

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

ESTUDO DE MÁQUINAS DE INDUÇÃO TRIFÁSICAS E DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE GRÁFICA DE SIMULAÇÃO UTILIZANDO SOFTWARE GRATUITO

JONAS R. VICENTE¹, RODRIGO A. MARCHI²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Piracicaba, vicente.ricardo@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor de Ensino Básico Técnico e Tecnólogo, IFSP, Campus Piracicaba, ramarchi@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.04.05-3 Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência

RESUMO: Historicamente, as máquinas de indução trifásicas (MIT) são imprescindíveis no ambiente industrial, podendo ser utilizadas em diversas aplicações e acionando diferentes tipos de cargas. Deste modo, o estudo dos princípios de funcionamento desta máquina se torna fundamental para o discente que pretende se graduar em cursos como engenharia elétrica e automação industrial. Ademais, vale-se ressaltar que nem sempre é possível a associação entre os conhecimentos teóricos e práticos pela inviabilidade laboratorial. Tendo em vista a dificuldade de analisar o comportamento de uma máquina de indução trifásica, este trabalho pretende por meio do software de simulação Scilab, proporcionar aos alunos do curso de engenharia elétrica um melhor estudo e compreensão das equações que descrevem o comportamento das MITs, ao interagir com uma interface de simulação desenvolvida para implementar e analisar diversas condições de operação para a máquina, assim como a obtenção do circuito elétrico equivalente a partir de parâmetros de ensaio CC, a vazio e de rotor bloqueado.

PALAVRAS-CHAVE: Motor de indução; simulação de MIT; interface gráfica de usuário; Scilab; GUI Builder.

STUDY OF THREE-PHASE INDUCTION MACHINES AND DEVELOPMENT OF GRAPHIC SIMULATION INTERFACE USING FREE SOFTWARE

ABSTRACT: Historically, three-phase induction machines (MIT) are essential in the industrial environment, and can be used in different applications and driving different types of loads. Therefore, the study of the operating principles of this machine becomes fundamental for the discernment of those who intend to graduate in electrical engineering and industrial automation courses. Furthermore, it is worth highlighting that the association between theoretical and practical knowledge is not always possible due to laboratory unfeasibility. In view of the difficulty of analyzing the behavior of a three-phase induction machine, this work aims, through the Scilab simulation software, to provide electrical engineering students with a better study and understanding of the equations that describe the behavior of the MIT, by interact with a simulation interface developed to implement and analyze various operating conditions for the machine, as well as providing the equivalent electrical circuit based on DC, no-load and blocked-rotor test parameters.

KEYWORDS: Induction motor; MIT simulation; graphical user interface; Scilab; GUI Builder.

INTRODUÇÃO

A máquina de indução trifásica ou motor de indução trifásico (MIT) como é comumente chamado, é um dos vários modelos de máquinas elétricas rotativas e segundo Erik Cordeiro (2023) no

cenário brasileiro os MIT's são responsáveis por 55% do consumo de energia nas indústrias e consomem $\frac{1}{4}$ de toda energia gerada no país, o que mostra sua predominância no âmbito industrial.

Desta forma, a realização de ensaios e simulações prévias de máquinas de indução trifásicas no meio industrial é essencial para seu desenvolvimento, pois prevê possíveis falhas, de forma a otimizar os resultados e reduzir custos. Entretanto no âmbito acadêmico nem sempre é possível realizar tais ensaios, devido à falta de equipamentos disponíveis para tal, dessa forma, tornando-se abstrato o conteúdo aplicado. Ferramentas computacionais como o MATLAB, o Scilab, o PSIM, entre outras, tornaram-se extremamente populares no ambiente da engenharia, pois deixaram a tarefa de simulação muito mais rápida e intuitiva. (Benvenuti, 2014)

Com o intuito de oferecer um ambiente de simulação imediato para alunos ingressantes ao tema de máquinas elétricas, este projeto de iniciação científica, tem por finalidade realizar o desenvolvimento teórico sobre os princípios de funcionamento de um MIT, bem como as equações que descrevem seu comportamento, e através do *software* gratuito Scilab desenvolver uma *graphical user interface* (GUI), que simula um motor de indução trifásico em diferentes condições, tendo como resultado sua curva característica e seus parâmetros. Ao disponibilizar esta interface de simulação, o resultado deste projeto contribuirá para o meio acadêmico de modo a auxiliar o método de aprendizado dos discentes.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com base nos conceitos de livros disponibilizados pela própria instituição e pelos docentes, sendo estes, a base teórica deste projeto, ademais, utilizou-se o *software* gratuito Scilab para desenvolver uma interface gráfica de usuário capaz de simular um motor de indução trifásico, onde sua implementação se deu pelo módulo GUI Builder, que disponibiliza uma janela de comandos, na qual é possível desenvolver um interface gráfica inserindo botões de pulso, textos, menus de seleção entre outros como exemplifica a FIGURA 1.

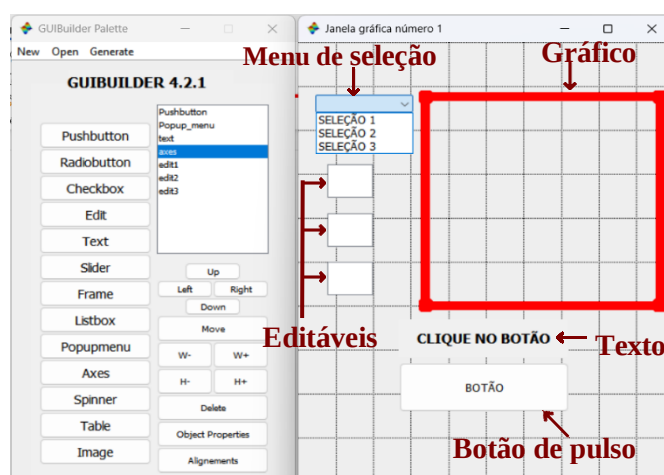


FIGURA 1. Janela de comandos e exemplo de implementação gráfica do GUI Builder.

Após a implementação da interface gráfica de usuário, desenvolveu-se um código baseado nos conceitos teóricos estudados em Fundamentos de Máquina Elétricas (Chapman, 2013) para tratar os dados que seriam inseridos pelo usuário nos editáveis, de modo a retornar informações acerca dos parâmetros da máquina simulada e seu respectivo comportamento como é apresentado no fluxograma da FIGURA 2, sendo divididos em duas seções: dados de entrada “Com Componentes de Circuito” e “Com Dados de Ensaio” como mostra a FIGURA 3.

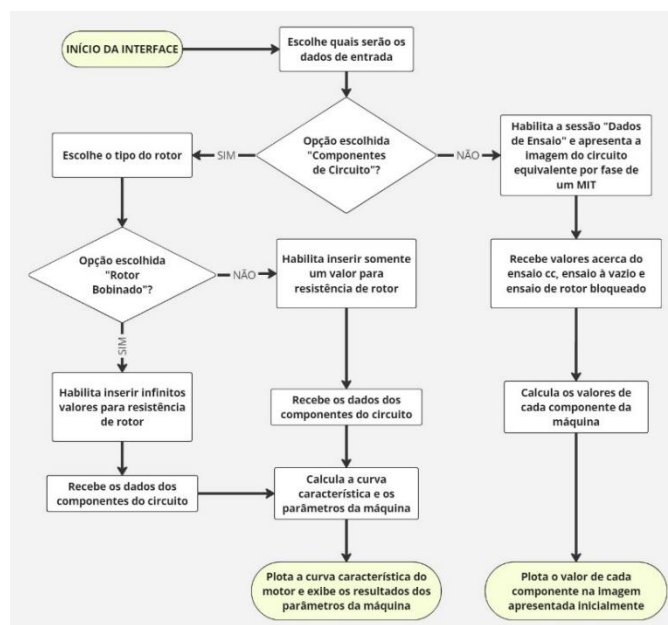
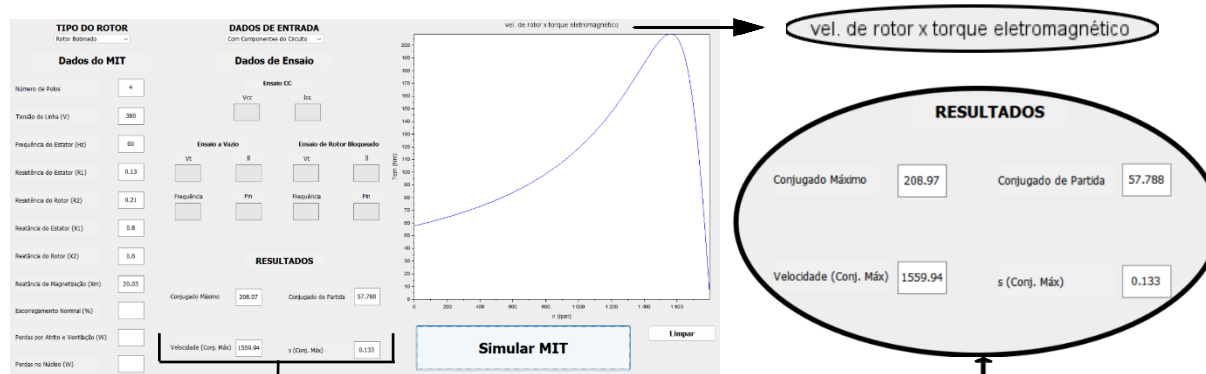


FIGURA 2. Fluxograma do código da interface.

FIGURA 3. Opções de entrada de dados da interface gráfica de usuário.

Selecionando a opção “Com Componentes do Circuito”, habilita-se inserir os valores referentes a seção “Dados do MIT”, onde após inseridos os valores, clicando em “Simular MIT” retorna dados sobre o conjugado de partida, o conjugado máximo, a velocidade e o valor de escorregamento no instante de torque máximo e a curva característica de velocidade x torque eletromagnético da máquina simulada, mostrado na FIGURA 4 (a). Em contrapartida, ao selecionar a opção “Com Dados de Ensaio”, habilita-se os editáveis da seção “Dados de Ensaio” e apresenta-se uma imagem do circuito equivalente por fase de uma máquina de indução trifásica, onde após inserir os dados, clicando em “Calcular Circuito do MIT” os resultados obtidos pelo código são plotados nos respectivos componentes da imagem apresentada, com o intuito de tornar mais fácil a visualização do usuário em relação ao valor de cada componente da máquina como mostra a FIGURA 4 (b).



(a)

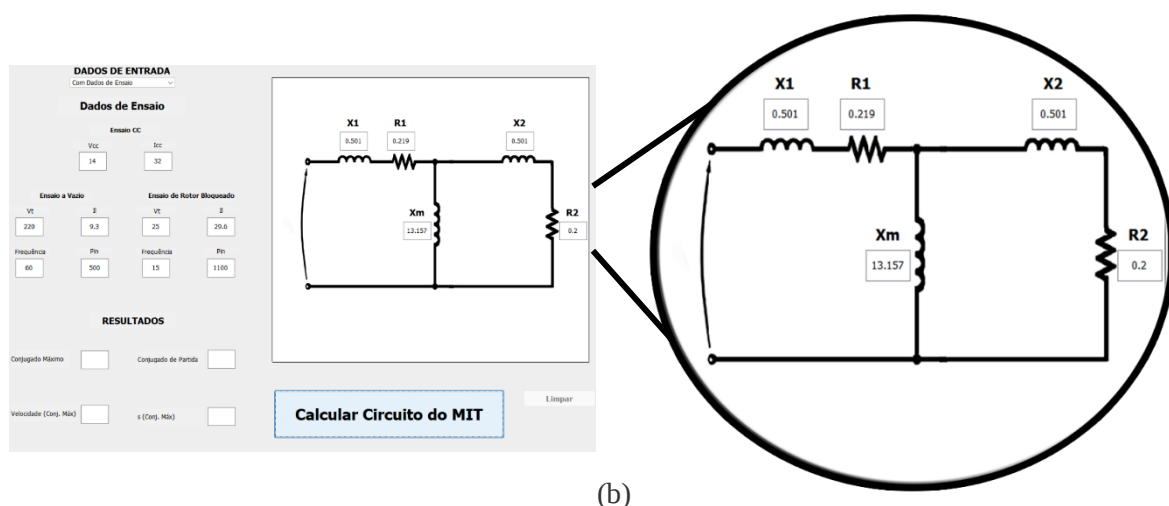


FIGURA 4. (a) Exemplo de simulação em seleção “Com Componentes de Circuito”. (b) Exemplo de simulação em seleção “Com Dados de Ensaio”.

Após a conclusão da interface gráfica de usuário e do código, foram feitas simulações com a finalidade de validar a interface, e para isso, utilizou-se questões apresentadas no livro Fundamentos de Máquinas Elétricas (Chapman, 2013) como referência para essa validação, dessa forma, após a obtenção dos resultados da simulação referente as questões do livro, fez-se análises comparando o nível de concordância entre os resultados obtidos pelo *software* e teóricos, que serão apresentados em resultados e discussão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho foram baseados no Exemplo 6-5 e Exemplo 6-8 de (Chapman, 2013), que foram utilizados para validação do ambiente de simulação tanto na configuração de dados de entrada como “Com Componentes do Circuito” quanto “Com Dados de Ensaio”.

No exemplo 6-5 do referido livro, é apresentado um motor de indução com rotor bobinado de quatro polos e ligado em Y, 460 V, 25 HP, 60 Hz. São apresentadas, também, as impedâncias em ohms por fase, referidas ao circuito de estator $R1 = 0,641\Omega$, $R2 = 0,332\Omega$, $X1 = 1,106\Omega$, $X2 = 0,464\Omega$ e $XM = 26,3\Omega$. São solicitados os valores de conjugado máximo, velocidade e escorregamento. Além disso, sugere a investigação do comportamento da curva da máquina ao dobrar o valor da resistência de rotor. Os resultados são apresentados na TABELA 1 e FIGURA 5, respectivamente.

PARÂMETROS	Chapman	Interface de Simulação	Nível de Concordância
Conjugado Máximo	229 N.m	230,8 N.m	99,2%
Velocidade de Conj. Máx	1444 rpm	1437,46 N.m	99,5%
Escorregamento em Conj. Máx	0,198	0,201	98,5%
Conjugado de Partida	104 N.m	106,56 N.m	97,6%
Velocidade de Conj. Máx com R2 dobrada	1087 rpm	1074,92 rpm	98,8%
Conj. Partida com R2 dobrada	170 N.m	174,06 N.m	97,7%

TABELA 1. Análise do nível de concordância entre resultados apresentados no Exemplo 6-5 em (Chapman, 2013) e os valores obtidos pela interface gráfica de usuário.

Na sequência, observa-se os gráficos lado a lado com intuito de favorecer o comparativo dos resultados

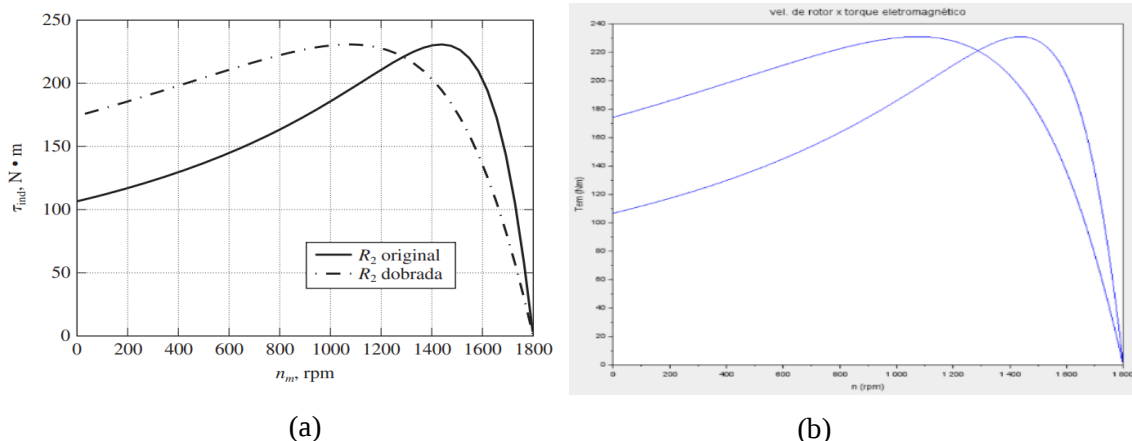


FIGURA 5. (a) Gráfico da curva característica do motor de indução com R_2 original e R_2 dobrada apresentado no Exemplo 6-5 em (Chapman, 2013). (b) Gráfico da curva característica do motor de indução com R_2 original e R_2 dobrada obtido pela interface gráfica de usuário.

O próximo resultado apresenta a eficácia dos cálculos dos parâmetros da máquina a partir das informações do ensaio a vazio e de rotor bloqueado, para isso, utilizou-se os dados do exemplo 6-8 do livro, como indicado anteriormente. Neste exemplo são apresentadas as seguintes informações da máquina de indução 7,5 HP, quatro polos, 208 V, 60 Hz, classe A e ligado em Y, cuja corrente nominal é 28 A. Os dados dos ensaios são, $VCC = 13,6$ V e $ICC = 28,0$ A (para o ensaio CC); $VT = 208$ V, $f = 60$ Hz, $IA = 8,12$ A, $P_{entrada} = 420$ W, $IB = 8,20$ A e $IC = 8,18$ A (para o ensaio a vazio); $VT = 25$ V, $f = 15$ Hz, $IA = 28,1$ A, $P_{entrada} = 920$ W, $IB = 28,0$ A e $IC = 27,6$ A (para o ensaio de rotor bloqueado). O resultado comparativo está apresentado na FIGURA 6.

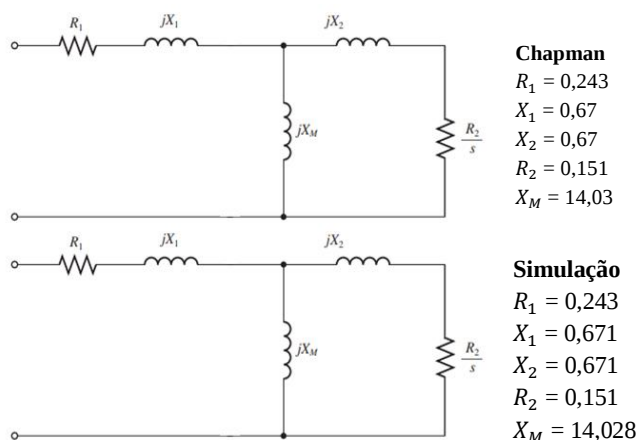


FIGURA 6. Comparação entre os resultados apresentados no Exemplo 6-8 em (Chapman, 2013) e os valores obtidos pela interface gráfica de simulação.

Nota-se que o menor valor de concordância obtido na TABELA 1 é de 97,6%, enquanto a FIGURA 6 apresenta uma concordância de praticamente 100% em todos os valores, entretanto vale destacar que a literatura faz o arredondamento de valores, enquanto o *software* não o faz, mesmo assim, é nítida a aproximação entre os resultados, principalmente na igualdade entre os gráficos apresentados na FIGURA 5, dessa forma, validando o ambiente de simulação para a configuração “Com componentes do circuito” e “Com dados de ensaio”.

CONCLUSÕES

Em virtude dos valores apresentados no presente trabalho, conclui-se que, a interface gráfica de simulação assim como a programação que definem os resultados obtidos, apresentou-se em

conformidade, sendo totalmente confiável e fiel aos resultados apresentados, validando, assim, o ambiente de simulação com potencial de oferecer um aprendizado dinâmico aos alunos e permitindo sua possível utilização em disciplinas de máquinas elétricas no curso de Engenharia Elétrica e Automação Industrial, cumprindo com o que foi proposto por esse estudo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Jonas Ricardo Vicente: Conceitualização, pesquisa, curadoria de dados, análise de dados, metodologia, administração do projeto, desenvolvimento, implementação e teste de software, validação de dados de experimentos, design da apresentação de dados, redação do manuscrito original e revisão e edição da redação original.

Rodrigo Andreoli de Marchi: Supervisão, administração do projeto, revisão da redação original, design da apresentação de dados e disponibilização das ferramentas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, por ajudar a ultrapassar todos os obstáculos da minha trajetória. Aos meus pais por todo apoio. Aos professores, em especial ao Rodrigo por sempre corrigir e orientar, me dando autonomia com a finalidade de contribuir para meu desenvolvimento profissional.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, Erik. **Motores de Indução: Uma Revolução na História da Indústria**. [S. l.], 1 dez. 2023. Disponível em: <https://traction.com/blog/motores-de-inducao-uma-revolucao-na-historia-da-industria>. Acesso em: 2 jul. 2024.

BIM, E. Máquinas Elétricas e Acionamentos. 1ª. Edição. ed. [S.1.]: Campus, 2009.

NETO, Caroline S. Rodrigues *et al.* MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS PARA OPERAÇÕES INDUSTRIAIS. **Periódicos da UFES**, [s. l.], 2 dez. 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/42440/28940/147683>. Acesso em: 2 jul. 2024.

BENVENUTI, Renê Augusto. **Plataforma Para Simulação e Implementação de Técnicas de Controle Trifásicas e Pentafásicas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SHINDO, Reinaldo. **Cálculo de parâmetros de motor de indução trifásico utilizando o método dos elementos finitos**. 2003. Dissertação (Pós Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro), 2003.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. [S. l.]: AMGH Ltda, 2013.

UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas**. [S. l.]: AMGH Ltda, 2014.

BERNARDINO, Bruno Cubateli Santos. **INTERFACE NO SCILAB PARA PLOTAR AEROFÓLIOS A PARTIR DO CÓDIGO NACA DE 4 OU 5 DÍGITOS**. 2018. Dissertação (Bases Computacionais da Ciência) - Universidade Federal do ABC, [S. l.], 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/39408736/Interface_no_Scilab_para_plotar_aerof%C3%B3lios_a_partir_do_c%C3%B3digo_NACA_de_4_ou_5_d%C3%ADgitos. Acesso em: 9 maio 2024.