	-0.17388
0038	0000	0010	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000005	-0.05800	-0.06127
0039	0000	0013	01	05	000	0	0.020	1.000	0.000005	-0.05807	-0.06259

medidores.ref
medidores.leitura

Anexo XIII: estimação de estados para às 19:00 horas

```

=====
Arquivo de medidores:      med\S1_CS01_39M_final-19.med
Arquivo do sistema:        sist\Relatorio-19.txt
Tolerância entre iterações: 1.00e-004
Limite de iterações:       10
=====

```

--- DADOS DA REDE ---

```

-----
Data do caso:      08/19/93
Origem:            UW ARCHIVE
MVA base:          100
Ano:               1962
Estação:           W
Identificação:      IEEE 14 Bus Test Case
Número de barras:   14
Número de ramos:    20
Referência na barra: 1
-----

```

--- TELEMEDIDAS ---

```

-----
Tipo 1 = Fluxo de potencia ativa      Tipo 6 = Módulo da tensão
Tipo 2 = Injeção de potencia ativa    Tipo 7 = Corrente de ramo (real)
Tipo 3 = Ângulo de fase da tensão     Tipo 8 = Corrente de ramo (imag)
Tipo 4 = Fluxo de potencia reativa    Tipo 9 = Injeção de corrente (real)
Tipo 5 = Injeção de potencia reativa  Tipo 10 = Injeção de corrente (imag)
-----

```

N	D	P	TP	PN	ST	Exa	FS	DP	V_Ref	V_Med	E(%)
1	1	2	1	0	0	0.020	01.0	0.00015	+1.56883	+1.59177	+1.462236
2	1	5	1	0	0	0.020	01.0	0.00005	+0.75510	+0.74552	-1.268706
3	2	3	1	0	0	0.020	01.0	0.00004	+0.73238	+0.72304	-1.275294
4	4	7	1	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.28074	+0.27641	-1.542352
5	4	9	1	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.16080	+0.16117	+0.230100
6	5	2	1	0	0	0.020	01.0	0.00002	-0.40612	-0.40558	-0.132966
7	6	11	1	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.07353	+0.07495	+1.931185
8	6	12	1	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.07789	+0.07926	+1.758891
9	6	13	1	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.17746	+0.17826	+0.450806
10	7	8	1	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.00000	+0.00000	+0.000000
11	8	7	1	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.00000	+0.00000	+0.000000
12	9	10	1	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.05228	+0.05185	-0.822494
13	9	14	1	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.09426	+0.09441	+0.159134
14	12	13	1	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.01612	+0.01600	-0.744417
15	0	3	2	0	0	0.020	01.0	0.00006	-0.94200	-0.95249	+1.113588
16	0	6	2	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.11200	-0.11078	-1.089286
17	0	9	2	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.29500	-0.29957	+1.549153
18	0	10	2	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.09000	-0.09157	+1.744444
19	0	13	2	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.13496	-0.13570	+0.548311
20	0	1	6	0	0	0.015	01.1	0.00003	+1.06000	+1.04639	-1.283962
21	1	2	4	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.20404	-0.20328	-0.372476
22	1	5	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.03855	+0.03908	+1.374838
23	2	3	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.03560	+0.03520	-1.123596
24	4	7	4	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.09681	-0.09809	+1.322177
25	4	9	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	-0.00428	-0.00420	-1.869159
26	5	2	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	-0.02099	-0.02128	+1.381610
27	6	11	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.03561	+0.03524	-1.039034
28	6	12	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.02501	+0.02462	-1.559376
29	6	13	4	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.07219	+0.07187	-0.443275
30	7	8	4	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.17163	-0.17241	+0.454466
31	8	7	4	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.17624	+0.17953	+1.866773
32	9	10	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.04219	+0.04218	-0.023702
33	9	14	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.03610	+0.03549	-1.689751
34	12	13	4	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.00758	+0.00756	-0.263852
35	0	3	5	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.06075	+0.06127	+0.855967
36	0	6	5	0	0	0.020	01.0	0.00000	+0.05231	+0.05231	+0.000000
37	0	9	5	0	0	0.020	01.0	0.00001	+0.04585	+0.04603	+0.392585
38	0	10	5	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.05800	-0.05701	-1.706897
39	0	13	5	0	0	0.020	01.0	0.00001	-0.05807	-0.05784	-0.396074

 Número de medidores SCADA: 39
 Número de PMUs: 0
 Número de medidas das PMUs: 0

Matriz de pesos formada com as covariâncias das telemedidas.
 Não há medidas de ângulo.
 Não há medidores desabilitados.

Estado Ref			Estado Est		TVE
Barra	Mod(pu)	Ang(graus)	Mod(pu)	Ang(graus)	(%)
1	1.0600	0.00	1.0539	0.00	0.5765
2	1.0450	-4.98	1.0386	-5.09	0.6477
3	1.0100	-12.73	1.0024	-12.88	0.7987
4	1.0177	-10.31	1.0082	-10.45	0.9677
5	1.0195	-8.77	1.0136	-8.87	0.6026
6	1.0700	-14.22	1.0687	-14.34	0.2407
7	1.0615	-13.36	1.0484	-13.51	1.2665
8	1.0900	-13.36	1.0775	-13.51	1.1755
9	1.0559	-14.94	1.0597	-15.15	0.5093
10	1.0510	-15.10	1.0538	-15.29	0.4332
11	1.0569	-14.79	1.0569	-14.94	0.2619
12	1.0552	-15.08	1.0546	-15.22	0.2584
13	1.0504	-15.16	1.0498	-15.30	0.2471
14	1.0355	-16.03	1.0375	-16.21	0.3702

Convergiu em: 3 iterações com TVE medio de 0.5969

--- RESIDUOS NORMALIZADOS ---

N	D	P	TP	Real	Medido	Estimado	Med-Est	rn
24	4	7	4	-0.0968	-0.0981	-0.0789	-1.9170e-002	19.387
37	0	9	5	+0.0459	+0.0460	+0.0389	+7.1442e-003	19.370
25	4	9	4	-0.0043	-0.0042	-0.0294	+2.5154e-002	16.292
32	9	10	4	+0.0422	+0.0422	+0.0531	-1.0952e-002	11.222
33	9	14	4	+0.0361	+0.0355	+0.0426	-7.1192e-003	10.002
23	2	3	4	+0.0356	+0.0352	+0.0417	-6.5253e-003	8.882
35	0	3	5	+0.0607	+0.0613	+0.0649	-3.6711e-003	8.662
36	0	6	5	+0.0523	+0.0523	+0.0567	-4.3672e-003	8.329
27	6	11	4	+0.0356	+0.0352	+0.0286	+6.6507e-003	7.078
15	0	3	2	-0.9420	-0.9525	-0.9323	-2.0235e-002	5.393
38	0	10	5	-0.0580	-0.0570	-0.0539	-3.0721e-003	4.812
29	6	13	4	+0.0722	+0.0719	+0.0655	+6.3788e-003	3.619
20	0	1	6	+1.0600	+1.0464	+1.0539	-7.4988e-003	2.842
6	5	2	1	-0.4061	-0.4056	-0.3988	-6.7715e-003	2.782
12	9	10	1	+0.0523	+0.0519	+0.0539	-2.0482e-003	2.773
18	0	10	2	-0.0900	-0.0916	-0.0902	-1.4163e-003	2.400
28	6	12	4	+0.0250	+0.0246	+0.0216	+3.0187e-003	2.335
17	0	9	2	-0.2950	-0.2996	-0.3013	+1.7784e-003	2.268
7	6	11	1	+0.0735	+0.0750	+0.0733	+1.6651e-003	2.173
26	5	2	4	-0.0210	-0.0213	-0.0195	-1.7333e-003	1.775
2	1	5	1	+0.7551	+0.7455	+0.7539	-8.3366e-003	1.503
13	9	14	1	+0.0943	+0.0944	+0.0954	-9.8110e-004	1.240
1	1	2	1	+1.5688	+1.5918	+1.5857	+6.0965e-003	1.195
3	2	3	1	+0.7324	+0.7230	+0.7283	-5.2330e-003	1.091
22	1	5	4	+0.0386	+0.0391	+0.0377	+1.4077e-003	1.017
21	1	2	4	-0.2040	-0.2033	-0.2025	-7.5547e-004	0.838

21	1	2	4	-0.2040	-0.2033	-0.2025	-7.5547e-004	0.838
39	0	13	5	-0.0581	-0.0578	-0.0585	+6.8889e-004	0.742
16	0	6	2	-0.1120	-0.1108	-0.1105	-2.9412e-004	0.732
31	8	7	4	+0.1762	+0.1795	+0.1784	+1.1352e-003	0.559
30	7	8	4	-0.1716	-0.1724	-0.1736	+1.1565e-003	0.557
5	4	9	1	+0.1608	+0.1612	+0.1624	-1.2055e-003	0.476
8	6	12	1	+0.0779	+0.0793	+0.0785	+7.4814e-004	0.475
19	0	13	2	-0.1350	-0.1357	-0.1362	+4.5401e-004	0.379
9	6	13	1	+0.1775	+0.1783	+0.1776	+7.0465e-004	0.306
14	12	13	1	+0.0161	+0.0160	+0.0157	+3.0711e-004	0.238
4	4	7	1	+0.2807	+0.2764	+0.2761	+2.9274e-004	0.209
34	12	13	4	+0.0076	+0.0076	+0.0077	-1.7240e-004	0.131
11	8	7	1	+0.0000	+0.0000	+0.0000	-6.8695e-016	0.000
10	7	8	1	+0.0000	+0.0000	-0.0000	+6.8695e-016	0.000

Possível erro grosseiro no medidor 24!

Não foram identificadas medidas críticas.

Possíveis conjuntos críticos:

Conjunto 1: 10 11

Conjunto 2: 8 5

Conjunto 3: 30 31

Conjunto 4: 12 6

Conjunto 5: 37 24

Medidas com alta correlação: 10 e 11

Medidas com alta correlação: 30 e 31

ANEXO XIV: comparativo das curvas de cargas simuladas pelo SimSEP

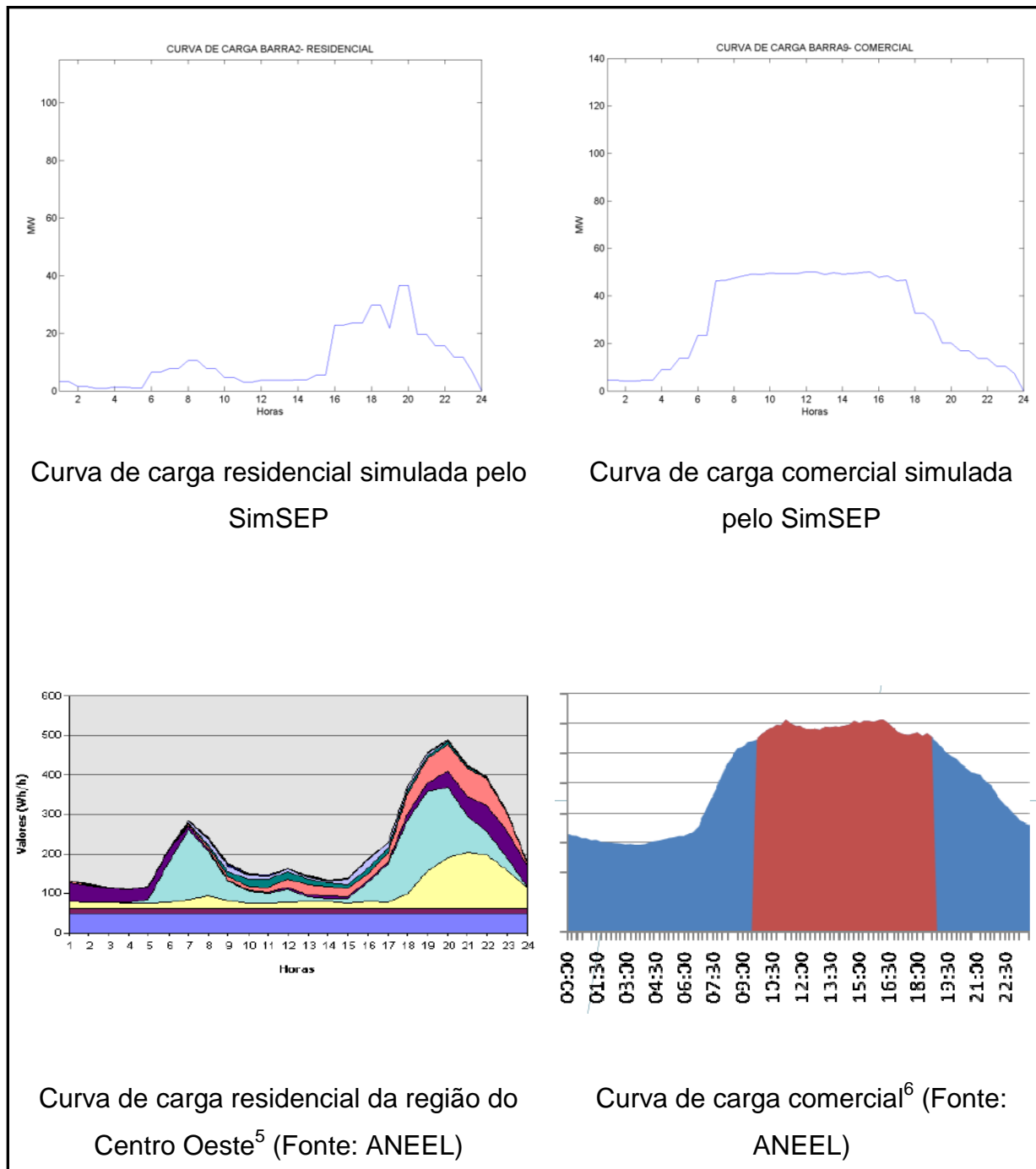


Figura 26: comparativo de curvas de cargas

⁵ e ¹⁰ Disponíveis em:

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf> Acesso em: 02 de jul. 2017)

ANEXO XV: erro vetorial total médio com o Estimador Convencional

Tabela 5: Estimador Convencional com o sistema de medição SCADA ((GUIMARAENS, 2015)

Barra	Referência		Estimação		EVT (%)
	V (pu)	θ (°)	V (pu)	θ (°)	
1	1,060	0,000	1,068	0,000	0,7253
2	1,045	-4,980	1,053	-4,900	0,7627
3	1,010	-12,730	1,018	-12,570	0,8294
4	1,018	-10,310	1,025	-10,320	0,6527
5	1,020	-8,770	1,028	-8,710	0,7412
6	1,070	-14,220	1,078	-14,130	0,7189
7	1,062	-13,360	1,069	-13,320	0,6204
8	1,090	-13,360	1,097	-13,330	0,6070
9	1,056	-14,940	1,063	-14,850	0,6950
10	1,051	-15,100	1,058	-15,010	0,7118
11	1,057	-14,790	1,065	-14,680	0,7387
12	1,055	-15,080	1,062	-14,990	0,7092
13	1,050	-15,160	1,057	-15,060	0,7241
14	1,036	-16,030	1,043	-15,930	0,7268
EVT Médio					0,7111