

## **ESTUDO DE UM ACIONAMENTO ELÉTRICO INTEGRADO DE MOTOR PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE MOBILIDADE ELÉTRICA<sup>1</sup>**

Sérgio Vidal Garcia Oliveira<sup>2</sup>, Ademir Nied<sup>3</sup>, Alvaro Daniel Arioni Paladino<sup>4</sup>, Endrigo Vanassi Jacques da Silva<sup>5</sup>, Marcel Maciel Fernandes<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Acionamentos Elétricos Integrados”

<sup>2</sup> Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica – CCT – sergio.oliveira@udesc.br

<sup>3</sup> Professor, Departamento de Engenharia Elétrica – CCT – ademir.nied@udesc.br

<sup>4</sup> Acadêmico de Doutorado em Engenharia Elétrica – CCT

<sup>5</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - CCT – Bolsista PIBIC/CNPq

<sup>6</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - CCT

Os acionamentos elétricos são sistemas fundamentais no controle de máquinas elétricas e de processos industriais. São compostos por dispositivos que podem controlar velocidade, torque, potência e sentido de giro de motores e geradores, possibilitando extrair maior rendimento e versatilidade em aplicações mais específicas que podem envolver geração de energia, mobilidade elétrica, automação e robótica [1].

Em se tratando de aplicações voltadas para mobilidade elétrica, os acionamentos dos motores vêm ampliando as possibilidades de inovações em sistemas de tração da frota elétrica e híbrida que está sendo lançada no mercado nos últimos anos. Tendo em vista a necessidade de reduzir espaço e peso, de forma a melhorar as relações peso-potência e o rendimento desses veículos, busca-se unificar os dois principais sistemas que compõem a arquitetura clássica de um acionamento moderno (Figura 1), ou seja: o motor elétrico, responsável pela conversão da energia elétrica em energia mecânica (torque) e conversor de potência, o qual realiza o controle de torque eletromagnético e velocidade desenvolvidos pelo motor [2].

Fundamentalmente, procurou-se dar sequência a pesquisa que já vinha sendo desenvolvida pelo bolsista de iniciação científica anterior, porém voltando a possibilidade de aplicação prática de um acionamento elétrico integrado (AEI) para o sistema de tração de um veículo tipo Fórmula SAE elétrico, de forma a validar os conhecimentos empregados. Dessa forma, foi necessário escolher um conjunto de *powertrain* que atendesse às aplicações de carga e desempenho do veículo em questão. Ideou-se então, iniciar os estudos identificando os esforços aos quais a máquina seria submetida, para assim escolher o tipo da máquina elétrica e a forma de acionamento a ser utilizado. Com isso, a última etapa da pesquisa se daria pela simulação e validação da ideia proposta de aplicação dos conceitos de AEIs estudados.

Como o foco do trabalho não era especificamente entender os esforços na máquina, obteve-se juntamente com o grupo de alunos envolvidos com a construção do veículo tipo Fórmula SAE, valores aproximados de massa e momentos de inércia do sistema, bem como propostas de reduções mecânicas para melhoramento de torque, que pretendiam ser manufaturadas. Com isso, passou-se a buscar um tipo de máquina que atenderia com eficiência as demandas. Inicialmente, a primeira proposta seria buscar um motor de corrente contínua (CC) no mercado, visto que seria mais simples de controlá-lo, pois a alimentação é através de um banco de baterias em corrente contínua.

Após analisar algumas possibilidades e realizar um estudo comparativo entre motores CCs e de corrente alternada (CA), concluiu-se que seria inviável utilizar um CC para essa aplicação, visto que possuem algumas desvantagens significativas em relação aos motores CAs, como:

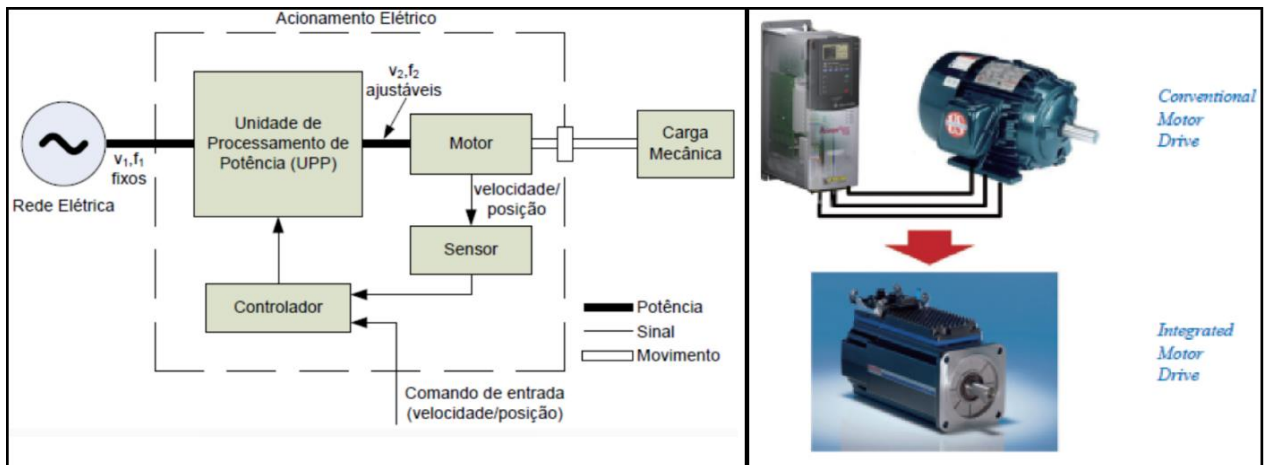
relação peso-potência muito alta, o que geraria excesso de peso no carro; exigência de manutenção frequente de escovas; limitação de velocidade de operação na faixa de 3000 rpm; momento de inércia alto; dissipação de calor dificultada, exigindo ventilação forçada. Com isso, buscou-se motores CA, sendo os de indução, os primeiros a serem analisados, visto que são de construção e manutenção simples, alto torque de partida e oferecem uma boa eficiência.

Com as características construtivas da máquina definidas, buscou-se no mercado um conjunto elétrico que ao ser acoplado em uma transmissão redutiva com relação 1:9 (projetada pelo grupo responsável pelo carro de Fórmula SAE), conseguisse dispor um torque em uma faixa entre 80 e 130 Nm às rodas. Assim, encontrou-se um *kit* elétrico produzido pela empresa *WEG S.A* para utilização em sistemas de mobilidade que é composto por: um motor de indução tipo *squirrelcage* (gaiola de esquilo) trifásico com potência nominal de 6 kW, frequência nominal de 150 Hz, tensão de linha de 51 V, torque nominal de 13 Nm e rotação nominal de 4420 rpm, denominado pelo fabricante como WTE300 – IND300; e um inversor trifásico denominado pelo fabricante como CVW250 com alimentação que varia entre 24 e 72 V em corrente contínua, corrente de operação nominal de saída de 132 A e circuitos de controle vetorial e escalar já inseridos no *hardware*, possibilitando acionar o motor e controlá-lo de diversas formas.

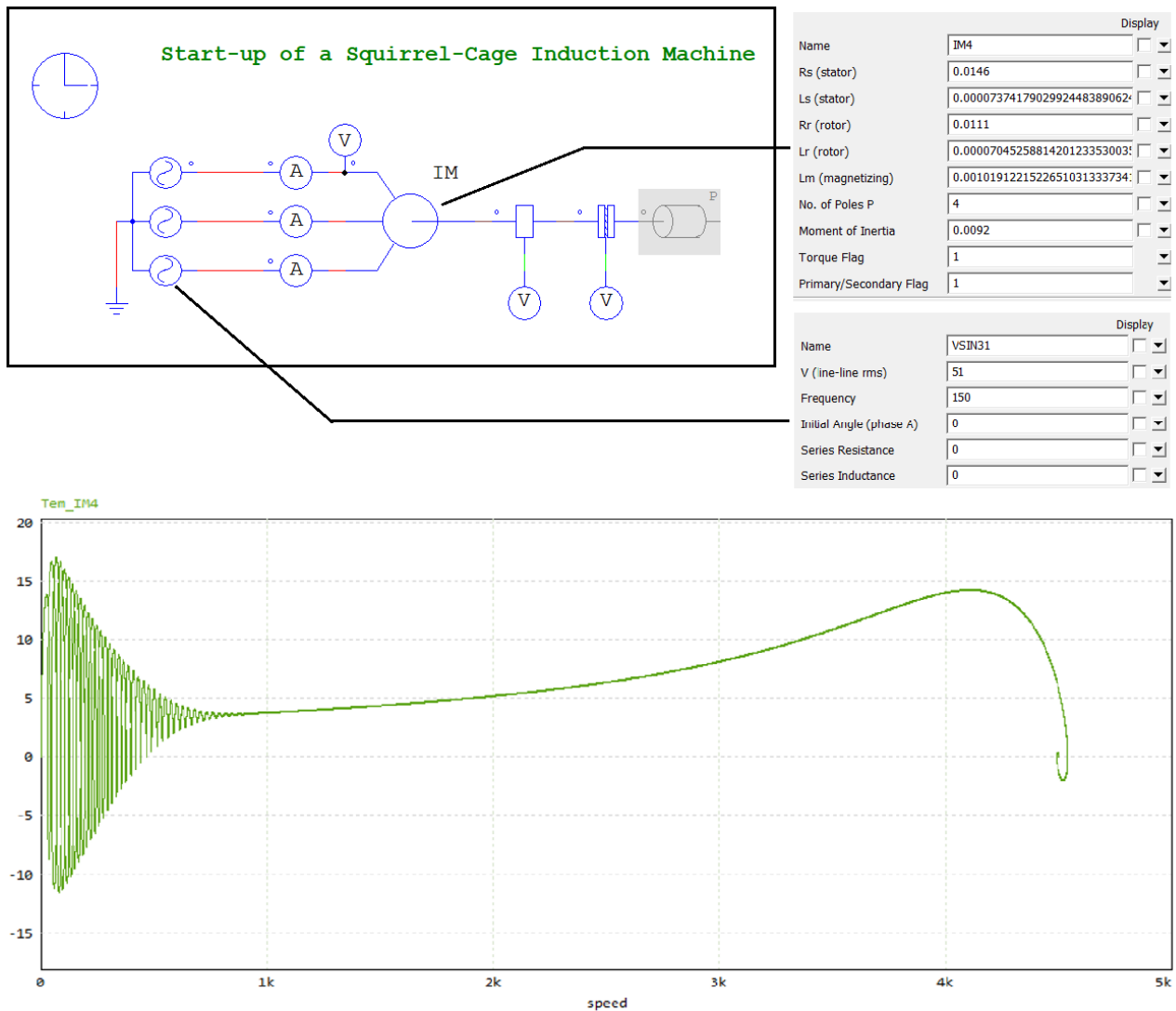
A última etapa da pesquisa consistiu na validação dos dados através dos *softwares PSim* e *Simulink* (segmento do *software MatLab*). Em ambas as ferramentas, utilizou-se um modelo pronto de motor de indução trifásico à vazio (Figura 2) para verificar se as informações da folha de dados estavam corretas e fazer correções no modelo caso necessário. O *software PSim* apresentou resultados mais coerentes com o esperado, principalmente na etapa de regime transitório em um acionamento simples direto com fontes de tensão equilibradas. Concluiu-se que a análise matemática do *PSim* mostrava mais fidelidade a uma situação real para esse estudo e que o modelo adotado apresentou resultados semelhantes à folha de dados do fabricante quando à vazio conforme Figura 3, no qual atinge valores próximos de 4420 rpm de rotação no eixo (eixo horizontal) e torque eletromagnético (eixo vertical) próximo a 13 Nm.

Como a aplicação exigiria a potência nominal do motor, realizou-se o estudo utilizando o mesmo modelo anterior no *PSim*, agora com uma carga que extraísse 6 kW no eixo da máquina. Observou-se que ela não tinha capacidade de operar nesse regime sem um alívio de partida, pois a rotação do eixo se tornava negativa, ou seja, a carga passava a atuar como força motriz, forçando o motor a operar como gerador. Após verificar as configurações de simulação do *software*, optou-se por aumentar gradualmente a carga, executando uma partida suave, entretanto o resultado ainda indicava que a velocidade do motor se tornaria negativa. Como as configurações do *software* sempre resultavam nessa incoerência, exigiu-se realizar testes práticos de bancada com o motor a vazio e com o rotor bloqueado, para confirmar as impedâncias dos enrolamentos descritas na folha de dados.

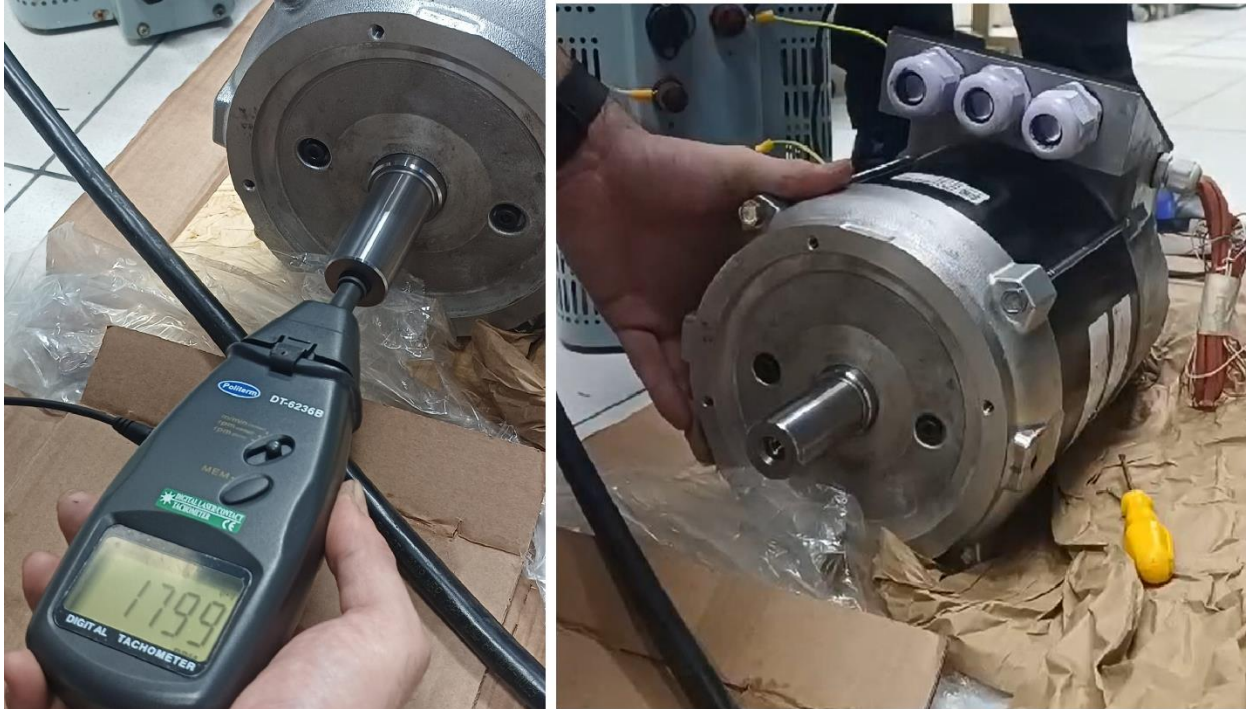
Os ensaios à vazio e de rotor bloqueado do motor não puderam ser realizados em tempo hábil de registrar e estudar valores medidos. Dessa forma, foi apenas realizado um acionamento simples com uma fonte de corrente alternada isolada (**Figura 3**). Posteriormente, deverão ser realizados esses ensaios de maneira formal, possibilitando assim, dar sequência às simulações com o inversor acoplado. Com os resultados desses estudos, pode-se dar início ao estudo de uma maneira física de integrar o motor, inversor e transmissão (redução) em um único módulo, concluindo a proposta do acionamento integrado.



**Figura 1.** Arquitetura funcional de um acionamento elétrico moderno (esquerda) e diferenças construtivas entre o acionamento elétrico convencional e o acionamento elétrico integrado (direita) [1]



**Figura 2.** Esquemático do circuito de acionamento elétrico e resultado da simulação no software PSim



**Figura 3.** Acionamento a Vazio do Motor WEG WTE300-IND300

**Palavras-chave:** Acionamentos elétricos integrados. Mobilidade elétrica. Simulações. Tração elétrica.

## Referências Bibliográficas

- [1] HANG, Bowen; SONG, Zaixin; LIU, Senyi; HUANG, Rundong; LIU, Chunhua. Overview of Integrated Electric Motor Drives: opportunities and challenges. **Energies**, [S.L.], v. 15, n. 21, p. 8299, 7 nov. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en15218299>. Acesso em: 06/09/2024.
- [2] JAHNS, T. M.; DAI, H. "The past, present, and future of power electronics integration technology in motor drives," in CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, vol. 2, no. 3, pp. 197-216, Sept. 2017. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee.org.ez74.periodicos.capes.gov.br/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8118375>. Acesso em: 06/09/2024.