

# DESENVOLVIMENTO DE AUTOMAÇÃO EMBARCADA PARA UM ROBÔ MÓVEL BASEADO EM UM CARRO DE PASSEIO

ELIAS J. DE R. FREITAS\* MATHEUS N. W. VINTI\* MICHELLE M. SANTOS\* PAULO ISCOLD\*  
LEONARDO A. B. TORRES\* GUILHERME A. S. PEREIRA\*

\**Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento de Veículos Autônomos, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6626, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

Email: pdva@ufmg.br

**Abstract**— This paper presents the current stage of development of an autonomous vehicle based on a standard automobile. It shows solutions for the actuation of the vehicle, including steering, gear, brake, and accelerator, and also for sensing several of its states. The final goal of this project is to get a mobile robot able to localize itself and to move autonomously in partially known environments. The first step of the project, which consists in the development of the embedded automation, together with initial results of its localization system is presented in the paper.

**Keywords**— Autonomous Vehicle, Mobile Robotics, Vehicular Automation.

**Resumo**— Este artigo apresenta o estágio atual de desenvolvimento de um veículo autônomo baseado em um carro de passeio. São mostradas as soluções encontradas para atuação do veículo, incluindo direção, câmbio, freio e aceleração, e também para o sensoriamento de seus diversos estados. O objetivo final do projeto é a obtenção de um robô móvel que seja capaz de localizar-se e locomover-se autonomamente em ambientes parcialmente conhecidos. A primeira etapa desse projeto, que consiste no desenvolvimento de automação embarcada para atuação do carro de passeio, juntamente com resultados iniciais de seu sistema de localização, é apresentada no artigo.

**Palavras-chave**— Veículo Autônomo, Robótica Móvel, Automação Veicular.

## 1 INTRODUÇÃO

Na área automotiva, a mobilidade está diretamente associada à capacidade de direção do motorista. Dessa forma, existem alguns equipamentos que auxiliam na condução do carro, executando alguma tarefa árdua ou cansativa para o condutor. A Cavenaghi (Cav, 2008), uma das maiores empresas do mundo em adaptação de veículos para deficientes físicos, comercializa, por exemplo, uma embreagem computadorizada que automatiza completamente o sistema de embreagem, um pomo giratório que permite que o volante gire 360° sem que o condutor tire as mãos do mesmo e um controle de comandos elétricos que permite acionar a seta, os faróis, a buzina e o volante, entre outros. Uma outra empresa, a Dalgas Precision (Dal, 2008), representante exclusiva da Rostra Inc., comercializa um piloto automático que mantém constante a velocidade do veículo sem que o motorista precise manter o pé no acelerador. Um passo seguinte ao desenvolvimento destes equipamentos, seria a integração de todos os sistemas de tal forma que o carro se torne autônomo, ou semi-autônomo, e possibilite, por exemplo, mais conforto aos usuários e mais acessibilidade a portadores de necessidades especiais.

O desenvolvimento de veículos autônomos tem despontado grande empenho no campo da robótica, como visto, por exemplo, nas competições promovidas pela DARPA — *Defense Advanced Research Projects Agency* — nos Estados

Unidos, desde 2004. Essas competições têm como objetivo acelerar a pesquisa e o desenvolvimento de veículos autônomos destinados a atividades militares (Dar, 2008). Elas têm proporcionado, também, o desenvolvimento de tecnologias que serão eventualmente encontradas nas indústrias automotivas. Em (McBride et al., 2008), discute-se, baseado nos resultados obtidos no DARPA *Grand Challenge 2007*, que as pesquisas em veículos autônomos se tornarão a chave que habilitará os sistemas futuros de segurança ativa dos veículos.

Com essa perspectiva futura e com o desejo de desenvolver uma plataforma experimental para estudos avançados em localização e planejamento de movimento em ambientes externos, o grupo de pesquisa PDVA — Pesquisa e Desenvolvimento de Veículos Autônomos — da UFMG iniciou o desenvolvimento de um carro de passeio autônomo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de automação embarcada para atuação desse veículo de forma a deixá-lo totalmente controlável por um computador. Essa automação é obtida por um sistema de *hardware* e de um *software* que o gerencia, possibilitando os comandos automáticos de aceleração, frenagem, direção e mudança de marcha.

O veículo utilizado no projeto é um carro de passeio Chevrolet Astra 2003/2004, com direção hidráulica, câmbio automático, acelerador eletrônico e freio ABS. Estas características facilitam a automatização do veículo, como será visto nas



Figura 1: Visão interna do veículo com os elementos de atuação, o painel chaves, o TabletPC e o joystick usado para testes.

seções seguintes. O veículo foi inicialmente equipado com um TabletPC com o sistema operacional Windows Vista, uma interface de controle, um sistema auxiliar e alguns sensores. Estes subsistemas serão detalhados a seguir. Uma foto do interior do veículo é mostrada na Figura 1.

## 2 SISTEMA FÍSICO

O sistema físico é constituído da interface de controle do veículo — ICV —, do sistema auxiliar e dos sensores. Ele possibilita que o comando definido via *software* ou manualmente — como, por exemplo, o botão de emergência — seja compreendido e depois enviado e executado pelos atuadores e pelo controle interno do carro. Sua arquitetura pode ser vista na Figura 2.

### 2.1 Interface de controle do veículo

A ICV tem como objetivo possibilitar a direção do veículo por meio de um computador. Um dos objetivos iniciais do projeto deste sistema era que o veículo não sofresse alterações que impedissem um

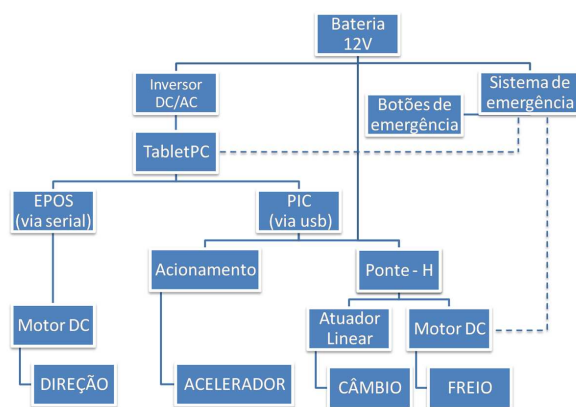


Figura 2: Arquitetura do sistema físico.

ser humano de dirigir o automóvel da forma tradicional. Assim, todo o sistema desenvolvido funciona em paralelo com o subsistemas originais do veículo e pode ser ativado ou desativado por meio de chaves. Essa funcionalidade facilita a operação do veículo, uma vez que este pode ser guiado para a região de operação por um motorista habilitado. Além disso, garante a segurança durante os testes, uma vez que o comando manual pode ser rapidamente recuperado por um ocupante do veículo. É importante mencionar que, durante o desenvolvimento deste projeto, não se utilizou nenhuma forma de intervenção na rede de controle proprietária do automóvel, visando a portabilidade do sistema para outros veículos. O desenvolvimento do sistema obtido até o momento não contou com nenhum apoio técnico da montadora do veículo utilizado.

O projeto da ICV é baseado na utilização do microcontrolador PIC18F2550, da fabricante Microchip, cuja principal característica, que levou à seleção deste microcontrolador para este trabalho, é a possibilidade de comunicação via USB, que facilita o desenvolvimento e teste do sistema. Todos os *firmwares*, que determinam as funções dos PIC's, foram desenvolvidos na linguagem C, utilizando a interface de programação MPLAB v8.2 e uma biblioteca de comunicação (Rojvanit, 2004) fornecida pela Microchip que possibilita a transmissão e recepção de dados pela porta USB, emulando uma porta serial quando o PIC é conectado ao computador. Assim, a troca de informações entre um computador e o PIC é feita como se houvesse uma comunicação serial, porém a interface física é USB, comum nos computadores atuais.

Com o objetivo de tornar mais eficiente o desenvolvimento da ICV, foram desenvolvidas duas placas de circuito impresso (PCB), formando um kit. A primeira placa contém o microcontrolador PIC18F2550 com os circuitos básicos necessários ao seu funcionamento e um barramento que disponibiliza as portas do microcontrolador e possibilita o acoplamento de outras placas. Essa placa também possibilita a comunicação entre o computador e o dispositivo por meio da porta USB. A segunda placa é uma PCB de dupla face universal, que permite a confecção e modificação rápida do circuito específico para a atuação ou coleta de dados de sensores. As subseções seguintes apresentam os detalhes de desenvolvimento de cada subsistema.

#### 2.1.1 Acelerador

O veículo utilizado possui um sistema interno, do tipo *drive-by-wire*, para o acelerador, composto de uma unidade de comando eletrônico — UCE — que controla a mistura ar/combustível, o avanço de ignição, o ventilador de arrefecimento e, ainda, monitora e controla o acionamento do acelerador

eletrônico. Fazem ainda parte desse sistema, um sensor de posição do pedal do acelerador, um sensor duplo de posição da borboleta do acelerador<sup>1</sup> e um motor de passo que atua nessa borboleta.

Para prover o controle do acelerador por meio de um computador, foi realizada a engenharia reversa do mesmo, analisando-se o sinal enviado pelo sensor de posição do pedal à UCE. A partir dessa informação, foi desenvolvido um sistema que permite emular o sinal elétrico do sensor. Esse sistema é composto de transistores, relés, chaves, lógica digital e um microcontrolador PIC18F2550.

O sinal elétrico é emulado por um sinal PWM<sup>2</sup> filtrado, gerando, assim, um valor médio proporcional ao seu ciclo de trabalho (*duty cycle*). Esse tipo de sinal também foi utilizado pela equipe TerraMax no DARPA Grand Challenge 2005 para o controle da aceleração (Braid et al., 2006). A frequência escolhida para o PWM foi de 12kHz e a definição do *duty cycle* é determinada pelo PIC ao receber, via USB, o valor desejado para a aceleração.

O sistema também permite a seleção do modo de aceleração por meio de uma chave e de um relé. No modo automático o sinal enviado à UCE é aquele gerado pelo PIC e no modo manual o sinal enviado é aquele produzido pelo condutor ao acionar o pedal, indicado pelo próprio sensor de posição. Sendo assim, o sistema interno de aceleração do automóvel não sofreu alterações.

### 2.1.2 Câmbio

A seleção da marcha — *drive, park, reverse* — é feita por um atuador linear da Warner Electric (War, 2008), acoplado à alavanca de câmbio, como visto na Figura 2. Essa foi a solução adotada por algumas equipes participantes do DARPA *Grand Challenge* 2005, como, por exemplo, a equipe Stanley (Thrun et al., 2006), e a equipe Alice (Cremean et al., 2006).

Nesse sistema, um PIC controla em malha fechada a posição do atuador por meio de um conversor de potência do tipo Ponte-H. O conversor utilizado foi o *Simple-H* produzido pela *Robot Power* (SH, 2008), que permite uma corrente máxima de 25A. O atuador possui um potenciômetro interno que varia de acordo com a posição do braço e que foi utilizado na realimentação da malha de controle. O controle do dispositivo é realizado por meio de um sinal PWM de 18kHz proveniente do microcontrolador. O comando que define a seleção da marcha é enviado ao PIC via USB e essa informação é transmitida ao conversor de potência, definindo a direção e dando início ao movimento da alavanca. Quando o PIC verifica que a posição atual é a desejada, o atuador é

<sup>1</sup>A borboleta do acelerador é o elemento que regula a entrada da mistura ar/combustível no motor do carro.

<sup>2</sup>Modulação por Largura de Pulso.

desligado.

Para garantir a segurança, foi adicionado ao sistema um botão de emergência que possui prioridade sobre as ações dos comandos do computador. Ao ser pressionado, o atuador conduz o câmbio à posição *park*.

### 2.1.3 Freio

A solução projetada para a frenagem consiste na atuação direta do pedal do freio por meio de um braço mecânico. Para isso, utilizou-se um conjunto de motor e redução conectado a uma alavanca que empurra o pedal de acordo com a necessidade de acionamento do sistema de freios. O conjunto foi fixado ao assoalho do veículo, de forma que permita o acionamento manual do pedal do freio pelo motorista e ainda suporte a força exercida pelo motor no pedal no momento da frenagem em modo automático.

O comando do motor é enviado por um conversor Simple-H, que recebe do PIC um sinal de tensão PWM na frequência de 18Hz. A força com que o pedal será acionado é controlada pela corrente que passa pelo conversor. O controlador para esse sistema ainda encontra-se em fase de desenvolvimento.

### 2.1.4 Direção

A atuação da direção do veículo é feita por um motor elétrico de corrente contínua. Alguns experimentos demonstraram que seria necessário um torque mínimo de 30Nm para girar o sistema de direção hidráulica do veículo. De posse dessa informação, um motor MAXON, modelo RE40 foi selecionado para realizar essa tarefa. Esse motor possui um encoder acoplado, o qual provê ao sistema de controle informação de posição angular do volante. Para realizar o controle do atuador, é utilizado um controlador EPOS 24/5, também da MAXON, considerado a melhor escolha para essa aplicação.

Todo o *hardware* de atuação foi instalado atrás do volante e a rotação é transmitida por meio de correntes e engrenagens, com uma redução de 2:1. Essa instalação foi realizada de forma a preservar o controle manual do volante pelo motorista.

O EPOS permite o controle de posição, velocidade e corrente do motor e a troca de informações com o computador é feita por meio do protocolo de comunicação serial RS-232. A informação de posição do volante fornecida pelo EPOS foi relacionada ao ângulo de esterçamento de cada roda, de forma a se obter uma curva de calibração do sistema de direção do carro.

## 2.2 Sistema auxiliar

O sistema auxiliar é um conjunto de dispositivos que completam o funcionamento da ICV e está dividido em dois subsistemas: energia e emergência.

A energia necessária para o funcionamento do sistema físico é fornecida pela bateria de 12V do veículo. Entretanto alguns componentes, como o TabletPC, necessitam de alimentação em tensão alternada de 127V. Para tanto, foi instalado um inversor DC/AC de 600W.

É de extrema importância garantir que, em caso de emergência, o veículo pare com segurança, preservando quem esteja dentro e fora dele. A emergência pode surgir de uma situação inesperada na pista ou até mesmo de uma falha no sistema operacional do computador que está controlando o veículo. Portanto, o sistema de emergência foi projetado para ser independente dos demais, como é visto na Figura 2.

O acionamento do sistema de emergência pode ser automático, caso haja falha no sistema operacional. Para isso, cada PIC possui um sistema de *watchdog* que monitora o funcionamento do computador conectado a ele. Se os PIC's não receberem uma informação de normalidade do *software* pela USB, o *watchdog* é acionado e modifica o estado de funcionamento do PIC para o estado de emergência (ver Seção 3). O sistema de emergência também pode ser acionado de forma manual, por meio de botões de emergência distribuídos pelo interior e pelo exterior do automóvel. Foram instalados dois tipos de botões: individuais, referentes a cada atuador, e gerais, referentes a todo o sistema físico.

A atuação dos dois tipos de botão é feita de forma diferente. O botão individual modifica o estado de funcionamento do PIC para o estado de emergência e transmite esta informação ao *software* para que ela seja tratada. Já o botão geral aciona diretamente o motor DC do freio durante três segundos, por meio de lógica com relés e capacitores, e envia um sinal ao *software* para que os demais subsistemas sejam paralisados ou tratados de acordo com a situação de emergência. Ao pressionar o freio, o automóvel, que é equipado com um sistema de freios ABS, para muito rapidamente com segurança e o próprio sistema de controle do veículo (UCE) bloqueia o sinal vindo do acelerador.

## 2.3 Sensores

O veículo foi equipado com os seguintes sensores: (1) um sensor GPS<sup>3</sup> modelo Garmin GPS18 que fornece a posição do veículo a uma taxa de 1Hz, (2) uma IMU<sup>4</sup>, modelo Microstrain 3DM-GX1, que informa as acelerações lineares, velocidades

angulares, e a atitude do veículo, (3) um encoder acoplado ao motor do sistema de direção e (4) sensores de velocidade das duas rodas dianteiras, desenvolvidos utilizando os sensores de relutância magnética incluídos no sistema de freio ABS do veículo.

O circuito de processamento do sinal do sensor de velocidade foi desenvolvido neste trabalho utilizando a placa universal descrita na Seção 2.1 e é baseado em um conversor frequência/tensão que é lido pelo conversor A/D do PIC. A taxa de transmissão da velocidade é de 50Hz. A fim de estabelecer a relação entre o valor lido pelo sensor e a velocidade de giro das rodas, foi realizado um procedimento de calibração, onde obteve-se uma equação que deve ser utilizada na obtenção da velocidade linear do veículo.

## 3 SOFTWARE

Com o objetivo de testar todos os subsistemas desenvolvidos, o *software* criado permite que o usuário envie os comandos aos atuadores mediante um *joystick*. O *software* foi desenvolvido na linguagem C++ e a comunicação serial com a EPOS, com o *joystick* e com o PIC foi possível por meio de uma biblioteca própria para cada um dos dispositivos. Como mencionado, atualmente a comunicação com os microcontroladores PIC é feita por meio da interface USB, que é mapeada como uma porta serial.

O controle do sistema físico pelo *software* se inicia após a verificação de que os atuadores estão prontos para receber os dados e de que nenhum botão de emergência está pressionado. Caso contrário, a operação é abortada e o usuário é informado de tal ocorrência.

Após a validação do sistema, é necessário modificar o estado de funcionamento dos PICs para o estado mais adequado. Cada PIC possui quatro estados de funcionamento: conexão, espera, execução e emergência. O estado de conexão faz com que o PIC aguarde a conexão com o *software* do computador e, ao receber o comando<sup>5</sup> de conexão, o PIC responderá que está conectado e passará para o estado de espera. Neste estado, o PIC envia ao computador a identificação do dispositivo a ser controlado e espera o comando de início do controle do atuador. No estado de execução o PIC controla o atuador, recebendo e enviando informações para o computador. Para que o microcontrolador fique nesse estado é necessário que o *software* continuamente envie um comando de normalidade, de forma que o *watchdog* do PIC não seja acionado. Caso isso aconteça, ele retornará ao estado de conexão. O último estado é o estado de emergência no qual o botão de emergência referente a um atuador está acionado. Assim,

<sup>3</sup>Global Positioning System.

<sup>4</sup>Inertial Measurement Unit.

<sup>5</sup>Todos os comandos enviados ao PIC e suas respostas e dados são do tipo arranjo de caracteres.

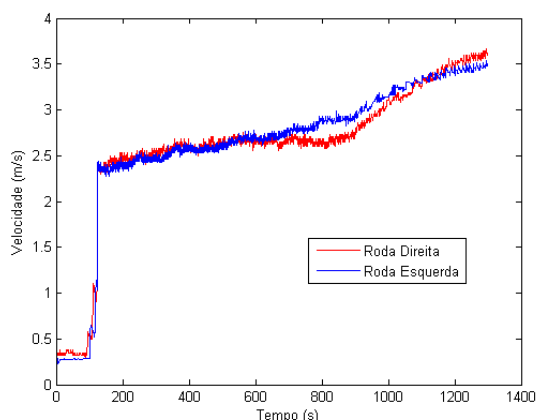


Figura 3: Resposta da velocidade das rodas a um degrau de aceleração.

o *software* deverá acionar o motor DC do freio, de forma a parar o veículo, e desabilitar todos os outros atuadores, possibilitando que o condutor assumira o controle do mesmo. Ao fim desse estado, o PIC retornará ao estado de espera.

Uma vez que o sistema é validado e todos os PIC's estão no estado de execução, o veículo pode ser comandado pelo *joystick* ou outro software implementado para controle automático do veículo.

#### 4 EXPERIMENTOS

O funcionamento do *hardware* e do *software* desenvolvidos foi testado dirigindo-se o carro por meio de um *joystick* conectado ao TabletPC. O movimento do manche do joystick pelo o usuário determina a posição do volante ou a aceleração do veículo. Um vídeo que ilustra esse funcionamento pode ser visto no endereço: <http://coro.cpdee.ufmg.br/>.

O primeiro experimento foi realizado aplicando um degrau de aceleração no veículo inicialmente parado. O comando de aceleração foi enviado e, em seguida, o freio foi desacionado, causando uma mudança na velocidade do veículo. Durante esse experimento, o carro foi mantido em linha reta a fim de avaliar a resposta de velocidade medida nas rodas ao degrau de aceleração. De posse da equação de calibração entre o valor lido e a velocidade das rodas e do raio das rodas, foi possível determinar a velocidade linear produzida por cada roda. O resultado obtido neste experimento é exibido no gráfico da Figura 3.

É possível observar na Figura 3 que a resposta obtida para um degrau de aceleração foi uma velocidade crescente em rampa. Esse resultado era esperado, uma vez que a velocidade pode ser obtida pela integral no tempo da aceleração. Pode-se observar também, que, inicialmente, com o desacionamento do freio, há uma mudança brusca na velocidade, pois o carro nesse momento já está

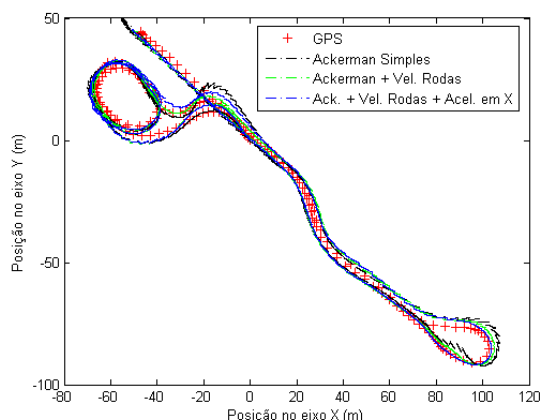


Figura 4: Reconstrução da trajetória do veículo.

com o acelerador acionado. A diferença observada entre as medidas das rodas esquerda e direita é pequena, porém, deve ser considerada no cálculo da odometria do veículo.

Em um segundo experimento, dados dos diversos sensores do veículo foram coletados e sua trajetória reconstruída. Neste experimento, o caminho percorrido apresenta curvas, aclives e declives. Para fusão sensorial foi utilizado um algoritmo baseado no Filtro de Kalman Estendido (Aguirre, 2007). Conforme retratado em um artigo anterior (Santos et al., 2008), o modelo que apresentou melhor desempenho para o sistema utilizado neste trabalho é o modelo de Ackerman (Choset et al., 2005), que utiliza informações de posição (GPS), aceleração linear (IMU) e ângulo das rodas (encoder do volante) para obter a estimação de posição, velocidade e orientação do veículo ao longo do tempo. Dessa forma, foi realizada a reconstrução da trajetória realizada de três diferentes formas: (i) utilizando o modelo de Ackerman conforme descrito em (Santos et al., 2008); (ii) utilizando a velocidade das rodas na etapa de predição da velocidade linear do veículo, em substituição à aceleração obtida pela IMU (o veículo não possuía o sensor de velocidade quando o artigo (Santos et al., 2008) foi escrito); e (iii) utilizando a velocidade das rodas na etapa de correção, para atualizar a velocidade linear predita pela informação de aceleração. O resultado obtido pode ser observado na Figura 4.

A reconstrução da trajetória utilizando apenas odometria mostrou-se inviável pois, como a orientação do veículo é função da integral da diferença entre a velocidade das rodas do veículo, diferenças espúrias podem causar grandes erros de orientação.

É possível observar na Figura 4 que as três trajetórias reconstruídas são próximas aos pontos coletados pelo GPS, porém, comparando as duas curvas onde se utiliza o sensor de velocidade das rodas com a curva onde este não é utilizado,

observa-se uma trajetória mais parecida com a medida pelo GPS. Analisando o traço da matriz de covariância das estimativas obtidas nas três configurações, é possível afirmar que a configuração que apresentou menor traço foi a terceira configuração. Tendo em vista que esta é a configuração que agrega o maior número de sensores, esse resultado é coerente com o esperado.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo, foram apresentados resultados parciais de um projeto que tem como objetivo o desenvolvimento de um carro autônomo. O *hardware* apresentado aqui é o passo inicial para o desenvolvimento do sistema de controle do veículo. Os experimentos realizados mostraram que os sensores desenvolvidos neste projeto podem ser utilizados juntamente com outros sensores em algoritmos de fusão sensorial para localização do veículo.

As próximas etapas do projeto incluem a conclusão do controlador para o freio e a finalização de alguns circuitos eletrônicos. Entre os trabalhos já em andamento, está a criação de uma rede de instrumentação no veículo, com o objetivo de substituir a comunicação USB atual entre os microcontroladores PIC e o computador. Será também introduzido um segundo computador com sistema operacional de tempo real que ficará responsável por coletar a informação dos sensores e disponibilizá-la por meio de interface de rede para outros computadores instalados no veículo.

Trabalhos futuros também incluem o controle autônomo do veículo em ambientes parcialmente conhecidos, como é o caso do campus da UFMG. Como demonstração do sistema, espera-se obter um guia turístico autônomo que seja capaz de apresentar o campus da UFMG aos passageiros do veículo de forma totalmente automática.

## AGRADECIMENTOS

Este projeto foi parcialmente financiado pela FAPEMIG. E. J. R. Freitas é bolsista PET/CAPEL. M. M. Santos, G. A. S. Pereira e L. A. B. Torres são bolsistas do CNPq. Os autores agradecem Vitor Brandão pelo trabalho realizado no câmbio do veículo e Guilherme Castro pela ajuda com os experimentos.

## Referências

Aguirre, L. A. (2007). *Introdução à Identificação de Sistemas*, 3rd. edn, Ed. Campus.

Braid, D., Broggi, A. e Schmiedel, G. (2006). The TerraMax autonomous vehicle, *Field Robotics* **23**(9): 693–708.

Cav (2008). Cavenaghi – equipamentos para pessoas com deficiência física, <http://www.cavenaghi.com.br>. acessado em 02/2009.

Choset, H., Lynch, K. M., Hutchinson, S., Kantor, G., Burgard, W., Kavraki, L. E. e Thrun, S. (2005). *Principles of Robot Motion*, The MIT Press.

Cremean, L. B., Foote, T. B., Gillula, J. H., Hines, G. H., Kogan, D., Kriechbaum, K. L., Lamb, J. C., Leibs, J., Lindzey, L., Rasmussen, C. E., Stewart, A. D., Burdick, J. W. e Murray, R. M. (2006). Alice: An information-rich autonomous vehicle for high-speed desert navigation, *Field Robotics* **23**(9): 777 – 810.

Dal (2008). Dalgas precision equipment, <http://www.dalgas.com.br>. acessado em 03/2009.

Dar (2008). Darpa grand challenge, <http://www.darpa.mil/grandchallenge05>. acessado em 02/2009.

McBride, J. R., Ivan, J. C., Rhode, D. S., Rupp, J. D., Rupp, M. Y., Higgins, J. D., Turner, D. D. e Eustice, R. M. (2008). A perspective on emerging automotive safety applications, derived from lessons learned through participation in the darpa grand challenges, *J. Field Robot* **25**(10): 808–840.

Rojvanit, R. (2004). Migrating applications to usb from rs-232 uart with minimal impact on pc software, *Microchip Technology Inc. CDC ApNotes*.

Santos, M. M., Freitas, E. J. R., Vinti, M. N. W., Iscold, P., Torres, L. A. B. e Pereira, G. A. S. (2008). Automation and localization of a robotic car, *Proc. Workshop Robocontrol'08 - 3rd. Applied Robotics and Collaborative Systems Engineering*, Bauru, Brasil.

SH (2008). Robot power - simple-h user manual, <http://www.robotpower.com/downloads/Simple-H-user-manual.pdf>. acessado em 02/2009.

Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., Fong, P., Gale, J., Halpenny, M., Hoffmann, G., Lau, K., Oakley, C., Palatucci, M., Pratt, V., Stang, P., Strohband, S., Dupont, C., Jendrossek, L.-E., Koelen, C., Markey, C., Rummel, C., van Niekirk, J., Jensen, E., Alessandrini, P., Bradski, G., Davies, B., Ettinger, S., Kaehler, A., Nefian, A. e Mahoney, P. (2006). Stanley: The robot that won the darpa grand challenge, *Field Robotics* **23**(9): 661 – 692.

War (2008). Warner electric - electric actuators and actuator controls, <http://www.warnernet.com>. acessado em 02/2009.