



DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA INTERATIVA EM SCILAB PARA O ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS: UMA INICIATIVA DO PET/MEC

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6238

Autores: ANGELO GABRIEL VASCONCELOS DO NASCIMENTO, ANGELO GABRIEL VASCONCELOS DO NASCIMENTO, ARTHUR AUGUSTO GOMES

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional interativa em Scilab, criada no âmbito das monitorias tutoriadas do Programa de Educação Tutorial (PET)/MEC, com foco nos estudantes das engenharias Elétrica, Computação e Controle e Automação. O objetivo principal foi codificar o tópico de sistemas trifásicos equilibrados para auxiliar na superação das dificuldades de aprendizagem relacionadas a conceitos matemáticos, parâmetros de sinais instantâneos e análise fasorial. Para validar a eficácia da ferramenta, foram realizados cinco estudos de caso abrangendo diferentes configurações gerador-carga, demonstrando a conformidade dos resultados obtidos com a teoria. Conclui-se que o projeto PET/MEC contribui, para o aprimoramento da graduação em engenharia, fornecendo um recurso didático inovador que funciona como um tutor para os estudantes, permitindo a confrontação de cálculos e fomentando os primeiros passos em programação e pesquisa científica.

Palavras-chave: Scilab; Ensino de Engenharia; Circuitos Elétricos CA; Sistemas Trifásicos; PET/MEC.

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA INTERATIVA EM SCILAB PARA O ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS: UMA INICIATIVA DO PET/MEC

1 INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta os resultados das monitorias tutoriadas desenvolvidas no âmbito do Programa de Educação Tutorial (PET)/MEC. Com foco nos estudantes dos cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia de Computação e Engenharia de Controle e Automação, o presente trabalho teve como objetivo a codificação da ementa base da unidade curricular “Circuitos Elétricos em Corrente Alternada”, especificamente, envolvendo o tópico de sistemas trifásicos equilibrados utilizando o ambiente computacional Scilab.

O mencionado PET/MEC tem abrangência interdisciplinar, podendo seus integrantes pertencerem aos Cursos das Engenharias de Controle e Automação, Elétrica e Computação como também dos Cursos de Tecnologia em Redes de Computadores e Automação Industrial.

O tema norteador do PET é a área da Robótica como estratégia de integrar a interdisciplinaridade presente na sua composição. A estratégia adotada no planejamento e a respectiva execução das suas atividades como, por exemplo, recepção dos calouros, monitoria, sessões técnicas, pesquisa, oficinas técnicas tecnológicas, atividades com a comunidade, ações de caráter coletivo, tais como, “Maratona de Robótica” e a “Olimpíada Brasileira de Robótica” (OBR), eventos que garantem a indissociabilidade ensino-pesquisa-extensão. Em síntese, as ações do PET visam fortalecer a graduação, combater a evasão, promover estímulos nos estudantes para estudos de temas avançados e na formação da consciência da cidadania.

O atual projeto alinha-se à missão do PET, isto é, contribuir para o fortalecimento da graduação que, neste caso específico, ocorreu por meio da aplicação de uma estratégia que visa reduzir as dificuldades de aprendizado evidenciadas ao longo do desenvolvimento da unidade curricular de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada, bem como pautada pelas observações das monitorias exercidas pelos integrantes do Programa de Educação Tutorial (PET). Entre os obstáculos da aprendizagem, citam-se, como exemplo, conceitos matemáticos, compreensão dos parâmetros que compõem os sinais instantâneos da tensão, corrente e potência e a análise fasorial. Mesmo com a monitoria e a aula, propriamente dita, muitas das vezes, esses obstáculos são, notoriamente, difíceis de serem superados, fazendo com que os estudantes tenham que buscar aula extra de forma a aprimorar o seu aprendizado que nem sempre encontram algo eficiente de forma fácil e gratuita.

Diante desse contexto e visando reduzir as dificuldades mencionadas, o presente trabalho propõe uma metodologia para aumentar a eficiência no aprendizado da unidade curricular de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada no conteúdo de sistema trifásico equilibrado. Esta abordagem fundamenta-se na utilização do Scilab, um programa computacional gratuito e acessível de código aberto e de simples manuseio, como instrumento facilitador da aprendizagem. É reconhecido que diversas plataformas de software científico são extremamente úteis para o ensino de engenharia, destacando-se opções de código aberto como Matlab, Octave e o próprio Scilab, todos confiáveis para computação científica e análise de dados devido à sua diversidade de funções

matemáticas. Assim, a estratégia adotada concentra-se na aplicação do Scilab ao ensino da referida disciplina, explorando a visualização de fasores e a automatização da resolução de problemas, tendo como base a ementa curricular e as referências básicas de (BOYLESTAD, 2009), (NILSSON, 2018), (IRWIN, 2013), a documentação oficial do Scilab (2024) e a apostila de introdução ao Scilab (SILVA, 2024).

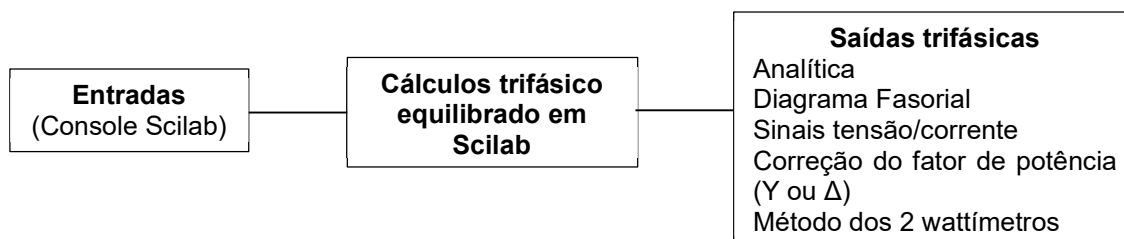
Nesse contexto, este artigo detalha o desenvolvimento dessa ferramenta computacional interativa em Scilab, sua metodologia de criação e os potenciais impactos no processo de ensino-aprendagem de circuitos elétricos trifásicos equilibrados, reforçando o papel do PET/MEC no fortalecimento da formação em engenharia.

2. METODOLOGIA

2.1 Estrutura do programa

Para atender a ementa da unidade curricular de “Circuitos Elétricos CA” no tocante ao conteúdo de circuito elétrico equilibrado, a estrutura do programa é constituída por três blocos, conforme mostra a “Figura 1”.

Figura 1 – Estrutura do programa em Scilab.



Fonte: Autoral

É importante destacar que a codificação em Scilab foi procedural e funcional, de maneira a facilitar a compreensão da programação pelo usuário e, conseqüentemente, permitir que o estudante possa alterar e/ou atualizar o programa para outros temas de circuitos elétricos. Na sequência, são fornecidos detalhes de cada um dos blocos citados anteriormente.

2.2 Parâmetros de entrada

A “Figura 2” ilustra os parâmetros de entrada solicitados no console do Scilab

Figura 2 - Parâmetros de Entrada (console Scilab).

Digite a frequência do sistema:
Sequência de fase (abc ou cba):
Digite a conexão do GERADOR, digite: 1 (estrela) ou 2 (triângulo):
Digite o módulo da tensão de linha AB [V] do gerador:
Digite o ângulo da tensão de linha AB (graus) do gerador:
Digite o módulo da impedância da linha [Ohm]:
Digite o ângulo da impedância da linha (graus):
Digite a conexão da CARGA, digite 1 (estrela) ou 2 (triângulo):
Digite o módulo da impedância da CARGA [Ohm]:
Digite o ângulo da impedância da CARGA (graus):
Deseja corrigir o fator de potência, digite: 1 (sim) ou 2 (não):

Fonte: Autoral

De acordo com a “Figura 2”, para os cálculos do trifásico equilibrado, o sistema solicita as entradas envolvendo apenas as fases A e B, sendo as relações elétricas das outras fases, obtidas a partir destes dados iniciais. É na entrada que são definidas as tensões de linha, conexões (estrela ou triângulo) do gerados e da carga, bem como as impedâncias e a correção do fator de potência.

Outro aspecto a ser observado na entrada é possibilidade da presença ou não da impedância (ZT) entre o gerador e a carga elétrica. A “Figura 3” mostra o console de entrada do aplicativo.

Figura 3 – Entradas pelo console do Scilab.

```
Digite a frequência do sistema: 60

| 1 - Sequência ABC |
| 2 - Sequência CBA |
Sequência de fase: 1

##### DADOS DO GERADOR #####
Digite a conexão do GERADOR, digite 1 (estrela) ou 2 (triângulo): 1

Digite o módulo da tensão de linha AB [V] do gerador: 220

Digite o ângulo da tensão de linha AB (graus) do gerador: 0

##### DADOS DA IMPEDÂNCIA DA LINHA DE TRANSMISSÃO #####
Digite o módulo da impedância da linha [Ohm]: 0.224

Digite o ângulo da impedância da linha (graus): 63.43

##### DADOS DA IMPEDÂNCIA DA CARGA #####
Digite a conexão da CARGA, digite 1 (estrela) ou 2 (triângulo): 2

Digite o módulo da impedância da CARGA [Ohm]: 5

Digite o ângulo da impedância da CARGA (graus): 53.13

O Fator de potência da instalação é 0.60 !
Deseja corrigir 1(sim) 2(não): 1

Digite o fator de potência desejado (0 - 1): 0.94
```

Fonte: Autoral

2.3 Cálculos trifásico equilibrado em Scilab

As “Equações 1 e 2,” representam as expressões matemáticas dos sinais instantâneos de tensão e corrente, respectivamente, que são utilizadas pelo programa. As expressões para as demais fases, foram acrescentados os correspondentes defasamentos.

$$V_{ab}(t) = V_{abm} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F \pm \theta_{v_{ab}}) [V] \quad (1)$$

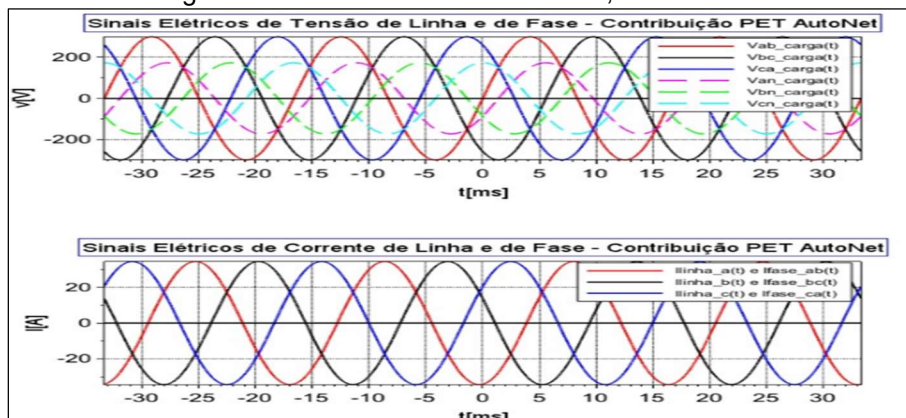
$$I_{ab}(t) = I_{abm} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F \pm \theta_{i_{ab}}) [A] \quad (2)$$

Onde:

- V_{abm} , I_{abm} : Valores máximos de tensão e corrente;
- F : Frequência, definida como o número de ciclos de oscilação por segundo [Hz];
- θ_v , θ_i : Representação do ângulo de fase da tensão [°] e;
- $\pm$: Operação para o deslocamento do sinal de tensão e corrente.

Apesar da entrada do aplicativo solicitar apenas dados das fases AB, nos cálculos das outras fases, foram considerados os defasamentos de 120° entre si, seja em sequência positiva ou negativa. A “Figura 4” exemplifica os sinais de tensão e corrente defasados de 120° entre si que são geradas pelo aplicativo.

Figura 4 - Sinais de tensão e corrente, linha e fase.



Fonte: Autoral

No que se refere aos cálculos analíticos foram baseados nas relações indicadas no “Tabela 1”.

Tabela 1 – Relações elétricas de base usadas nos cálculos.

Parâmetros Elétricos	Relações Elétricas
Tensão elétrica RMS	$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} [V]$
Corrente elétrica RMS	$I_{RMS} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} [A]$
Período	$T = \frac{1}{F} [s]$
Frequência	$F = \frac{1}{T} [Hz]$
Fator de potência (FP)	$FP = \cos(\theta)$
Velocidade Angular	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot F \left[\frac{rad}{s} \right]$
Tensão Instantânea	$V(t) = V_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F \pm \theta_v) [V]$
Corrente Instantânea	$I(t) = I_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F \pm \theta_i) [A]$
Potência Ativa	$P = \sqrt{3} \cdot V_{linha} \cdot I_{linha} \cdot \cos(\Delta\theta) [W]$
Potência Reativa	$Q = \sqrt{3} \cdot V_{linha} \cdot I_{linha} \cdot \sin(\Delta\theta) [VAr]$
Potência Aparente	$S = \sqrt{3} \cdot V_{linha} \cdot I_{linha} \angle \Delta\theta [VA]$
Fasor Tensão	$V = V \angle \theta_v [V]$
Fasor Corrente	$I = I \angle \theta_i [A]$
Impedância Retangular	$Z = A + jB [\Omega]$
Impedância	$Z = \frac{ V \angle \theta_v}{ I \angle \theta_i} [\Omega]$
Potência reativa desejada	$Q_{desejada} = Q_{antigo} - Q_{novo}$
Potência do capacitor	$Q = \frac{v^2}{XC} [VAr]$
Capacitância	$C = \frac{1}{\omega \cdot XC} [F]$
Reatância Capacitiva	$XC = \frac{1}{\omega \cdot C} [\Omega]$
Corrente de fase após correção do FP	$I_{fase} = I_{fase_{carga}} + I_{fase_{capacitor}}$
Corrente de linha após correção do FP	$I_{linha} = \sqrt{3} \cdot I_{fase} \angle \theta_{fase} - 30^\circ$

Fonte: Autoral

O método dos 2 wattímetros também foi implementado no aplicativo com a finalidade de confrontar os resultados dos fasores de tensão e corrente e do triângulo de potência trifásico. Neste caso, a “Tabela 2” relaciona as expressões elétricas das potências, PA e PC, e do ângulo do fator de potência, utilizadas no programa.

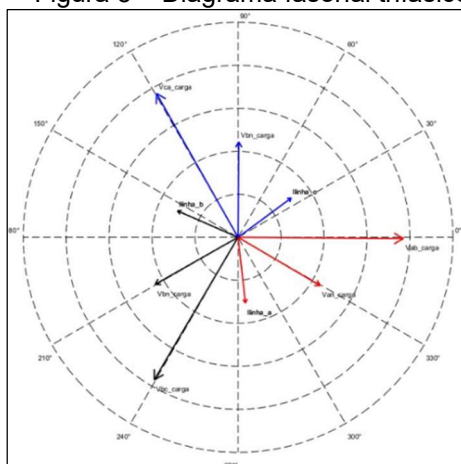
Tabela 2 – Expressões usadas no método dos 2 wattímetros.

PA	$V_{LL} \cos(+30 + \theta) [W]$
PC	$V_{LL} \cos(-30 + \theta) [W]$
Ângulo do Fator de Potência	$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}(PC - PA)}{PA + PC} \right)$

Fonte: Autoral.

Os cálculos não só permitiram a obtenção dos fasores, do triângulo de potência trifásico e a correção do fator de potência, mas também serviram de base para a programação do diagrama fasorial trifásico no modo gráfico. A “Figura 5” ilustra o diagrama fasorial gerado pelo aplicativo.

Figura 5 – Diagrama fasorial trifásico.

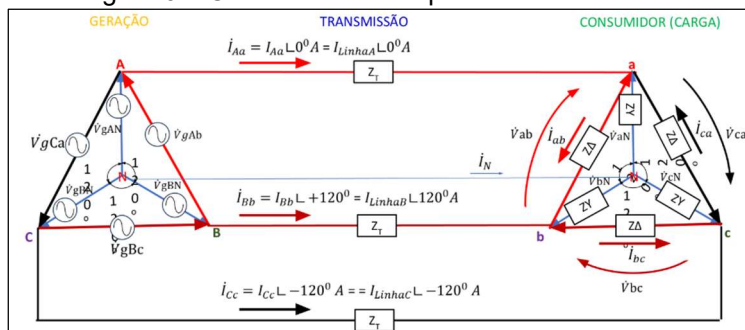


Fonte: Autoral

3 RESULTADOS

A “Figura 6” evidencia a representação esquemática das ligações do sistema trifásico equilibrado utilizado como base para os resultados obtidos pelo programa. O diagrama ilustra as conexões de geração, transmissão e carga, mostrando os fasores das tensões e correntes de linha e de fase, bem como a modelagem das impedâncias envolvidas. Essa representação serve de referência para a interpretação dos resultados numéricos e gráficos gerados pelo software. Pela “Tabela 3” pode-se observar os diferentes casos que poder ser analisados pelo programa.

Figura 6 – Circuito trifásico equilibrado utilizado nos casos.



Fonte: Autoral

A “Tabela 3” sintetiza os cinco estudos de caso, derivados das combinações entre as conexões (estrela-triângulo) envolvendo o gerador e a carga.

Tabela 3 – Casos baseados nas conexões (estrela-triângulo) Gerador-Carga.

Casos	Conexões Gerador	Impedância de linha	Conexões Carga
1	Y	Z_{linha}	Y
2	Y	Z_{linha}	Δ
3	Δ	Z_{linha}	Δ
4	Δ	Z_{linha}	Y
5 (FP)	Δ	Z_{linha}	Y

Fonte: Autoral

O “Caso 5 (FP)” está relacionado à correção do fator de potência. Além disso, os resultados estão vinculados à carga e para todos os casos foram utilizadas as mesmas entradas para frequência, fasor tensão do gerador, impedância de linha e de carga cujos dados estão indicados na “Tabela 4”.

Tabela 4 – Dados usados nos estudos de caso.

F	V_{rms}	θ_v	Z_{linha}	$\theta_{Z_{linha}}$	Z_{carga}	$\theta_{Z_{carga}}$
60 Hz	220 V	0°	0.224 Ω	63,43°	5 Ω	53,13

Fonte: Autoral

Os resultados obtidos em cada caso estão divididos em relatório analítico dos fasores de tensão e corrente, seguido pelo cálculo das potências da instalação, sinais de tensão e corrente, de linha e fase, em função do tempo e um diagrama fasorial trifásico. Destacando que os sinais instantâneos serão mostrados apenas no “Caso 1” por questão de espaço.

3.1 Caso 1: Conexão estrela-estrela (Y- Y)

A “Figura 7” mostra os resultados analíticos.

Figura 7 – Relatório analítico estrela-estrela (caso 1).

```

***** CONTRIBUIÇÃO PET AutoNet/IFMT *****
***** RELATÓRIO *****
***** PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS SINAIS DA TENSÃO, DA CORRENTE E DA POTÊNCIA *****

-----TENSÕES DE LINHA DA CARGA-----
A)-->Vab_carga: 210.71 | -0.44°
B)-->Vbc_carga: 210.71 | -120.44°
C)-->Vca_carga: 210.71 | 119.56°

-----TENSÕES DE FASE DA CARGA-----
D)-->Van_carga: 121.65 | -30.44°
E)-->Vbn_carga: 121.65 | -150.44°
F)-->Vcn_carga: 121.65 | 89.56°

-----CORRENTES DE LINHA-----
G)-->Ilinha_a: 24.33 | -83.57°
H)-->Ilinha_b: 24.33 | 156.43°
I)-->Ilinha_c: 24.33 | 36.43°

-----QUEDA DE TENSÕES DE LINHA-----
G)-->Vlinha_a: 5.45 | -20.14°
H)-->Vlinha_b: 5.45 | -140.14°
I)-->Vlinha_c: 5.45 | 99.86°

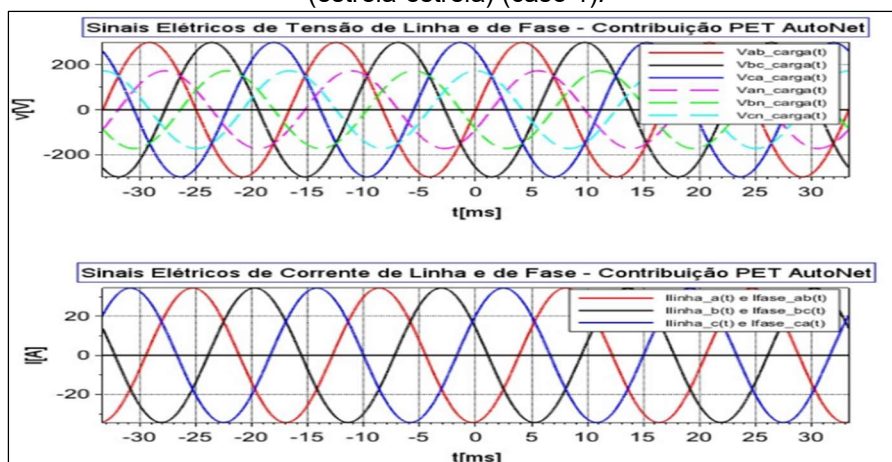
-----CÁLCULO DAS POTÊNCIAS-----
J)-->Potência aparente (trifásica) [VA]: 8879.405
K)-->MEDIÇÃO da Potência aparente (trifásica) Método 2 wattímetro[VA]: 8879.405
L)-->Potência ativa (trifásica) [W]: 5327.6557
M)-->MEDIÇÃO da Potência ativa (trifásica) Método 2 wattímetro[W]: 5327.6557
N)-->Potência reativa (trifásica) [VAR]: 7103.5145
O)-->MEDIÇÃO da Potência reativa (trifásica) Método 2 wattímetro[VAR]: 7103.5145
P)-->Fator de potência: 0.6000014
Q)-->MEDIÇÃO do Fator de Potência Método dos 2 wattímetros [Var]: 0.6000014 indutivo

```

Fonte: Autoral

Pela “Figura 7”, verifica-se que as tensões de linha têm magnitude maior que as tensões de fase-neutro e suas respectivas fases defasadas de 30°, características típicas de uma carga conectada em estrela. Observa-se, ainda, que os resultados do método dos 2 wattímetros são iguais àqueles do triângulo de potência trifásico, significando também que os fasores de tensão e corrente de linha foram calculados corretamente pelo programa. A “Figura 8” ilustra sinais instantâneos das tensões e correntes, respectivamente.

Figura 8 - Sinais de tensão e corrente no tempo (estrela-estrela) (caso 1).

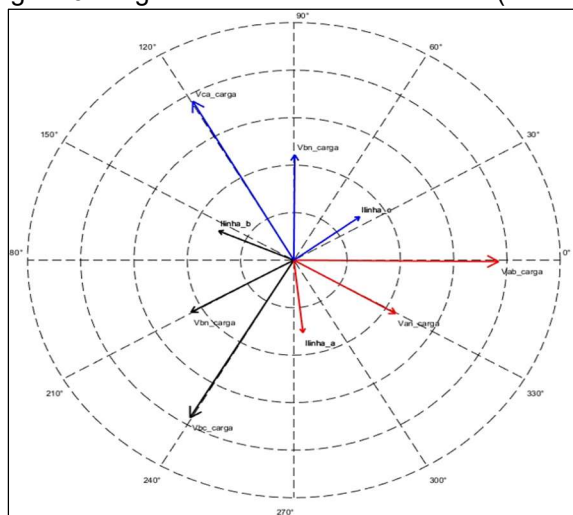


Fonte: Autoral

Na “figura 8”, o gráfico superior apresenta as variações das tensões de linha e de fase, enquanto o gráfico inferior exibe as correntes correspondentes. As legendas em cada gráfico permitem a identificação dos sinais e facilitam a análise visual da defasagem de 120° , frequência e amplitude das grandezas envolvidas.

Com o auxílio do diagrama fasorial apresentado na “Figura 9”, é possível visualizar com clareza a simetria entre os fasores e a defasagem de 120° entre eles, típica de sistemas trifásicos equilibrados.

Figura 9 - Digrama Fasorial estrela-estrela (caso 1).



Fonte: Autoral

3.2 Caso 2: Conexão Y- Δ

A “Figuras 10” ilustra o relatório analítico do “Caso 2”.

Figura 10 - Relatório estrela-delta (caso 2).

*****	CONTRIBUIÇÃO PET AutoNet/IFMT	*****
*****	RELATÓRIO	*****
~~~~~	PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS SINAIS DA TENSÃO, DA CORRENTE E DA POTÊNCIA	~~~~~
-----TENSÕES DE LINHA DA CARGA-----		
A)-->Vab_carga [V] : 194.26   -1.22°		
B)-->Vbc_carga [V] : 194.26   -121.22°		
C)-->Vca_carga [V] : 194.26   118.78°		
-----CORRENTES DE LINHA-----		
D)-->Ilinha_a : 67.29   -84.35°		
E)-->Ilinha_b : 67.29   155.65°		
F)-->Ilinha_c : 67.29   35.65°		
-----CORRENTES DE FASE DA CARGA-----		
G)-->Ifase_ab : 38.85   -54.35°		
H)-->Ifase_bc : 38.85   -174.35°		
I)-->Ifase_ca : 38.85   65.65°		
-----TENSÕES DE LINHA-----		
G)-->Vlinha_a : 15.07   -20.92°		
H)-->Vlinha_b : 15.07   -140.92°		
I)-->Vlinha_c : 15.07   99.08°		
-----CÁLCULO DAS POTÊNCIAS-----		
J)-->Potência aparente (trifásica) [VA]: 22642.716		
K)-->MEDIÇÃO da Potência aparente (trifásica) Método 2 WATT. [VA]:22642.716		
L)-->Potência ativa (trifásica) [W]: 13585.662		
M)-->MEDIÇÃO da Potência ativa (trifásica) Met. 2 WATT.[W]: 13585.662		
N)-->Potência reativa (trifásica) [VAR]: 18114.148		
O)-->MEDIÇÃO da Potência reativa (trifásica) Met. 2 WATT.[VAR]: 18114.148		
P)-->Fator de potência: 0.6000014		
Q)-->MEDIÇÃO do Fator de Potência Método dos 2 wattímetros [VAR]:0.6000014 indutivo		

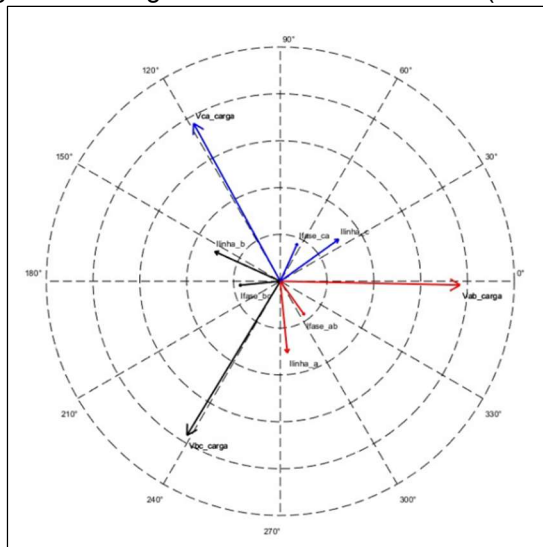
Fonte: Autoral

Pela “Figura 10”, verifica-se que as correntes de linha têm magnitude maior que as correntes de fase e suas respectivas fases defasadas de  $30^\circ$ , características típicas de uma carga conectada em triângulo. Nota-se, ainda, que os resultados do método dos 2 wattímetros são iguais àqueles do triângulo de potência trifásico, significando também que os fasores de tensão e corrente de linha foram calculados corretamente pelo programa.



O diagrama fasorial apresentado na “Figura 11”, é possível visualizar com clareza a simetria entre os fasores e a defasagem de  $120^\circ$  entre eles, típica de sistemas trifásicos equilibrados.

Figura 11 - Diagrama Fasorial estrela-delta (caso 2).



Fonte: Autoral

### 3.3 Caso 3: circuito elétrico $\Delta$ - $\Delta$

A “Figura 12” apresenta o relatório analítico do “Caso 3”.

Figura 12 - Relatório analítico triângulo-delta (caso 3).

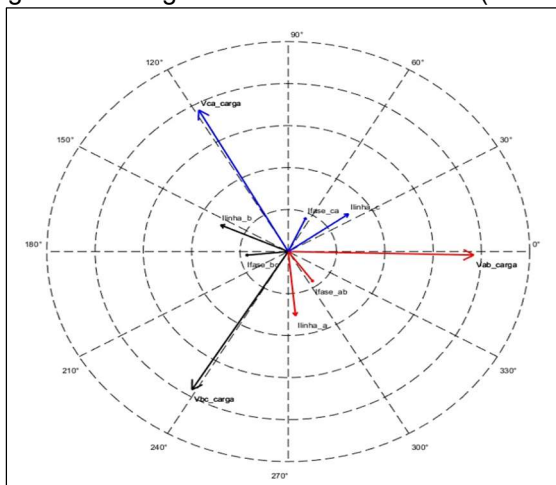
*****	CONTRIBUIÇÃO PET AutoNet/IFMT	*****
*****	RELATÓRIO	*****
*****	PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS SINAIS DA TENSÃO, DA CORRENTE E DA POTÊNCIA	*****
-----TENSÕES DE LINHA DA CARGA-----		
A) -->	Vab_carga [V] :	194.26   -1.22°
B) -->	Vbc_carga [V] :	194.26   -121.22°
C) -->	Vca_carga [V] :	194.26   118.78°
-----CORRENTES DE LINHA-----		
D) -->	Ilinha_a :	67.29   -84.35°
E) -->	Ilinha_b :	67.29   155.65°
F) -->	Ilinha_c :	67.29   35.65°
-----CORRENTES DE FASE DA CARGA-----		
G) -->	Ifase_ab :	38.85   -54.35°
H) -->	Ifase_bc :	38.85   -174.35°
I) -->	Ifase_ca :	38.85   65.65°
-----TENSÕES DE LINHA-----		
G) -->	Vlinha_a :	15.07   -20.92°
H) -->	Vlinha_b :	15.07   -140.92°
I) -->	Vlinha_c :	15.07   99.08°
-----CÁLCULO DAS POTÊNCIAS-----		
J) -->	Potência aparente (trifásica) [VA] :	22642.716
K) -->	MEDICÃO da Potência aparente (trifásica) Método 2 WATT. [VA] :	22642.716
L) -->	Potência ativa (trifásica) [W] :	13585.662
M) -->	MEDICÃO da Potência ativa (trifásica) Met. 2 WATT. [W] :	13585.662
N) -->	Potência reativa (trifásica) [VAR] :	18114.148
O) -->	MEDICÃO da Potência reativa (trifásica) Met. 2 WATT. [VAR] :	18114.148
P) -->	Fator de potência :	0.6000014
Q) -->	MEDICÃO do Fator de Potência Método dos 2 wattímetros [VAR] :	0.6000014 indutivo

Fonte: Autoral

Pela “Figura 12”, observa-se que as correntes de linha têm magnitude maior que as correntes de fase na proporção de “raiz quadrada de 3” e suas respectivas fases defasadas de  $30^\circ$ , características típicas de uma carga conectada em triângulo. Nota-se, ainda, que os resultados do método dos 2 wattímetros são iguais àqueles do triângulo de potência trifásico, significando também que os fasores de tensão e corrente de linha foram calculados corretamente pelo programa.

O diagrama fasorial apresentado na “Figura 13”, é possível visualizar com clareza a simetria entre os fasores e a defasagem de  $120^\circ$  entre eles, típica de sistemas trifásicos equilibrados.

Figura 13 - Diagrama Fasorial delta-delta (caso 3).



Fonte: Autoral

### 3.4 Caso 4: circuito elétrico $\Delta$ -Y

A “Figura 14” evidencia o relatório analítico apresentado para a fonte em delta e carga em estrela.

Figura 14 - Relatório delta-estrela (caso 4).

```

+++++++ CONTRIBUIÇÃO PET AutoNet/IFMT ++++++++
***** RELATÓRIO *****
$$$$$ PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS SINAIS DA TENSÃO, DA CORRENTE E DA POTÊNCIA $$$$$

-----TENSÕES DE LINHA DA CARGA-----
A)-->Vab_carga: 210.71 | -0.44°
B)-->Vbc_carga: 210.71 | -120.44°
C)-->Vca_carga: 210.71 | 119.56°
-----TENSÕES DE FASE DA CARGA-----
D)-->Van_carga: 121.65 | -30.44°
E)-->Vbn_carga: 121.65 | -150.44°
F)-->Vcn_carga: 121.65 | 89.56°
-----CORRENTES DE LINHA-----
G)-->Ilinha_a: 24.33 | -83.57°
H)-->Ilinha_b: 24.33 | 156.43°
I-->Ilinha_c: 24.33 | 36.43°
-----QUEDA DE TENSÕES DE LINHA-----
G)-->Vlinha_a: 5.45 | -20.14°
H)-->Vlinha_b: 5.45 | -140.14°
I-->Vlinha_c: 5.45 | 99.86°
-----CÁLCULO DAS POTÊNCIAS-----
J)-->Potência aparente (trifásica) [VA]: 8879.405
K)-->MEDIÇÃO da Potência aparente (trifásica) Método 2 wattímetro[VA]: 8879.405
L)-->Potência ativa (trifásica) [W]: 5327.6557
M)-->MEDIÇÃO da Potência ativa (trifásica) Método 2 wattímetro[W]: 5327.6557
N)-->Potência reativa (trifásica) [VAR]: 7103.5145
O)-->MEDIÇÃO da Potência reativa (trifásica) Método 2 wattímetro[VAR]: 7103.5145
P)-->Fator de potência: 0.6000014
Q)-->MEDIÇÃO do Fator de Potência Método dos 2 wattímetros [VAR]: 0.6000014 indutivo

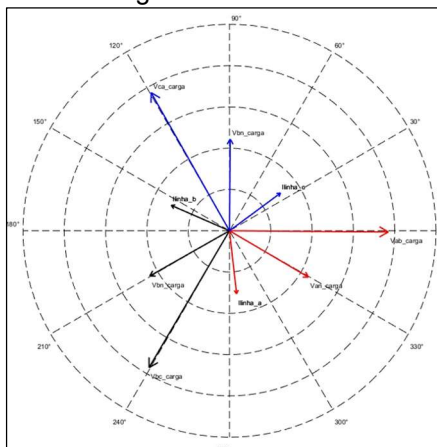
```

Fonte: Autoral

De acordo com “Figura 14”, nota-se que as tensões de linha têm magnitude maior que as tensões de fase-neutro na proporção da “raiz quadrada de 3” e as suas respectivas fases defasadas de  $30^\circ$ , características típicas de uma carga conectada em estrela. Observa-se, ainda, que os resultados do método dos 2 wattímetros são iguais àqueles do triângulo de potência trifásico, significando também que os fasores de tensão e corrente de linha foram calculados corretamente pelo programa.

O diagrama fasorial apresentado na “Figura 15”, é possível visualizar com clareza a simetria entre os fasores e a defasagem de  $120^\circ$  entre eles, típica de sistemas trifásicos equilibrados.

Figura 15 - Diagrama Fasorial delta-estrela (caso 4) .



Fonte: Autoral

### 3.5 Caso 5: Caso 4 com correção do fator de potência de 0.6 ind para 0.94 ind

Para o estudo do caso 5 foi usado para fins de comparação, a configuração do “Caso 4 ( $\Delta$ -Y)”. Por motivos de espaço, será mostrado apenas os resultados cruciais da correção do fator de potência que estão mostrados na “Figura 16”.

Figura 16 - Correção do Fator de Potência delta-estrela.

```
-----CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA-----
R)-->Fator de potência corrigido: 0.94
S)-->Potencia reativa corrigida: 1933.68[VAr]
T)-->Potência do capacitor por fase: 1723.28[VAr]
U)-->Capacitância por fase: 308.88[uF]
V)-->Potencia aparente trifásica corrigida: 5667.72[VA]
W)-->Corrente de fase corrigida: 15.53 |__ -50.39°
X)-->Corrente de linha corrigida: 15.53 |__ -50.39°
```

Fonte: Autoral

A “Tabela 4” resume o comparativo entre o “Caso 4 ( $\Delta$ -Y)” sem e com correção do fator de potência.

Tabela 4 – Comparação sem e com correção do FP do Caso 4”.

Parâmetros	Caso 4 ( $\Delta$ -Y)	Caso 5 ( $\Delta$ -Y) : Caso 4 com correção do FP
FP	0,6 ind	0,94 ind
Q [kVAr]	7103,5145	1933,68
QC[kVAr]	-	1723,28
S [kVA]	8879,405	5667,72
Van [V]	121,65 $\angle$ -30,44	121,65 $\angle$ -30,44
Ifase [A]	24,33 $\angle$ -83,57	15,53 $\angle$ -50,39
Ângulo do fator de potência ( $\theta$ )	53,03 ind	19,95 ind
FP = cos( $\theta$ )	0,6 ind	0,94 ind

Fonte: Autoral

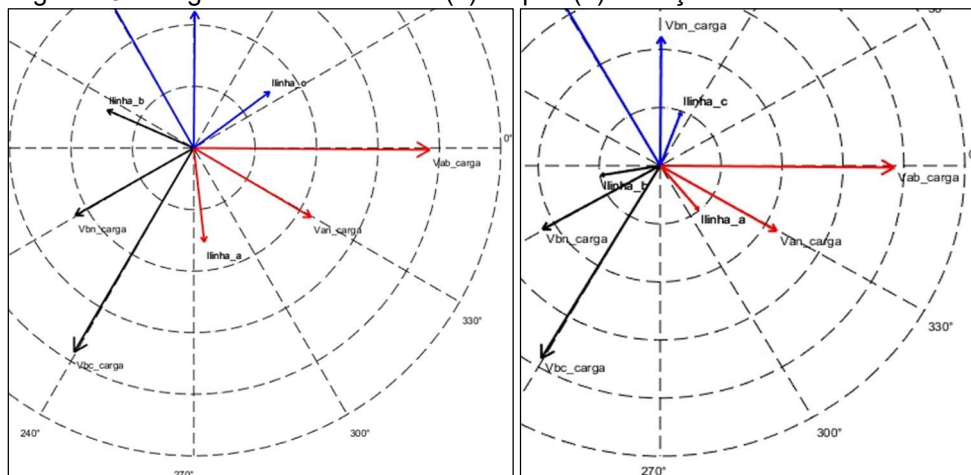
De acordo com os resultados da “Tabela 4”, nota-se que, após a correção do fator de potência do “Caso 4”, houve a “diminuição” do reativo e da potência aparente da carga. Além disso, a redução da corrente na carga. Por fim, o fator de potência resultante, calculados a partir dos resultados do programa, estão alinhados com o esperado, demonstrando que o programa executou a correção do fator de potência corretamente.

Os diagramas fasoriais apresentados na “Figura 18”, compara no detalhe os resultados das correntes de fase com as respectivas tensões de fase, antes, “Figura 18 –



a" e após ("Figura 18 – b") a correção do fator de potência. Verifica-se que após a correção do fator de potência houve a diminuição do ângulo do defasamento entre as correntes com as tensões de fase. Além disso, é possível visualizar com clareza a simetria entre os fasores e a defasagem de  $120^\circ$  entre eles, típica de sistemas trifásicos equilibrados.

Figura 18 - Diagrama Fasorial antes (a) e após (b) correção do Fator de Potência.



Fonte: Autoral

(a)

Fonte: Autoral

(b)

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficácia da metodologia proposta foi validada por meio de cinco estudos de caso. Os resultados obtidos, incluindo os cálculos e os gráficos gerados pelo software, demonstram plena conformidade com a teoria de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada em sistemas trifásicos equilibrados.

A simplicidade da estrutura do código-fonte facilita a utilização e manutenção do programa, incentivando a exploração e o aprofundamento nos estudos de sistemas elétricos por parte de pesquisadores, professores e estudantes. Assim, podem ser usados para estudar outros assuntos importantes de engenharia, como sistemas trifásicos desequilibrados e qualidade da energia, o que torna o programa ainda mais útil para o ensino. Além disso, o programa é uma boa ferramenta para os professores criarem trabalhos práticos.

Esses trabalhos ajudam os alunos a fixarem bem as ideias da matéria e dar os primeiros passos em programação e pesquisa científica, para que mais gente possa usar e ajudar a melhorar. O código-fonte do programa será disponibilizado publicamente em um repositório online, facilitando o acesso, a replicação e a colaboração da comunidade acadêmica.

Em síntese, este trabalho do PET alcançou seu objetivo principal de contribuir para o aprimoramento do curso de graduação em engenharia. Transformando o conteúdo de Circuitos Elétricos em Corrente Alternada em um programa de computador interativo e de código aberto, oferecendo aos estudantes e professores um material de estudo fácil de usar, de graça e que funciona bem. Isso ajuda a aprender de um jeito mais prático, interessante e de acordo com o que se espera de um engenheiro hoje em dia. Por fim, o aplicativo fornece segurança ao estudante porque, facilmente, ele tem a oportunidade de confrontar os seus cálculos com as respostas do aplicativo que, de certa forma, funciona como tutor dos estudantes.

Está previsto para o futuro próximo, a coleta de feedbacks dos estudantes sobre a usabilidade e a eficácia da ferramenta.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial (PET)/MEC e aos monitores petianos que auxiliaram e fortaleceram o aprendizado em Circuitos Elétricos em Corrente Alternada.

## REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**, São Paulo: Editora Prentice Hall. 12 d. 2009.

IRWIN, J. D.; NELMS R. M. **Análise Básica de Circuitos para Engenharia**. 10. Ed, São Paulo: LTC. 2013.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. **Circuitos Elétricos**. 8. Ed, São Paulo: Prentice Hall do Brasil. 2018.

SCILAB. Página oficial. Disponível em: <https://www.scilab.org/>. Acesso em 15 de mai. 2024.

SILVA, E. M. Introdução ao Scilab Introdução ao Scilab (Aula 1). Disponível em: [https://www.lee.uerj.br/~elaine/aula1_2007.pdf](https://www.lee.uerj.br/~elaine/aula1_2007.pdf). Acesso em 15 de mai. 2024.

## DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE TOOL IN SCILAB FOR TEACHING BALANCED THREE-PHASE ELECTRICAL CIRCUITS: A PET/MEC INITIATIVE

**Abstract:** *This article presents the development of an interactive computational tool in Scilab, created within the scope of tutored monitoring activities of the Tutorial Education Program (PET)/MEC, focusing on Electrical, Computer, and Control and Automation engineering students. The main objective was to codify the core syllabus of the "AC Electrical Circuits" course unit, specifically the topic of balanced three-phase systems, to aid in overcoming learning difficulties related to mathematical concepts, instantaneous signal parameters, and phasor analysis. The methodology details the program's three-block structure, implemented equations, and input parameters. To validate the tool's effectiveness, five case studies covering different generator-load configurations were conducted, demonstrating the conformity of the obtained results (calculations and graphs) with theoretical principles. The discussion highlights the importance of accessible and open-source computational tools, such as Scilab, in promoting more practical, interactive, and autonomous learning. It is concluded that the PET/MEC project significantly contributes to the enhancement of undergraduate engineering education by providing an innovative didactic resource that functions as a tutor for students, allowing them to cross-reference their calculations and fostering initial steps in programming and scientific research.*

**Keywords:** Scilab; Engineering Education; AC Electrical Circuits; Three-Phase Systems; PET/MEC.

