



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Engenharia Elétrica

Jamilson dos Santos Silva

Desenvolvimento de um Aplicativo de Cálculo de Fluxo de Carga em Rede de Distribuição Usando API do Google Sheets para Python

Campina Grande, Abril de 2024

Jamilson dos Santos Silva

Desenvolvimento de um Aplicativo de Cálculo de Fluxo de Carga em Rede de Distribuição Usando API do Google Sheets para Python

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Fluxo de Potência

Orientador:

Prof. Benemar Alencar de Souza

Campina Grande, 30 de Abril de 2024

Jamilson dos Santos Silva

Desenvolvimento de um Aplicativo de Cálculo de Fluxo de Carga em Rede de Distribuição Usando API do Google Sheets para Python

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em 14/05 /2024

Prof. Núbia Silva Dantas Brito, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Prof. Benemar Alencar de Souza, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a Deus, por estar sempre comigo em todos os momentos da minha vida e secundamente a minha Mãe que não mediu esforços para me proporcionar a oportunidade de sair da minha cidade e cursar uma faculdade, por estar sempre trabalhando para me manter firme em meus sonhos, devo tudo a ela pois foi sua criação que me fez ser quem eu sou hoje. Agradeço também a toda a minha família que de forma direta e indireta contribuíram durante todos esses anos.

Quero agradecer também a meus amigos que sempre esteve presente em meu dia a dia durante toda essa jornada, em especial a Geraldo Rodrigues, Ítalo Modesto, Alan Dayvison, Jucimara Cardoso e Rayanne Oliveira que tornaram-se minha segunda família. Quero agradecer também a minha namorada Nathalia Loyanne que se fez presente em minha vida ao longo dos últimos 3 anos me dando apoio, não me deixando abalar nos momentos difíceis.

Resumo

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um aplicativo que auxilie no estudo de fluxo de potência em sistemas de configurações radiais, aplicando dois métodos: o Método da Soma de Potência e o Método dos Momentos de Transporte. A linguagem de programação Python é utilizada em conjunto com as ferramentas Google Colaboratory e o Google Sheets para o desenvolvimento do aplicativo que conecta os dois ambientes através de uma API. A planilha é utilizada como auxílio para leituras dos dados de entrada e escrita dos resultados calculados pelos dois métodos. Além disso, são realizados estudos de casos simulando três sistemas diferentes na aplicação desenvolvida e apresentando os resultados obtidos.

Palavras-Chave: Fluxo de Potência, Sistema de Distribuição de Energia Elétrica, Python, Google Sheets, Google Colaboratory, Método da Soma de Potências, Método dos Momentos de Transporte.

Abstract

The object of this work is to develop an application to help study power flow in radially configured systems, applying two methods: the Power Sum Method and the Transport Moment Method. The Python programming language is used in conjunction with the Google Collaboratory and Google Sheets tools to develop the application that connects the two environments via an API. The spreadsheet is used to read the input data and write the results calculated by the two methods. In addition, case studies are carried out simulating three different systems in the application developed and presenting the results obtained.

Keywords: Power Flow, Electricity Distribution System, Python, Google Sheets, Google Collaboratory, Power Sum Method, Transport Moment Method.

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Esquema de um Sistema Elétrico de Potência	9
Figura 2 – Esquema de um sistema elétrico de potência tipo malha	10
Figura 3 – Esquema de um Sistema Elétrico de Potência tipo radial	11
Figura 4 – Um trecho genérico da rede de distribuição	11
Figura 5 – Diagrama fasorial do sistema	11
Figura 6 – Criando novo projeto no site Google Cloud	13
Figura 7 – Ativação de APIs e Serviços	17
Figura 8 – Acesso às credenciais	18
Figura 9 – Modelo de código de conexão de API do Google Sheets	18
Figura 10 – Selecionando id através da URL do Google Sheets	18
Figura 11 – Selecionando nome da planilha	19
Figura 12 – Dados de entrada para cálculo de fluxo de carga em rede radial	20
Figura 13 – Dados de entrada para cálculo de fluxo de carga em rede radial.	21
Figura 14 – Criação de data frame	23
Figura 15 – Função DataFrame da biblioteca pandas	23
Figura 16 – Função de verificação de radialidade	24
Figura 17– Função atualização de dados na planilha	24
Figura 18 – Função de preenchimento de cores na planilha.....	25
Figura 19 – Diagrama de blocos	26
Figura 20 – Sistema radial de 34 barras	27
Figura 21 – Sistema radial de 70 barras.....	28

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultado do sistema de 34 barras (MSP)	28
Tabela 2 – Resultado do sistema de 34 barras (MMT).....	30
Tabela 3 – Perdas de potência do sistemas de 34 barras.....	31
Tabela 4 – Resultado Sistema de 70 Barras (MSP)	32
Tabela 5 – Resultado sistema de 70 Barras (MMT).....	35
Tabela 6 – Perdas de Potência do sistema de 70 Barras.....	37
Tabela 7 – Perdas de Potência do Sistema de 1080	38
Tabela 8 – Erros do MMT em relação ao MSP com 1 iteração.....	39
Tabela 9 – Menor tensão calculada por MMT em relação a MSP com 1 iteração	39

Sumário

Resumo.....	3
Abstract.....	4
Lista de Ilustrações.....	5
Lista de tabelas.....	6
1. Introdução.....	8
1.1. Objetivos.....	9
1.2. Motivação e Justificativas.....	9
2. Fundamentação teórica.....	11
2.1. Sistema Elétrico de Potência.....	11
2.2. Fluxo de Potência.....	11
2.3. Método da Soma de Potência.....	13
2.4. Método dos Momentos de Transporte.....	16
3. Metodologia.....	19
3.1. Importação das bibliotecas necessárias.....	19
3.2. Autenticação na API do Google Sheets.....	19
3.3. Abertura da planilha desejada.....	21
3.4. Acesso e alteração dos dados da planilha.....	21
3.5. Os dados e a planilha que os contém.....	22
4. Programa em Python.....	24
4.1. A biblioteca Pandas.....	24
4.2. Algumas funções desenvolvidas ou aplicadas.....	25
4.3. Diagrama de blocos.....	27
Figura 19 – Diagrama de blocos.....	28
5. Estudo de casos.....	29
5.1. Sistema de 34 Barras.....	29
5.2. Sistema de 70 Barras.....	32
5.3. Sistema de 1080 Barras.....	38
6. Comparação de Métodos.....	40
7. Conclusão.....	42
8. Referências.....	43
Apêndice A - Sistemas Teste.....	44
Anexo B- Código em Python.....	65

1. Introdução

O cálculo do fluxo de potência é uma tarefa de sistemas de potência de grande importância por si mesmo, mas também por fazer parte da solução de uma gama de outros problemas igualmente importantes, a exemplo da reconfiguração e compensação reativa de redes, determinação do limite de estabilidade de tensão e da capacidade remanescente, planejamento e operação de sistemas de potência, planejamento e operação da geração distribuída, dentre outros.

É de extrema importância a determinação dos parâmetros da rede elétrica, seja na etapa de planejamento ou durante o funcionamento da mesma e para isso o estudo do fluxo de carga ou também chamado de fluxo de potência proporciona o conhecimento das tensões nas barras, correntes nas linhas de transmissão, potências líquidas ativa e reativa bem como suas perdas ao longo de cada trecho do sistema, (SOUZA, 2021).

Para cálculo de fluxo de carga em redes de energia elétrica em geral se empregam métodos numéricos matriciais. Com exceção do método linearizado, mais conhecido como fluxo de carga CC, que é um método muito aproximado e, portanto, empregado em estudos de planejamento apenas, os métodos de fluxo de carga iterativos mais usuais são o método de Gauss-Seidel e os métodos de Newton.

As redes de distribuição podem ter sua configuração na forma de malha ou na forma radial, entretanto o sistema atual é predominantemente radial, o que dispensa a representação matricial delas e, por conseguinte, o emprego de métodos matriciais para cálculo do fluxo de carga. Para a configuração em questão, emprega-se métodos computacionalmente mais eficientes, como os métodos da soma de potência e dos momentos de transporte.

Isto posto, este trabalho de conclusão de curso visa o desenvolvimento de um ferramenta que auxilie na resolução dos problemas de cálculo de fluxo de carga em redes de distribuição radiais, com base nos dois métodos computacionais de varredura citados.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma aplicação baseada em planilha eletrônica usando ferramentas computacionais e linguagem de programação Python, com objetivo de auxiliar na resolução dos problemas de cálculo de fluxo de cargas em redes elétricas de configurações radiais, empregando duas opções de métodos:

- i. Método da soma de potência;
- ii. Método dos momentos de transporte.

1.2. Motivação e Justificativas

Na disciplina Gerenciamento de Energia do curso de graduação em engenharia elétrica da UFCG se tomou conhecimento do método da soma de potência – MSP para cálculo do fluxo de potência em redes de distribuição. Além dos fundamentos do MSP, se recebeu uma planilha Google com o código Javascript¹ em que o MSP havia sido programado. A planilha de cálculo do fluxo de carga oferecida pelo professor da disciplina funciona bem, mas tem margem para melhorias. No primeiro momento, se pensou em criar uma segunda versão do aplicativo em Javascript. Entretanto, decidiu-se por investir em um novo aplicativo, empregando-se a linguagem de programação Python. As justificativas de mudança da linguagem são várias:

- i. Python é uma linguagem de alto nível, de fácil aprendizagem e emprego, e que conta com muitas bibliotecas prontas para uso;
- ii. Python é hoje a linguagem de programação mais usada no mundo, notadamente no campo da computação científica, contando com uma comunidade muito grande e ativa;
- iii. O autor tem bom domínio do Python, mas pretende desenvolver suas habilidades na linguagem com este projeto, na perspectiva de ampliar seu domínio para projetos futuros.

O uso da *Interface* de programação de aplicações ou API, como são mais conhecidas, é justificado devido ser um conjunto de definições e protocolos para criar e integrar *softwares* de aplicações. Com elas é possível criar *softwares*, aplicativos, programas e plataformas diversas. Por exemplo, apps desenvolvidos para celulares Android e iPhone (iOS) são criados a partir de padrões estabelecidos e oferecidos pelas API de cada sistema operacional. As API são de três tipos:

- i. abertas ou públicas
- ii. privadas ou internas
- iii. restritas, entre parceiros.

Google Collaboratory, mais conhecido como Google Colab, é um serviço de armazenamento em nuvem de notebooks voltados à criação e execução de códigos em Python, diretamente em um navegador, sem a necessidade de instalação de nenhum tipo de software na máquina do usuário. Com ele se é capaz de ler, desenvolver e rodar códigos e textos formatados em documentos interativos que agrupam células de códigos — chamados de notebooks —,

¹ Javascript é a linguagem de programação empregada pelos aplicativos Google para automação de tarefas (escrever macros). De fato, uma nova versão do Javascript foi criada pelo Google que funciona pelo lado do servidor, denominada de Google Apps Script ou GAS.

compartilhá-los com outros programadores, modificá-los a qualquer momento e mantê-los salvos de maneira totalmente online.

A execução do *software* que se escreve é fornecido gratuitamente pela nuvem de computadores da Google. O Colab é hospedado pelo Jupyter Notebook, um *software* de código aberto que também oferece um ambiente *online* para a utilização de *notebooks* e é quem possibilita o funcionamento de código mais anotações e *markdown* do Colab. A diferença entre utilizar o Jupyter Notebook instalado na máquina do usuário e utilizar o Google Colab é que, com o Colab, não haverá necessidade de realizar configurações na máquina local: basta acessá-lo e começar a programar. Roveda (2020) explica em detalhes como usar o Colab.

As justificativas da escolha do Google Colaboraty (Colab) são:

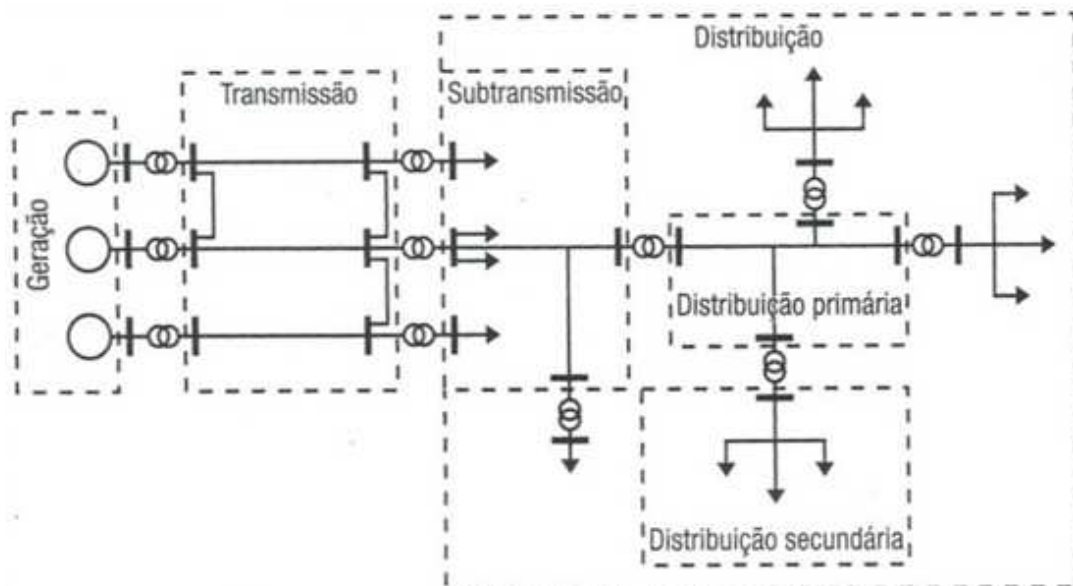
- i. Acesso a todas as ferramentas necessária online;
- ii. Facilidade de acesso à bibliotecas pré instaladas;
- iii. Uso de Unidade de Processamento Gráfico, ou GPU) do inglês Graphics Processing Unit;
- iv. Facilidade de compartilhamento.

2. Fundamentação teórica

2.1. Sistema Elétrico de Potência

O sistema elétrico de potência (SEP) é um conjunto enorme, criado para interligar a geração de energia até os consumidores com objetivo de atendê-los de forma segura e com qualidade. O SEP é um conjunto complexo que pode ser dividido em três etapas sendo elas a geração, transmissão e a distribuição. A primeira delas, a parte geradora, é composta por máquinas elétricas de grande porte que converte energia cinética em elétrica, estes geradores em conjunto com os transformadores que elevam os níveis das tensões em cada fase com intuito de abaixar as correntes das linhas de transmissão. Em seguida temos a fase de transmissão, que por sua vez é composta por enormes cabos acoplados em torres de transmissão percorrendo longas distâncias com a finalidade de conectar-se à terceira etapa. Conhecida como etapa de distribuição, é composta por subestações abaixadoras das tensões com a finalidade de atender as mais diversas cargas, sejam elas de grande, médio ou baixo consumo. Guimarães (2023) diz que um fator contribuinte para a complexidade do SEP, é devido a demanda de consumo exigida ser imprevisível, desta forma influenciando diretamente na variação da energia gerada.

Figura 1– Esquema de um Sistema Elétrico de Potência



Fonte: unesp (2015)

2.2. Fluxo de Potência

Durante as fases de planejamento e operação das redes elétricas é necessário um estudo específico, conhecido como estudo de fluxo de potência ou fluxo de carga e para tornar isso possível é de suma importância uma modelagem precisa de cada componente do sistema de tal forma a se obter os resultados mais próximos possíveis da realidade e que sejam computacionalmente executáveis, (JUNQUEIRA 2015).

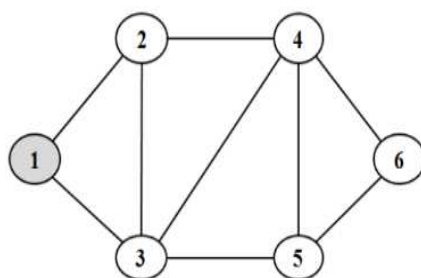
Os resultados do estudo de fluxo de carga interessam tanto na fase de planejamento quanto de operação, quando são aplicados para avaliar se o funcionamento do sistema é seguro e eficiente. Situações específicas em que há necessidade de análise do fluxo de potência são aquelas em que quer: alocar bancos de capacitores, analisar contingências (perdas de linhas), analisar a estabilidade do sistema, realizar reconfigurações emergenciais, reformar, ou expandir a rede, instalar novas cargas ou parques de geração, entre outras (JUNQUEIRA 2015).

O estudo de fluxo de carga é um problema que se resolve mediante aplicação de métodos numéricos às equações não lineares que modelam matematicamente o sistema elétrico. Alguns métodos se destacam nesses quesitos tais como o método de Gauss-Seidel e os métodos de Newton. Junqueira (2015) diz que o método de Newton-Raphson e seus derivados estão entre os mais utilizados devido a serem eficientes com uma rápida convergência em comparação com outros métodos e por serem desenvolvidos para análise de sistemas de distribuição, caracterizados por sua forma malhada, ou seja linhas paralelas e interligadas permitindo ter mais de um trecho ligado a carga Figura 2.

A configuração radial, que predomina nas redes de distribuição, se caracteriza por ter um único caminho da fonte ao consumidor, como se vê na Figura 3. Tal predominância deve-se ao fato da rede radial ser de baixo custo de construção e manutenção, além de ser de muito fácil expansão (MARTINS, 2018).

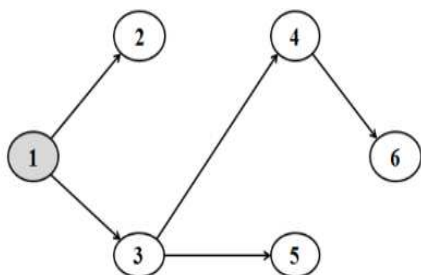
Para o estudo de fluxo de carga em redes radiais foram desenvolvidos métodos característicos que utilizam as técnicas de varredura progressiva e regressiva, onde na primeira, sua análise é feita iniciando da barra da subestação em direção a carga, enquanto a segunda é feita da barra da carga em direção à subestação. Os métodos de Soma de Corrente (MSC), Soma de Potência (MSP) e o método dos momentos de transporte (MMT), corroboram para uma análise do sistema radial com objetivo de ter conhecimento dos valores das tensão nas barras, fluxo de potência ativa e reativa do sistema de distribuição, (MARTINS, 2018).

Figura 2 – Esquema de um sistema elétrico de potência tipo malha



Fonte: Nizer (2020, p.4)

Figura 3 – Esquema de um Sistema Elétrico de Potência tipo radial



Fonte: Nizer (2020, p.4)

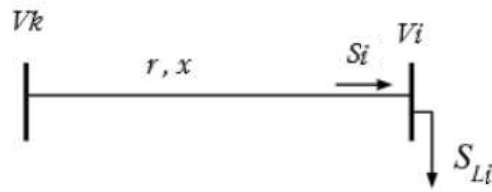
2.3. Método da Soma de Potência

Por ser um método iterativo simples e eficiente, o Método da Soma de Potência (MSP) é um dos mais utilizados para cálculo de fluxo de carga em sistemas de distribuição. O método proposto por Céspedes (1990) foi desenvolvido com base em algumas propriedades do sistema de distribuição:

- Configuração radial;
- Susceptância capacitiva em derivação desprezível;
- Todas as barras do tipo PQ (barras de carga), exceto a barra da subestação;

Por ser de varredura, o método adota um processamento sequencial, no qual os cálculos vão sendo feitos para cada trecho a partir dos resultados dos cálculos para o trecho imediatamente anterior ou posterior, conforme a varredura seja progressiva ou regressiva. O trecho é a parte do alimentador compreendido entre duas barras. Na Figura 4 temos um trecho entre as barras k e i .

Figura 4 – Um trecho genérico da rede de distribuição.



Fonte: Gutterres (2006)

No sistema temos:

r - resistência do trecho;

x - reatância do trecho;

V_k - tensão na barra de origem do trecho;

V_i - tensão na barra no fim do trecho;

P - potência ativa no final do trecho;

Q - potência reativa no final do trecho;

I - corrente na linha do trecho;

Sabendo que S é a potência aparente no final do trecho, logo:

$$S = V_i I_i^* = P + jQ$$

e

$$I = (P - jQ)/V_i^* \quad (1)$$

Usando a lei das malhas de Kirchhoff, temos

$$V_k - V_i = I \cdot (R + jX). \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), temos:

$$V_k - V_i = \frac{P - jQ}{V_i} \cdot (R + jX)$$

Sendo $V_i = |V_i| \angle \theta_i$ e $V_k = |V_k| \angle \theta_k$ obtemos

$$|V_k| \cdot |V_i| \angle (\theta_k - \theta_i) - |V_i|^2 = (P - jQ) \cdot (R + jX)$$

$$|V_k| \cdot |V_i| \cdot [\cos(\theta_k - \theta_i) + j \operatorname{sen}(\theta_k - \theta_i)] - |V_i|^2 = (P - jQ) \cdot (R + jX)$$

Fazendo $(\theta_k - \theta_i) = \delta$, obtém-se:

$$|V_k| \cdot |V_i| \cdot [\cos\delta + j \operatorname{sen}\delta] - |V_i|^2 = (P - jQ) \cdot (R + jX)$$

Separando parte real e imaginária:

$$|V_k| \cdot |V_i| \cdot \cos\delta - |V_i|^2 = (P \cdot R + Q \cdot X)$$

$$|V_k| \cdot |V_i| \cdot \sen\delta = (P \cdot X - Q \cdot R)$$

Isolando o $\sen\delta$ e $\cos\delta$, obtemos:

$$\cos\delta = \frac{(P \cdot R + Q \cdot X)}{|V_k| \cdot |V_i|} \text{ e } \sen\delta = \frac{(P \cdot X - Q \cdot R)}{|V_k| \cdot |V_i|}$$

Usando a propriedade trigonométrica $\sen^2 \delta + \cos^2 \delta = 1$ e realizando as simplificações chegamos na seguinte equação:

$$|V_i|^4 - 2\left(\frac{1}{2}|V_k|^2 - PR - QX\right)|V_i|^2 + (P^2 + Q^2)(R^2 + X^2) = 0$$

Fazendo:

$$|V_i|^4 - 2A|V_i|^2 + B = 0 \quad (3)$$

onde $A = \frac{1}{2}|V_k|^2 - PR - QX$ e $B = (P^2 + Q^2)(R^2 + X^2)$.

A resolução da Equação 3 pode ser resolvida usando a fórmula de Báskara, assim, temos:

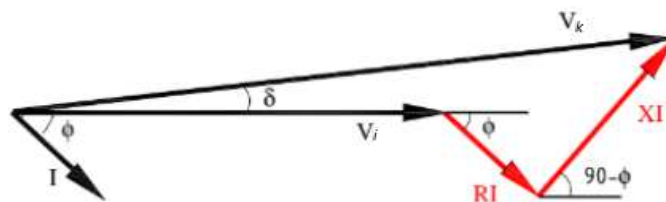
$$|V_i|^2 = \frac{2A + \sqrt{4A^2 - 4B}}{2}$$

Logo,

$$|V_i| = \sqrt{A + \sqrt{A^2 - B}} \quad (4)$$

O diagrama fasorial do sistema em questão (Figura 5).

Figura 5 – Diagrama fasorial do sistema.



Fonte: Gutterres (2006)

Para a potência ativa e reativa no final do trecho i , temos:

$$P_i = |V_i| \cdot |I| \cos\phi \text{ e } Q_i = |V_i| \cdot |I| \sen\phi.$$

obtendo:

$$|I|^2 \cos^2 \phi = \frac{P_i^2}{|V_i|^2} \text{ e } |I|^2 \sin^2 \phi = \frac{Q_i^2}{|V_i|^2}$$

Combinando ambas as equações podemos encontrar:

$$|I|^2 = \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (5)$$

Sendo as perdas ativas no trecho i , originadas pela resistência da linha, dada por $R|I|^2$ e as perdas capacitivas, dadas por $X|I|^2$, substituído a Equação 7 em ambas as expressões, obtemos :

$$\Delta P_i = R_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{|V_i|^2} \quad (6)$$

$$\Delta Q_i = \frac{X_i}{R_i} \Delta P_i \quad (7)$$

Seja o trecho i definido pela barra i , interligada na barra k e seja β_i o conjunto de trecho interligados a barra i , logo os fluxos de potência no final de cada trecho é dado por:

$$P_i = P_{Li} + \sum_{n=1}^{\beta_i} (P_n + \Delta P_n) \quad (8)$$

$$Q_i = P_{Li} + \sum_{n=1}^{\beta_i} (Q_n + \Delta Q_n), \quad (9)$$

sendo:

P_i e Q_i – fluxo de potência ativa e reativa no trecho i ;

P_{Li} e Q_{Li} – potência ativa e reativa da carga instalada na barra i ;

ΔP_n e ΔQ_n – perdas de potência ativa e reativa no trecho n ;

P_n e Q_n – potência ativa e reativa no trecho n .

2.4. Método dos Momentos de Transporte

Este método é uma simplificação do MSC, para torná-lo de varredura apenas regressiva e única. Assim, se passa a dispor de um método muito rápido, embora aproximado, de cálculo das tensões e das perdas em redes de distribuição, o que pode ser conveniente para estudos de planejamento.

O MSC difere do MSP quanto ao controle do processo iterativo. Enquanto no MSP as perdas totais são as variáveis de iteração, no MSC são as tensões, as quais são inicializadas com o valor da tensão na saída da subestação e vão sendo ajustadas a cada iteração.

No método dos momentos de transporte – MMT a simplificação consiste em dispensar as interações de ajustes da tensão. Da primeira vez que os fluxos e as perdas são calculados já são aceitos em definitivo. As quedas de tensão são calculadas por processo semelhante ao de cálculo das perdas, supostos independentes. A aproximação que é feita por considerar que o perfil de tensão é plano e as aberturas angulares dos trechos são nulas, para efeito dos cálculos de queda de tensão e das perdas, é bastante razoável, a não ser que o sistema esteja demasiadamente carregado. Outra hipótese simplificativa que é usualmente feita e se coaduna com a natureza dos estudos para os quais o método se aplica é a de que todas as cargas têm o mesmo fator de potência.

No trecho genérico i da rede, entre as barras k e i , que é esquematizado na Figura 4, as perdas totais trifásicas de potência ativa e reativa, respectivamente, se expressam do seguinte modo:

$$\Delta P_i = 3r_i I_i^2 \quad (10)$$

e

$$\Delta Q_i = 3x_i I_i^2, \quad (11)$$

sendo:

ΔP_i as perdas de potência ativa no trecho i em MW;

ΔQ_i as perdas reativas no trecho i em Mvar;

r_i a resistência do trecho i em Ω/km ;

x_i a reatância do trecho i em Ω/km ;

I_i a corrente de linha no trecho i em kA;

Por outro lado, se tem a seguinte expressão:

$$S_i = \sqrt{3}V_i I_i, \quad (12)$$

sendo:

S_i o fluxo de potência aparente total trifásica no fim do trecho i em MVA;

V_i a tensão de linha da barra i em kV;

I_i a corrente de linha no trecho i em kA.

Combinando-se as expressões (10) e (11) com a (12) se chega a:

$$\Delta P_i = \frac{r_i}{V_i^2} S_i^2 \quad (13)$$

e

$$\Delta Q_i = \frac{x_i}{V_i^2} S_i^2. \quad (14)$$

Considerando $V_i \simeq V_0$, $r_i = r_0$ e $x_i = x_0$ se chega às seguintes expressões das perdas no trecho i :

$$\Delta P_i = \frac{r_0}{V_0^2} S_i^2 \quad (15)$$

e

$$\Delta Q_i = \frac{x_0}{V_0^2} S_i^2. \quad (16)$$

Deste modo, as perdas são funções do comprimento e do fluxo no trecho, pois os parâmetros r_0/V_0^2 e x_0/V_0^2 , chamados de momentos de transportes, são os mesmos para todos os trechos da rede.

Os fluxos nos trechos podem ser aproximados pelo somatório das cargas instaladas a jusante. Senão, as perdas devem ser calculadas por varredura regressiva, de modo que possam se somar as cargas para se ter um valor mais preciso dos fluxos.

Para cálculo das quedas de tensão nos vários trechos da rede, o procedimento é parecido com o de antes. Para o trecho genérico i , entre as barras k e i , a queda de tensão é:

$$\Delta V = V_k - V_i. \quad (17)$$

Conforme o diagrama fasorial da Figura 5:

$$\frac{V_k}{\sqrt{3}} \cos\delta - \frac{V_i}{\sqrt{3}} = r_i I_i \cos\phi + x_i I_i \sin\phi, \quad (18)$$

ou

$$\frac{V_k}{\sqrt{3}} \cos\delta - \frac{V_i}{\sqrt{3}} = (r_i \cos\phi + x_i \sin\phi) I_i. \quad (19)$$

Combinando as equações 12 e 19 se obtém:

$$\frac{V_k}{\sqrt{3}} \cos\delta - \frac{V_i}{\sqrt{3}} = (r_i \cos\phi + x_i \sin\phi) \frac{S_i}{\sqrt{3} V_i}. \quad (20)$$

Para $\delta \ll$, como é próprio de sistemas de distribuição, $\cos\delta \simeq 1$ e outra vez considerando $V_i \simeq V_0$, $r_i = r_0$ e $x_i = x_0$ se chega a:

$$\Delta V_i = V_k - V_i = \frac{r_0 \cos\phi + x_0 \sin\phi}{V_0^2} S_i^2, \quad (21)$$

sendo:

ΔV_i a queda de tensão no trecho i em kV;

r_0 a resistência da rede em todos os trechos em Ω/km ;

x_0 a reatância da rede em todos os trechos em Ω/km ;

S_i o fluxo de potência aparente trifásico total no trecho i em MVA;

φ ângulo cujo cosseno é o fator de potência das cargas instaladas na rede;

Também é usual expressar a queda de tensão em percentagem:

$$\Delta V_i = V_k - V_i = \frac{r_0 \cos\phi + x_0 \sin\phi}{V_0^2} S_i.$$

3. Metodologia

Para desenvolvimento do aplicativo de cálculo de fluxo de carga em redes de distribuição radiais, por ambos os métodos apresentados antes, foi escrito um código na linguagem de programação *Python* utilizando o *Google Collaboratory*. Para obter acesso e alterar os dados na planilha do *Google*, utilizará a *API* do *Google Sheets* e algumas bibliotecas *Python*.

Os principais passos a serem seguidos são:

3.1. Importação das bibliotecas necessárias

As bibliotecas que serão utilizadas permitem o acesso a *API* do *Google Sheets*, a manipulação de suas planilhas, a transformação dos dados em formato de tabela *.csv* e o uso de equações matemáticas bastante comum na linguagem *Python*.

As principais bibliotecas são:

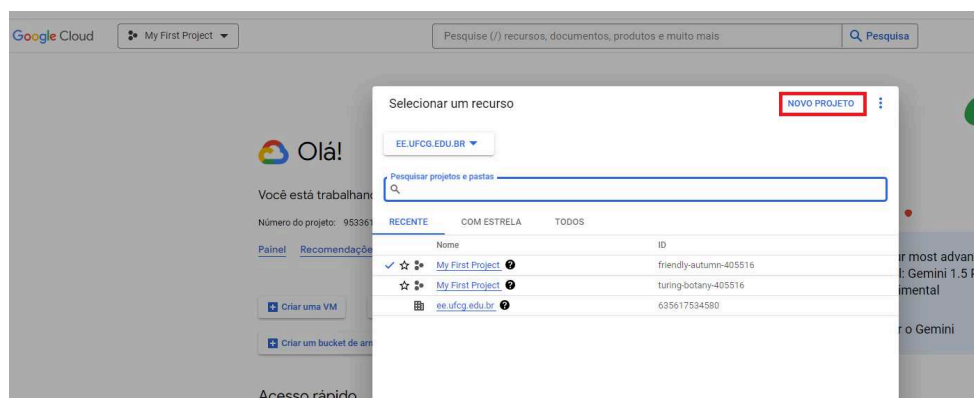
- `gsread`
- `oauth2client.service_account`
- `pandas`
- `math`
- `numpy`

3.2. Autenticação na API do Google Sheets

Para ter acesso a *API* do *Google Sheets* é necessário seguir os seguintes passos:

- Acessar o Console de APIs do Google no site do Google Cloud e crie um novo projeto

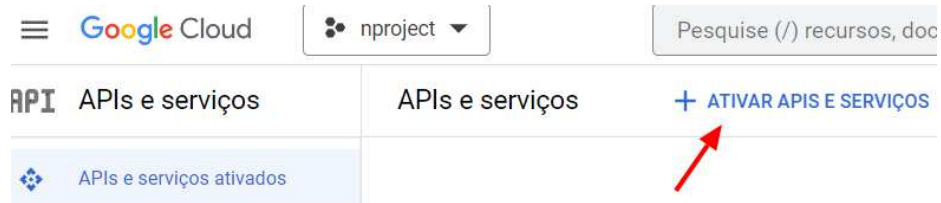
Figura 6 – Criando novo projeto no site Google Cloud



Fonte - Google Cloud

- Clique em API E ATIVAR SERVIÇOS

Figura 7 – Ativação de APIs e Serviços



Fonte - Google Cloud

- No menu esquerdo “APIs e serviços”, clique em “Credenciais” e gere sua credencial no formato *JSON*.

Figura 8 – Acesso às credenciais



Fonte - Google Cloud

- A conexão da planilha com a plataforma do Google Colab é realizada através da API do *Google Sheets* usando as funções em *Python*.

As funções utilizadas são:

- “ServiceAccountCredentials” que define o escopo e as credenciais do serviço para acesso a API.
- “gsread.authorize” cria uma conexão com o Google Sheets

O seguinte modelo descreve o código *Python* utilizando essas funções.

Figura 9 – Modelo de código de conexão de API do Google Sheets

```
scope = ['https://spreadsheets.google.com/feeds',  
https://www.googleapis.com/auth/drive']  
credentials = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name  
(caminho_para_arquivo_json_de_credenciais, scope)  
client = gsread.authorize(credentials)
```

Fonte - Autoria Própria

O 'caminho_para_arquivo_json_de_credenciais' deve ser substituído pelo caminho para o arquivo JSON de credenciais que se obtém ao criar um projeto e ativar a API do Google Sheets.

3.3. Abertura da planilha desejada

Após conseguir conectar a API, usam-se as funções a seguir para ter acesso à planilha especificada pelo seu ID ou URL.

- “client.open_by_key” abre a planilha pelo seu ID ou URL
spreadsheet = client.open_by_key('ID_da_planilha')

Para conseguir o ID da planilha é necessário selecionar o URL da página do Google Sheets, figura xx.

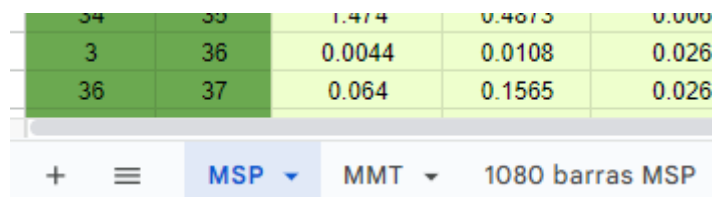
Figura 10– Selecionando id através da URL do Google Sheets

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/gfdsklr584mkfleçrio4kdsbfdk/edit#gid=0>

Fonte - Autoria Própria

- “spreadsheet.worksheet” selecione a planilha pelo seu índice ou nome, figura 11.

Figura 11 – Selecionando nome da planilha



34	35	1.474	0.4673	0.000
3	36	0.0044	0.0108	0.026
36	37	0.064	0.1565	0.026

Sheet selector: + ≡ MSP MMT 1080 barras MSP

Fonte - Autoria Própria

3.4. Acesso e alteração dos dados da planilha

Algumas funções que possibilitam a modificação dos valores na planilha do Google Sheets serão usadas para a escrita dos valores calculados na planilha.

- “worksheet.acell('A1').value” acessa os valores de uma célula específica
- “worksheet.update('A1', 'Novo valor)” altera o valor de uma célula específica
- “worksheet.get('A1:B2)” acessa uma faixa de células
- “worksheet.update('A1:B2', [['Valor 1', 'Valor 2'], ['Valor 3', 'Valor 4]])” altera os valores de uma faixa de células

3.5. Os dados e a planilha que os contém

Os procedimentos descritos nas seções anteriores deste capítulo são gerais, portanto, se aplicam para ter acesso à planilha que contém os dados necessários para calcular o fluxo de carga em uma rede radial. Esses dados são os parâmetros de controle do método iterativo de cálculo e a:

- limite de iterações (*itMax*) e
- tolerância de convergência (*tol*);
- tensão na barra da subestação (*V0*)

e os demais dados do sistema elétrico, na forma de vetores ou sequências (listas, tuplas e dicionários) do Python:

- barras em que cada trecho se origina (*de*);
- resistência de cada trecho (*R*);
- reatância de cada trecho (*X*);
- potência ativa da carga instalada em cada barra (*PL*);
- potência reativa da carga instalada em cada barrar (*QL*).

Como a rede é radial, os trechos são em número igual ao de barras de carga (sem contar com a barra da subestação), o que permite os dados serem organizados de modo muito conveniente, em uma tabela ou data frame. Logo a planilha dos dados pode ser conforme a Figura 12.

Figura 12 – Dados de entrada para cálculo de fluxo de carga em rede radial.

de(i)	R(i)	X(i)	PL(i)	QL(i)	V(i)	itMax	tolerancia
					13,8	10	1,00E-03
0	0,4	0,5	0,985	0,922			
1	0,6	0,7	0,919	0,723			
2	0,6	0,7	0,772	0,731			
2	0,7	0,6	0,782	0,86			
4	0,7	0,6	0,785	0,885			
5	0,7	0,6	0,865	0,722			

Como a ideia é usar uma só planilha, algumas colunas podem ser reservadas logo de início para nelas serem escritos os resultados, juntos dos dados.

A Figura 13 é da planilha completa (com dados e resultados). Para facilitar sua leitura, as células são coloridas e a segunda coluna foi acrescida.

Figura 13 – Dados de entrada para cálculo de fluxo de carga em rede radial.

de(i)	i	R(i)	X(i)	PL(i)	QL(i)	delP(i)	delQ(i)	P(i)	Q(i)	V(i)	itMax	tolerancia
	0			5,108	4,843	0,323	0,362	5,431	5,205	13,8	10	1,00E-03
0	1	0,4	0,5	0,985	0,922	0,1187	0,1483	5,313	5,048	13,454	3	7,22E-04
1	2	0,6	0,7	0,919	0,723	0,1190	0,1389	4,209	4,007	13,046	6,0%	7,0%
2	3	0,6	0,7	0,772	0,731	0,0040	0,0047	0,772	0,731	12,971		
2	4	0,7	0,6	0,782	0,86	0,0525	0,0450	2,461	2,496	12,794		
4	5	0,7	0,6	0,785	0,885	0,0235	0,0201	1,656	1,613	12,626		
5	6	0,7	0,6	0,865	0,722	0,0056	0,0048	0,865	0,722	12,543		

valores de entrada (digitados pelo usuário)

valores calculados referentes aos trechos (resultado da execução do código Python)

valores calculados referentes à rede por completo (resultado da execução do código Python)

4. Programa em Python

A aplicação da API do Google Sheets para *Python* permite o desenvolvimento de códigos dessa linguagem de programação que utilizam uma planilha do Google como entrada e saída de dados. No caso específico deste trabalho, o código Python desenvolvido, lê os dados do sistema de distribuição radial, cujo fluxo de carga se quer calcular, em uma planilha Google, aplica o método MSP ou MMT para fazer os cálculos e escreve os resultados na mesma planilha.

Python é uma linguagem de programação de alto nível que oferece muita facilidade para desenvolver códigos com as mais diferentes finalidades. A linguagem conta com uma comunidade enorme e muito ativa, o que faz com que o número de bibliotecas prontas para uso especializado ou de propósito geral seja realmente impressionante. Estima-se que ao todo sejam mais de 137 mil, embora as bibliotecas muito usadas sejam em número bem pequeno comparado a esse.

O modo como Python foi concebida e o acervo de bibliotecas e pacotes que possui faz com que as opções para desenvolver o código, seja lá para o que for, sejam praticamente ilimitadas.

4.1. A biblioteca Pandas

Neste trabalho se optou por aplicar a biblioteca Pandas, uma das mais usadas do Python. Ela é de aprendizado rápido, uso fácil e processamento eficiente, portanto, a preferida para a manipulação e análise de dados.

Pandas tem estruturas de dados próprias: *série* e *data frame*, ou quadro de dados, se tivesse sido traduzida para o português. Data frame é uma estrutura de dados rotulada bidimensional, semelhante a planilhas, tabelas SQL ou dicionários de objetos do Python. Os valores de uma coluna dessa estrutura tabular são do mesmo tipo, mas as colunas podem ser de tipos diferentes.

O modo usual de criar um *data frame* é a partir de uma lista, tupla ou dicionário do Python mediante emprego do método `dataframe` como se vê na Figura 14.

O data frame criado de qualquer das três maneiras indicadas na Figura 14 é:

	Nome	Idade	Função	Salário
0	José da Silva	28	Assistente administrativo	3750.00
1	Maria da Penha	23	Auxiliar de secretaria	3150.50
2	Luciano Paes	32	Almoxarife	4050.85

Figura 14 – Criação de data frame.

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import pandas as pd

# Criando data frame a partir de listas
dados =[[ 'José da Silva', 28, 'Assistente administrativo', 3750.00],
['Maria da Penha', 23, 'Auxiliar de secretaria', 3150.50],
['Luciano Paes', 32, 'Almoxarife', 4050.85]]
dfDados = pd.DataFrame(dados, columns=['Nome', 'Idade', 'Função', 'Salário'])
print()
print(dfDados.head())

# Criando data frame a partir de tuplas
dados =('José da Silva', 28, 'Assistente administrativo', 3750.00),
('Maria da Penha', 23, 'Auxiliar de secretaria', 3150.50),
('Luciano Paes', 32, 'Almoxarife', 4050.85))
dfDados = pd.DataFrame(dados, columns=('Nome', 'Idade', 'Função', 'Salário'))
print()
print(dfDados.head())

# Criando data frame a partir de dicionário
dados ={'Nome': ['José da Silva', 'Maria da Penha', 'Luciano Paes'],
        'Idade': [28, 23, 32], 'Função': ['Assistente administrativo',
        'Auxiliar de secretaria', 'Almoxarife'],
        'Salário': [3750.00, 3150.50, 4050.85]}
dfDados = pd.DataFrame(dados)
print()
print(dfDados.head())
```

4.2. Algumas funções desenvolvidas ou aplicadas

Algumas funções desenvolvidas estão descritas abaixo, o código completo está anexo:

- Conversão dos dados de entrada em dataframe do Pandas

Para converter os dados de entrada, oriundos da planilha Google, em um dataframe emprega-se o método DataFrame() da biblioteca Pandas.

Figura 15 – Função DataFrame da biblioteca pandas

```
#Transforma os dados em DataFrame
df_fluxo_de_carga = pd.DataFrame(dados_fluxo_de_carga)
```

Fonte - Autoria Própria

- Verificação de radialidade do sistema

A função tem por finalidade verificar se os dados de entrada são de fato de um sistema radial.

Figura 16 – Função de verificação de radialidade

```
def éRadial(configuração):  
    passos = barras = len(configuração)  
    def éDesconexa(barra):  
        for passo in range(passos):  
            if configuração[barra] == 0:  
                return False  
            else:  
                barra = configuração[barra]  
        return True  
    for barra in range(1,barras):  
        if éDesconexa(barra):  
            return False  
    return True
```

Fonte: Souza, 2023

- Atualização de dados na planilha

função que organiza os dados de entrada juntamente com dados calculados e atualiza na planilha do google.

Figura 17– Função atualização de dados na planilha

```
guia_fluxo_de_carga.update(  
[df_fluxo_de_carga.columns.values.tolist()+df_fluxo_de_carga.values.tolist()])
```

Fonte: Autoria Própria

- Preenchimento de cor

A função abaixo é um exemplo utilizado para preencher os dados calculados na planilha com cores, objetivando distinguir quais dados são de saída e quais dados são de entrada. A função recebe um intervalo da planilha e preenche com a cor descrita em formato RGB.

Figura 18 – Função de preenchimento de cores na planilha

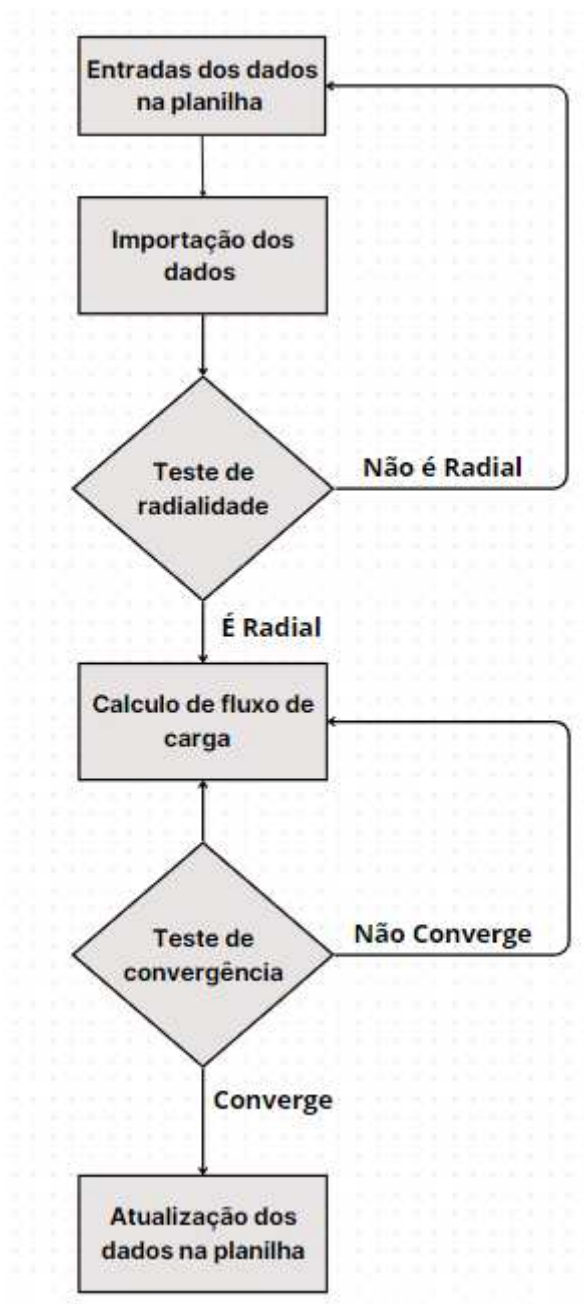
```
intervalo = "C{:F}:".format(3,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 18,
        "green": 1,
        "blue": 51
    })
})
```

Fonte: Aatoria Própria

4.3. Diagrama de blocos

O programa em python desenvolvido segue uma sequência lógica de acordo com o diagrama de blocos na figura 19.

Figura 19 – Diagrama de blocos



Fonte: Autoria Própria

5. Estudo de casos

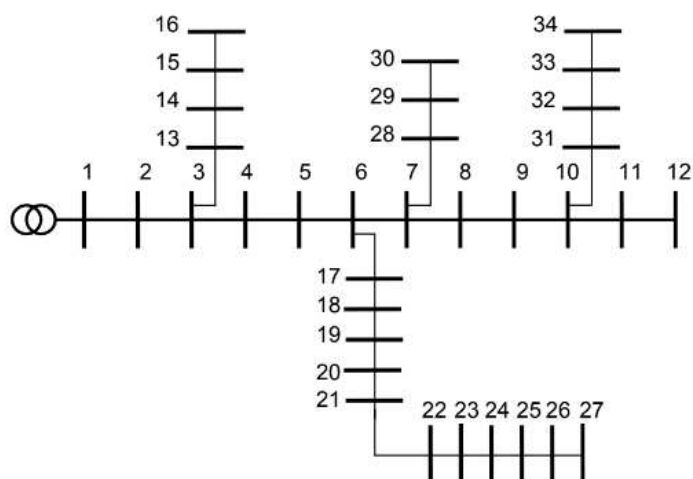
Neste Capítulo serão abordados os sistemas que foram utilizados na aplicação, realizando seus cálculos de fluxo de potência aplicando o método da soma de potência e método dos momentos de transporte respectivamente.

5.1. Sistema de 34 Barras

Segundo (Carvalho, 2006) esse sistema tem as seguintes características físicas:

- 1 barra de geração
- 33 barras de carga
- 33 trechos de transmissão
- 4 ramos laterais

Figura 20 – Sistema radial de 34 barras



Fonte: (Carvalho, 2006, p.70)

Os dados das barras e das linhas de transmissão estão disponíveis no APÊNDICE A . Como resultado do cálculo de fluxo de carga temos a Tabela 1 e a Tabela 2. O parâmetro de convergência do MSP foi um valor de 0,00001, onde o mesmo levou um total de 6 iterações para convergir.

Tabela 01 - Resultado do sistema de 34 barras (MSP)

Barra i	Vi (KV)	Pi (MW)	Qi (Mvar)	Perdas Pi (MW)	Perdas Qi (Mvar)
0	11	13.0006	16.3786	2.22142	0.61875
1	10.7909	12.5778	16.2051	0.42282	0.17346
2	10.6032	11.9697	15.9075	0.37807	0.15511
3	10.4287	9.1262	6.9422	0.19881	0.05519
4	10.2361	8.672	6.7519	0.22423	0.04784
5	10.0493	8.2286	6.5639	0.21339	0.04553
6	9.8491	5.5269	4.2366	0.15718	0.027
7	9.7697	3.2189	2.7867	0.03981	0.00684
8	9.6591	2.9364	2.6352	0.05246	0.00901
9	9.5912	2.676	2.4875	0.03041	0.00522
10	9.5839	0.3678	0.9826	0.00157	0.00027
11	9.5808	0.137	0.84	0.00083	0.00014
12	10.542	2.5239	8.8893	0.12078	0.02075
13	10.4786	1.6634	8.4152	0.14046	0.02413
14	10.4558	0.882	7.9546	0.0614	0.01055
15	10.4486	0.135	7.5	0.02701	0.00464
16	9.9925	2.5236	2.2945	0.0209	0.0058
17	9.945	2.2773	2.1475	0.01629	0.00452
18	9.8927	2.03	2.0011	0.01726	0.00393
19	9.8503	1.7871	1.8557	0.01293	0.00294
20	9.813	1.5467	1.7108	0.01044	0.00238
21	9.7841	1.3096	1.5663	0.00705	0.00196
22	9.7487	1.0709	1.4223	0.00874	0.0015
23	9.7146	0.8331	1.2785	0.00776	0.00133
24	9.6974	0.5994	1.1354	0.00367	0.00063
25	9.6901	0.3678	0.9926	0.00156	0.00027
26	9.687	0.137	0.85	0.00083	0.00014
27	9.809	2.2565	1.4411	0.01171	0.00201
28	9.7822	1.5013	0.9602	0.00522	0.0009
29	9.7688	0.75	0.48	0.00131	0.00022
30	9.5492	2.2936	1.5024	0.01296	0.00223
31	9.5071	1.7139	1.1257	0.00975	0.00167

32	9.4861	1.1406	0.7501	0.00326	0.00056
33	9.4789	0.57	0.375	0.00056	0.00009

Fonte: Autoria Própria

Tabela 2 - Resultado do sistema de 34 barras (MMT)

Barra i	Vi (KV)	Pi (MW)	Qi (Mvar)	Perdas Pi (MW)	Perdas Qi (Mvar)
0	11.0000	12.8969	16.3652	2.1179	0.6052
1	10.9793	12.4503	16.1820	0.4466	0.1832
2	10.9609	11.8212	15.8758	0.3991	0.1637
3	10.9460	8.9940	6.9164	0.1696	0.0471
4	10.9297	8.5730	6.7331	0.1910	0.0408
5	10.9141	8.1614	6.5518	0.1816	0.0388
6	10.8978	5.4964	4.2314	0.1296	0.0223
7	10.8912	3.1986	2.7832	0.0334	0.0057
8	10.8820	2.9245	2.6331	0.0441	0.0076
9	10.8763	2.6688	2.4862	0.0257	0.0044
10	10.8753	0.3676	0.9826	0.0014	0.0002
11	10.8746	0.1370	0.8400	0.0006	0.0001
12	10.8638	2.5264	8.8898	0.1312	0.0225
13	10.8504	1.6598	8.4146	0.1466	0.0252
14	10.8441	0.8794	7.9542	0.0604	0.0104
15	10.8412	0.1350	7.5000	0.0244	0.0042
16	10.8363	2.5165	2.2929	0.0189	0.0052
17	10.8322	2.2717	2.1463	0.0148	0.0041
18	10.8276	2.0260	2.0002	0.0157	0.0036
19	10.8238	1.7841	1.8550	0.0119	0.0027
20	10.8204	1.5445	1.7103	0.0096	0.0022
21	10.8178	1.3079	1.5660	0.0066	0.0018
22	10.8143	1.0697	1.4221	0.0082	0.0014
23	10.8107	0.8324	1.2784	0.0073	0.0012
24	10.8087	0.5990	1.1353	0.0034	0.0006
25	10.8077	0.3676	0.9926	0.0014	0.0002
26	10.8070	0.1370	0.8500	0.0006	0.0001
27	10.8039	2.2551	1.4409	0.0093	0.0016

28	10.8018	1.5010	0.9602	0.0041	0.0007
29	10.8008	0.7500	0.4800	0.0010	0.0002
30	10.7976	2.2901	1.5017	0.0097	0.0017
31	10.7944	1.7128	1.1255	0.0073	0.0012
32	10.7928	1.1404	0.7501	0.0024	0.0004
33	10.7923	0.5700	0.3750	0.0004	0.0001

Fonte: Autoria Própria

Segue abaixo as tabelas com o resultado obtido do consumo de potência ativa e reativa seguido de suas perdas de potência, para cada método.

Tabela 3- Perdas de potência do sistemas de 34 barras

Método	Perdas	
	Ativas (MW)	Reativas (Mvar)
MMT	2.1179	0.6052
MSP	2.22142	0.61875

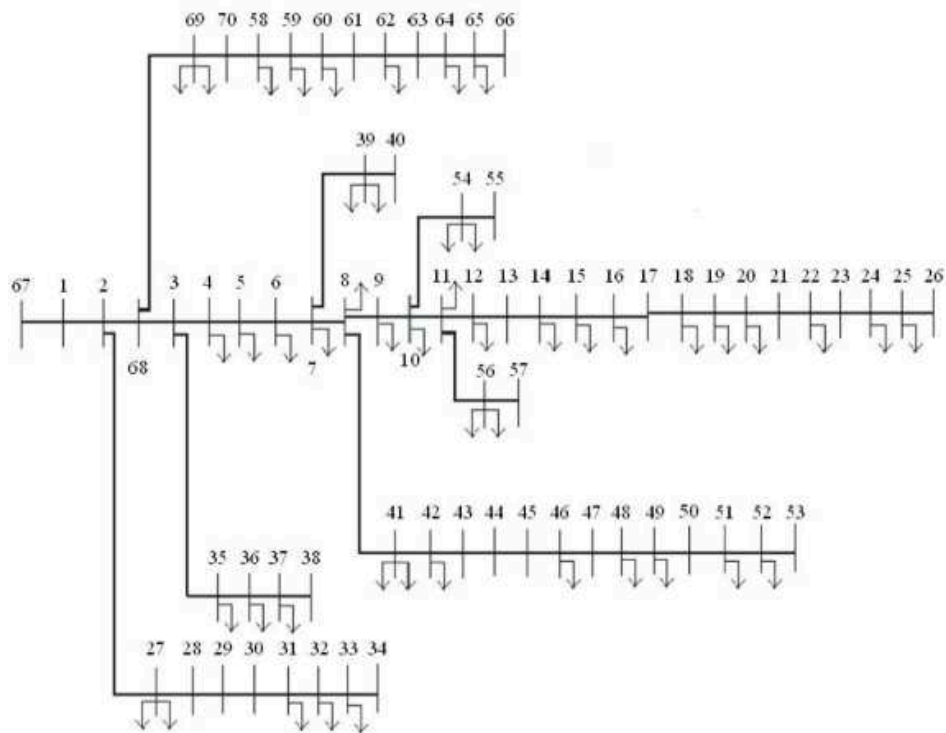
Fonte: Autoria Própria

5.2. Sistema de 70 Barras

Esse sistema possui as seguintes características físicas, de acordo com (Carvalho, 2006).

- 1 barra de geração
- 69 barras de carga
- 69 trechos de transmissão
- 7 ramos laterais

Figura 21 – Sistema radial de 70 barras



Fonte: (Carvalho 2006, p. 75)

Os dados das barras e das linhas de distribuição estão disponíveis no APÊNDICE A. Como resultado do cálculo de fluxo de carga temos a Tabela 5 e a Tabela 6. O parâmetro de convergência do MSP foi um valor de 0,00001, onde o mesmo levou um total de 5 iterações para convergir.

Tabela 4 – Resultado Sistema de 70 Barras (MSP)

Barra i	Vi (KV)	Pi (MW)	Qi (Mvar)	Perdas Pi (MW)	Perdas Qi (Mvar)
0	12.66	4.2991	3.1287	0.2503	0.1129
1	12.6596	4.0487	3.0156	0.0001	0.0002
2	12.6592	4.0486	3.0154	0.0001	0.0002
3	12.6591	3.9571	2.9502	0.0000	0.0000
4	12.6579	3.7713	2.8205	0.00021	0.0005
5	12.647	2.9185	2.2068	0.0021	0.00246
6	12.53	2.8879	2.1912	0.03064	0.0156
7	12.4084	2.8535	2.1728	0.03184	0.01622
8	12.3794	2.8056	2.139	0.00749	0.00382
9	12.3645	2.686	2.0507	0.00368	0.00187

10	12.3012	0.7755	0.5315	0.00478	0.00158
11	12.2872	0.7465	0.5122	0.00102	0.00034
12	12.2472	0.5633	0.3815	0.0022	0.00073
13	12.2101	0.361	0.2371	0.00129	0.00043
14	12.1734	0.3518	0.2312	0.00125	0.00041
15	12.137	0.3426	0.2253	0.00121	0.0004
16	12.1302	0.3424	0.2252	0.00022	0.00007
17	12.119	0.2966	0.1951	0.00032	0.00011
18	12.1189	0.2366	0.1601	0	0
19	12.113	0.1765	0.1251	0.0001	0.00003
20	12.1092	0.1764	0.1251	0.00007	0.00002
21	12.1031	0.1753	0.1245	0.00011	0.00004
22	12.103	0.0613	0.0435	0	0
23	12.1021	0.056	0.04	0.00001	0
24	12.1001	0.056	0.04	0.00001	0
25	12.098	0.028	0.02	0.00001	0
26	12.0971	0.028	0.02	0	0
27	12.0969	0.014	0.01	0	0
28	12.6591	0.0915	0.0652	0	0
29	12.6582	0.0655	0.0466	0	0.00001
30	12.6567	0.0395	0.028	0.00001	0
31	12.6564	0.0395	0.028	0	0
32	12.655	0.0395	0.028	0.00001	0
33	12.6518	0.0395	0.028	0.00001	0
34	12.6476	0.0255	0.018	0.00001	0
35	12.6467	0.006	0.004	0	0
36	12.6589	0.1856	0.1292	0	0
37	12.6567	0.1596	0.1106	0.00002	0.00004
38	12.6547	0.1336	0.092	0.00002	0.00002
39	12.6542	0.1336	0.092	0	0.00001
40	12.6542	0.1096	0.075	0	0
41	12.6454	0.0856	0.0579	0.00005	0.00006
42	12.6417	0.0844	0.0569	0.00002	0.00002
43	12.6412	0.0844	0.0569	0	0
44	12.6411	0.0784	0.0526	0	0

45	12.6399	0.0784	0.0526	0.00001	0.00001
46	12.6399	0.03922	0.0263	0	0
47	12.6573	0.8507	0.6111	0.00002	0.00006
48	12.6415	0.8501	0.6097	0.00058	0.00143
49	12.5928	0.7695	0.5493	0.00163	0.004
50	12.5859	0.3847	0.2745	0.00012	0.00028
51	12.379	0.0409	0.031	0	0
52	12.379	0.00036	0.0027	0	0
53	12.3274	1.8692	1.4923	0.00655	0.00334
54	12.2842	1.8572	1.4849	0.00761	0.00387
55	12.2246	1.8204	1.4606	0.01036	0.00527
56	12.1663	1.7864	1.4383	0.01	0.00509
57	11.8703	1.7299	1.4193	0.0565	0.01896
58	11.7248	1.7021	1.41	0.02785	0.00935
59	11.6686	1.6913	1.4064	0.01081	0.00357
60	11.6026	1.5791	1.3307	0.01223	0.00371
61	11.5039	1.563	1.3225	0.01608	0.00819
62	11.4993	0.3188	0.4344	0.00021	0.00011
63	11.4944	0.2867	0.2043	0.00014	0.00007
64	11.4702	0.286	0.204	0.00067	0.00034
65	11.4629	0.059	0.042	0.00004	0.00002
66	12.2865	0.036	0.026	0	0
67	12.2865	0.018	0.013	0	0
68	12.243	0.056	0.04	0.00002	0.00001
69	12.243	0.028	0.02	0	0

Fonte: Autoria Própria

Tabela 5- Resultado sistema de 70 Barras (MMT)

Barra i	Vi (KV)	Pi (MW)	Qi (Mvar)	Perdas Pi (MW)	Perdas Qi (Mvar)
0	12.66	4.0206	3.0038	0.2217	0.1009
1	12.6600	4.0205	3.0036	0.0001	0.0002
2	12.6600	4.0204	3.0034	0.0001	0.0002
3	12.6600	3.9289	2.9382	0.0000	0.0000

4	12.6599	3.7431	2.8087	0.0002	0.0005
5	12.6590	2.8905	2.1953	0.0019	0.0022
6	12.6499	2.8630	2.1813	0.0275	0.0140
7	12.6405	2.8318	2.1645	0.0286	0.0146
8	12.6383	2.7847	2.1311	0.0067	0.0034
9	12.6372	2.6655	2.0430	0.0033	0.0017
10	12.6324	0.7749	0.5315	0.0044	0.0015
11	12.6313	0.7460	0.5122	0.0009	0.0003
12	12.6283	0.5630	0.3815	0.0020	0.0007
13	12.6255	0.3608	0.2371	0.0012	0.0004
14	12.6228	0.3517	0.2312	0.0011	0.0004
15	12.6201	0.3426	0.2253	0.0011	0.0004
16	12.6196	0.3424	0.2252	0.0002	0.0001
17	12.6188	0.2966	0.1951	0.0003	0.0001
18	12.6188	0.2366	0.1601	0.0000	0.0000
19	12.6184	0.1765	0.1251	0.0001	0.0000
20	12.6181	0.1764	0.1251	0.0001	0.0000
21	12.6176	0.1753	0.1245	0.0001	0.0000
22	12.6176	0.0613	0.0435	0.0000	0.0000
23	12.6175	0.0560	0.0400	0.0000	0.0000
24	12.6174	0.0560	0.0400	0.0000	0.0000
25	12.6172	0.0280	0.0200	0.0000	0.0000
26	12.6171	0.0280	0.0200	0.0000	0.0000
27	12.6171	0.0140	0.0100	0.0000	0.0000
28	12.6171	0.0915	0.0652	0.0000	0.0000
29	12.6170	0.0655	0.0466	0.0000	0.0000
30	12.6169	0.0395	0.0280	0.0000	0.0000
31	12.6169	0.0395	0.0280	0.0000	0.0000
32	12.6168	0.0395	0.0280	0.0000	0.0000
33	12.6165	0.0395	0.0280	0.0000	0.0000
34	12.6162	0.0255	0.0180	0.0000	0.0000
35	12.6161	0.0060	0.0040	0.0000	0.0000
36	12.6161	0.1856	0.1290	0.0000	0.0000
37	12.6159	0.1596	0.1105	0.0000	0.0000

38	12.6157	0.1336	0.0920	0.0000	0.0000
39	12.6157	0.1336	0.0920	0.0000	0.0000
40	12.6157	0.1096	0.0750	0.0000	0.0000
41	12.6150	0.0856	0.0579	0.0000	0.0001
42	12.6147	0.0844	0.0569	0.0000	0.0000
43	12.6147	0.0844	0.0569	0.0000	0.0000
44	12.6147	0.0784	0.0526	0.0000	0.0000
45	12.6146	0.0784	0.0526	0.0000	0.0000
46	12.6146	0.0392	0.0263	0.0000	0.0000
47	12.6145	0.8507	0.6111	0.0000	0.0001
48	12.6132	0.8501	0.6097	0.0006	0.0014
49	12.6093	0.7695	0.5493	0.0016	0.0040
50	12.6088	0.3847	0.2745	0.0001	0.0003
51	12.6088	0.0409	0.0310	0.0000	0.0000
52	12.6088	0.0004	0.0027	0.0000	0.0000
53	12.6060	1.8504	1.4851	0.0058	0.0029
54	12.6027	1.8394	1.4782	0.0067	0.0034
55	12.5982	1.8039	1.4546	0.0091	0.0046
56	12.5938	1.7711	1.4329	0.0088	0.0045
57	12.5717	1.7215	1.4163	0.0496	0.0166
58	12.5609	1.6971	1.4081	0.0244	0.0082
59	12.5567	1.6876	1.4050	0.0095	0.0031
60	12.5518	1.5769	1.3297	0.0107	0.0033
61	12.5446	1.5628	1.3225	0.0141	0.0072
62	12.5442	0.3186	0.4344	0.0002	0.0001
63	12.5438	0.2865	0.2043	0.0001	0.0001
64	12.5421	0.2860	0.2040	0.0005	0.0003
65	12.5416	0.0590	0.0420	0.0000	0.0000
66	12.5415	0.0360	0.0260	0.0000	0.0000
67	12.5415	0.0180	0.0130	0.0000	0.0000
68	12.5412	0.0560	0.0400	0.0000	0.0000
69	12.5412	0.0280	0.0200	0.0000	0.0000

Fonte: Autoria Própria

Segue abaixo as tabelas com o resultado obtido das perdas de potência ativas e reativas, para cada método.

Tabela 6 – Perdas de Potência do sistema de 70 Barras

Método	Perdas	
	Ativas (MW)	Reativas (Mvar)
MMT	0.2217	0.1009
MSP	0.2503	0.1129

Fonte: Autoria Própria

5.3. Sistema de 1080 Barras

O sistema em questão é um sistema teste disponível em:

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO (UNESP). Sistema teste de 1080 barras. Ilha Solteira/SP, 2023. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/engenharia-eletrica/pesquisas-e-projetos/lapsee/downloads/materiais-de-cursos1193/>. Acesso em: 20 maio. 2024.

Os dados das barras e das linhas de distribuição estão disponíveis no Apêndice A. Suas características físicas são:

- 1 barras de geração
- 1079 trechos de transmissão
- 612 barras de conexão
- 468 barras de carga

Levando em consideração o nível de carregamento do sistema de grande porte somado ao fato da eficiência computacional da máquina que estava executando o programa ser baixa, o aplicativo estava levando de um tempo elevado para a convergência da solução, desta forma foi limitado um número máximo de 50 iterações para obter uma solução aproximada.

Para os resultados de suas perdas de potência, em cada método estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Perdas de Potência do Sistema de 1080 Barras

	Perdas	
Método	Pi (MW)	Qi(Mvar)
MMT	6.3348	6.9094
MSP	15.8804	16.5126

Fonte: Autoria Própria

6. Comparação de Métodos

Esse capítulo tem como objetivo realizar a comparação entre os métodos aproximados de cálculo de fluxo de potência utilizados, MSP e MMT. Os métodos diferenciam-se devido o primeiro ser um processo iterativo, enquanto o outro não iterativo. Para realizar uma comparação apropriada, foi considerado os dados da simulação do MSP com apenas a primeira iteração.

- Perdas de potências ativas e reativas

Na tabela 8 temos a comparação dos resultados das perdas de potências ativa e reativa nos trechos. A métrica utilizada foi o erro relativo entre os dois métodos, considerando o método MSP como referência.

Tabela 8 – Erros do MMT em relação ao MSP com 1 iteração

Sistemas	Perda Ativas (%)	Perdas Reativas (%)
Sistema 1080 barras	25.94	20.06
Sistema 70 barras	4.30	3.12
Sistema 34 barras	4.75	8.94

Fonte: Autoria Própria

Pode-se perceber da tabela 8 que o erro relativo entre os métodos são baixos quando se trata de um sistema com poucas barras e consequentemente o erro é consideravelmente maior quando o sistema é de grande porte.

- Barra com menor tensão

Para a comparação das tensões encontradas levou-se em consideração a menor tensão calculada em cada um dos métodos para cada sistema, realizando uma avaliação dos métodos em termos de precisão e exatidão. Na Tabela 9 temos os dados encontrados da simulação.

Tabela 9 – Menor tensão calculada por MMT em relação a MSP com 1 iteração

Sistemas	Método	Menor Tensão (kV)	Barra	Erro (%)
Sistema 34 Barras	MSP	9.57	33	13.53
	MMT	10.87	33	
Sistema 70 Barras	MSP	11.51	65	9.20
	MMT	12.57	65	
Sistema 1080 Barras	MSP	14.51	1074	49.37
	MMT	21.67	1074	

Fonte: Autorial Própria

É perceptível na Tabela 9 uma diferença de tensão entre os métodos, visto que o erro relativo torna-se maior em sistemas demasiadamente carregados, classificando o método de MMT como um método com baixa precisão, ou seja, seu valor é bastante distinto do valor de referência. Entretanto, os dois métodos encontraram para cada sistema a menor tensão na mesma barra, conseqüentemente, classificando o MMT como um método exato.

7. Conclusão

Nesse trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido um aplicativo com objetivo de auxiliar no estudo de fluxo de carga, tomando conhecimento da importância da realização dessas análises durante as fases de planejamento e operação das redes elétricas. Através das ferramentas disponibilizadas gratuitamente pelo Google, sendo estas o Google Sheets e o Google Colaboratory, o aplicativo realiza cálculos de fluxo de potência apenas para sistemas com características radiais, aplicando o método das somas de potências e o método dos momentos de transporte.

O aplicativo foi desenvolvido com base na linguagem de programação *Python*, por ser uma linguagem de alto nível e dispor de bibliotecas que facilitam o desenvolvimento em diversas áreas. Desta forma, foi utilizado uma API do Google Sheets, baseada em Python para a conexão entre os dois ambientes, o Google Colab com a planilha do Google, permitindo a leitura e escrita de valores nas planilhas.

Foram realizados estudos de casos simulando três sistemas com número de barras e níveis de carregamentos diferentes, nos quais foram encontrados valores de sua tensão em cada barra, o fluxo de potência ativa e reativa e as perdas de potência ativa e reativa de cada sistema.

Os estudos realizados mostram que os dois métodos aplicados neste trabalho são diferentes, uma vez que o MSP é baseado em iterações e o MMT é um método de técnica regressiva e única. Desta forma, para fins de comparação entre os métodos foram realizadas simulações no aplicativo desenvolvido tomando como resultado do MSP com apenas uma iteração, concluindo que o MMT por ser um método bastante simplificado possui uma baixa precisão nos resultados quando comparados ao MSP, entretanto mostrou ser exato e coerente nos valores calculados.

8. Referências

- Carvalho, M. R., Estudo Comparativo de Fluxo de Potência Para Sistemas de Distribuição Radial, dissertação (mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006, 106pp.
- Céspedes, R. (1990) “New method for the analysis of distribution networks”. IEEE Transactions on Power Delivery, p. 391–396.
- Ferreira, H. A., Sistemas de distribuição de energia elétrica: um algoritmo genético para alocação de capacitores, dissertação (mestrado), UFCG, Campina Grande, 2002, 74pp, <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fdspace.sti.ufcg.edu.br%2F...ABAQ>
- Google, Olá, este é o Colaboratory, <https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb?hl=pt-BR>.
- Junqueira, C. M. S., Fluxo de carga em Sistemas de Distribuição: Método da Soma de Potências em VBA (Excel), trabalho de conclusão de curso (Graduação), UFCG, 2015, 44pp.
- Nóbrega, L. A. M. M., Análise Técnica de Proposta de Operação em Anel de Sistema Elétrico Real, trabalho de conclusão de curso (Graduação), UFCG, Campina Grande, 2014.
- Nizer, L. A., Heurística híbrida aplicada no planejamento da operação de sistemas de distribuição de energia elétrica, Artigo, V Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, Campina Grande, 2020, https://www.researchgate.net/publication/346972928_Heuristica_hibrida_aplicada_no_planejamento_da_operacao_de_sistemas_de_distribuicao_de_energia_eletrica
- ONS. O Sistema Interligado Nacional. 2024. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>> Acesso em: 20/02/2024.
- Roveda, U., Google Colab: o que é, como usar e quais são as vantagens? <https://kenzie.com.br/blog/google-colab/>.
- Souza, B. A., Distribuição de Energia Elétrica, CCT/UFPB, 1997, <https://www.passeidireto.com/arquivo/54702345/distribuicao-de-energia-eletrica-benemar-de-alencar-souza>.
- Souza, B. A. Configuração ótima de redes radiais: notas de aula, setembro de 2023.

Apêndice A - Sistemas Teste

Os dados das linhas e das barras dos sistemas utilizados para os estudos estão nas tabelas a seguir.

Tabela - Dados do Sistema 34 Barras

De	Para	R(Ω)	X(Ω)	P(MW)	Q(MVar)
	0				
0	1	0.117	0.048	0.2300	0.1425
1	2	0.10725	0.044	0.0000	0.0000
2	3	0.16445	0.04565	0.2300	0.1425
3	4	0.1945	0.0415	0.2300	0.1425
4	5	0.1945	0.0415	0.0000	0.0000
5	6	0.3144	0.054	0.0000	0.0000
6	7	0.2096	0.036	0.2300	0.1425
7	8	0.3144	0.054	0.2300	0.1425
8	9	0.2096	0.036	0.0000	0.0000
9	10	0.131	0.0225	0.2300	0.1425
10	11	0.1048	0.018	0.1370	0.8400
2	12	0.1572	0.027	0.7200	0.4500
12	13	0.2096	0.036	0.7200	0.4500
13	14	0.1048	0.018	0.7200	0.4500
14	15	0.0524	0.009	0.1350	7.5000
5	16	0.1794	0.0498	0.2300	0.1425
16	17	0.16445	0.04565	0.2300	0.1425
17	18	0.2079	0.0473	0.2300	0.1425
18	19	0.189	0.043	0.2300	0.1425
19	20	0.189	0.043	0.2300	0.1425

20	21	0.162	0.045	0.2300	0.1425
21	22	0.262	0.045	0.2300	0.1425
22	23	0.3144	0.054	0.2300	0.1425
23	24	0.2096	0.036	0.2300	0.1425
24	25	0.131	0.0225	0.2300	0.1425
25	26	0.1048	0.018	0.1370	0.8500
6	27	0.1572	0.027	0.7500	0.4800
27	28	0.1572	0.027	0.7500	0.4800
28	29	0.1572	0.027	0.7500	0.4800
9	30	0.1572	0.027	0.5700	0.3750
30	31	0.2096	0.036	0.5700	0.3750
31	32	0.1572	0.027	0.5700	0.3750
32	33	0.1078	0.018	0.5700	0.3750

Fonte: [Carvalho 2006]

Tabela - Dados do Sistema 70 Barras

De	Para	R(Ω)	X(Ω)	P(MW)	Q(MVar)
	0				
0	1	0.0005	0.0012	0	0
1	2	0.0005	0.0012	0	0
2	3	0.0001	0.0001	0	0
3	4	0.0015	0.0036	0	0
4	5	0.0251	0.0294	0	0
5	6	0.366	0.1864	0.0026	0.0022
6	7	0.3811	0.1941	0.0404	0.03
7	8	0.0922	0.047	0.075	0.0554
8	9	0.0493	0.0251	0.03	0.022
9	10	0.819	0.2707	0.028	0.019

10	11	0.1872	0.0619	0.145	0.104
11	12	0.7114	0.2351	0.145	0.104
12	13	1.03	0.34	0.008	0.0055
13	14	1.044	0.345	0.008	0.0055
14	15	1.058	0.3496	0	0
15	16	0.1966	0.065	0.0455	0.03
16	17	0.3744	0.1238	0.06	0.035
17	18	0.0047	0.0016	0.06	0.035
18	19	0.3276	0.1083	0	0
19	20	0.2106	0.0696	0.001	0.0006
20	21	0.3416	0.1129	0.114	0.081
21	22	0.014	0.0046	0.0053	0.0035
22	23	0.1591	0.0526	0	0
23	24	0.3463	0.1145	0.028	0.02
24	25	0.7488	0.2475	0	0
25	26	0.3089	0.1021	0.014	0.01
26	27	0.1732	0.0572	0.014	0.01
2	28	0.0044	0.0108	0.026	0.0186
28	29	0.064	0.1565	0.026	0.0186
29	30	0.3978	0.1315	0	0
30	31	0.0702	0.0232	0	0
31	32	0.351	0.116	0	0
32	33	0.839	0.2816	0.014	0.01
33	34	1.708	0.5646	0.0195	0.014
34	35	1.474	0.4873	0.006	0.004
3	36	0.0044	0.0108	0.026	0.01855
36	37	0.064	0.1565	0.026	0.01855

37	38	0.1053	0.123	0	0
38	39	0.0304	0.0305	0.024	0.017
39	40	0.0018	0.0021	0.024	0.017
40	41	0.7283	0.8509	0.0012	0.001
41	42	0.31	0.3623	0	0
42	43	0.041	0.0478	0.006	0.0043
43	44	0.0092	0.0116	0	0
44	45	0.1089	0.1373	0.03922	0.0263
45	46	0.0009	0.0012	0.03922	0.0263
4	47	0.0034	0.0084	0	0
47	48	0.0851	0.2083	0.079	0.0564
48	49	0.2898	0.7091	0.3847	0.2745
49	50	0.0822	0.2011	0.3847	0.2745
8	51	0.0928	0.0473	0.0405	0.0283
51	52	0.3319	0.1114	0.00036	0.0027
9	53	0.174	0.0886	0.00435	0.0035
53	54	0.203	0.1034	0.0264	0.019
54	55	0.2842	0.1447	0.024	0.0172
55	56	0.2813	0.1433	0	0
56	57	1.59	0.5337	0	0
57	58	0.7837	0.263	0	0
58	59	0.3042	0.1006	0.1	0.072
59	60	0.3861	0.1172	0	0
60	61	0.5075	0.2585	1.244	0.888
61	62	0.0974	0.0496	0.032	0.23
62	63	0.145	0.0738	0	0
63	64	0.7105	0.3619	0.227	0.162

64	65	1.041	0.5302	0.059	0.042
11	66	0.2012	0.0611	0.018	0.013
66	67	0.0047	0.0014	0.018	0.013
12	68	0.7394	0.2444	0.028	0.02
68	69	0.0047	0.0016	0.028	0.02

Fonte: [Carvalho 2006]

Os dados da simulação do sistema de 1080 barras com os dois métodos estão disponíveis na [tabela](#).

Tabela - Dados do Sistema de 1080 Barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
0	1	0,0073	0,0205	0,00	0,00	31	36	0,1924	0,0683	0,00	0,00
1	2	0,0342	0,0496	0,00	0,00	32	37	0,4335	0,1539	59,40	29,76
1	3	0,0079	0,0078	0,00	0,00	34	38	0,3622	0,1286	0,00	0,00
2	4	0,0516	0,0748	0,00	0,00	35	39	0,0053	0,0077	0,00	0,00
2	5	0,0024	0,0024	0,00	0,00	35	40	0,0125	0,0044	88,83	44,49
2	6	0,0012	0,0012	0,00	0,00	38	41	0,0600	0,0213	10,41	5,19
4	7	0,1013	0,1469	0,00	0,00	38	42	0,0376	0,0133	102,84	52,38
4	8	0,2582	0,0917	0,00	0,00	38	43	0,0561	0,0199	0,00	0,00
7	9	0,1712	0,0608	606,66	0,00	39	44	0,0702	0,1018	0,00	0,00
7	10	0,0191	0,0277	110,91	72,39	44	45	0,0050	0,0072	0,00	0,00
10	11	0,0128	0,0185	0,00	0,00	44	46	0,0596	0,0212	137,58	68,94
10	12	0,0044	0,0063	0,00	0,00	45	47	0,0234	0,0339	0,00	0,00
11	13	0,0453	0,0657	0,00	0,00	46	48	0,0151	0,0054	0,00	0,00
11	14	0,0484	0,0172	143,79	72,06	46	49	0,0083	0,0029	0,00	0,00
13	15	0,0156	0,0227	0,00	0,00	46	50	0,0457	0,0162	0,00	0,00
14	16	0,0135	0,0048	0,00	0,00	47	51	0,0065	0,0094	112,17	57,69
14	17	0,0086	0,0031	0,00	0,00	47	52	0,0008	0,0008	0,00	0,00
15	18	0,0310	0,0450	39,99	0,00	51	53	0,0084	0,0083	0,00	0,00
15	19	0,0385	0,0137	0,00	0,00	51	54	0,0529	0,0768	0,00	0,00
18	20	0,0261	0,0378	0,00	0,00	54	55	0,1022	0,1482	0,00	0,00
18	21	0,1351	0,0480	0,00	0,00	54	56	0,0125	0,0044	0,00	0,00

19	22	0,0985	0,0350	104,73	52,47	55	57	0,0064	0,0093	75,00	25,05
19	23	0,1007	0,0358	0,00	0,00	55	58	0,0058	0,0020	0,00	0,00
20	24	0,0309	0,0448	127,89	64,65	55	59	0,0835	0,0296	0,00	0,00
20	25	0,0421	0,0150	61,62	30,87	57	60	0,0679	0,0985	58,26	29,19
22	26	0,2986	0,1060	170,64	87,33	57	61	0,0205	0,0073	134,97	67,26
22	27	0,0282	0,0100	563,31	0,00	60	62	0,0444	0,0644	0,00	0,00
24	28	0,0075	0,0108	0,00	0,00	62	63	0,0141	0,0204	0,00	0,00
28	29	0,0306	0,0443	0,00	0,00	62	64	0,0578	0,0205	141,18	72,03
28	30	0,0953	0,0338	0,00	0,00	63	65	0,0143	0,0207	0,00	0,00
29	31	0,0785	0,1139	0,00	0,00	64	66	0,1600	0,0568	0,00	0,00
29	32	0,1108	0,0393	0,00	0,00	64	67	0,0929	0,0330	110,04	56,01
30	33	0,2579	0,0916	24,72	12,39	65	68	0,0330	0,0326	99,12	51,15
30	34	0,3325	0,1181	88,05	44,10	65	69	0,0080	0,0116	141,72	79,59
31	35	0,0098	0,0141	125,31	62,79	65	70	0,0480	0,0474	0,00	0,00

Continua na próxima página.

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
66	71	0,1066	0,0378	138,69	74,73	95	106	0,0945	0,0336	0,00	0,00
67	72	0,0323	0,0115	167,73	84,06	95	107	0,1091	0,0387	164,28	85,59
68	73	0,0082	0,0081	0,00	0,00	95	108	0,0137	0,0135	146,76	73,98
69	74	0,0324	0,0469	0,00	0,00	99	109	0,0424	0,0419	183,36	104,55
69	75	0,0508	0,0180	185,94	93,99	101	110	0,0686	0,0452	0,00	0,00
70	76	0,0319	0,0315	120,27	62,13	102	111	0,1373	0,0487	0,00	0,00
72	77	0,0519	0,0184	0,00	0,00	104	112	0,1904	0,0676	0,00	0,00
72	78	0,0572	0,0203	0,00	0,00	105	113	0,0444	0,0158	137,73	71,37
73	79	0,0679	0,0241	0,00	0,00	105	114	0,0130	0,0046	101,40	57,45
73	80	0,0626	0,0618	151,62	80,46	105	115	0,0645	0,0229	0,00	0,00
74	81	0,0380	0,0550	0,00	0,00	108	116	0,0227	0,0225	0,00	0,00
75	82	0,1234	0,0438	169,02	85,56	109	117	0,0091	0,0089	0,00	0,00
76	83	0,1251	0,0444	0,00	0,00	109	118	0,0629	0,0223	0,00	0,00
76	84	0,0080	0,0079	188,40	102,24	109	119	0,0066	0,0023	0,00	0,00
78	85	0,1431	0,0508	135,90	77,94	110	120	0,2028	0,0720	0,00	0,00
78	86	0,0360	0,0128	190,35	95,37	110	121	0,0718	0,0473	0,00	0,00
79	87	0,1456	0,0517	0,00	0,00	110	122	0,0073	0,0026	104,34	53,79
80	88	0,0349	0,0344	153,84	80,07	111	123	0,0135	0,0048	0,00	0,00
80	89	0,1908	0,0677	99,78	50,01	111	124	0,0109	0,0039	132,03	66,15
81	90	0,0373	0,0541	106,29	52,71	111	125	0,2120	0,0753	0,00	0,00
82	91	0,0425	0,0151	169,50	85,26	112	126	0,0456	0,0162	162,66	83,61
82	92	0,0155	0,0055	171,75	90,48	113	127	0,0355	0,0126	0,00	0,00
82	93	0,0296	0,0105	0,00	0,00	115	128	0,0894	0,0318	0,00	0,00
83	94	0,0814	0,0289	0,00	0,00	115	129	0,0117	0,0042	96,72	49,35
84	95	0,0160	0,0158	0,00	0,00	115	130	0,0185	0,0066	0,00	0,00
86	96	0,1535	0,0545	0,00	0,00	116	131	0,0128	0,0045	0,00	0,00
86	97	0,0669	0,0238	165,33	82,86	116	132	0,0665	0,0236	0,00	0,00
87	98	0,0338	0,0120	0,00	0,00	116	133	0,0241	0,0238	0,00	0,00
88	99	0,0614	0,0606	0,00	0,00	117	134	0,0422	0,0417	0,00	0,00
89	100	0,0323	0,0115	506,28	251,40	117	135	0,0376	0,0133	0,00	0,00
90	101	0,0470	0,0682	0,00	0,00	118	136	0,1341	0,0476	0,00	0,00
91	102	0,1909	0,0678	110,70	55,47	118	137	0,0644	0,0229	118,29	59,28
94	103	0,0161	0,0057	117,30	66,63	120	138	0,1944	0,0690	0,00	0,00
94	104	0,0982	0,0349	0,00	0,00	120	139	0,0310	0,0110	0,00	0,00
94	105	0,0892	0,0317	143,34	72,36	121	140	0,1831	0,1206	72,60	36,36

Continua na próxima página.

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
126	141	0,0889	0,0316	62,16	31,53	154	176	0,1632	0,0579	0,00	0,00
126	142	0,1778	0,0631	0,00	0,00	156	177	0,0736	0,0261	0,00	0,00
126	143	0,0866	0,0308	181,41	90,42	157	178	0,2270	0,0806	0,00	0,00
129	144	0,0294	0,0104	0,00	0,00	157	179	0,0882	0,0313	102,63	52,56
129	145	0,0878	0,0312	88,86	45,72	157	180	0,0045	0,0016	96,03	49,32
132	146	0,0441	0,0157	0,00	0,00	160	181	0,1159	0,0763	0,00	0,00
132	147	0,0150	0,0053	142,89	72,45	160	182	0,3625	0,0855	0,00	0,00
132	148	0,1087	0,0386	0,00	0,00	172	183	0,0865	0,0307	0,00	0,00
133	149	0,0070	0,0025	142,44	74,19	172	184	0,0436	0,0155	103,20	51,72
133	150	0,0025	0,0025	305,94	172,05	172	185	0,0210	0,0075	81,18	40,68
134	151	0,0812	0,0288	121,83	73,41	174	186	0,0233	0,0083	0,00	0,00
134	152	0,0485	0,0479	107,16	53,70	174	187	0,0112	0,0110	0,00	0,00
134	153	0,0098	0,0035	0,00	0,00	176	188	0,0462	0,0164	41,88	21,00
137	154	0,0896	0,0318	0,00	0,00	176	189	0,1616	0,0574	115,08	61,23
137	155	0,0110	0,0039	130,47	65,82	177	190	0,1259	0,0447	138,69	69,48
137	156	0,0768	0,0273	0,00	0,00	177	191	0,0653	0,0232	0,00	0,00
138	157	0,0573	0,0203	78,99	39,57	178	192	0,2182	0,0775	144,15	72,75
138	158	0,1520	0,0540	0,00	0,00	181	193	0,0222	0,0146	0,00	0,00
138	159	0,0061	0,0022	99,99	50,10	181	194	0,0860	0,0305	0,00	0,00
140	160	0,0479	0,0315	0,00	0,00	182	195	0,1987	0,0468	95,76	13,68
141	161	0,0077	0,0027	0,00	0,00	182	196	0,1450	0,0342	0,00	0,00
141	162	0,0096	0,0034	0,00	0,00	184	197	0,1399	0,0497	21,03	7,02
141	163	0,0488	0,0173	0,00	0,00	186	198	0,0157	0,0056	134,79	67,53
143	164	0,0378	0,0134	168,27	85,05	187	199	0,0345	0,0341	0,00	0,00
143	165	0,0206	0,0073	156,12	80,10	188	200	0,1353	0,0480	0,00	0,00
143	166	0,0144	0,0051	0,00	0,00	189	201	0,1327	0,0471	0,00	0,00
145	167	0,0145	0,0051	0,00	0,00	190	202	0,0257	0,0091	0,00	0,00
145	168	0,1143	0,0406	0,00	0,00	190	203	0,1657	0,0588	110,07	56,04
145	169	0,0614	0,0218	95,61	49,20	190	204	0,1602	0,0569	122,70	61,50
146	170	0,0305	0,0108	112,14	61,92	192	205	0,2291	0,0814	101,52	50,88
150	171	0,0095	0,0093	0,00	0,00	192	206	0,0307	0,0109	0,00	0,00
151	172	0,1842	0,0654	0,00	0,00	193	207	0,0362	0,0238	86,07	43,92
152	173	0,0917	0,0326	0,00	0,00	193	208	0,1251	0,0444	0,00	0,00
152	174	0,0579	0,0572	89,61	44,88	195	209	0,1697	0,0400	0,00	0,00
152	175	0,0133	0,0047	0,00	0,00	195	210	0,1549	0,0365	48,54	16,20

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
199	211	0,1284	0,0456	0,00	0,00	234	246	0,2189	0,0777	62,94	31,53
199	212	0,0034	0,0034	555,57	312,45	234	247	0,0547	0,0360	0,00	0,00
200	213	0,1767	0,0627	45,90	23,01	235	248	0,0740	0,0731	14,55	7,29
200	214	0,2174	0,0772	19,32	9,66	236	249	0,0508	0,0180	73,65	35,85
201	215	0,0227	0,0081	85,56	28,59	236	250	0,2691	0,0955	656,64	0,00
201	216	0,1936	0,0687	121,38	60,81	237	251	0,0341	0,0121	0,00	0,00
201	217	0,0140	0,0050	69,39	34,77	237	252	0,0214	0,0076	102,42	45,42
202	218	0,1937	0,0688	0,00	0,00	239	253	0,3178	0,1128	105,27	35,19
205	219	0,0936	0,0332	127,35	64,80	239	254	0,0381	0,0135	0,00	0,00
205	220	0,1091	0,0387	0,00	0,00	246	255	0,0388	0,0138	47,28	23,70
205	221	0,0126	0,0045	0,00	0,00	246	256	0,3018	0,1072	36,45	15,36
207	222	0,0312	0,0205	0,00	0,00	247	257	0,0192	0,0127	17,97	6,00
207	223	0,0199	0,0047	0,00	0,00	248	258	0,0091	0,0090	0,00	0,00
212	224	0,0203	0,0200	71,46	23,88	251	259	0,2605	0,0925	0,00	0,00
213	225	0,3001	0,1066	0,00	0,00	253	260	0,0301	0,0107	57,27	28,68
215	226	0,0344	0,0122	0,00	0,00	253	261	0,0514	0,0183	90,24	45,21
216	227	0,2400	0,0852	0,00	0,00	255	262	0,1371	0,0487	0,00	0,00
218	228	0,1582	0,0562	0,00	0,00	257	263	0,0871	0,0573	0,00	0,00
219	229	0,0482	0,0171	131,82	66,06	257	264	0,0309	0,0073	0,00	0,00
219	230	0,0095	0,0034	68,61	34,38	258	265	0,0753	0,0744	28,92	14,49
219	231	0,0139	0,0049	0,00	0,00	258	266	0,2409	0,0855	42,15	21,12
220	232	0,0646	0,0230	0,00	0,00	259	267	0,5407	0,1920	81,36	40,77
220	233	0,2026	0,0719	76,77	38,46	260	268	0,5144	0,1826	0,00	0,00
222	234	0,0593	0,0391	0,00	0,00	261	269	0,0068	0,0024	30,63	15,36
224	235	0,1104	0,1091	0,00	0,00	261	270	0,0144	0,0051	0,00	0,00
224	236	0,2139	0,0760	45,90	22,98	261	271	0,0553	0,0196	0,00	0,00
225	237	0,1178	0,0418	0,00	0,00	262	272	0,0797	0,0283	31,83	15,93
225	238	0,2630	0,0934	0,00	0,00	262	273	0,0215	0,0076	0,00	0,00
227	239	0,4325	0,1536	0,00	0,00	263	274	0,0125	0,0082	38,64	19,35
227	240	0,0035	0,0012	0,00	0,00	263	275	0,2612	0,0927	34,89	14,70
227	241	0,1208	0,0429	0,00	0,00	265	276	0,0356	0,0351	0,00	0,00
229	242	0,0245	0,0087	76,62	38,37	267	277	0,1517	0,0539	0,00	0,00
232	243	0,0306	0,0109	0,00	0,00	267	278	0,3099	0,0731	0,00	0,00
233	244	0,0295	0,0105	0,00	0,00	272	279	0,1271	0,0451	164,43	82,41
233	245	0,2162	0,0768	58,74	29,43	272	280	0,0681	0,0242	0,00	0,00

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
274	281	0,0401	0,0264	0,00	0,00	306	316	0,0337	0,0079	0,00	0,00
276	282	0,0847	0,0837	0,00	0,00	306	317	0,4442	0,1047	26,13	13,08
276	283	0,5065	0,1194	0,00	0,00	308	318	0,0101	0,0066	116,73	39,00
277	284	0,0177	0,0063	440,58	197,58	308	319	0,2344	0,0832	0,00	0,00
277	285	0,1401	0,0330	45,18	22,62	310	320	0,2656	0,2623	0,00	0,00
279	286	0,2146	0,0762	72,48	35,37	310	321	0,1466	0,0520	0,00	0,00
279	287	0,0152	0,0054	0,00	0,00	312	322	0,2531	0,0899	0,00	0,00
280	288	0,1098	0,0390	83,25	27,81	313	323	0,0144	0,0051	47,28	19,92
280	289	0,3036	0,1078	0,00	0,00	313	324	0,0408	0,0145	0,00	0,00
281	290	0,2141	0,0505	79,38	26,52	313	325	0,0117	0,0041	89,37	44,79
281	291	0,0826	0,0544	44,04	14,70	314	326	0,1104	0,0392	0,00	0,00
282	292	0,0204	0,0201	0,00	0,00	317	327	0,4214	0,0993	95,37	49,50
282	293	0,0935	0,0332	0,00	0,00	318	328	0,0792	0,0281	0,00	0,00
284	294	0,0512	0,0182	0,00	0,00	318	329	0,0741	0,0488	0,00	0,00
285	295	0,0157	0,0037	0,00	0,00	318	330	0,0082	0,0029	0,00	0,00
286	296	0,0837	0,0297	0,00	0,00	319	331	0,3336	0,1184	0,00	0,00
286	297	0,0293	0,0104	63,00	21,06	319	332	0,5459	0,1287	97,92	32,73
290	298	0,2404	0,0567	0,00	0,00	320	333	0,2980	0,2944	99,75	33,33
291	299	0,0791	0,0521	39,15	19,62	320	334	0,1590	0,0375	0,00	0,00
291	300	0,0254	0,0060	0,00	0,00	321	335	0,0281	0,0100	30,48	10,17
292	301	0,0265	0,0261	29,16	14,61	321	336	0,1452	0,0516	0,00	0,00
292	302	0,0337	0,0079	0,00	0,00	322	337	0,7622	0,2706	0,00	0,00
294	303	0,3192	0,1133	0,00	0,00	328	338	0,1243	0,0441	0,00	0,00
294	304	0,0961	0,0341	42,45	14,19	328	339	0,0283	0,0101	59,64	26,73
294	305	0,0068	0,0024	0,00	0,00	329	340	0,1942	0,1279	0,00	0,00
295	306	0,1350	0,0318	0,00	0,00	329	341	0,0943	0,0222	0,00	0,00
295	307	0,4354	0,1026	0,00	0,00	333	342	0,2520	0,2489	105,63	35,31
299	308	0,0430	0,0283	30,30	15,18	333	343	0,2466	0,0581	0,00	0,00
299	309	0,0177	0,0042	0,00	0,00	335	344	0,0595	0,0211	29,46	14,76
301	310	0,0154	0,0152	0,00	0,00	335	345	0,0186	0,0066	103,95	50,85
301	311	0,0101	0,0036	0,00	0,00	337	346	0,3723	0,1322	119,07	77,70
303	312	0,2035	0,0722	35,85	23,40	337	347	0,0961	0,0341	0,00	0,00
304	313	0,0701	0,0249	35,01	11,70	339	348	0,5184	0,1222	0,00	0,00
304	314	0,0459	0,0163	0,00	0,00	339	349	0,4371	0,1552	0,00	0,00
304	315	0,0164	0,0058	86,28	49,83	340	350	0,0384	0,0253	92,52	30,93

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
340	351	0,0535	0,0126	0,00	0,00	367	386	0,0519	0,0184	36,27	12,12
342	352	0,0287	0,0283	0,00	0,00	373	387	0,8315	0,1960	201,48	67,35
342	353	0,2642	0,0938	0,00	0,00	373	388	0,0149	0,0098	0,00	0,00
346	354	0,0347	0,0123	102,09	51,15	374	389	0,1374	0,0324	0,00	0,00
346	355	0,1259	0,0447	0,00	0,00	374	390	0,0967	0,0228	0,00	0,00
347	356	0,0655	0,0233	29,82	14,94	375	391	0,0375	0,0371	55,14	18,42
348	357	0,5994	0,1413	15,48	5,16	375	392	0,0316	0,0075	0,00	0,00
348	358	0,0610	0,0144	0,00	0,00	377	393	0,0535	0,0126	34,53	17,28
350	359	0,1563	0,0555	0,00	0,00	378	394	0,0324	0,0115	0,00	0,00
350	360	0,0466	0,0307	50,79	16,95	381	395	0,0185	0,0066	0,00	0,00
350	361	0,0390	0,0092	0,00	0,00	381	396	0,1093	0,0388	0,00	0,00
352	362	0,2010	0,1985	66,57	28,05	381	397	0,0461	0,0164	0,00	0,00
352	363	0,0657	0,0233	0,00	0,00	383	398	0,0281	0,0100	118,47	59,37
353	364	0,0493	0,0175	0,00	0,00	386	399	0,1146	0,0407	0,00	0,00
354	365	0,5727	0,1350	0,00	0,00	387	400	0,4993	0,1177	161,40	53,94
354	366	0,2583	0,0917	31,68	10,59	387	401	0,0768	0,0181	42,15	21,12
355	367	0,0401	0,0142	0,00	0,00	388	402	0,1133	0,0746	429,72	127,02
356	368	0,3078	0,1093	0,00	0,00	391	403	0,0471	0,0465	0,00	0,00
357	369	0,4658	0,1098	89,97	30,06	391	404	0,0118	0,0042	100,20	50,22
357	370	0,0610	0,0144	140,64	56,91	396	405	0,0152	0,0054	14,04	7,02
358	371	0,0612	0,0144	0,00	0,00	396	406	0,1053	0,0374	0,00	0,00
358	372	0,0636	0,0150	0,00	0,00	396	407	0,0629	0,0223	0,00	0,00
360	373	0,1409	0,0928	47,70	15,93	397	408	0,0329	0,0117	75,90	38,01
360	374	0,3892	0,0917	0,00	0,00	398	409	0,1900	0,0675	0,00	0,00
362	375	0,1329	0,1312	0,00	0,00	398	410	0,2857	0,1015	0,00	0,00
362	376	0,0523	0,0186	0,00	0,00	399	411	0,0794	0,0282	0,00	0,00
363	377	0,2625	0,0619	27,03	10,62	400	412	0,0825	0,0195	0,00	0,00
363	378	0,3007	0,1068	33,18	16,62	402	413	0,0940	0,0619	0,00	0,00
364	379	0,0150	0,0053	104,82	52,53	402	414	0,0119	0,0042	0,00	0,00
364	380	0,0199	0,0071	0,00	0,00	403	415	0,0126	0,0125	0,00	0,00
364	381	0,1099	0,0390	0,00	0,00	406	416	0,0177	0,0063	0,00	0,00
365	382	0,0882	0,0208	0,00	0,00	406	417	0,2216	0,0787	0,00	0,00
366	383	0,2977	0,1057	55,47	18,54	406	418	0,0567	0,0201	0,00	0,00
366	384	0,0617	0,0145	50,79	16,95	407	419	0,0334	0,0119	76,50	38,34
367	385	0,3929	0,0926	56,97	19,05	409	420	0,0949	0,0337	0,00	0,00

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
409	421	0,2634	0,0935	0,00	0,00	439	456	0,3379	0,1200	0,00	0,00
410	422	0,0201	0,0071	36,42	12,18	440	457	0,4175	0,1483	0,00	0,00
410	423	0,1808	0,0642	108,21	36,18	442	458	0,1044	0,0371	0,00	0,00
411	424	0,0133	0,0031	0,00	0,00	443	459	0,3834	0,0904	0,00	0,00
411	425	0,1661	0,0392	0,00	0,00	445	460	0,4870	0,1729	0,00	0,00
411	426	0,0790	0,0280	0,00	0,00	446	461	0,1841	0,0434	0,00	0,00
412	427	0,3027	0,0714	102,24	34,17	446	462	0,1070	0,0252	0,00	0,00
412	428	0,5672	0,1337	67,38	22,50	449	463	0,0809	0,0533	33,90	11,31
413	429	0,1299	0,0855	0,00	0,00	452	464	0,0558	0,0198	0,00	0,00
413	430	0,6872	0,1620	0,00	0,00	453	465	0,0442	0,0436	0,00	0,00
413	431	0,1358	0,0482	0,00	0,00	453	466	0,1289	0,1273	0,00	0,00
414	432	0,0398	0,0141	51,93	23,28	456	467	0,2624	0,0932	0,00	0,00
414	433	0,0519	0,0184	0,00	0,00	456	468	0,0831	0,0295	59,97	29,10
415	434	0,1076	0,1062	100,68	49,32	457	469	0,1192	0,0423	37,05	18,57
415	435	0,1411	0,0333	118,44	61,38	457	470	0,1172	0,0416	0,00	0,00
417	436	0,1685	0,0598	121,08	60,66	458	471	0,1255	0,0446	8,19	2,73
417	437	0,2806	0,0996	83,97	42,09	458	472	0,1335	0,0315	82,47	27,57
418	438	0,0345	0,0123	78,42	38,73	459	473	0,0423	0,0100	0,00	0,00
420	439	0,1077	0,0382	0,00	0,00	459	474	0,6135	0,1446	131,79	57,06
420	440	0,1227	0,0436	67,56	22,56	460	475	0,1837	0,0433	0,00	0,00
423	441	0,0415	0,0147	18,30	9,18	460	476	0,0628	0,0223	115,53	38,61
423	442	0,1686	0,0599	73,05	47,67	461	477	0,3091	0,0729	73,38	24,51
425	443	0,0689	0,0162	187,62	62,70	461	478	0,7574	0,1785	0,00	0,00
425	444	0,2108	0,0497	144,03	48,15	461	479	0,2598	0,0613	214,44	71,67
426	445	0,0603	0,0214	194,01	64,83	463	480	0,1587	0,1045	64,26	32,19
427	446	0,3377	0,0796	128,04	57,42	463	481	0,4672	0,1101	0,00	0,00
428	447	0,1239	0,0292	0,00	0,00	464	482	0,0058	0,0021	0,00	0,00
428	448	0,1028	0,0242	33,15	16,59	464	483	0,2488	0,0883	0,00	0,00
429	449	0,1706	0,1124	38,40	12,84	464	484	0,2287	0,0812	90,81	45,48
432	450	0,0216	0,0077	36,87	18,45	466	485	0,0597	0,0590	0,00	0,00
432	451	0,0069	0,0025	0,00	0,00	467	486	0,1788	0,0635	0,00	0,00
432	452	0,2746	0,0975	0,00	0,00	469	487	0,0549	0,0195	0,00	0,00
434	453	0,0090	0,0089	80,52	40,35	469	488	0,1672	0,0594	53,07	17,73
436	454	0,0314	0,0111	0,00	0,00	472	489	0,0412	0,0097	0,00	0,00
437	455	0,0321	0,0114	0,00	0,00	472	490	0,0466	0,0110	97,89	32,70

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
409	421	0,2634	0,0935	0,00	0,00	476	491	0,0305	0,0108	17,10	11,16
410	422	0,0201	0,0071	36,42	12,18	477	492	0,2145	0,0506	0,00	0,00
410	423	0,1808	0,0642	108,21	36,18	477	493	0,1168	0,0275	0,00	0,00
411	424	0,0133	0,0031	0,00	0,00	480	494	0,0595	0,0392	72,60	30,57
411	425	0,1661	0,0392	0,00	0,00	480	495	0,0514	0,0121	0,00	0,00
411	426	0,0790	0,0280	0,00	0,00	481	496	0,0122	0,0029	106,02	35,43
412	427	0,3027	0,0714	102,24	34,17	481	497	0,2610	0,0615	0,00	0,00
412	428	0,5672	0,1337	67,38	22,50	483	498	0,0349	0,0124	0,00	0,00
413	429	0,1299	0,0855	0,00	0,00	484	499	0,0577	0,0205	0,00	0,00
413	430	0,6872	0,1620	0,00	0,00	484	500	0,0040	0,0014	89,82	45,87
413	431	0,1358	0,0482	0,00	0,00	484	501	0,0077	0,0027	0,00	0,00
414	432	0,0398	0,0141	51,93	23,28	485	502	0,7071	0,2511	0,00	0,00
414	433	0,0519	0,0184	0,00	0,00	486	503	0,0783	0,0278	112,77	52,59
415	434	0,1076	0,1062	100,68	49,32	486	504	0,2352	0,0835	0,00	0,00
415	435	0,1411	0,0333	118,44	61,38	488	505	0,3956	0,1404	0,00	0,00
417	436	0,1685	0,0598	121,08	60,66	488	506	0,3412	0,1211	33,24	16,65
417	437	0,2806	0,0996	83,97	42,09	491	507	0,3411	0,1211	0,00	0,00
418	438	0,0345	0,0123	78,42	38,73	491	508	0,1792	0,0636	0,00	0,00
420	439	0,1077	0,0382	0,00	0,00	492	509	0,0123	0,0029	66,72	32,37
420	440	0,1227	0,0436	67,56	22,56	492	510	0,0636	0,0150	0,00	0,00
423	441	0,0415	0,0147	18,30	9,18	494	511	0,1259	0,0829	28,20	9,42
423	442	0,1686	0,0599	73,05	47,67	494	512	0,8754	0,2064	0,00	0,00
425	443	0,0689	0,0162	187,62	62,70	497	513	0,1216	0,0287	291,15	97,32
425	444	0,2108	0,0497	144,03	48,15	497	514	0,2274	0,0536	0,00	0,00
426	445	0,0603	0,0214	194,01	64,83	499	515	0,0335	0,0119	71,31	37,56
427	446	0,3377	0,0796	128,04	57,42	502	516	0,2425	0,0861	0,00	0,00
428	447	0,1239	0,0292	0,00	0,00	503	517	0,5300	0,1882	0,00	0,00
428	448	0,1028	0,0242	33,15	16,59	503	518	0,0750	0,0177	0,00	0,00
429	449	0,1706	0,1124	38,40	12,84	504	519	0,0316	0,0112	49,89	23,88
432	450	0,0216	0,0077	36,87	18,45	504	520	0,2028	0,0720	0,00	0,00
432	451	0,0069	0,0025	0,00	0,00	506	521	0,0844	0,0300	32,34	10,80
432	452	0,2746	0,0975	0,00	0,00	506	522	0,1824	0,0648	0,00	0,00
434	453	0,0090	0,0089	80,52	40,35	507	523	0,0343	0,0122	0,00	0,00
436	454	0,0314	0,0111	0,00	0,00	507	524	0,4157	0,0980	0,00	0,00
437	455	0,0321	0,0114	0,00	0,00	508	525	0,3005	0,1067	43,41	21,75

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
509	526	0,5462	0,1287	0,00	0,00	543	561	0,3283	0,0774	144,33	48,24
509	527	0,4185	0,0986	0,00	0,00	543	562	0,1905	0,0677	63,00	21,06
511	528	0,0862	0,0568	0,00	0,00	545	563	0,1927	0,0684	0,00	0,00
511	529	0,0510	0,0336	0,00	0,00	545	564	0,0747	0,0176	0,00	0,00
513	530	0,1542	0,0364	94,77	39,93	547	565	0,1098	0,0390	23,91	11,97
513	531	0,1870	0,0441	46,47	25,65	547	566	0,0062	0,0022	27,03	15,60
516	532	0,1083	0,0385	0,00	0,00	547	567	0,0189	0,0067	0,00	0,00
516	533	0,0967	0,0343	84,00	42,09	548	568	0,2417	0,0570	0,00	0,00
516	534	0,0178	0,0063	0,00	0,00	548	569	0,1542	0,0364	0,00	0,00
517	535	0,3548	0,1260	0,00	0,00	548	570	0,1322	0,0312	0,00	0,00
517	536	0,0391	0,0092	0,00	0,00	549	571	0,1080	0,0255	50,01	16,71
519	537	0,1377	0,0489	44,58	22,35	549	572	0,3831	0,0903	51,42	17,19
520	538	0,4289	0,1523	38,82	12,96	550	573	0,1203	0,0792	41,31	13,80
521	539	0,1335	0,0474	21,27	10,65	550	574	0,0306	0,0072	0,00	0,00
521	540	0,0436	0,0155	0,00	0,00	551	575	0,8038	0,2854	0,00	0,00
522	541	0,1088	0,0386	103,29	34,50	551	576	0,0230	0,0082	0,00	0,00
522	542	0,1576	0,0372	108,69	36,33	555	577	0,1416	0,0503	74,61	24,93
522	543	0,1695	0,0602	172,23	57,57	555	578	0,4457	0,1582	0,00	0,00
523	544	0,0435	0,0102	0,00	0,00	555	579	0,0136	0,0048	80,28	39,33
523	545	0,2716	0,0964	0,00	0,00	556	580	0,0361	0,0128	0,00	0,00
525	546	0,1929	0,0685	0,00	0,00	558	581	0,0354	0,0126	0,00	0,00
525	547	0,1352	0,0480	36,30	17,04	558	582	0,0215	0,0076	0,00	0,00
526	548	0,8146	0,1920	0,00	0,00	562	583	0,0940	0,0334	62,28	20,82
526	549	0,2927	0,0690	0,00	0,00	562	584	0,0655	0,0233	29,94	9,99
528	550	0,1682	0,1107	0,00	0,00	563	585	0,5681	0,1339	0,00	0,00
528	551	0,0289	0,0103	0,00	0,00	563	586	0,0727	0,0258	22,92	11,46
530	552	0,5529	0,1303	0,00	0,00	568	587	0,2189	0,0516	31,02	17,91
531	553	0,0189	0,0045	0,00	0,00	568	588	0,1302	0,0307	0,00	0,00
531	554	0,0212	0,0050	50,31	25,20	569	589	0,3542	0,0835	0,00	0,00
532	555	0,0483	0,0172	0,00	0,00	569	590	0,0382	0,0090	84,81	35,73
533	556	0,3564	0,1265	0,00	0,00	573	591	0,1804	0,1188	36,66	18,36
533	557	0,1239	0,0440	72,78	37,86	577	592	0,0126	0,0045	184,53	92,04
535	558	0,1032	0,0366	144,00	72,15	577	593	0,1761	0,0625	0,00	0,00
535	559	0,0657	0,0233	0,00	0,00	577	594	0,0786	0,0279	67,29	33,72
543	560	0,0924	0,0218	0,00	0,00	578	595	0,0353	0,0125	77,70	38,22

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
580	596	0,0376	0,0133	0,00	0,00	620	631	0,4306	0,1015	0,00	0,00
580	597	0,0965	0,0343	0,00	0,00	621	632	0,1273	0,0300	100,26	38,01
581	598	0,1410	0,0501	50,43	25,26	621	633	0,0784	0,0278	83,94	35,37
581	599	0,2379	0,0561	56,73	27,15	624	634	0,0812	0,0535	0,00	0,00
584	600	0,0246	0,0087	118,74	39,69	625	635	0,0232	0,0083	0,00	0,00
584	601	0,2384	0,0847	36,09	12,06	625	636	0,1076	0,0382	0,00	0,00
586	602	0,2780	0,0987	40,08	13,38	625	637	0,0680	0,0242	102,33	52,56
587	603	0,2008	0,0473	75,96	35,43	627	638	0,2030	0,0721	0,00	0,00
587	604	0,4292	0,1012	0,00	0,00	627	639	0,0916	0,0325	41,64	20,85
588	605	0,0382	0,0090	0,00	0,00	629	640	0,1164	0,0413	46,50	23,28
588	606	0,0924	0,0218	67,86	22,68	630	641	0,3011	0,0710	0,00	0,00
591	607	0,1346	0,0887	90,75	30,33	630	642	0,2063	0,0732	0,00	0,00
594	608	0,3451	0,1225	115,92	58,08	631	643	0,2726	0,0643	22,86	7,62
596	609	0,0175	0,0062	0,00	0,00	633	644	0,8528	0,2010	0,00	0,00
596	610	0,2188	0,0777	0,00	0,00	633	645	0,2769	0,0983	0,00	0,00
598	611	0,2855	0,1014	0,00	0,00	634	646	0,0052	0,0034	0,00	0,00
602	612	0,1913	0,0679	0,00	0,00	634	647	0,4134	0,1468	0,00	0,00
603	613	0,8019	0,1890	49,98	24,06	637	648	0,2347	0,0833	58,41	27,75
603	614	0,1371	0,0323	0,00	0,00	637	649	0,1037	0,0368	112,89	57,57
607	615	0,0720	0,0474	39,84	15,66	639	650	0,2027	0,0720	94,23	48,42
608	616	0,3709	0,1317	0,00	0,00	640	651	0,2030	0,0721	52,83	17,64
608	617	0,0318	0,0113	58,08	29,10	640	652	0,1442	0,0512	0,00	0,00
610	618	0,0407	0,0144	0,00	0,00	641	653	0,1073	0,0253	76,35	39,21
610	619	0,0774	0,0275	36,96	18,51	641	654	0,5057	0,1192	23,37	11,70
611	620	0,0482	0,0171	45,24	22,68	642	655	0,1056	0,2490	0,00	0,00
611	621	0,2278	0,0809	0,00	0,00	643	656	0,2521	0,0594	1,47	0,48
613	622	0,2060	0,0486	0,00	0,00	643	657	0,0595	0,0140	0,00	0,00
613	623	0,0171	0,0040	31,50	10,53	644	658	0,2715	0,0640	0,00	0,00
615	624	0,0320	0,0211	72,63	24,27	644	659	0,1070	0,0252	98,19	32,82
615	625	0,1057	0,0375	83,79	44,01	645	660	0,0823	0,0194	0,00	0,00
616	626	0,0349	0,0124	0,00	0,00	645	661	0,3251	0,0766	0,00	0,00
617	627	0,0626	0,0222	0,00	0,00	646	662	0,1672	0,1101	36,09	12,06
617	628	0,0297	0,0106	0,00	0,00	646	663	0,1970	0,0700	0,00	0,00
619	629	0,3006	0,1067	61,23	30,66	646	664	0,0259	0,0092	128,70	65,79
620	630	0,2122	0,0753	60,90	30,51	647	665	0,0358	0,0127	0,00	0,00

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
648	666	0,0709	0,0252	0,00	0,00	691	701	0,0817	0,0290	146,22	48,87
651	667	0,0816	0,0290	0,00	0,00	691	702	0,0454	0,0161	106,68	35,64
651	668	0,1840	0,4337	79,92	40,05	692	703	0,0646	0,0229	62,67	26,40
653	669	0,7638	0,1801	80,82	27,00	693	704	0,1043	0,0246	0,00	0,00
656	670	0,1634	0,0385	85,29	38,25	693	705	0,0930	0,0219	38,34	14,52
656	671	0,0444	0,0105	107,61	35,97	695	706	0,0324	0,0214	261,18	96,72
656	672	0,2085	0,0492	0,00	0,00	697	707	0,7537	0,2676	0,00	0,00
659	673	0,3765	0,0887	0,00	0,00	697	708	0,1514	0,0357	0,00	0,00
659	674	0,0930	0,0219	0,00	0,00	698	709	0,0939	0,0221	13,02	4,35
662	675	0,0681	0,0448	46,02	15,39	700	710	0,3168	0,0747	155,88	52,11
662	676	0,1728	0,0613	0,00	0,00	701	711	0,1024	0,0364	51,21	17,10
663	677	0,5471	0,1943	135,42	59,25	703	712	0,2132	0,0757	0,00	0,00
666	678	0,0809	0,0287	0,00	0,00	703	713	0,1290	0,0458	0,00	0,00
666	679	0,0778	0,0276	0,00	0,00	704	714	0,9058	0,2135	89,55	46,14
669	680	0,1293	0,0305	0,00	0,00	705	715	0,7635	0,1800	0,00	0,00
672	681	0,1332	0,0314	0,00	0,00	706	716	0,0923	0,0608	0,00	0,00
672	682	0,2146	0,0506	0,00	0,00	706	717	0,4902	0,1155	0,00	0,00
672	683	0,7986	0,1882	0,00	0,00	707	718	0,8646	0,2038	24,72	12,39
675	684	0,0227	0,0149	31,65	10,56	707	719	0,2015	0,0475	24,84	12,45
675	685	0,0653	0,0232	0,00	0,00	710	720	0,3403	0,0802	35,52	13,95
676	686	0,3642	0,1293	121,47	60,39	711	721	0,1907	0,0677	0,00	0,00
677	687	0,1257	0,0446	33,60	16,83	711	722	0,0831	0,0295	0,00	0,00
677	688	0,3523	0,0830	0,00	0,00	712	723	0,3390	0,1203	157,95	52,77
678	689	0,0131	0,0047	155,70	52,02	712	724	0,0465	0,0165	75,51	38,52
678	690	0,0250	0,0089	0,00	0,00	712	725	0,0905	0,0321	124,80	64,35
679	691	0,2441	0,0867	341,88	34,35	714	726	0,0315	0,0074	0,00	0,00
679	692	0,2220	0,0788	0,00	0,00	714	727	0,5147	0,1213	61,26	24,09
680	693	0,5043	0,1189	134,73	69,36	715	728	0,0896	0,0211	0,00	0,00
680	694	0,4795	0,1130	0,00	0,00	715	729	0,0541	0,0128	0,00	0,00
684	695	0,1571	0,1035	103,80	42,78	716	730	0,1666	0,1097	27,99	11,79
684	696	0,3094	0,0729	77,10	38,64	716	731	0,0453	0,0107	94,59	45,30
687	697	0,2257	0,0801	32,28	17,82	717	732	0,5961	0,1405	42,42	21,24
687	698	0,1666	0,0393	0,00	0,00	720	733	0,0315	0,0074	43,74	28,53
689	699	0,0888	0,0315	178,05	59,52	720	734	0,6364	0,1500	140,85	47,07
689	700	0,1935	0,0456	110,22	55,23	720	735	0,4497	0,1060	10,41	5,19

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
721	736	0,1226	0,0435	0,00	0,00	759	771	0,2200	0,0519	0,00	0,00
721	737	0,0174	0,0062	0,00	0,00	759	772	0,1268	0,0450	0,00	0,00
723	738	0,2933	0,1041	110,25	36,84	760	773	0,1401	0,0330	0,00	0,00
724	739	0,5767	0,1360	0,00	0,00	760	774	0,1129	0,0266	0,00	0,00
725	740	0,0594	0,0211	161,85	54,09	761	775	0,2474	0,0879	0,00	0,00
725	741	0,0179	0,0064	119,01	60,09	761	776	0,0246	0,0087	0,00	0,00
725	742	0,0158	0,0056	0,00	0,00	764	777	0,2115	0,0751	13,20	6,63
726	743	0,2761	0,0651	0,00	0,00	764	778	0,0193	0,0068	0,00	0,00
727	744	0,2726	0,6425	39,60	19,83	765	779	0,2061	0,0732	43,83	28,59
727	745	0,1144	0,0270	86,55	43,38	766	780	0,2448	0,0869	0,00	0,00
728	746	0,0972	0,0229	40,98	13,68	768	781	0,0954	0,0339	96,66	47,64
730	747	0,0739	0,0487	0,00	0,00	769	782	0,6868	0,1619	0,00	0,00
732	748	0,4063	0,0958	0,00	0,00	770	783	0,0203	0,0133	0,00	0,00
735	749	0,2518	0,0594	216,15	130,26	770	784	0,0332	0,0219	0,00	0,00
735	750	0,0416	0,0098	0,00	0,00	771	785	0,0208	0,0049	64,26	33,18
736	751	0,2290	0,0813	134,91	45,09	771	786	0,0168	0,0040	0,00	0,00
736	752	0,1379	0,0490	0,00	0,00	771	787	0,1798	0,0424	0,00	0,00
738	753	0,3789	0,1345	0,00	0,00	772	788	0,1691	0,0600	53,79	26,94
738	754	0,0501	0,0178	0,00	0,00	772	789	0,0147	0,0052	58,86	29,49
739	755	0,6561	0,1547	102,33	51,27	774	790	0,3232	0,0762	0,00	0,00
746	756	0,0950	0,0224	0,00	0,00	774	791	0,0666	0,0157	0,00	0,00
746	757	0,1208	0,0285	161,01	53,82	775	792	0,3445	0,1223	0,00	0,00
747	758	0,2259	0,1488	0,00	0,00	775	793	0,0204	0,0073	0,00	0,00
747	759	0,0343	0,0122	48,33	24,21	777	794	0,1856	0,0659	56,07	18,72
750	760	0,2809	0,0662	0,00	0,00	777	795	0,0432	0,0102	0,00	0,00
751	761	0,0519	0,0184	0,00	0,00	777	796	0,0342	0,0081	101,94	34,08
751	762	0,1556	0,0553	0,00	0,00	779	797	0,1361	0,0483	31,59	10,56
752	763	0,0323	0,0115	160,53	67,62	779	798	0,0229	0,0081	12,33	6,18
752	764	0,1640	0,0582	259,17	86,64	779	799	0,1255	0,0446	0,00	0,00
753	765	0,2957	0,1050	0,00	0,00	781	800	0,0987	0,0350	0,00	0,00
753	766	0,0897	0,0318	113,67	56,97	781	801	0,3421	0,1215	62,16	31,14
753	767	0,0159	0,0056	26,73	13,38	782	802	0,1040	0,0245	0,00	0,00
754	768	0,2246	0,0797	0,00	0,00	782	803	0,1073	0,0253	0,00	0,00
756	769	0,2776	0,0654	39,75	19,92	783	804	0,1248	0,0822	82,29	27,51
758	770	0,0697	0,0459	26,64	17,40	783	805	0,0310	0,0110	0,00	0,00

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
789	806	0,1130	0,0266	0,00	0,00	823	841	0,1890	0,0671	0,00	0,00
789	807	0,2271	0,0806	0,00	0,00	827	842	0,1523	0,0541	73,86	36,99
790	808	0,2740	0,0646	47,34	25,53	827	843	0,0174	0,0062	0,00	0,00
790	809	0,4278	0,1008	0,00	0,00	829	844	0,1736	0,0617	133,98	44,76
792	810	0,1253	0,0445	0,00	0,00	833	845	0,5725	0,1350	0,00	0,00
792	811	0,0241	0,0086	0,00	0,00	837	846	0,1676	0,0595	57,81	28,98
794	812	0,1040	0,0369	79,71	26,64	838	847	0,6852	0,1615	0,00	0,00
794	813	0,2697	0,0958	136,02	45,45	839	848	0,5511	0,1299	0,00	0,00
799	814	0,1521	0,0540	0,00	0,00	840	849	0,2423	0,1596	8,91	4,47
799	815	0,0403	0,0143	54,12	27,12	840	850	0,1440	0,0511	0,00	0,00
799	816	0,0358	0,0127	0,00	0,00	841	851	0,8778	0,2069	0,00	0,00
800	817	0,3245	0,1152	0,00	0,00	842	852	0,1077	0,0382	0,00	0,00
801	818	0,1737	0,0617	0,00	0,00	842	853	0,0136	0,0048	0,00	0,00
801	819	0,2096	0,0744	0,00	0,00	844	854	0,1156	0,0410	137,67	46,02
802	820	0,0551	0,0130	0,00	0,00	844	855	0,7973	0,1879	0,00	0,00
802	821	0,2904	0,0685	85,35	28,53	845	856	0,6578	0,1551	61,23	20,46
803	822	0,1859	0,0438	60,51	23,79	846	857	0,0629	0,0223	0,00	0,00
804	823	0,0760	0,0501	88,35	29,52	846	858	0,1987	0,0706	0,00	0,00
804	824	0,1947	0,0691	0,00	0,00	847	859	0,3217	0,0758	51,84	25,98
809	825	0,1646	0,0388	132,00	44,13	847	860	0,4667	0,1100	10,65	5,61
809	826	0,2930	0,6906	220,11	73,56	848	861	0,6326	0,1491	67,14	22,44
810	827	0,0690	0,0245	0,00	0,00	849	862	0,1131	0,0745	80,10	33,75
810	828	0,0433	0,0154	0,00	0,00	849	863	0,0750	0,0494	0,00	0,00
813	829	0,1267	0,0450	55,02	18,39	850	864	0,1013	0,0239	0,00	0,00
813	830	0,2413	0,0569	0,00	0,00	850	865	0,0110	0,0039	31,59	15,84
817	831	0,0181	0,0064	66,03	22,08	850	866	0,1213	0,0431	0,00	0,00
817	832	0,0076	0,0018	0,00	0,00	851	867	0,0483	0,0114	0,00	0,00
817	833	0,1892	0,0446	0,00	0,00	851	868	0,2563	0,0604	0,00	0,00
818	834	0,0215	0,0051	0,00	0,00	852	869	0,0734	0,0260	26,34	13,20
818	835	0,7005	0,2487	0,00	0,00	852	870	0,0305	0,0108	0,00	0,00
819	836	0,0260	0,0092	31,59	10,56	854	871	0,2081	0,0739	39,12	13,08
819	837	0,5538	0,1966	109,32	36,54	854	872	0,0347	0,0082	0,00	0,00
821	838	0,3605	0,0850	46,71	23,40	857	873	0,0468	0,0166	0,00	0,00
822	839	0,1993	0,0470	0,00	0,00	857	874	0,1303	0,0463	101,76	51,87
823	840	0,2625	0,1729	0,00	0,00	857	875	0,4423	0,1570	0,00	0,00

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
858	876	0,5104	0,1203	0,00	0,00	888	911	0,0436	0,0155	0,00	0,00
860	877	0,1354	0,0319	0,00	0,00	888	912	0,1283	0,0455	78,75	39,45
862	878	0,0768	0,0505	0,00	0,00	892	913	0,0168	0,0060	0,00	0,00
862	879	0,1199	0,2826	0,00	0,00	892	914	0,0204	0,0073	0,00	0,00
864	880	0,3537	0,0834	63,18	21,12	892	915	0,1327	0,0471	0,00	0,00
866	881	0,0602	0,0214	47,19	24,36	893	916	0,1488	0,0528	24,00	12,00
866	882	0,0284	0,0101	0,00	0,00	894	917	0,7979	0,1881	0,00	0,00
869	883	0,1024	0,0364	0,00	0,00	895	918	0,3008	0,0709	120,78	47,52
869	884	0,2567	0,0911	0,00	0,00	896	919	0,0221	0,0145	140,07	61,32
870	885	0,0136	0,0048	0,00	0,00	896	920	0,1440	0,0511	44,73	22,41
871	886	0,1993	0,0470	135,57	45,30	900	921	0,3972	0,0936	0,00	0,00
871	887	0,1156	0,0410	12,93	4,32	900	922	0,1084	0,0385	50,19	25,14
874	888	0,1144	0,0406	0,00	0,00	900	923	0,0135	0,0032	64,65	32,37
874	889	0,0413	0,0147	0,00	0,00	901	924	0,0332	0,0118	0,00	0,00
874	890	0,0210	0,0075	73,95	37,05	903	925	0,0182	0,0065	0,00	0,00
875	891	0,0129	0,0046	0,00	0,00	903	926	0,2255	0,0801	45,39	17,85
875	892	0,0826	0,0293	0,00	0,00	905	927	0,4891	0,1153	0,00	0,00
875	893	0,0192	0,0068	0,00	0,00	905	928	0,1936	0,0456	22,32	11,19
877	894	0,5989	0,1412	61,17	30,63	909	929	0,1496	0,0531	109,11	53,94
877	895	0,2181	0,0514	40,50	13,53	909	930	0,1061	0,0377	133,83	56,37
878	896	0,1537	0,1012	35,61	11,88	912	931	0,1747	0,0620	0,00	0,00
878	897	0,0799	0,0284	0,00	0,00	912	932	0,0506	0,0180	38,25	19,14
879	898	0,3518	0,0829	32,79	16,41	912	933	0,0269	0,0096	73,68	38,28
880	899	0,0514	0,0121	39,81	13,29	915	934	0,2434	0,0864	0,00	0,00
881	900	0,3066	0,1089	0,00	0,00	916	935	0,0085	0,0030	0,00	0,00
881	901	0,1058	0,0376	0,00	0,00	916	936	0,0082	0,0029	0,00	0,00
881	902	0,0103	0,0036	35,28	17,67	916	937	0,1889	0,0671	0,00	0,00
883	903	0,3158	0,1121	0,00	0,00	918	938	0,9459	0,2230	56,22	28,17
883	904	0,1098	0,0390	0,00	0,00	919	939	0,0768	0,0506	0,00	0,00
884	905	0,1728	0,0614	103,32	0,00	920	940	0,3796	0,1348	0,00	0,00
884	906	0,0102	0,0036	0,00	0,00	920	941	0,0660	0,0234	15,99	8,01
884	907	0,0130	0,0046	0,00	0,00	926	942	0,0777	0,0276	0,00	0,00
887	908	0,1223	0,0288	0,00	0,00	926	943	0,1098	0,0390	116,04	38,79
887	909	0,1446	0,0513	0,00	0,00	930	944	0,2774	0,0654	0,00	0,00
888	910	0,0258	0,0092	0,00	0,00	930	945	0,1793	0,0636	0,00	0,00

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
930	946	0,3364	0,1195	20,04	6,69	965	981	0,3388	0,0799	144,48	48,30
931	947	0,2580	0,0916	0,00	0,00	965	982	0,1253	0,0295	0,00	0,00
932	948	0,1761	0,0625	0,00	0,00	966	983	0,1784	0,1175	0,00	0,00
938	949	0,5888	0,1388	0,00	0,00	967	984	0,8094	0,2874	0,00	0,00
938	950	0,5019	0,1183	91,53	30,60	970	985	0,4310	0,1530	0,00	0,00
939	951	0,2212	0,1457	0,00	0,00	970	986	0,2715	0,0964	66,84	33,48
939	952	0,0428	0,0101	0,00	0,00	971	987	0,0825	0,0293	0,00	0,00
940	953	0,1969	0,0699	33,33	16,71	971	988	0,0858	0,0305	0,00	0,00
941	954	0,0752	0,0267	0,00	0,00	973	989	0,7137	0,1682	28,20	9,42
943	955	0,0491	0,0174	50,25	25,17	973	990	0,8505	0,2005	0,00	0,00
943	956	0,0193	0,0068	0,00	0,00	974	991	0,4397	0,1561	77,07	30,33
946	957	0,1233	0,0291	119,88	40,05	974	992	0,0151	0,0054	0,00	0,00
946	958	0,2149	0,0507	142,02	47,46	974	993	0,0092	0,0033	0,00	0,00
947	959	0,2680	0,0952	0,00	0,00	978	994	0,0185	0,0066	0,00	0,00
947	960	0,1708	0,0607	78,06	38,10	978	995	0,0164	0,0058	0,00	0,00
948	961	0,1079	0,0383	54,12	27,12	978	996	0,0595	0,0211	0,00	0,00
948	962	0,1094	0,0389	72,18	34,92	979	997	0,3270	0,1161	32,97	16,53
948	963	0,0254	0,0090	0,00	0,00	980	998	0,0511	0,0120	0,00	0,00
950	964	0,3636	0,0857	0,00	0,00	981	999	0,1230	0,2898	0,00	0,00
950	965	0,4157	0,0980	0,00	0,00	981	1000	0,1067	0,2516	0,00	0,00
951	966	0,1383	0,0911	0,00	0,00	982	1001	0,5457	0,1286	0,00	0,00
951	967	0,0881	0,0313	36,00	18,03	983	1002	0,0632	0,0416	0,00	0,00
953	968	0,3382	0,1201	75,63	37,89	983	1003	0,0283	0,0101	0,00	0,00
953	969	0,0465	0,0165	54,69	26,46	984	1004	0,0889	0,0316	58,02	24,45
955	970	0,1863	0,0662	16,23	8,13	984	1005	0,1931	0,0686	0,00	0,00
955	971	0,0397	0,0141	0,00	0,00	985	1006	0,2761	0,0980	0,00	0,00
958	972	0,0315	0,0074	0,00	0,00	986	1007	0,1181	0,0419	0,00	0,00
958	973	0,1062	0,2503	0,00	0,00	986	1008	0,0681	0,0242	30,99	15,54
959	974	0,0482	0,0171	0,00	0,00	989	1009	0,6874	0,1620	0,00	0,00
960	975	0,2149	0,0763	0,00	0,00	989	1010	0,2635	0,0621	0,00	0,00
961	976	0,0461	0,0164	79,14	39,66	989	1011	0,2020	0,0476	130,32	48,27
962	977	0,0894	0,0318	0,00	0,00	996	1012	0,2680	0,0952	0,00	0,00
962	978	0,2848	0,1011	94,74	46,65	997	1013	0,0172	0,0061	67,74	33,96
962	979	0,2456	0,0872	0,00	0,00	997	1014	0,1705	0,0605	0,00	0,00
964	980	0,3776	0,0890	38,34	19,20	997	1015	0,0130	0,0046	0,00	0,00

Tabela 38 – Dados do sistema-teste de 1080 barras.

De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)	De	Para	R (Ω)	X (Ω)	P (W)	Q (var)
1006	1026	0,2010	0,0714	0,00	0,00	1053	1061	0,0459	0,0108	0,00	0,00
1006	1027	0,1356	0,0481	0,00	0,00	1053	1062	0,1743	0,0411	72,18	24,12
1006	1028	0,3047	0,1082	75,39	37,77	1054	1063	0,4899	0,1739	0,00	0,00
1008	1029	0,0445	0,0158	86,37	43,26	1057	1064	0,2983	0,0703	37,23	18,63
1008	1030	0,0609	0,0216	35,88	16,08	1057	1065	0,0764	0,0180	0,00	0,00
1009	1031	0,0984	0,0232	49,71	23,61	1058	1066	0,2220	0,0788	0,00	0,00
1009	1032	0,5351	0,1261	0,00	0,00	1058	1067	0,0124	0,0044	0,00	0,00
1012	1033	0,2345	0,0833	0,00	0,00	1058	1068	0,0814	0,0289	0,00	0,00
1018	1034	0,1605	0,0378	0,00	0,00	1060	1069	0,1772	0,0629	5,64	2,82
1021	1035	0,1291	0,0304	183,75	61,41	1060	1070	0,2866	0,1018	71,37	35,76
1021	1036	0,1727	0,0407	55,14	18,42	1062	1071	0,8778	0,2069	65,31	32,70
1025	1037	0,0545	0,0128	0,00	0,00	1062	1072	0,6502	0,1533	0,00	0,00
1025	1038	0,6396	0,1508	44,22	17,88	1064	1073	0,3095	0,0730	15,21	5,07
1026	1039	0,0457	0,0162	0,00	0,00	1064	1074	0,1194	0,0281	29,49	14,79
1026	1040	0,2721	0,0966	69,33	34,74	1066	1075	0,3405	0,1209	28,35	9,48
1031	1041	0,2924	0,0689	36,30	18,18	1068	1076	0,5203	0,1847	0,00	0,00
1033	1042	0,0242	0,0086	0,00	0,00	1070	1077	0,4007	0,1423	5,46	2,73
1033	1043	0,0144	0,0051	0,00	0,00	1072	1078	0,4752	0,1120	0,00	0,00
1033	1044	0,0581	0,0206	0,00	0,00	1076	1079	0,5265	0,1869	15,78	5,28
1038	1045	0,0649	0,0153	0,00	0,00						
1038	1046	0,8761	0,2065	33,21	13,98						
1039	1047	0,3428	0,1217	0,00	0,00						
1040	1048	0,2179	0,0514	0,00	0,00						
1041	1049	0,5945	0,1401	188,01	62,85						
1041	1050	0,3969	0,0935	39,84	19,98						
1044	1051	0,0453	0,0161	119,49	55,17						
1046	1052	0,0352	0,0083	0,00	0,00						
1046	1053	0,5228	0,1232	107,61	35,97						
1047	1054	0,3132	0,1112	0,00	0,00						
1047	1055	0,2486	0,0883	0,00	0,00						
1048	1056	0,5278	0,1244	40,65	20,37						
1049	1057	0,4539	0,1070	25,95	8,67						
1051	1058	0,3847	0,1366	0,00	0,00						
1051	1059	0,0115	0,0041	0,00	0,00						
1051	1060	0,1987	0,0705	0,00	0,00						

Fonte: Dantas 2020.

Anexo B- Código em Python

```
import gspread
from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials
import pandas as pd
import math as mt
import numpy as np
# Defina o escopo e as credenciais do serviço
scope = ['https://spreadsheets.google.com/feeds', 'https://www.googleapis.com/auth/drive']
credentials =
ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('/content/drive/MyDrive/TCC-Cálculo-
de-Fluxo-de-Carga/key.json', scope)
# Crie uma conexão com o Google Sheets
client = gspread.authorize(credentials)
# Abre a planilha pelo seu ID ou URL
spreadsheet =
client.open_by_key('15JgvmHQfTUenxI8OZFwaAP5nH3ZuOysSSCxo3jSfm5w')
# Seleciona a planilha pelo seu índice ou nome
guia_fluxo_de_carga = spreadsheet.worksheet('MSP')
#Retorna os dados da planilha
dados_fluxo_de_carga = guia_fluxo_de_carga.get_all_values()
#Transforma os dados em DataFrame
df_fluxo_de_carga = pd.DataFrame(dados_fluxo_de_carga)
df_fluxo_de_carga
#Renomeando colunas do dataframe
df_fluxo_de_carga.columns = ["Barra_k", "Barra_i", "Ri", "Xi", "PLi", "QLi",
'deltaPi_velho', "deltaQi_velho", "Pi", "Qi", "Ai", "Bi", "Vi", 'deltaPi_novo', "deltaQi_novo",
"Limite_Iteração", "Limite_Convergência", "Numero_Iterações"]
df_fluxo_de_carga.drop(0, inplace=True)
```

```

# Verificando radialidade do sistema
def is_radial():
    if df_fluxo_de_carga.Barra_i.is_unique:
        return True
    else:
        return False

# Metodo da Soma de Potência
if is_radial():
    for trecho in range(len(df_fluxo_de_carga)):
        df_fluxo_de_carga.deltaPi_velho[trecho+1]= 0
        df_fluxo_de_carga.deltaQi_velho[trecho+1]= 0
    iteracoes = 0
    while True:
        # Valores de Pi e Qi nas barras
        print(iteracoes)
        barras= list(df_fluxo_de_carga.Barra_i)
        barras.reverse() # Invertento a ordem
        # Substitui valores ausentes na barra sem carga Líquida por 0
        df_fluxo_de_carga.PLi.loc[df_fluxo_de_carga.PLi==""] = 0
        df_fluxo_de_carga.QLi.loc[df_fluxo_de_carga.QLi==""] = 0
        for i in barras:
            ramos=[]
            if not(i in list(df_fluxo_de_carga.Barra_k)): # Encontra as barras sem ramificações e
            calcula as Potência P e Q
                df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1]=float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)+1].PLi) #
                Potência ativa na barra é igual a carga instalada na barra
                df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1]=float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)+1].QLi) #
                Potência reativa na barra é igual a carga instalada na barra
            else: # Encontra as barras com ramificações e calcula as Potência P e Q

```

```

df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1] = float(df_fluxo_de_carga.PLi[float(i)+1]) # Barra
com ramificação com carga

df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1] = float(df_fluxo_de_carga.QLi[float(i)+1])

for k in df_fluxo_de_carga.Barra_k: # Verifica quais barras pertencem a ramificação
    if k == " or i == ":
        continue
    elif i == k:
        ramos = list(df_fluxo_de_carga.loc[df_fluxo_de_carga.Barra_k==k].index.values) #
lista os índices das barras do ramo

for ramo in ramos: # Percorre cada barra e trecho
    df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1] = round(df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1] +
float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].Pi) + float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].deltaPi_velho),4)
# Potência ativa na barra com ramificação

    df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1] = round(df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1] +
float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].Qi)
+
float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].deltaQi_velho),4) # Potência reativa na barra com
ramificação

# Cálculo de parâmetros A e B e tensões nas barras

for bar in range(len(df_fluxo_de_carga)-1):
    Vk =float(df_fluxo_de_carga.loc[df_fluxo_de_carga['Barra_i'] ==
df_fluxo_de_carga.Barra_k[bar+2]].Vi) # Encontra a tensão na barra k conectada a barra i
    Ai = (Vk**2)*0.5 - (float(df_fluxo_de_carga.Ri[bar+2])*
float(df_fluxo_de_carga.Pi[bar+2])
+
float(df_fluxo_de_carga.Xi[bar+2])*float(df_fluxo_de_carga.Qi[bar+2])) # Ai = (Vk^2)/2 -
(Ri*Pi)+(Xi*Qi)

    Bi = (float(df_fluxo_de_carga.Ri[bar+2])**2 + float(df_fluxo_de_carga.Xi[bar+2])**2
)*( float(df_fluxo_de_carga.Pi[bar+2])**2 + float(df_fluxo_de_carga.Qi[bar+2])**2) # Bi =
(Ri^2+Xi^2)*(Pi^2+Qi^2)

    Vi = (Ai + (Ai**2-Bi)**0.5)**0.5 # Vi = (Ai + (A^2-Bi)^2)^2

df_fluxo_de_carga.Vi[bar+2] = round(Vi, 4)
df_fluxo_de_carga.Ai[bar+2] = round(Ai, 4)
df_fluxo_de_carga.Bi[bar+2] = round(Bi, 4)

# Cálculo de perdas nas linhas

```

```

soma_perdas_Pi = 0
soma_perdas_Qi = 0

for trecho in range(len(df_fluxo_de_carga)-1): # Percorre os trechos

                                deltaPi_novo          =
float(df_fluxo_de_carga.Ri[trecho+2])*(float(df_fluxo_de_carga.Pi[trecho+2])**2      +
float(df_fluxo_de_carga.Qi[trecho+2])**2)/(float(df_fluxo_de_carga.Vi[trecho+2])**2) #
deltaPi = Ri*(Pi^2+Qi^2)/Vi^2

                                deltaQi_novo          =
(float(df_fluxo_de_carga.Xi[trecho+2])/float(df_fluxo_de_carga.Ri[trecho+2]))*deltaPi_nov
o # deltaQi = (Xi/Ri)*deltaPi

soma_perdas_Pi += deltaPi_novo
soma_perdas_Qi += deltaQi_novo

df_fluxo_de_carga.deltaPi_novo[trecho+2] = round(deltaPi_novo, 5)
df_fluxo_de_carga.deltaQi_novo[trecho+2] = round(deltaQi_novo, 5)

df_fluxo_de_carga.deltaPi_novo[1] = round(soma_perdas_Pi, 5)          # Soma de
perdas totais de Potencia ativa calculadas na iteraçao

df_fluxo_de_carga.deltaQi_novo[1] = round(soma_perdas_Qi, 5)          # Soma de
perdas totais de Potencia reativa calculadas na iteraçao

soma_perdas_velho_Pi = 0
soma_perdas_velho_Qi = 0

for trecho in range(len(df_fluxo_de_carga)-1):

soma_perdas_velho_Pi += float(df_fluxo_de_carga.deltaPi_velho[trecho+2])
soma_perdas_velho_Qi += float(df_fluxo_de_carga.deltaQi_velho[trecho+2])

df_fluxo_de_carga.deltaPi_velho[1] = round(soma_perdas_velho_Pi, 5)  # Soma de
perdas totais de Potencia ativa calculadas na iteraçao anterior

df_fluxo_de_carga.deltaQi_velho[1] = round(soma_perdas_velho_Qi, 5)  # Soma de
perdas totais de Potencia reativa calculadas na iteraçao anterior

erro = df_fluxo_de_carga.deltaPi_novo[1] - df_fluxo_de_carga.deltaPi_velho[1] #Cálculo
de erro

iteracoes +=1

# Atualização das perdas na nova iteraçao

for trecho in range(len(df_fluxo_de_carga)):

```

```

df_fluxo_de_carga.deltaPi_velho[trecho+1]= df_fluxo_de_carga.deltaPi_novo[trecho+1]
df_fluxo_de_carga.deltaQi_velho[trecho+1]= df_fluxo_de_carga.deltaQi_novo[trecho+1]

if(erro < float(df_fluxo_de_carga.Limite_Convergência[1]) or iteracoes ==
int(df_fluxo_de_carga.Limite_Iteração[1])): # Verifica condição de convergencia ou número
de iterações
    break

df_fluxo_de_carga.Numero_Iterações[1]= int(iteracoes) # Salva o número de iterações
else:
    print("Sistema não radial. Informe outro sistema")
guia_fluxo_de_carga.update([df_fluxo_de_carga.columns.values.tolist()]
+ df_fluxo_de_carga.values.tolist())
intervalo = "C{:F}".format(3,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 18,
        "green": 1,
        "blue": 51
    })
intervalo = "A{:B}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 149,
        "green": 87,
        "blue": 176
    })
intervalo = "G{:J}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 3,

```



```
"green": 26,  
"blue": 50  
}})
```

```
intervalo = "K{:L}".format(3,len(df_fluxo_de_carga)+1)
```

```
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
```

```
"backgroundColor": {
```

```
"red": 96,
```

```
"green": 58,
```

```
"blue": 23
```

```
}})
```

```
intervalo = "N{:O}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
```

```
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
```

```
"backgroundColor": {
```

```
"red": 3,
```

```
"green": 26,
```

```
"blue": 50
```

```
}})
```

```
intervalo = "M{:M}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
```

```
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
```

```
"backgroundColor": {
```

```
"red": 24,
```

```
"green": 25,
```

```
"blue": 155
```

```
}})
```

```
intervalo = "A{:O}".format(len(df_fluxo_de_carga)+2, 100)
```

```
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
```

```
"backgroundColor": {
```

```
"red": 1,
```

```
"green": 1,
```

```

    "blue": 1
    })
# Abre a planilha pelo seu ID ou URL
spreadsheet = client.open_by_key('15JgvmHQfTUenxI8OZFwaAP5nH3ZuOysSSCxo3jSfm5w')
# Selecciona a planilha pelo seu índice ou nome
guia_fluxo_de_carga = spreadsheet.worksheet('MMT')
# Retorna os dados da planilha
dados_fluxo_de_carga = guia_fluxo_de_carga.get_all_values()
# Transforma os dados em DataFrame
df_fluxo_de_carga = pd.DataFrame(dados_fluxo_de_carga)
# Renomeando colunas do dataframe
df_fluxo_de_carga.columns = ['Barra_k', 'Barra_i', 'Ri', 'Xi', 'PLi', 'QLi', 'SL', 'fp',
'delta_Pi', 'delta_Qi', 'Pi', 'Qi', 'Si', 'delta_Vi', 'Vi']
df_fluxo_de_carga.drop(0, inplace=True)
for coluna in ['Barra_k', 'Barra_i', 'Ri', 'Xi', 'PLi', 'QLi']:
    df_fluxo_de_carga[coluna]= df_fluxo_de_carga[coluna].astype(float)
# Metodo dos Momentos de Transporte
if is_radial():
    barras= list(df_fluxo_de_carga.loc[2:].Barra_i)
    barras.reverse() # Invertento a ordem
    Vn = float(df_fluxo_de_carga.loc[1].Vi)
    # Substitui valores ausentes na barra sem carga Líquida por 0
    df_fluxo_de_carga.PLi.loc[df_fluxo_de_carga.PLi==""] = 0
    df_fluxo_de_carga.QLi.loc[df_fluxo_de_carga.QLi==""] = 0
    # Calculando Potência aparente em cada barra e fator de potência
    for i in df_fluxo_de_carga.index.values[1:]:
        df_fluxo_de_carga.SL[float(i)]= (float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].PLi)**2 +
float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].QLi)**2)**0.5
        # df_fluxo_de_carga.fp[float(i)] = float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].PLi) /
float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].SL)

```

```

# Calculo de carga em cada barra
for i in barras:
    ramos=[]
    if not(i in list(df_fluxo_de_carga.Barra_k)): # Encontra as barras sem ramificações
        continue
    else: # Encontra as barras com ramificações
        for k in df_fluxo_de_carga.Barra_k: # Verifica quais barras pertencem a ramificação
            if k == " or i == ":
                continue
            elif i == k:
                ramos = list(df_fluxo_de_carga.loc[df_fluxo_de_carga.Barra_k==k].index.values)
#lista os indices das barras do ramo
        for ramo in ramos: #Percorre cada barra e trecho
            df_fluxo_de_carga.SL[float(i)+1] = round(float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)+1].SL) +
float(df_fluxo_de_carga.loc[float(ramo)].SL),4) # Soma das cargas nas barra com
ramificação
        # Calculo de perdas nos trechos
        for i in df_fluxo_de_carga.index.values[1:]:
            df_fluxo_de_carga.delta_Pi[float(i)]=
round(float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].Ri)*(float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].SL)**2
/Vn**2),4)
            df_fluxo_de_carga.delta_Qi[float(i)]=
round(float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].Xi)*(float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].SL)**2
/Vn**2),4)
        barras= list(df_fluxo_de_carga.Barra_i)
        barras.reverse() # Invertento a ordem
        # Calculo de fluxo de potência ativa e reativa nos trechos
        for i in barras:
            ramos=[]
            if not(i in list(df_fluxo_de_carga.Barra_k)): # Encontra as barras sem ramificações e
calcula as Potência P e Q

```

```

df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1]=float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)+1].PLi) #
Potência ativa na barra é igual a carga instalada na barra

df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1]=float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)+1].QLi) #
Potência reativa na barra é igual a carga instalada na barra

else: # Encontra as barras com ramificações e calcula as Potência P e Q

df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1] = float(df_fluxo_de_carga.PLi[float(i)+1]) # Barra
com ramificação com carga

df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1] = float(df_fluxo_de_carga.QLi[float(i)+1])

for k in df_fluxo_de_carga.Barra_k: # Verifica quais barras pertencem a ramificação
if k == " or i == ":
continue
elif i == k:
ramos = list(df_fluxo_de_carga.loc[df_fluxo_de_carga.Barra_k==k].index.values) #
lista os idices das barras do ramo

for ramo in ramos: # Percorre cada barra e trecho

df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1] = round(df_fluxo_de_carga.Pi[float(i)+1] +
float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].Pi)
+ float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].delta_Pi),4) # Potência ativa na barra com
ramificação

df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1] = round(df_fluxo_de_carga.Qi[float(i)+1] +
float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].Qi)
+ float(df_fluxo_de_carga.loc[ramo].delta_Qi),4) # Potência reativa na barra com
ramificação

# Calculo de fluxo de potencia aparente
for i in df_fluxo_de_carga.index.values[:]:

df_fluxo_de_carga.Si[float(i)]= round((float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].Pi)**2 +
float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].Qi)**2)**0.5, 4)

# Calculo de queda de tensão nos trechos
for i in df_fluxo_de_carga.index.values[1:]:

df_fluxo_de_carga.delta_Vi[float(i)]=
round((float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].Ri)*float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].fp)
+ float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].Xi)*mt.sin(mt.acos(0.8))
)*(float(df_fluxo_de_carga.loc[float(i)].Si))/Vn**2 , 4)

```

```

# Calculo de tensão nas barras
for i in df_fluxo_de_carga.Barra_i.index.values[1:]:
    V_k=df_fluxo_de_carga.loc[df_fluxo_de_carga.loc[df_fluxo_de_carga.Barra_k
==df_fluxo_de_carga.Barra_k[(i) ].index.values[0]].Vi # encontra a tensão na barra inicial
de cada trecho

    df_fluxo_de_carga.Vi[float(i)] = float(V_k) - df_fluxo_de_carga.delta_Vi[(i)] #encontra a
tensão na barra final subtrai a perda de tensão no trecho da barra inicial do trecho

soma_perdas_Pi = 0
soma_perdas_Qi = 0
for trecho in range(len(df_fluxo_de_carga)-1):
    soma_perdas_Pi += float(df_fluxo_de_carga.delta_Pi[trecho+2])
    soma_perdas_Qi += float(df_fluxo_de_carga.delta_Qi[trecho+2])

df_fluxo_de_carga.delta_Pi[1] = round(soma_perdas_Pi, 5) # Soma de perdas totais de
Potencia ativa calculadas na iteração anterior

df_fluxo_de_carga.delta_Qi[1] = round(soma_perdas_Qi, 5) # Soma de perdas totais de
Potencia reativa calculadas na iteração anterior

guia_fluxo_de_carga.update([df_fluxo_de_carga.columns.values.tolist()
df_fluxo_de_carga.values.tolist()
intervalo = "C {}:F {}".format(3,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 18,
        "green": 1,
        "blue": 51
    })
intervalo = "A {}:B {}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 149,
        "green": 87,
        "blue": 176

```

```

    })
intervalo = "G{:J}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 3,
        "green": 26,
        "blue": 50
    })
})
intervalo = "K{:L}".format(3,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 96,
        "green": 58,
        "blue": 23
    })
})
intervalo = "N{:O}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 3,
        "green": 26,
        "blue": 50
    })
})
intervalo = "M{:M}".format(2,len(df_fluxo_de_carga)+1)
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {
    "backgroundColor": {
        "red": 24,
        "green": 25,
        "blue": 155
    })
})
intervalo = "A{:O}".format(len(df_fluxo_de_carga)+2, 100)

```

```
guia_fluxo_de_carga.format(intervalo, {  
  "backgroundColor": {  
    "red": 1,  
    "green": 1,  
    "blue": 1  
  })  
})
```