

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO URBANO COMO TRABALHO MULTIDISCIPLINAR EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Maurício de Campos, Paulo S. Sausen, Manuel M. P. Reibold, Airam Sausen,
Luciano Bonatto, Jonatas R. Kinas
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
UNIJUI – RS, Brasil
e-mail: campos@unijui.edu.br

Resumo - O interesse do aluno em alguns conteúdos normalmente só ocorre quando ele percebe as aplicações desse conhecimento. Isso geralmente ocorre com conteúdos de eletrônica de potência, instrumentação e controle. Este trabalho apresenta o projeto e desenvolvimento de um veículo elétrico individual para uso urbano. Neste sentido foi projetado e construído um protótipo de um Veículo Elétrico Urbano funcional. Para a construção deste protótipo utilizou-se os conhecimentos acadêmicos de eletrônica de potência, sistemas eletrônicos, microcontroladores, controle analógico e digital, além de conversão eletromecânica de energia. Existem seis tipos básicos de veículos elétricos. Neste caso, foi construído um Veículo Elétrico Urbano, alimentado por baterias elétricas. Como a simplificação das peças mecânicas no veículo são essenciais, optou-se pela utilização de uma estrutura composta por dois motores colocados nas rodas dianteiras e uma roda traseira de configuração direcional. Pode-se afirmar que o interesse do aluno é potencializado quando se estabelece uma conexão entre os fundamentos teóricos e aplicação prática.

Palavras-Chave – Educação, Top Down, Veículo Elétrico.

DEVELOPMENT OF AN URBAN ELECTRIC VEHICLE AS MULTIDISCIPLINARY WORK IN ELECTRICAL ENGINEERING

Abstract – The student's interest in some contents usually just occurs when he/she sees the applications of this knowledge. This usually occurs with contents of power electronics, instrumentation and control. This paper presents the design and development of an individual electric vehicle for urban use. It was built a prototype of a functional urban electric vehicle. For the construction of this prototype it was used the academic knowledge of the subjects power electronics, microcontrollers, analog and digital control in addition to electromechanical energy conversion. There are six basic types of electric vehicles. In this case, it was constructed one urban electric vehicle, fed by electric batteries. Since the simplification of mechanical parts in the vehicle is essential, we opted for the use of a structure composed of two motors placed on the front wheels and one rear wheel directional configuration. It can be affirmed that the

interest of the student is potentiated when it establishes a connection between the theoretical foundations and practical application.

Keywords – Education, Electric Vehicle, Top Down.

NOMENCLATURA

A, B, C	Fases do motor <i>brushless</i> .
V_{cc}	Tensão de alimentação das baterias.
VEU	Veículo Elétrico Urbano.

I. INTRODUÇÃO

A Eletrônica de Potência é uma das áreas que proveem avanços tecnológicos mais significativos em nossa sociedade. É possível citar, por exemplo, os sistemas de distribuição de energia elétrica e os sistemas de geração distribuída, entre outros. É comum nos atuais projetos pedagógicos de programas de engenharia nas áreas de elétrica/eletrônica, um conjunto de disciplinas que tratam deste tema, que são na maioria das vezes bastante técnicas e, em alguns casos, abstratas, por este motivo o interesse dos alunos costuma aparecer apenas quando estes visualizam as aplicações desse conhecimento. No caso da eletrônica de potência, também a estreita ligação com os conteúdos das disciplinas de instrumentação e controle tornam a imagem destas questões ainda mais complexas.

Conforme apresentado por Coll citando Piaget [1], há duas formas de aprendizagem: a aprendizagem repetitiva ou mecânica, e a aprendizagem significativa. Na aprendizagem repetitiva, os alunos estão limitados a memorizar, sem compreender para que é o conhecimento adquirido. Na aprendizagem significativa, são acrescentados novos conhecimentos ao saber já adquirido, garantindo deste modo, não só a continuidade da aprendizagem, mas permitindo que o aluno alcance níveis mais elevados de conhecimento. Esta é a ação pedagógica cognitivo-evolutiva que visa maximizar as linhas naturais do desenvolvimento cognitivo e afetivo.

Ao pensar em como um conhecimento é construído, ou analogamente, em como um sistema é projetado, observa-se que a construção ocorre do global para o particular. Por exemplo, as crianças percebem o 'todo' para, com o passar do

¹ Artigo submetido em 04/02/2014; revisado em 28/04/2014; aceito para publicação em 01/12/2014 por recomendação do Editor da Seção Especial Mário Lúcio da Silva Martins.

tempo, entender o funcionamento de um brinquedo, ou até de um equipamento; o engenheiro 'imagina' um sistema complexo e, em seguida, o divide e só então, o projeta parte a parte. Neste sentido, uma visão clara do todo permite que o interesse acadêmico sobre um determinado assunto seja reforçado. Isto pode tornar a sua aprendizagem algo mais agradável uma vez que seu interesse está concentrado no projeto [2]. Os projetos concretos envolvem muitos conceitos. Estes são caracterizados principalmente por serem multidisciplinares. Neste sentido, o trabalho de conclusão de curso de um aluno de engenharia pode ter um forte viés de projeto.

Considerando a literatura técnica observa-se que com o aumento da demanda por sistemas de transporte mais eficientes, tanto do ponto de vista da energia como do meio ambiente, muitos pesquisadores e designers estão concentrando esforços no desenvolvimento de Veículos Elétricos Urbanos (VEU) [3],[4]. Estes veículos são leves, de pequenas dimensões e geralmente permitem o transporte de uma ou duas pessoas. Neste contexto o objetivo principal deste artigo é apresentar as etapas de projeto e desenvolvimento de um veículo elétrico individual para uso urbano, desenvolvido por um aluno do Curso de Engenharia Elétrica da Unijuí.

O restante deste artigo está organizado como segue. Na Seção II é realizada uma contextualização de VEU. Na Seção III é apresentado o projeto e desenvolvimento de VEU de transporte individual. Na Seção IV são apresentadas as conclusões

II. VEÍCULOS ELÉTRICOS URBANOS

Os VEUs são leves, de pequenas dimensões e geralmente permitem o transporte de uma ou duas pessoas. Estes veículos utilizam um ou mais motores elétricos para propulsão, sendo normalmente alimentados por uma fonte de tensão contínua. Portanto, dependendo da fonte de energia elétrica, há diferentes tipos de VEU.

Tais veículos ainda não se estabeleceram de modo similar aos veículos convencionais movidos por motores à combustão interna. Isso é justificado, principalmente, pela baixa autonomia e dificuldades de fornecimento (recarga) dos mesmos. No entanto, concomitantemente, existem outros desafios que devem ser superados em tais veículos como: aumento da eficiência e da robustez, otimização do tamanho, aumento do conforto e da segurança, e principalmente a redução dos custos. Deve-se ressaltar que a superação destes pontos depende do avanço de várias tecnologias, tais como armazenamento de energia e gerenciamento de baterias, controle e eletrônica de potência, frenagem regenerativa, desenvolvimento de novos motores elétricos, entre outros.

A concepção e desenvolvimento de carros elétricos pode motivar os alunos das engenharias elétrica e mecânica, para concentrar a sua formação em eletrônica de potência [5]. Na realização do Trabalho de Conclusão de Curso, este tipo de projeto, permite mostrar a natureza multidisciplinar da eletrônica de potência, uma vez que se caracteriza por um projeto experimental com significativo resultado prático. Existem várias universidades no Brasil fazendo pesquisas

para desenvolver um VEU, e a UNIJUI também tem procurado contribuir para este segmento.

III. PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO URBANO DE TRANSPORTE INDIVIDUAL

Ao pensar em veículos elétricos, imediatamente imagina-se um veículo movido por um motor elétrico, alimentado pela energia armazenada em baterias. Mas há várias tecnologias diferentes que são aplicadas a veículos elétricos. Segundo [6], há seis tipos básicos de veículos elétricos que são classificados de acordo com o tipo de armazenamento de energia, são eles:

- Veículos elétricos alimentados por baterias;
- Veículos elétricos híbridos, que normalmente combinam baterias com um motor de combustão interna;
- Veículos elétricos alimentados por células de combustível;
- Veículos movidos por linhas de distribuição de energia elétrica;
- Veículos elétricos alimentados por energia solar;
- Veículos que armazenam energia por meios alternativos, tais como "flywheels".

O VEU desenvolvido neste trabalho possui vários componentes e subsistemas. Entre eles destaca-se o sistema de tração, os motores utilizados, o sistema da bateria, os controladores de motor CC, e o circuito de comando e controle. É preciso destacar que o mesmo, foi concebido inicialmente para ser um veículo de baixo peso com a maior autonomia possível. No entanto, ele precisava atender as especificações mínimas de um veículo urbano, ou seja, velocidade de até 60 km/h (com carga de até 100kg) e autonomia de pelo menos 20 km. Ainda que sendo um projeto desenvolvido por estudantes de engenharia elétrica, com contribuições de profissionais da engenharia mecânica e design, ele tem muito a evoluir principalmente na sua concepção mecânica.

A. Sistemas de Tração Utilizados em Veículos Elétricos

O sistema de tração para um veículo elétrico inclui vários componentes e pode ter um arranjo diferente dependendo do tipo de aplicação que se pretende. Em muitas aplicações é desejável uma forma construtiva simples e barata. Em outros casos o desempenho do sistema é o fator mais importante do projeto. Em relação aos meios de propulsão, estes podem ser implementado por: motores CA, motores CC ou motores especiais.

Para a localização e instalação dos motores, estes podem ser conectados, por exemplo, a um sistema de transmissão composto por caixas de redução de velocidade mecânica e um diferencial, ou ainda serem diretamente conectados à roda do veículo. Estas características dependem do tipo de veículo e do terreno em que este veículo deverá trafegar. Assim é possível ter diferentes topologias relacionadas com sistemas de tração.

Analisando-se as características e as possíveis topologias para o sistema de tração do veículo desenvolvido, optou-se por uma que conecta os motores diretamente nas rodas dianteiras. Esta topologia pode ser observada na Figura 1.

Pesquisando então entre possíveis fornecedores, reuniu-se para utilização no protótipo alguns modelos de motores elétricos construídos no eixo central de uma roda. Este sistema torna mais simples a aplicação, uma vez que não necessita da utilização de engrenagens de redução de velocidade, ou outros sistemas de engate. Esta simplicidade mecânica propicia uma redução de peso e volume, bem como a possibilidade de um controle independente de cada roda.

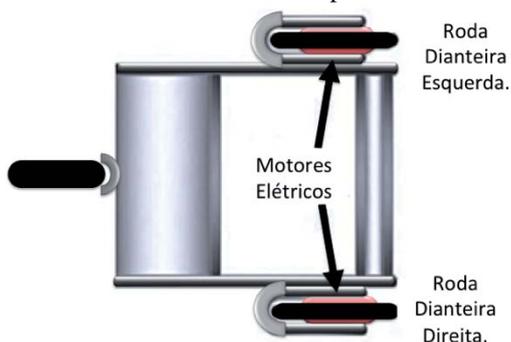


Fig. 1. Topologia escolhida para uso no protótipo.

Além das vantagens acima mencionadas, esta topologia utilizada em um veículo de três rodas, permite a utilização de motores, não só para a tração do veículo, mas também para o controle de direção fornecida através da variação da velocidade do motor.

A simplificação das partes mecânicas do veículo proposto, foi essencial para permitir a sua construção e montagem. Ela também ajudou a reduzir o peso total do veículo, a remover rolamentos, eixos e vários componentes mecânicos. Isto permitiu o controle de direção mais confortável e flexível, uma vez que é realizada eletronicamente.

B. Motores Elétricos Utilizados

Com base na análise das características desejadas, os motores mais adequados para o projeto proposto e utilização em veículos elétricos são os motores de indução e os motores CC sem escovas (*brushless CC*). Eles são os motores que apresentam o maior número de vantagens em todos os parâmetros analisados, assim como possibilitam simplificar o sistema de controle, entre as opções disponíveis.

Os motores CC sem escovas de corrente contínua têm funcionamento semelhante ao de um motor síncrono. O campo do rotor gira a uma mesma frequência que o campo gerado pelo estator, o deslizamento não ocorre como nos motores assíncronos. O enrolamento da armadura pode ser de uma, duas ou três fases, sendo o de três fases o mais utilizado.

Na Figura 2 é mostrado o motor utilizado *brushless CC*, que foi montado diretamente sobre rodas. Como já afirmado, esta característica facilitou a montagem do protótipo, reduzindo a necessidade de componentes adicionais e adequando uma topologia escolhida para o sistema de acionamento.

Neste motor o enrolamento de armadura tem 51 polos e está localizado no estator. Este é acoplado ao eixo e é alimentado com uma tensão de 48V, através de um circuito de comutação eletrônica, isto ainda permite a leitura de um conjunto de sensores instalados no interior do motor.

A tensão de entrada aplicada aos enrolamentos é sequencialmente trapezoidal, como mostrado na Figura 3, o que permite o seu movimento contínuo.



Fig. 2. Motor brushless CC utilizado no protótipo (48V 1000W).

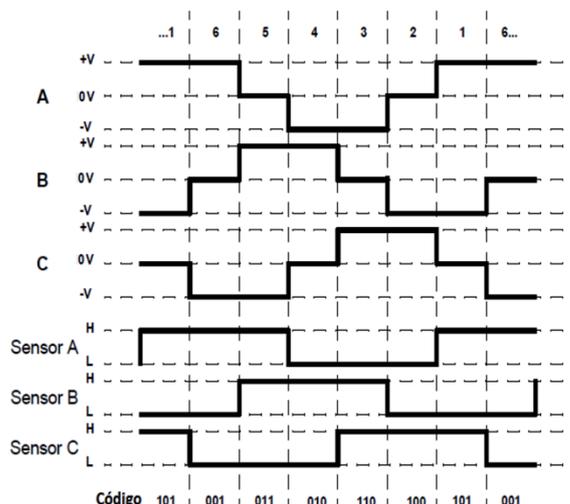


Fig. 3. Sinais de controle utilizados no motor *brushless CC*.

Com base nas informações da Figura 3 pode-se construir um quadro (Figura 4) para uma melhor compreensão da sequência de impulsos de sensores, e da sequência respectiva de energização dos enrolamentos do estator.

A inversão do sentido de rotação do motor pode ser obtida ao se inverter as tensões aplicadas às bobinas ou invertendo o sinal gerado pelos sensores, em que um nível lógico 0 se torna 1, e vice-versa.

A corrente consumida pelo motor, quando uma tensão de 48V é aplicada, é de 1,8 A quando operando sem carga.

O rendimento do motor quando submetido a carga é de 85,4%, desenvolvendo um binário de 11,4 Nm a uma velocidade de 400 rpm. Já na condição sem carga o motor opera com uma eficiência muito baixa, isto é, menor que 25%. A potência máxima desenvolvida pelo motor é 1.002,55 W, onde se desenvolve um binário de 29,19 Nm a uma velocidade de 328 rpm, com um rendimento de 77%.

C. As Baterias

Para a escolha e especificação da bateria foi considerado apenas a energia necessária para alimentar o sistema de propulsão do veículo, excluindo a instalação de dispositivos adicionais, tais como: telas, lâmpadas e dispositivos de sinalização. Depois de verificadas as opções de armazenamento disponível no mercado, as que se apresentaram economicamente e tecnicamente viável para o uso no protótipo foram as baterias de chumbo ácido e fosfato de ferro de lítio (LiFePO₄), respectivamente.

A opção de bateria de chumbo é a mais economicamente viável, tendo um custo mais baixo, por exemplo, que o lítio ou baterias de níquel-cádmio. O principal problema na utilização destas baterias é que a sua densidade de energia é extremamente baixa, aumentando significativamente o peso global do veículo, obviamente, aumentando o consumo de energia do mesmo. Já as baterias de lítio de fosfato de ferro são as que equilibram uma maior densidade de energia e possuem custo razoável em comparação com outras alternativas, também possuem uma vida útil mais longa, sendo esta a melhor opção para uso no protótipo. Considerando-se que a tensão necessária para acionar os motores é de 48V foi decidido pela utilização de baterias de tipo LiFePO₄ com uma capacidade de 12 Ah, que é mostrada na Tabela I.

TABELA I
Seqüência de Energização dos Enrolamentos de um Motor de CC Sem Escovas

Seqüência	Sinais dos Sensores	Tensão Aplicada					
		a	b	c	A	B	C
D	I	1	0	1	+Vcc	-Vcc	0
I	II	1	0	0	+Vcc	0	-Vcc
R	III	1	1	0	0	+Vcc	-Vcc
E	IV	0	1	0	-Vcc	+Vcc	0
T	V	0	1	1	-Vcc	0	+Vcc
A	VI	0	0	1	0	-Vcc	+Vcc
R	I	0	1	0	-Vcc	+Vcc	0
E	II	0	1	1	-Vcc	0	+Vcc
V	III	0	0	1	0	-Vcc	+Vcc
E	IV	1	0	1	-Vcc	+Vcc	0
R	V	1	0	0	+Vcc	0	-Vcc
S	VI	1	1	0	0	+Vcc	-Vcc
A							

D. Acionamento do Motor CC Sem escovas

O circuito utilizado para acionar o motor de CC sem escovas é apresentado na Figura 4. Controles de acionamento individual para os drivers de nível alto e baixo permitem nível alto, nível baixo e nível fluante em cada terminal do motor. Uma precaução que deve ser tomada com este tipo de circuito é que os dois interruptores de uma mesma fase não devem ser ativados ao mesmo tempo.

TABELA II
Especificações da Bateria

Especificações		
1	Modelo	PP-48V12Ah
2	Tipo	LiFePO ₄
3	Capacidade Nominal	12Ah
4	Tensão	48V
5	Dimensões	398×75.5×110mm
6	Peso	5,5kg
7	Ciclos de carga	> 1800 ciclos

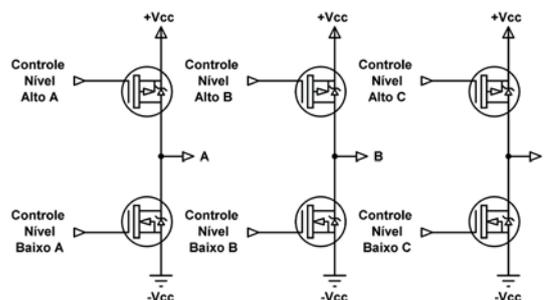


Fig. 4. Ponte trifásica utilizada.

E. Sistema de Comando e Controle Desenvolvido

O microcontrolador utilizado para controlar o veículo foi o PIC16F877A fabricado pela Microchip®, família PIC16C7XX/F87X de microcontroladores. No protótipo, este microcontrolador tem a função de receber os sinais dos transdutores do veículo e enviar o sinal de controle para os módulos de acionamento dos motores de acordo com a operação selecionada.

O microcontrolador gerencia as informações: de velocidade, da tensão da bateria, de aceleração e outros dados do veículo apresentando-os em um visor LCD 2x14 linhas, destinada a interação com o condutor.

Os sinais do volante, acelerador e os níveis de tensão das baterias utilizam os conversores A/D de 10 bits existentes no microcontrolador. O velocímetro do veículo foi implementado utilizando os sensores Hall, existentes no motor, pois a cada volta completa da roda são emitidos pulsos de tensão (5V).

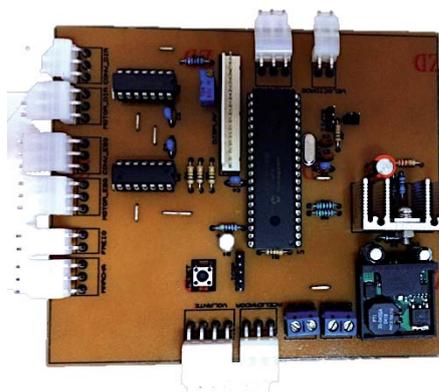


Fig. 5. Foto do protótipo da placa de controle instalada no veículo.

A placa do protótipo instalada no veículo, é apresentada na Figura 5. O diagrama do circuito de controle desenvolvido e montado no laboratório é exibido na Figura 6.

Para o desenvolvimento do algoritmo implementado no microcontrolador foi usado a linguagem de programação C++, utilizando o software MPLAB®. A estrutura básica do

programa é exibida no diagrama de blocos e apresentada na Figura 7.

Depois de iniciadas as rotinas básicas é verificada a tensão da bateria e, a partir deste diagnóstico, o programa entra em um loop infinito, verificando as entradas, saídas e define o envio e a visualização das informações do veículo.

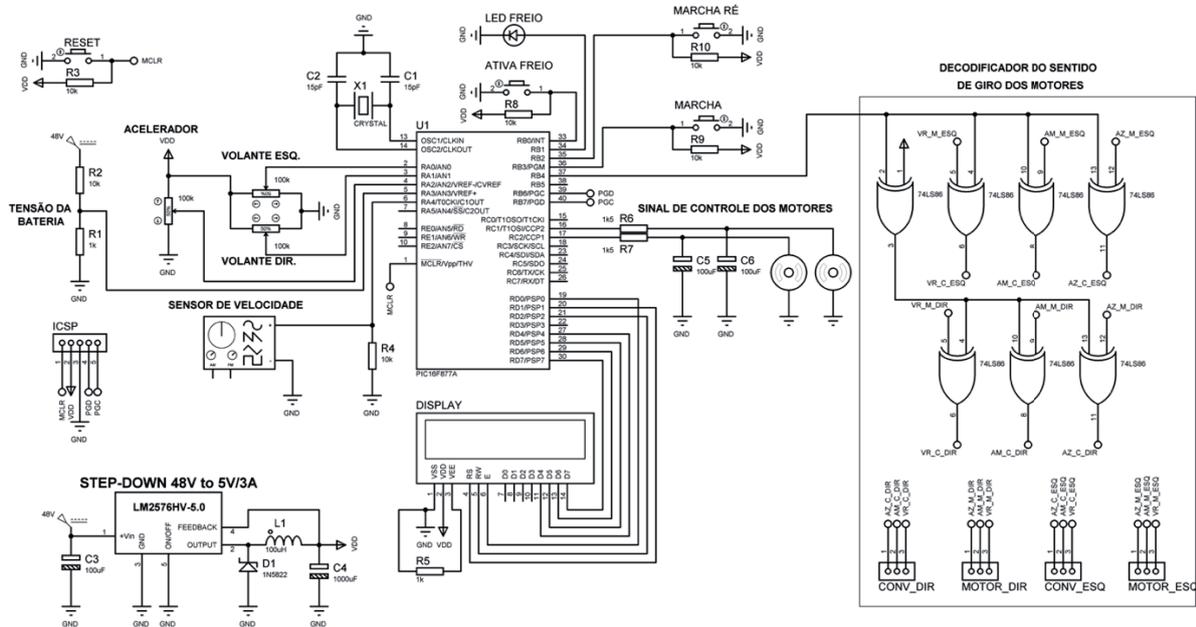


Fig. 6. Circuito de controle implementado com PIC16F877A.

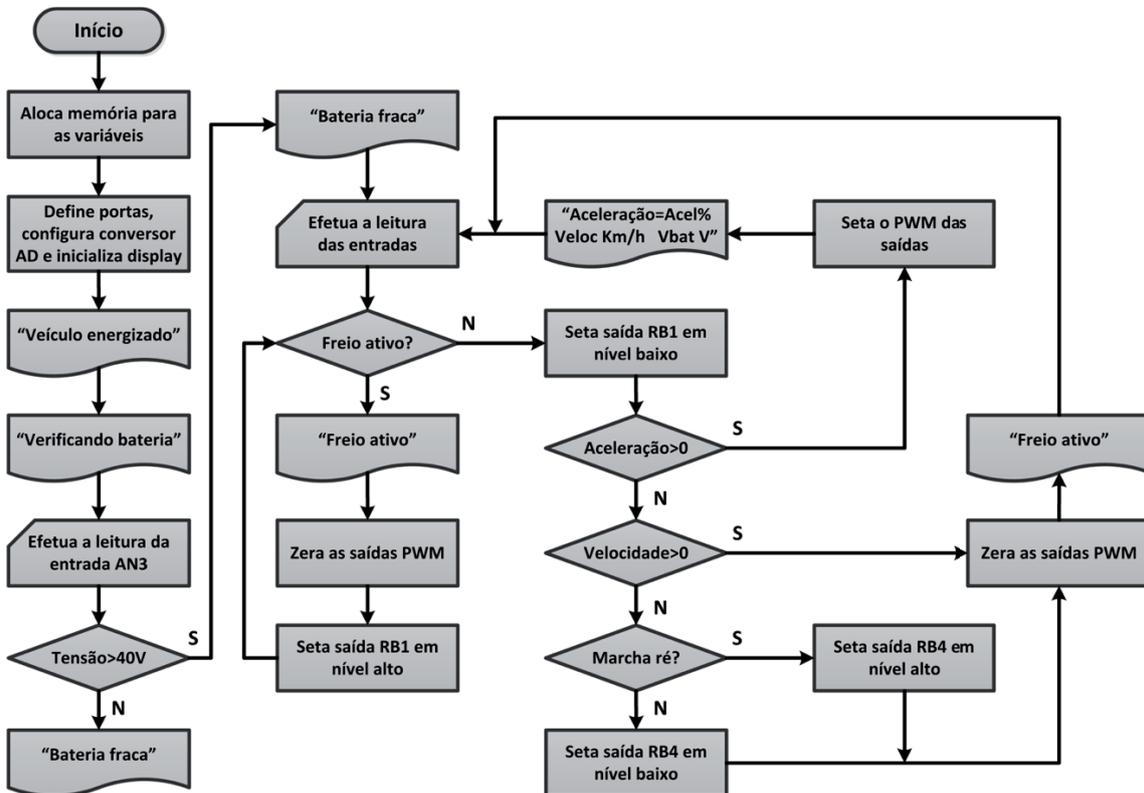


Fig. 7. Diagrama de blocos do algoritmo de controle implementado com o PIC16F877.

O protótipo desenvolvido e construído na sua versão final é apresentado nas Figuras 8, 9 e 10. Percebe-se que toda a estrutura foi construída em alumínio permitindo uma redução significativa do seu peso.



Fig. 8. Foto do protótipo do VEU desenvolvido.



Fig. 9. Vista frontal do protótipo desenvolvido.

Como já afirmado o protótipo inicialmente pretendia, realizar o controle de direção através da aceleração independente as rodas dianteiras. No entanto em momentos de frenagem a direção e manobra do veículo ficava muito comprometida. Para corrigir este problema foi adicionado um motor auxiliar com uma caixa de redução que através de um circuito de potência faz o controle da roda traseira (cf. Figura 10). Nesse sentido esta roda funciona como um leme e auxilia na direção do veículo. Para permitir o funcionamento adequado dos dois sistemas foi reprojetoado o sistema de controle original.



Fig. 10. Sistema de auxílio de manobra desenvolvido para a roda traseira.

O painel interno, os comandos no volante e direção, e o GPS com câmera de ré, podem ser vistos na Figura 11. Os sinais dos *drivers* de controle do sistema de propulsão apresentaram um bom desempenho. Na Figura 12 é possível verificar os sinais provenientes da placa de controle (PWM) gerados, medidos nos pinos CCP1 e CCP2 do microcontrolador.



Fig. 11. Painel interno do protótipo desenvolvido.

Lembrando que o sistema de direção do veículo está baseado na aceleração proporcional das rodas dianteiras. Ambos os testes a seguir, foram realizados com o acelerador em 50%. O primeiro teste foi realizado com o volante na posição central neste caso pode-se observar que a aceleração foi distribuída uniformemente entre dois motores.. O segundo teste foi realizado imaginado a conversão a direita do veículo. Assim, o sistema de controle manteve a aceleração na roda esquerda reduzindo significativamente a aceleração na roda direita a fim de manter o fluxo do motor e consequentemente o torque.. As formas de onda obtidas são apresentadas na Figura 13 (a) e (b), respectivamente.

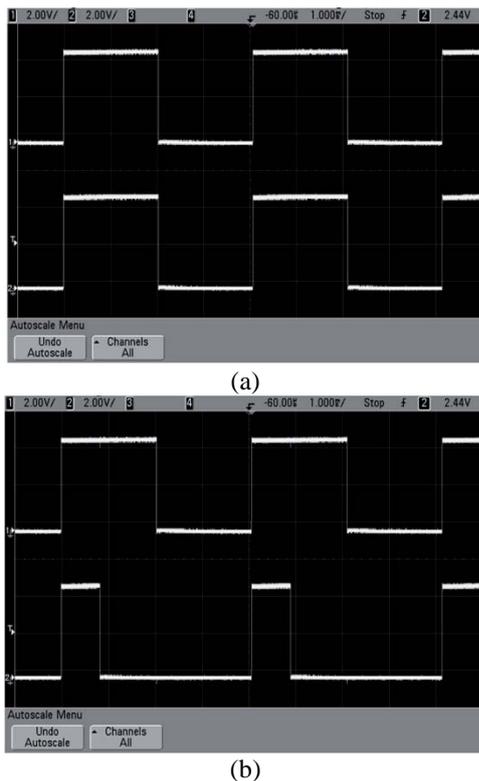


Fig. 12. (a) Aceleração de 50% com o volante no centro; (b) Aceleração de 50% com o volante direcionando para um dos lados.

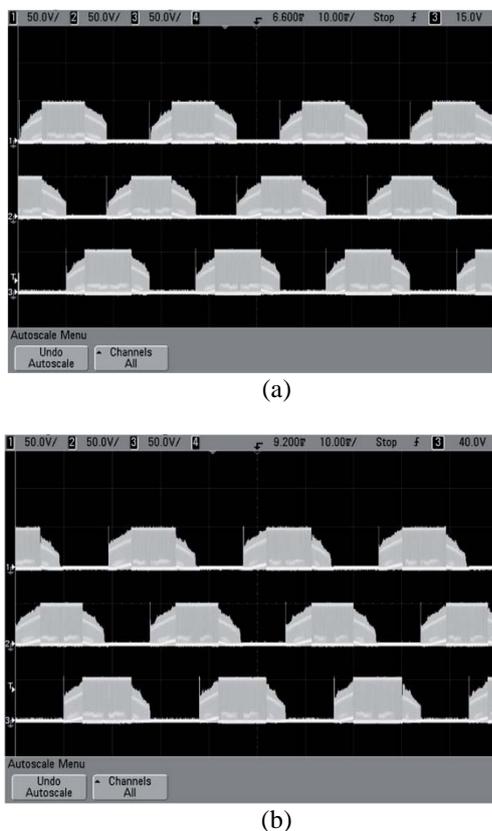


Fig. 13. (a) Sinais aplicados às fases dos motores com uma aceleração de 50% em rotação para a frente; (b) Sinais aplicados às fases dos motores com uma aceleração de 50% em rotação inversa.

Foram realizadas medições dos sinais aplicados às fases dos motores. Com a mesma aceleração de 50% para a frente, e na rotação inversa, foram obtidos os resultados apresentados nas Figuras 13 (a) e (b) respectivamente.

IV. CONCLUSÃO

Para a construção do protótipo de um VEU funcional foram fundamentais os conhecimentos acadêmicos de eletrônica de potência, sistemas eletrônicos, microcontroladores, controle analógico e controle, além de conversão eletromecânica de energia. Desta forma, pode-se considerar que o projeto foi concluído com sucesso.

Este artigo demonstra que se um acadêmico de engenharia possui uma visão clara do todo, o projeto se torna mais motivador. Conseqüentemente os conteúdos indispensáveis para o projeto, mesmo que complexos acabam tendo um caráter mais desafiador. Os resultados obtidos nesta experiência surpreenderam a todos, principalmente pelo interesse demonstrado pelos alunos. Quando isso ocorre e o projeto se caracteriza por algo que desperta claramente a curiosidade o trabalho (ou projeto) acaba por ter um grau elevado de dificuldade, normalmente maior do que seria proposto pelo professor nas suas atividades de avaliação de aprendizagem dos alunos. Além deste tipo de projeto despertar a iniciativa, a criatividade e a busca de informações, para o tema escolhido ele acaba se tornando uma meta a ser cumprida.

Um segundo aspecto importante relaciona-se com a diversidade de problemas que acabam sendo abordadas no desenvolvimento do trabalho. É nesta fase que o estudante usa toda a sua criatividade para que o problema possa ser solucionado de forma satisfatória.

Finalmente, a interação entre os conteúdos (interdisciplinaridade) é muito expressiva. Esta conexão estabelecida entre os vários componentes do currículo do curso proporciona a retomada de conteúdos previamente estudados e, portanto, promove o intercâmbio de conhecimentos. Além disso, pode-se afirmar que estabelece uma conexão entre os fundamentos teóricos e aplicação prática destes.

Atualmente o protótipo vem sendo utilizado para as aulas de eletrônica de potência onde os acadêmicos são desafiados a projetar o conversor de controle e avaliar seu rendimento no VEU desenvolvido. Esta prática tem gerado uma saudável competição entre os estudantes e uma grande motivação em busca de melhores resultados.

Este trabalho, obviamente, não pretende neste momento, nenhuma revolução no processo de ensino-aprendizagem, mas dar ao jovem o que ele espera de um curso de engenharia, sem, é claro, suprimir nenhum dos ensinamentos que são necessários. Esta transformação exige simplesmente que os sujeitos satisfaçam os seus desejos e as suas fantasias. Consolidando, portanto, a caracterização das instituições de ensino superior como o local de concepção de ideias universais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os membros do Grupo de Automação e Controle Industrial (GAIC), sem os quais este trabalho não seria desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Coll, "*Psicologia e Currículo: uma aproximação psicopedagógica a elaboração do currículo*", Ed. Ática, 1996.
- [2] M. Campos, C. E. Pozzobon, M. M. P. Reibold, F. Salvadori, "Uma Proposta Estratégica para a Consolidação do Conhecimento nos Cursos de Engenharia Utilizando a Técnica "Top-Down", in *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. COBENGE, 2005.
- [3] J. Z. Tant, K. Engelen, N. Leemput, J. Van Roy, S. Weckx, J. Driesen, "Power electronics for electric vehicles: A student laboratory platform", in *13th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics*, COMPEL, pp. 1-7, 2012.
- [4] T. Nobels, W. Deprez, I. Pardon, S. Stevens, O. Viktorin, J. Driesen, J. Van Den Keybus, R. Belmans, "Design of a small personal electric vehicle as an educational project", in *11th Int. Power Electronics and Motion Control Conference CITESEER*, pp. 2-4, 2004.
- [5] W. Daems, B. De Smedt, P. Vanassche, G. Gielen, W. Sansen, H. De Man, "PeopleMover: An example of interdisciplinary project-based education in electrical engineering", *IEEE Trans. on Education*, vol. 46, no.1, pp. 157-167, Fevereiro 2004.
- [6] J. Larminie, J. Lowry, "Electric Vehicle Technology Explained", 1 ed., New York: John Wiley and Sons, 2005.
- [7] G. Nanda, N. Kar, "A survey and comparison of characteristics of motor drives used in electric vehicles", in *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp. 811 – 814, 2006.

DADOS BIOGRÁFICOS

Maurício de Campos possui Graduação em Engenharia Elétrica pela UNIJUÍ (1997), Mestrado pela UFSM (2000) e é doutorando na mesma área pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Atualmente é professor assistente da UNIJUÍ. Atua principalmente nos seguintes temas: qualidade de energia, instrumentação, sistemas supervisórios, acionamentos de máquinas elétricas e educação em engenharia.

Paulo Sérgio Sausen possui Graduação (UNIJUÍ) e Mestrado (UFPB) em Ciências da Computação e Doutorado em Engenharia Elétrica pela UFCG (2008). Atualmente é

Bolsista de Produtividade em Pesquisa Nível 2 no CNPq, e professor Associado do Departamento de Ciências Exatas e Engenharia da UNIJUÍ, atuando a nível de Graduação nos Cursos de Matemática, Ciências da Computação e Engenharias e no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Modelagem Matemática. Possui experiência nas áreas de Ciência da Computação, Engenharia Elétrica e Matemática Aplicada, com ênfase em Redes de Sensores Sem Fio.

Manuel Martín Pérez Reibold possui Graduação em Engenharia Elétrica (1984) e Mestrado em Engenharia Elétrica-Eletrônica (1994) pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Possui Doutorado em Micro-Eletrônica (2008) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). É e professor Assistente 3 do Departamento de Ciências Exatas e Engenharia da UNIJUÍ, atuando a nível de Graduação nos Cursos de Ciências da Computação e Engenharias e no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Modelagem Matemática. Tem experiência com Instrumentação Eletro-Eletrônica. Os temas de interesse principal são: Robótica Móvel, MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) e Identificação de Sistemas.

Airam Tereza Romcy Zago Sausen possui Graduação em Licenciatura em Matemática (2002) e Mestrado em Modelagem Matemática (2004) ambos na UNIJUÍ, e Doutorado em Engenharia Elétrica pela UFCG (2009). Atualmente é professora Associada da UNIJUÍ, atuando a nível de Graduação nos Cursos de Matemática, Ciências da Computação e Engenharias e no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Modelagem Matemática. Tem experiência nas áreas de Matemática Aplicada e Engenharia Elétrica. Atua nas subáreas Controle de Processos e Sistemas Dinâmicos e Identificação de Sistemas com ênfase em Matemática, Modelagem Matemática e mais especificamente no estudo, aplicação e desenvolvimento de modelos matemáticos para predição do tempo de vida de baterias utilizadas em dispositivos móveis.

Luciano Bonato atualmente é professor do curso Técnico em Eletrotécnica na Escola Técnica Estadual 25 de Julho, Engenheiro Eletricista na empresa VR Iluminação Ltda, e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Possui título de Técnico em Eletrotécnica e Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Unijuí).

Jonatas R. Kinan é graduando em Engenharia Elétrica pela UNIJUÍ, atualmente é bolsista de iniciação científica e integrante do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC), pela mesma instituição