



DINÂMICA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DE CURTOS CIRCUITOS TRIFÁSICOS EM SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA APLICADO AO ENSINO DE ENGENHARIA

Victor S. de Freitas – victorfreitas89@yahoo.com.br
Gustavo X. J. Ikeda – gustavojun@ymail.com
Thiago C. Dias – tcdias@yahoo.com.br
Renan L. P. de Medeiros – renanlandau@yahoo.com.br
Orlando F. Silva – orfosi@ufpa.br
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá
CEP 66075-110 – Belém – Pará

Resumo: *O intuito deste trabalho é desenvolver e aplicar um método de ensino para Engenharia, especificamente para a área de Sistemas Elétricos de Potência. Tal objetivo é baseado na construção de um programa em ambiente Matlab para o cálculo de matrizes impedância e admitância de qualquer sistema, partindo de uma interface gráfica amigável para a inserção de dados, e após, realizar análises de correntes de curto circuito trifásico em barras deste sistema. O método foi aplicado em uma classe formada por alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará e abrangeu referenciais teóricos e atividades propostas por um roteiro com o objetivo de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem em engenharia. Os resultados foram tanto as simulações dos cálculos quanto a coleta de dados a partir de questionários respondidos pelos estudantes, obtendo gráficos que mostraram o desempenho e a eficiência do método.*

Palavras-chave: *Sistemas elétricos de potência, Curto circuito trifásico, Matlab, Complemento ao ensino.*

1. INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico está constantemente sujeito a ocorrências que causam perturbações no seu estado normal. Estas perturbações alteram as grandezas elétricas (corrente, tensão e frequência), provocando violações nas restrições operativas. As perturbações mais comuns e também as mais severas são os curtos-circuitos, que ocorrem em decorrência da ruptura da isolação entre as fases ou entre a fase e a terra. A magnitude das correntes de curtos-circuitos depende de vários fatores, dentre eles o tipo de curto circuito e a topologia da rede elétrica. É importante o conhecimento acerca das correntes de falta para realizar as proteções do sistema elétrico de forma adequada e segura.

Realização:



Organização:





Uma opção para a investigação de circuitos elétricos é a utilização de métodos matriciais a partir de recursos computacionais, os quais mostram-se eficientes para a análise e solução de sistemas elétricos de maior porte.

Um ambiente computacional como o Software Matlab é capaz de realizar cálculos a partir de linhas de comando ou blocos de funções, assim como representações gráficas e numéricas que tornam a análise da resposta de um sistema mais simples, e assim, estendendo a implementação dos mesmos como proposta de ferramenta interativa ao Ensino de Engenharia.

O objetivo deste trabalho é a criação de uma rotina de programa em ambiente Matlab, utilizando uma interface amigável para o cálculo das matrizes impedância e admitância de um sistema de potência genérico, no qual se conheça sua topologia de rede, limitada ao número de barras do sistema e às impedâncias das linhas de ligação entre as barras. Além do mais, objetiva-se também realizar estudos perante um curto circuito trifásico em uma barra presente do sistema, de tal forma que seja informado como solução, a corrente de curto circuito e quais são as maiores contribuições de uma linha à falta, com valores em p.u (por unidade).

2. REPRESENTAÇÃO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

2.1. Modelagens e diagramas representativos de sistemas de potência

As redes elétricas são formadas e modeladas no nível de barramentos e ramos, onde as subestações são representadas por barras, ou nós, e linhas de transmissão e transformadores são representados por ramos que interligam as barras do sistema (BORGES JR & MEDEIROS, 2009). A representação simplificada de sistemas elétricos de potência pode ser desenhada em diagramas unifilares, nas quais são utilizadas apenas linhas para realizar as interligações. Em sistemas trifásicos equilibrados, a rede é substituída por traços únicos e os elementos que lhes compõem são identificados através de símbolos padronizados (ALMEIDA & FREITAS, 1995). Para a realização de estudos do comportamento do sistema em condições de carga ou durante a ocorrência de curtos circuitos, o diagrama unifilar deve ser transformado em um diagrama de impedâncias, mostrando o circuito equivalente de cada componente do sistema, e o diagrama de impedâncias é obtido fazendo o circuito equivalente por fase do sistema (COURY, 2012).

Os diagramas de reatâncias são formados a partir dos diagramas de impedâncias, eliminando componentes como cargas estáticas, todas as resistências, corrente de excitação dos transformadores e a capacitância de linha de transmissão. Essas aproximações são úteis para cálculo analítico de faltas no sistema, e mesmo com as aproximações, geram bons resultados, desde que a reatância indutiva do sistema seja muito maior que sua resistência (STEVENSON JR, 1986) (COURY, 2012).

2.2. Grandezas por unidade (pu)

As principais grandezas elétricas de um sistema de potência podem ser substituídas por valores relativos (pu), que correspondem a uma mudança de escala, e dispõe-se de quatro grandezas elétricas, relacionadas pelas Equações (1) e (2).

$$V = Z \cdot I \quad (1)$$

$$S = V \cdot I \quad (2)$$



Assim, a partir da tensão (V), impedância (Z), corrente (I) e potência aparente do sistema (S), são designadas pelo menos duas delas, e as outras resultam das Equações (1) e (2). É usual o conhecimento da potência de base e a tensão referida a um dos lados de um transformador para um determinado sistema. A potência de base é única para todo o sistema, e geralmente seu valor corresponde a um setor de geração, e tensões, correntes e impedâncias devem obrigatoriamente seguir as relações de transformação dos transformadores para cada parte do sistema (STEVENSON JR, 1986) (OLIVEIRA *et al*, 1996).

2.3. Matrizes impedância e admitância

As matrizes impedância de barra (Z_{BARRA}) e admitância de barra (Y_{BARRA}) são importantes para a análise de defeitos em sistemas elétricos, e por definição uma é inversa da outra, como mostra a Equação (3):

$$Z_{BARRA} = Y_{BARRA}^{-1} \quad (3)$$

Os elementos de Z_{BARRA} na diagonal principal são chamados de impedâncias próprias de nós, e os elementos fora da mesma são chamados de impedâncias de transferência ou mútuas dos nós. A impedância é expressa em Ohm (Ω) e definida pelo complexo resistência e reatância ($Z = R + jX$), e a admitância é expressa em Siemens (S) e definida pelo complexo condutância e susceptância ($Y = G + jB$) (COURY, 2012) (MACHADO, 2010).

3. CURTO CIRCUITO TRIFÁSICO EM SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Um curto circuito, ou falta, em um sistema elétrico é caracterizado pela passagem de corrente elétrica acima dos valores nominais, devido à redução da impedância que é consequência de um determinado defeito. Existem tipos de curto circuito que envolvem de uma a três fases de um sistema, além da possibilidade com envolvimento da terra. Além do mais podem ocorrer em qualquer parte do sistema elétrico, sem qualquer restrição, sendo causados por diferentes fatores, como queda de árvores, originando rupturas físicas, ou queimadas próximas a linhas de transmissão de energia provocando o efeito de arco-voltaico (MACHADO, 2010).

3.1. Teorema de Fortescue a sistemas trifásicos

De acordo com o teorema de Fortescue, um sistema trifásico de três fasores desbalanceados pode ser decomposto em três sistemas trifásicos de três fasores balanceados que são chamadas de componentes simétricas de sequência positiva, negativa e zero. Quando ocorre uma falta trifásica em um sistema elétrico de potência, o setor de alimentação do sistema (geradores) faz com que circule em cada uma das fases uma corrente acima do valor nominal, que inicia imediatamente após ocorrência do curto circuito. Se a falta envolve a terra, haverá mais uma corrente que irá circular pelo neutro (KINDERMANN, 1997).

Um curto circuito trifásico com o sistema equilibrado, apresentado na Figura 1 (a), é representado somente pelo diagrama de sequência positiva, Figura 1 (b), não aparecendo componentes de sequência negativa e zero. A corrente é dada pela Equação (4):



$$I_{CC,3\phi} = I_1 = \frac{E}{Z_1} \quad (4)$$

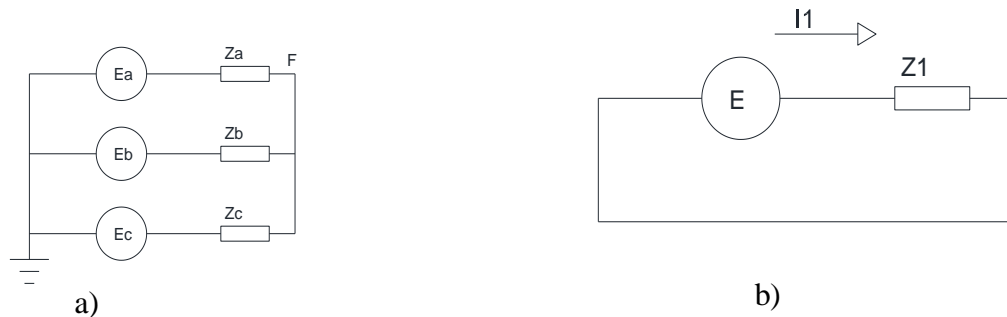


Figura 1 – Curto circuito trifásico equilibrado (a) e sequencia positiva por fase (b)

A impedância Z_1 na Equação (4), e na Figura 1(b) expressa a soma das impedâncias de sequência positiva da fonte e dos condutores, por fase, até o ponto de falta, representado pela letra F na Figura 1(a).

3.2. Análise de curtos circuitos trifásicos

A análise completa de curto-circuito de um sistema pode ser feita por simples operações aritméticas, condizentes com a Equação (4), assim que as tensões dos nós tenham sido determinadas para uma condição de falta particular. Para sistemas de pequeno porte, a solução é estabelecida de maneira simplória, porém, para a análise de curto-circuito de sistemas elétricos muito grandes é feita da maneira mais eficiente, usando-se a matriz Z_{BARRA} , partindo da topologia da rede elétrica.

Uma opção para a investigação de circuitos elétricos é a utilização de métodos matriciais a partir de recursos computacionais, os quais se mostram eficientes para a análise e solução de sistemas elétricos de maior porte. Assim, é possível modificar a matriz Z_{BARRA} de um sistema para a adição de uma única linha. Desta maneira, o sistema pode ser construído começando-se com uma única linha de transmissão, adicionando-se uma linha de cada vez, modificando-se a matriz para cada linha adicionada, e construindo o sistema desejado e a matriz que corresponde ao sistema. Alguns casos podem ser estudados para a modificação envolvendo a adição de impedâncias a uma rede cuja Z_{BARRA} original é conhecida e de ordem $n \times n$.

Caso 1: adição de um ramo da barra de referência até uma nova barra

A adição de uma nova barra ligada à barra de referência através de uma impedância Z sem conexão com nenhuma das outras barras da rede original não pode alterar as tensões de barra originais do sistema quando uma corrente for injetada na nova barra. A tensão na nova barra será estabelecida pela Lei de Ohm (Equação (1)).

Caso 2: adição de um ramo de uma barra já existente p a uma nova barra q

A adição de uma nova barra q ligada através de uma impedância Z a uma barra existente p , onde uma corrente I_p é injetada, modificará a injeção de corrente na rede original na barra p que virá a ser a soma de I_q e I_p , em outras palavras, aumentará a tensão original na barra p . Assim, a impedância no ponto da barra q é igual a impedância do ponto da barra p mais a impedância da linha que está sendo adicionada, conforme a Equação (5).



$$Z_{qq} = Z_{pp} + Z_{linha_{pq}} \quad (5)$$

Caso 3: adição de um ramo entre duas barras p e q já existentes

Este tipo de ramo ou linha tem o objetivo de fechar um laço do circuito, por conseguinte, não produz novo nó, onde iria aumentar, em uma unidade, a ordem da matriz Z_{BARRA} . Assim, as duas barras p e q passariam a ter as mesmas tensões, com injeções de correntes em sentidos opostos em valor de $1pu$, e a impedância no ponto do laço é igual a tensão que deve ser introduzida para causar a circulação da corrente unitária, também estabelecida pela Equação (1). Esta impedância é calculada pela Equação (6).

$$Z_{laço-laço} = Z_{pp} + Z_{qq} - 2Z_{pq} + Z_{linha_{pq}} \quad (6)$$

Redução matricial de Kron

O terceiro caso realiza uma nova adição de linha e coluna (eixo do laço) e esta deve ser seguida de uma redução de matriz baseada no método de redução matricial de Kron. Isto faz com que todos os elementos que não pertencem à linha ou à coluna do laço sejam modificados e a lista das barras do sistema permaneça inalterada.

Sendo a matriz da Figura 2, a redução corresponde à eliminação das linhas de Z_3 e das colunas de Z_2 , e Z'_1 da Equação (7) é considerada a redução do circuito de Kron.

$$\begin{bmatrix} Z_1 & & & \\ & Z_2 & & \\ & & Z_3 & \\ & & & Z_4 \end{bmatrix}$$

Figura 2 – Matriz de ordem 2x2

$$Z'_1 = Z_1 - \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_4} \quad (7)$$

4. METODOLOGIA

A primeira parte do projeto consistiu na construção da rotina, e foi utilizado o ambiente MATLAB. Para isto foram organizadas em duas partes gerais: a primeira refere-se ao cálculo das matrizes impedância e admitância, com base na entrada de dados realizada pelo usuário; e a segunda refere-se ao estudo das correntes do sistema (de falta e de contribuição), em que o usuário pode fazer a opção de cálculo de corrente de curto circuito em uma barra específica, ou optar pelo cálculo automático, onde o programa irá informar quais barras do sistema apresentam as maiores correntes de falta. Para ambas as opções, a rotina irá fornecer quais barras apresentam maior contribuição para a barra que está em curto circuito.

Para a aquisição dos dados fornecidos pelo o usuário, foi construída uma interface gráfica, dentro próprio ambiente Matlab (*graphical user interface*) com instruções para que possa identificá-los, empregando o número de linhas como entrada inicial. São fornecidas também as impedâncias de cada linha, assim como a realização da identificação do tipo de barras que elas interligam que podem ser: uma linha da referência de tensão (gerador) para



uma nova barra, uma linha radial de uma barra existente para uma nova barra ou uma linha de fechamento de laço. Os cálculos para a produção das matrizes e das correntes de curto-circuito são baseados no referencial bibliográfico deste artigo.

A etapa seguinte do trabalho se procedeu em uma aula explanatória com um grupo de alunos voluntários do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, e esta tinha como objetivo a utilização do *script* para que o discente se tornasse competente nas análises de topologia de sistemas de energia e de faltas trifásicas em barramentos. A classe continha 18 alunos de vários semestres do curso, onde todos participaram da atividade.

Além da ferramenta computacional, foi elaborado um roteiro para especificar os procedimentos da experiência, e este possui um embasamento teórico, expondo resumidamente os fundamentos para a análise de curtos circuitos em sistemas elétricos de potência; e no final do roteiro, uma parte experimental, com questões para serem realizadas no ambiente MATLAB, utilizando a programação construída com a interface amigável, e também espaço para as questões de análise qualitativa das respostas obtidas.

Como ferramenta para a coleta de dados foi utilizado o questionário, aplicado no final das atividades da aula, com perguntas para respostas de itens sim-não e livres, onde os alunos poderiam colocar suas opiniões sobre o conteúdo ministrado. Os dados foram submetidos a uma análise qualitativa e quantitativa, e colocados em formas de gráficos para uma melhor visualização dos mesmos.

5. RESULTADOS

5.1. Resultado da simulação em ambiente Matlab

Baseando-se nos conceitos estabelecidos sobre curto circuito em barras de um sistema elétrico de potência, foi realizada uma série de comandos e de rotinas no ambiente Matlab para que permitisse o cálculo computacional destes valores e assim, concedendo a possibilidade de um estudo mais abrangente, no que se refere a grandes sistemas de transmissão e distribuição de energia, como podem ser exemplificados na distribuição da energia elétrica do país, de uma cidade ou de uma grande corporação privada ou estatal.

A construção da interface amigável para usuários foi elaborada na plataforma *guide* (*graphical user interface*) do Matlab, e sua visualização inicial é apresentada na Figura 3. Neste quadro pode-se destacar o layout para a inserção dos dados, como o número de linhas (limitado até 20 linhas), dos valores de impedância das linhas, e ao lado esquerdo, dois espaços para as informações de barras primária e secundária. O preenchimento destes dois quadros faz-se necessário de acordo com o tipo de linha selecionado, as quais são representadas por números e para isto, tem-se o auxílio da legenda no canto inferior direito.

A região para o cálculo de corrente de falta é apresentada no canto superior direito. Também na Figura 3 é exemplificada a inserção de um determinado número de linhas e que faz a habilitação de blocos no mesmo valor numérico, ou seja, somente será inserido um número exato de linhas para que não haja a ocorrência de erros no programa.

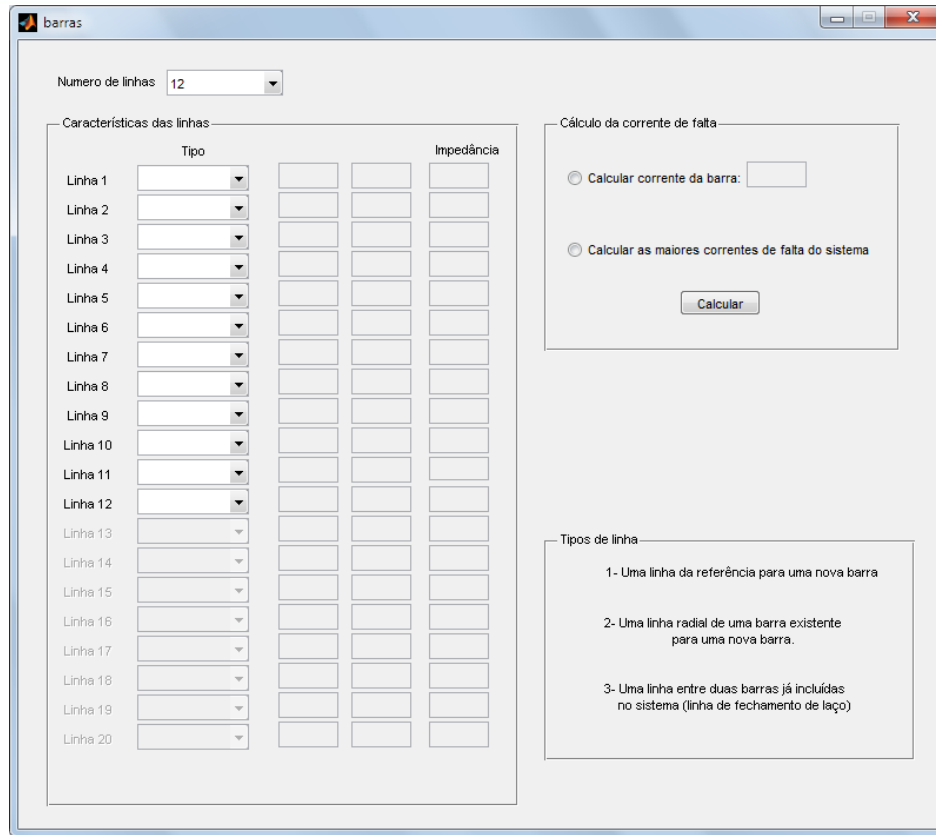
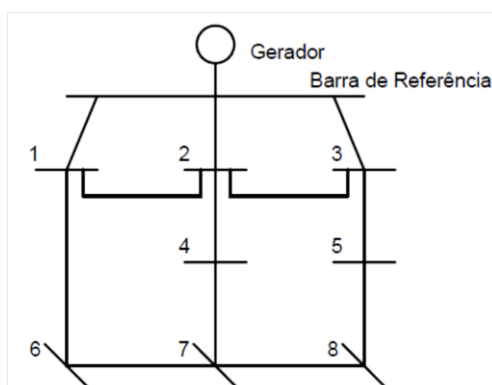


Figura 3 – Interface gráfica para os cálculos das matrizes do sistema e de corrente de falta

Tendo em vista tal objetivo, um sistema com 8 barras e 12 linhas, mostrado na Figura 4(a) e proveniente da literatura foi escolhido para o cálculo das matrizes e das correntes de curto circuito, e as impedâncias das linhas do mesmo são mostrados na Figura 4(b). As matrizes e as informações das correntes de curto circuito são visualizadas através do *Comand window* do Matlab.



a)

Linha	X (p.u.)
0 - 1	0.010
0 - 2	0.015
1 - 2	0.084
0 - 3	0.005
2 - 3	0.122
2 - 4	0.084
3 - 5	0.037
1 - 6	0.126
6 - 7	0.168
4 - 7	0.084
5 - 8	0.037
7 - 8	0.140

b)

Figura 4 – Sistema de 8 barras (a) e suas características de linha (b)



O cálculo das correntes de curto circuito das barras é dado pela matriz impedância Z completa e mostrada na Figura 5, na qual também é visualizada a matriz admitância, a uma tensão de geração de 1pu. É apresentada também a maior corrente de falta e em quais barras podem ocorrer, dada pela opção do cálculo automático. O usuário pode optar para o cálculo da corrente de falta para uma barra desejada. É também apresentada a maior corrente de contribuição para a falta.

```
Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help
Matriz de Impedância
Z =
0.0089 0.0013 0.0001 0.0020 0.0006 0.0063 0.0028 0.0010
0.0013 0.0113 0.0006 0.0083 0.0014 0.0030 0.0053 0.0022
0.0001 0.0006 0.0048 0.0012 0.0043 0.0009 0.0018 0.0038
0.0020 0.0083 0.0012 0.0662 0.0079 0.0183 0.0401 0.0146
0.0006 0.0014 0.0043 0.0079 0.0366 0.0065 0.0145 0.0320
0.0063 0.0030 0.0009 0.0183 0.0065 0.0900 0.0336 0.0122
0.0028 0.0053 0.0018 0.0401 0.0145 0.0336 0.0748 0.0271
0.0010 0.0022 0.0038 0.0146 0.0320 0.0122 0.0271 0.0602
Matriz Admitância
Y =
119.8413 -11.9048 -0.0000 0.0000 0.0000 -7.9365 -0.0000 -0.0000
-11.9048 98.6729 -8.1967 -11.9048 0 0.0000 -0.0000 -0.0000
-0.0000 -8.1967 235.2237 -0.0000 -27.0270 -0.0000 0.0000 -0.0000
0.0000 -11.9048 -0.0000 23.8095 0 0 -11.9048 0.0000
0.0000 0 -27.0270 0 54.0541 0.0000 0.0000 -27.0270
-7.9365 0.0000 -0.0000 0 0.0000 13.8889 -5.9524 0.0000
-0.0000 -0.0000 0.0000 -11.9048 0.0000 -5.9524 25.0000 -7.1429
-0.0000 -0.0000 -0.0000 0.0000 -27.0270 0.0000 -7.1429 34.1699
Valores máximo de corrente na(s) barra(s): 3
Valor máximo da corrente de curto circuito: 210.102 pu
Outros valores de corrente de curto-circuito na(s) barra(s): 1
Segundo valor máximo de corrente de curto-circuito: 112.4727 pu
Para a barra 3 tem maior contribuição das barras:
da conexão de barras: 2 - 3
valor da corrente: 7.2431 pu
Para a barra 1 tem maior contribuição das barras:
da conexão de barras: 1 - 2
valor da corrente: 10.1261 pu
fx >> OVR
```

Figura 5 – Respostas das matrizes e localização das barras com maiores correntes de falta e seus valores de corrente e contribuições de linhas em *Command window* do Matlab

5.2. Aplicação didática e atividades propostas

A metodologia foi aplicada aos alunos do curso de Engenharia Elétrica como atividade complementar com ênfase nas disciplinas de Sistemas Elétricos de Potência. Na aula explanatória foi destacada a importância dos estudos da topologia de sistemas de energia com o objetivo do estudo do comportamento dos mesmos sistemas às condições de defeito.

O roteiro do experimento complementou a metodologia aplicada, contendo atividades propostas, que foram baseadas na aula explanatória, para a realização de cálculo de matrizes impedâncias e admitâncias de um sistema genérico (Figura 4), e assim averiguar quais os



pontos críticos do sistema em condições de falta trifásica e qual o comportamento em uma específica barra. Nesta atividade houve um bom índice de acertos por partes dos alunos, que mostraram bom desempenho nas simulações realizadas e no entendimento do conteúdo.

5.3. Análise dos questionários

Nos questionários propostos, os dados foram coletados e expostos em gráficos. As perguntas tinham o objetivo de verificar as opiniões dos alunos sobre os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Sistemas de Potência, assim como a compreensão dos mesmos no que condizem com as simulações realizadas nas atividades propostas da aula explanatória.

A primeira pergunta, sobre a afinidade com as disciplina da área de Sistemas Elétricos de Potência, mostrou que 64,29%, dos alunos possuem afinidade com as disciplinas, Figura 6(a), e que são importantes para quem irá seguir a área, os quais os mesmos somam 48,14% dos alunos, como mostra a Figura 6 (b).

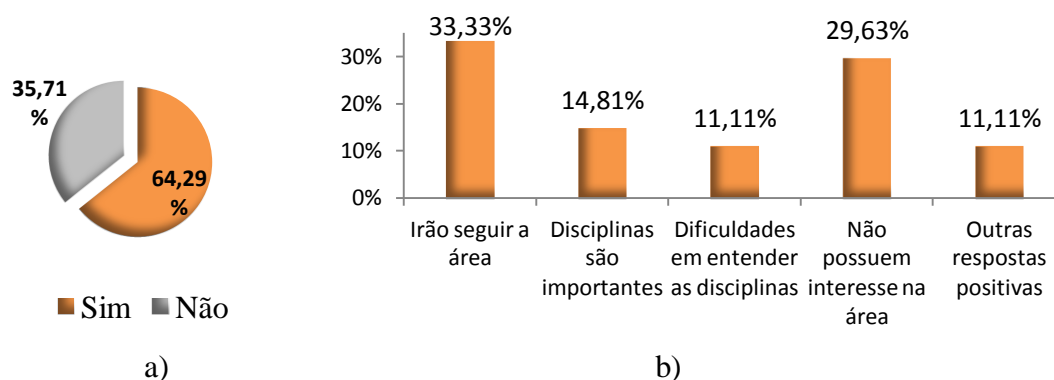


Figura 6 – (a) Afinidade dos alunos com a disciplina e (b) justificativa dos mesmos

A segunda pergunta fez referência sobre a operação do programa criado, buscando obter opiniões sobre a simulação dos cálculos desenvolvidos, e observou-se que 85,71% (Figura 7) dos alunos não apresentaram nenhum tipo de dificuldade para operar o programa, pois se trata de um recurso simples, de fácil entendimento e manuseio. Os alunos que tiveram dificuldade, o motivo foi por não possuírem afinidade com a o software Matlab.

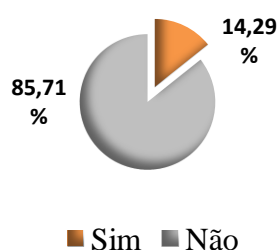


Figura 7 – Dificuldade de manuseio do programa em Matlab

Sobre os benefícios que o programa proporciona para o aprendizado, todos os alunos acharam que o programa auxilia nas análises de sistemas de potência, pois realiza cálculos braçais de matrizes impedâncias e admitâncias a partir de um programa de fácil operação. Há



também a possibilidade da quantificação das correntes de falta trifásica de um sistema a partir da fácil operação.

Sobre a metodologia aplicada, envolvendo as ferramentas empregadas, todos os alunos acharam que as explicações, simulações de cálculo e as atividades propostas atingiram os objetivos do plano de aula, assim como acharam que estas ações ajudaram a complementar ou formar os conceitos teóricos e práticos sobre tópicos de sistemas elétricos de potência, manipulando as equações do referencial bibliográfico para o cálculo de correntes de curtos circuitos trifásicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos das simulações através do programa e da ajuda da interface de inserção de dados, pôde-se tornar os estudos de análise de sistemas elétricos de potência mais acessíveis, no que diz respeito às análises das características intrínsecas à topologia da rede e do comportamento decorrente a um curto circuito trifásico em uma barra do sistema. Os valores de máximo e mínimo das correntes de falta devem ser conhecidos para que se possa projetar a proteção adequada ao circuito, como dimensionamento de transformadores de corrente, ajustes de relés de proteção, estudo de seletividades e coordenação, entre outros. Contudo, devido a rápida expansão dos sistemas de distribuição e à consequente elevação das correntes de curto-circuito nas barras, existe a necessidade de verificações periódicas da capacidade de interrupção dos equipamentos de proteção, para sua adequação aos novos níveis de correntes de falta.

Foi constatado também que a simulação de uma situação de curto-circuito em ambiente computacional é importante, pois facilita tanto a praticidade de obtenção de resultados quanto o entendimento das teorias abordadas pelo estudante de engenharia, visto que diversas situações podem ser trabalhadas e comparadas à literatura e no próprio cotidiano.

Desta forma conclui-se que tais resultados são satisfatórios quando executados para fins didáticos e tanto os passos para a simulação quanto os métodos do plano de aula podem ser aplicados em outros estudos como no caso de estudo de fluxo de potência ou estudo de outros tipos de falta, como monofásico, bifásico e bifásico-terra.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Faculdade de Engenharia Elétrica (FEE) e ao Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará e a todos que auxiliaram na produção deste artigo. Agradecemos aos bolsistas e não-bolsistas do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica (PET) e aos bolsistas do Laboratório de Magnetismo Aplicado (LEA) pelo grande apoio na conclusão deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Wilson Gonçalves de; FREITAS, Francisco Damasceno. Circuitos polifásicos: teoria e ensaios. Brasília: FINATEC, 1995. 264 p, il.

BORGES JR, Aparecido P.; MEDEIROS, Bruna T. de. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Aplicação de fluxo de potência no nível de subestação à sistemas de potências reais. 2009. 84 P, IL. Monografia (Graduação).



COURY, Denis V. **Introdução aos sistemas elétricos de potência.** Disponível em: <<http://pt.scribd.com/patrickaraujosanta/d/17908970-Sep-1>>. Acesso em: 28 mar. 2012.

KINDERMANN, Geraldo. Curto circuito. 2. Ed. Porto Alegre: SAGRA LUZZATO, 1997. 229 p, il.

LÁZARO, Felipe da Silva. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica. Estudo e simulações do dispositivo limitador de corrente de curto circuito supercondutor. 2009. 87 p, il. Dissertação (Mestrado).

MACHADO, Mariana. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica. Implementação computacional de curto circuito entre diferentes pontos do sistema elétrico. 2010. 88 p, il. Monografia (Graduação)

OLIVEIRA, Calos C. B. de *et al.* Introdução a sistemas elétricos de potência: componentes simétricas. São Paulo: Edgard Blücher, 1996. 460 p, il.

SIQUEIRA, Alexandre F. de & MENEGUETTE JR, Messias. Construindo interfaces gráficas com o Matlab. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia. Presidente Prudente, SP, 2010. 25p, il.

STEVENSON JR, Willian D. Elementos de análise de sistemas de potência. 2. ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1986, 236 p, il.

COMPUTER DYNAMICS FOR CALCULATION OF THREE-PHASE SHORT CIRCUITS IN ELECTRIC POWER SYSTEM APPLIED TO ENGINEERING TEACHING.

Abstract: *This paper is developed and implemented a teaching method for engineering, particularly into to the area of Power Electric Systems. The goal is based in the formulation of a program using Matlab software for impedance and admittance matrices calculation applied to any system, starting of a simple graphical interface to insert data, and latter, analyzing three-phase short-circuit currents in busbars of these systems. The method was applied in class of Electric Engineer students of the University Federal of Pará, and it joined a lesson plan containing theoretical subjects, and exercises in order to assist the process of teaching and learning in engineering. The results were simulations of calculations as well the collection of data from questionnaires answered by students, obtaining graphs that show the performance and efficiency of the method.*

Key-words: *Power electric systems, Three-phase shot circuit, Matlab, Complement for teaching.*