

CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS AUTÔNOMOS

Ricardo Carvalho do Carmo Junior¹; Cesar Augusto PifaiaCipelli¹;
Pedro Henrique Pontes Gonçalves¹; Matheus Nogueira Nonato de Oliveira¹;
Wânderson de Oliveira Assis²; Marcelo Marques Gomes²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

² Professor(a) da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto propõe uma contribuição para o estudo de sistemas de navegação para veículos elétricos autônomos. Neste trabalho, o principal objetivo é introduzir sistemas de sensoriamento a um veículo elétrico, incluindo computador e câmera, para permitir a navegação autônoma e com segurança. Para isso serão investigados diversos tipos de sensores com o objetivo de detectar obstáculos e evitar colisões. Adicionalmente será introduzido sistema de visão computacional, com processamento de imagens realizado por meio do software LabVIEWTM de forma a identificar o percurso a ser percorrido e com isso permitir a movimentação autônoma.*

Introdução

Veículos autônomos são veículos que dispensam o condutor, ou seja, são capazes de circular sem a ajuda humana e sem produzir riscos de acidentes. Por isso, os veículos autônomos são considerados os veículos do futuro. O principal desafio nestes carros é projetá-los para serem capazes de reagir ao ambiente, mas também compreendê-lo e ser capaz de antecipar um obstáculo ou uma colisão. Nestes carros a direção, o acelerador, entre outros componentes são controlados por um computador que recebe informação de vários sensores equipados no carro.

Na atualidade, diversas empresas realizam pesquisas e investem na área de navegação autônoma. São exemplos as seguintes empresas do setor automobilístico: General Motors, Toyota, Audi e Volvo. Acredita-se que esses carros estarão disponíveis no mercado aproximadamente em 2020. Também empresas de tecnologia como a Google também realizam pesquisas no setor, a qual desenvolveu um veículo que já percorreu mais de 220 mil quilômetros.

Os primeiros protótipos destes veículos robotizados, capazes de reagir ao seu ambiente, foram testados em Novembro em 2007 no DARPA Urban Challenge, no âmbito de um concurso organizado pela DARPA (*US Defense Advanced Research Projects Agency*) (Kornhauser et al., 2007).

Esses veículos não irão apenas facilitar a vida dos motoristas, permitindo que pessoas cegas e idosas possam trafegar em estradas, mas também tornar o trânsito mais seguro, já que a maioria dos acidentes com automóveis são causados por erros humanos, e menos caótico, pois os carros serão controlados por softwares altamente sofisticados que irão se comunicar com os outros veículos para buscar a melhor decisão de acordo com cada situação e ambiente. Existem diversos sensores, câmeras e GPSs utilizados para realizar o controle desses carros, e a necessidade por precisão, segurança e funcionalidade acabam por tornar esses veículos, por ora, caros e ineficientes.

Neste projeto de iniciação científica, o principal objetivo é contribuir para o desenvolvimento de tecnologias que podem ser incorporadas em veículos elétricos autônomos. Para isso foi necessário investigar os principais tipos de sensores utilizados em

aplicações de veículos autônomos, selecionar os mais adequados e com melhor relação custo-benefício para serem incorporados no miniveículo elétrico, desenvolver softwares capazes de interpretar tais sensores tomando decisões convenientes e construir hardwares para executar o controle necessário. Assim, pretende-se contribuir para as pesquisas relacionadas ao projeto e navegação de veículos autônomos.

Materiais e Métodos

Nesta seção pretende-se demonstrar as características, funcionalidades e aplicações dos dispositivos eletrônicos utilizados, bem como os materiais utilizados na construção e os softwares que viabilizaram o projeto.

Projeto Mecânico

Devido a questões de custo e simplicidade, o projeto foi realizado em um miniveículo elétrico (Figura1). Embora o veículo elétrico citado tenha sido utilizado em trabalhos anteriores (Delai e Coelho, 2011) (Delai et al., 2011) somente a estrutura do veículo (carcaça) e os motores utilizados na movimentação e no controle do volante foram mantidos, já que todo o projeto eletrônico foi refeito, inclusive com introdução de outros sistemas microprocessados, além do sistema de sensoriamento e de processamento de imagem. Assim foram necessárias pequenas modificações na estrutura mecânica do miniveículo para que as condições fossem favoráveis ao desenvolvimento do projeto.



Figura 1- Miniveículo elétrico

Também foi necessária a implementação de um sensor na direção para conhecer sua posição. Isso foi feito acoplando-se um potenciômetro à direção (Figura 2).



Figura 2 - Potenciômetro

Projeto Eletrônico

O diagrama de blocos completo do projeto eletrônico desenvolvido é apresentado na Figura 3. Observa-se que os principais elementos do projeto são uma plataforma com microcontrolador Arduino e uma placa RaspberryPi.

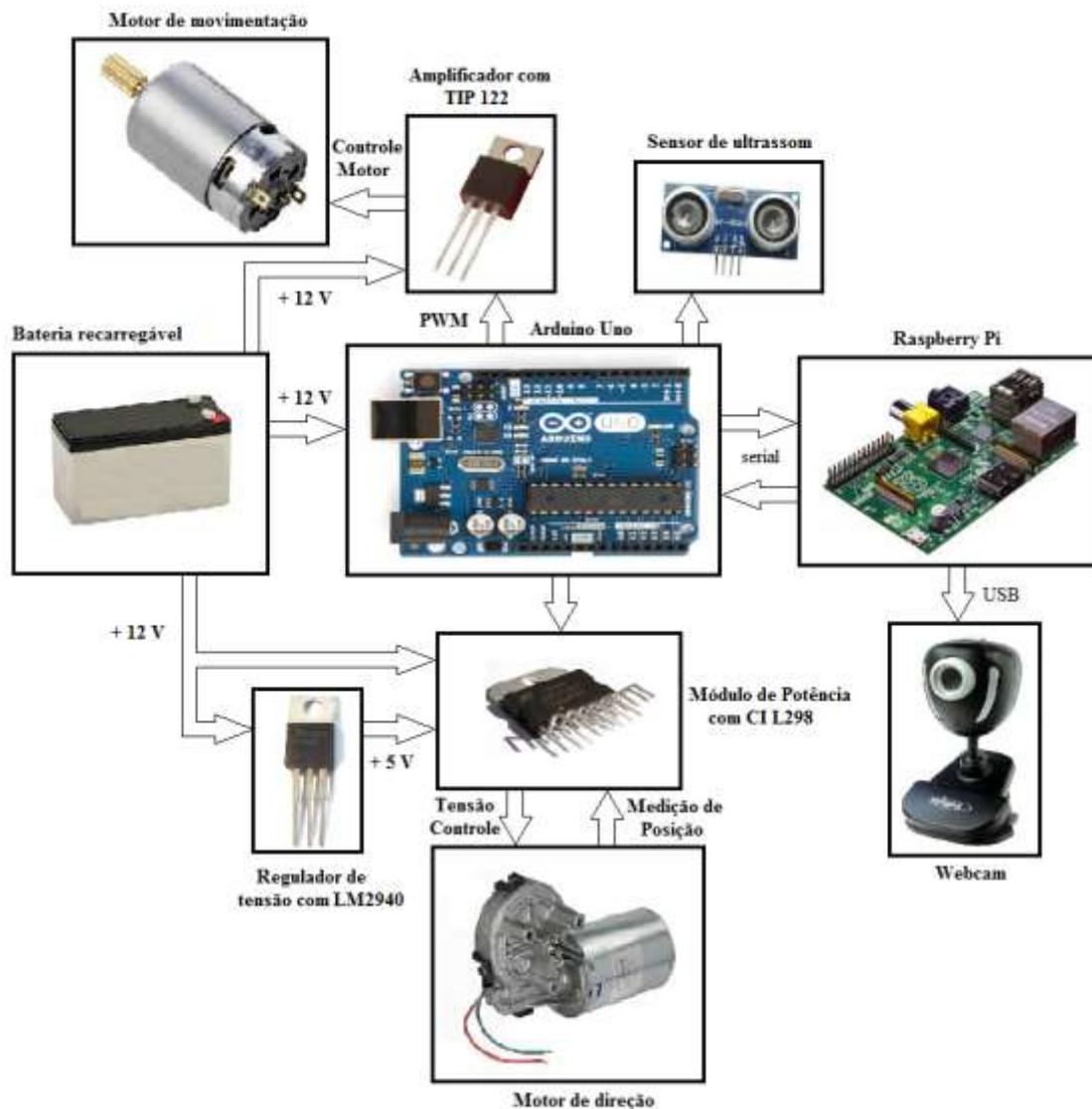


Figura 3—Diagrama de blocos do hardware do veículo elétrico

A placa Arduino Uno (Figura 3), consiste em sistema com microcontrolador ATmega328 (microcontrolador CMOS 8 bits de baixa potência baseado em AVR com arquitetura RISC), o qual apresenta 14 pinos digitais que podem ser configurados como entradas ou saídas, 6 pinos analógicos, velocidade de clock de 16MHz, uma conexão USB, um ICSP header e um botão de *reset*. Possui uma memória *Flash* de 32KB, SRAM de 2KB e EEPROM de 1KB. O Arduino utilizado é responsável pela leitura dos sensores e o controle de movimentação dos motores bem como comunicação com o RaspberryPi.

A placa RaspberryPi (Figura 3), consiste numa espécie de hardware de computador, o qual permite embarcar aplicações desenvolvidas em PCs (*PersonalComputers*). Sua função na

aplicação é realizar o processamento da imagem capturada por uma Webcam com o objetivo de identificar as faixas de orientação na pista e enviar informações seriais para o Arduino Uno, de forma a tomar decisões em relação ao controle de movimentação do veículo autônomo.

Para o controle da direção por meio do Arduino Uno foi projetada uma placa eletrônica utilizando o circuito integrado L298N (Figura 3). Trata-se de uma pastilha que possui duas pontes H, típico circuito utilizado para o controle de motores de corrente contínua, controladas por níveis lógicos padrão *TTL*, fato que culminou na escolha do componente. O modelo esquemático do circuito integrado pode ser analisado pela Figura 4.

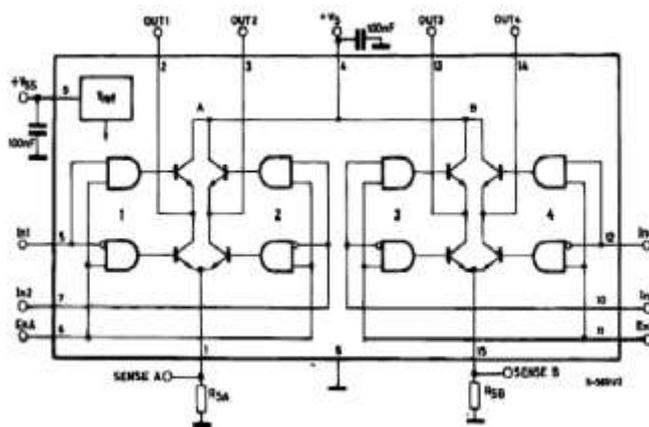


Figura 4 – Modelo esquemático do CI. Fonte: (ST Microelectronics, 2014)

Para o acionamento do motor de controle de velocidade foi projetado um circuito com transistor TIP 122 para amplificar a potência do sinal produzido pelo Arduino.

Para identificação de obstáculos foi utilizado um sensor ultrassônico HC-SR04 (Figura 3). O módulo do sensor possui um emissor e receptor de ultrassom e um circuito de controle, com quatro terminais de acesso: alimentação (5V), terra (GND), saída do pulso de *echo* e entrada do pulso de *trigger*. A frequência de trabalho é de 40Hz, tendo um alcance máximo de 4m e mínimo de 2cm; o ângulo de efeito é de 15 graus e a precisão é de 3mm. O princípio de funcionamento deste sensor ocorre pela emissão de uma onda sonora que ao incidir em algum objeto rebaterá em direção ao módulo, entre o período que o sinal é enviado e recebido o terminal de pulso de *echo* ficará em nível lógico alto.

Para realizar a alimentação do conjunto de blocos lógicos referentes aos circuitos integrados foi utilizado um circuito regulador de tensão, o CI LM2940.

Para alimentar os motores utilizou-se *pack* com baterias recarregáveis Aroma de 7 Ah e tensão nominal de 6 V (Figura 3).

Processamento de imagem

Para permitir a movimentação autônoma, os veículos elétricos tipicamente empregam algoritmos de processamento de imagem bem como sensores para permitir identificar o ambiente no qual o veículo está se movimentando. Para lidar com todas essas informações é necessário utilizar programas altamente eficientes e robustos, em muitos casos utilizando *frameworks* desenvolvidas especialmente para aplicações de processamento de imagens e para processamento de sinais. No caso de algoritmos de processamento de imagens, há versões para softwares LabVIEW™ e Matlab™.

Ao contrário da maioria das iniciativas para o projeto de veículos autônomos, como Reinholtzet al. (2007), Kornhauser et al. (2007) e Montemer et al. (2007), que utilizam *clusters* (conjunto de computadores) de pelo menos dois servidores em *racks*, pode-se utilizar

uma configuração muito mais modesta, com um computador comum, ou ainda de forma mais simplificada, um sistema microprocessado embarcado, como por exemplo, uma placa RaspberryPi. Além disso, considera-se apenas a visão (câmera), de forma semelhante a um motorista humano, mas diferente das outras propostas que utilizam radares ou sensores de distância a laser (Habbermann, 2010), que embora bastante eficientes e precisos, apresentam custo de aquisição muito elevado.

Na programação foi utilizada uma biblioteca *open source* (código aberto), robusta e popular, conhecida como OpenCV, a qual conta com uma ampla gama de funções que vão desde interface com o usuário e com câmeras, algoritmos de processamento de imagem, até elementos de inteligência artificial. A biblioteca não está vinculada a nenhum hardware específico o que possibilita a escolha independente dos materiais a serem utilizados. Seu foco principal está exatamente nas aplicações em tempo real, o que a torna bastante interessante para aplicações de visão robótica.

Desenvolvimento

O projeto foi desenvolvido em três etapas distintas:

- Projeto Mecânico
- Projeto Eletrônico
- Programação e Algoritmo de Processamento de Imagem

Nesta seção será abordada a maneira como o projeto foi executado nas três etapas mencionadas.

Projeto Mecânico

No veículo elétrico utilizado em Delai e Coelho (2011) e Delai et al. (2011) o motor possuía um eixo que girava apenas uma das rodas traseiras, ou seja, havia tração em apenas uma roda, o que provocava um desalinhamento que não permitia que o miniveículo percorresse trajetos retilíneos. Para resolver esta questão a outra roda traseira, que não era fixada no eixo, foi presa a ele por um parafuso (Figura 5). Assim o miniveículo passou a possuir tração nas duas rodas traseiras, e isso permitiu que trajetos em linha reta fossem executados com maior facilidade.



Figura 5 - Parafuso fixando o eixo à roda

Adicionalmente um potenciômetro foi fixado na direção para determinar o posicionamento angular, com o seguinte princípio de funcionamento: quando ocorre a rotação da direção o cursor do potenciômetro também é rotacionado, alterando sua resistência; assim é possível conhecer a posição realizando a leitura da tensão sobre o dispositivo por meio de entrada analógica do Arduino, já que em cada posição o valor será diferente.

Projeto Eletrônico

Para a construção da parte eletrônica, adotou-se a seguinte convenção: o *RaspberryPi* é um dos processadores centrais do miniveículo, sendo responsável por armazenar e executar o programa principal, bem como rotinas de trabalho de extrema importância, como a realização do processamento da imagem capturada pela Webcam. O *Arduino* funciona como um processador que trabalha paralelamente, realizando a leitura dos sensores e comunicando-se serialmente com o *RaspberryPi*, do qual recebe dados referentes às ações que devem ser tomadas. Assim, o *Arduino* poderá controlar o acionamento dos motores de movimentação e de direção.

O circuito de acionamento do motor de direção possui o CI L298N e foi desenvolvido com base nas instruções apresentadas no manual do circuito integrado. A Figura 6 ilustra a placa desenvolvida com o CI L298N para permitir o controle do motor de direção.

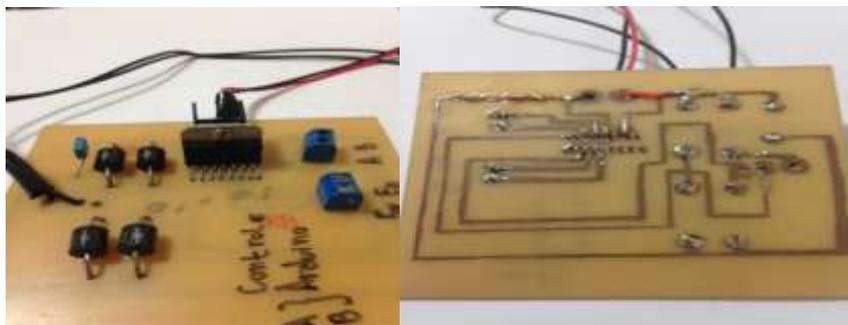


Figura 6 - Circuito com ponte H para controle do motor de direção

O potenciômetro usado como sensor para medir o deslocamento da direção também foi conectado diretamente ao *Arduino*, sendo desenvolvido um programa que utiliza a entrada analógica do dispositivo, efetua a leitura da queda de tensão em um resistor de valor fixo em série com o potenciômetro. Sabendo o valor da tensão no resistor e o valor de sua resistência é possível calcular a corrente que passa pelo circuito, e conhecendo a tensão total fornecida, acha-se a tensão no potenciômetro. Então foi construída uma relação entre a resistência do potenciômetro e o ângulo referente à posição do volante.

Para o controle do motor responsável pela velocidade de deslocamento, foi desenvolvido o circuito de chaveamento a transistor mostrado na Figura 7, sendo o acionamento realizado por sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) produzido no *Arduino*. A Figura 8 mostra a placa desenvolvida com o circuito de acionamento do motor de movimentação.

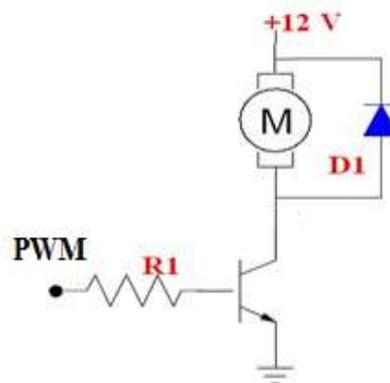


Figura 7- Chaveamento do motor com o transistor TIP 122

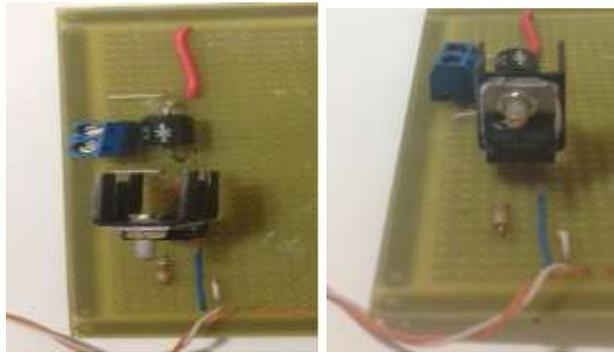


Figura 8–Placa do circuito de acionamento do motor de movimentação

O sensor ultrassônico HC- SR04 foi conectado diretamente no *Arduino* e posicionado na frente do veículo. Este sensor funciona como um dispositivo de emergência, caso haja algum obstáculo que não tenha sido identificado pelo processamento de imagem, e também para verificar a distância de objetos previamente conhecidos com maior facilidade. Ele realiza a parada imediata do miniveículo caso o objeto esteja muito próximo, garantindo que não ocorra a colisão.

O princípio de funcionamento desse sensor é ilustrado na Figura 9, o qual demonstra que o sensor produz um pulso com uma duração dependente da distância em que o sensor se encontra em relação ao obstáculo. Essa medida é definida pelo tempo de voo do sinal de ultrassom a partir do envio de um comando na entrada do sensor (*start pulse*), o qual será produzido pelo *Arduino*.

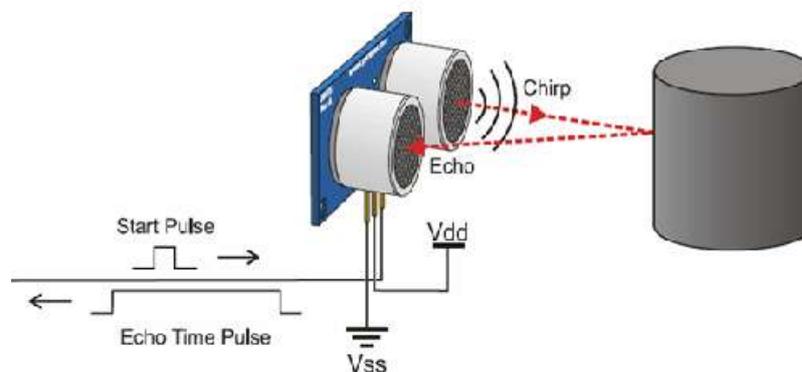


Figura 9- Ilustração do funcionamento do sensor ultrassônico HC- SR04.
Fonte:(Usinainfo, 2014)

O cálculo da distancia de um objeto é feito pela equação abaixo:

$$D = \frac{(T_{ECHO} v_{SOM})}{2} \quad (1)$$

onde D é a distância resultante em metros, v_{SOM} é a velocidade do som (340 m/s) e T_{ECHO} é o tempo de *ECHO*, que corresponde ao tempo em nível alto no pulso produzido pelo sensor de ultrassom. A divisão por 2 ocorre devido ao fato de que a onda vai até o objeto, é refletida e volta (Figura 9).

Programação e Algoritmo de Processamento de Imagem

O Arduino foi utilizado para realizar o controle do veículo e verificar a leitura dos sensores. Através de uma comunicação serial com o RaspberryPi, são enviadas informações sobre o monitoramento dos sensores e recebidas informações sobre as ações que devem ser tomadas pelo miniveículo. Para isso foram desenvolvidos programas que realizam a leitura dos sensores, ultrassônico e potenciômetro, e programas que realizam a leitura dos dados recebidos, e com base nestes dados, realizam o controle lógico dos módulos de hardware construídos.

O RaspberryPi é responsável por processar a imagem capturada pela câmera, receber as informações sobre os estados dos sensores e, conhecendo assim um conjunto de informações sobre o ambiente, tomar a decisão sobre qual ação deveria ser executada.

O processamento de imagem foi realizado com base no método de robô seguidor de linha, para tornar o problema de navegação um pouco menos complexo. O algoritmo espera encontrar nas imagens faixas contínuas, presente na maioria das estradas e em algumas ruas na cor branca ou amarela, mas acaba também por encontrar outros elementos que não interessam para a aplicação, como prédios e calçadas, e portanto devem ser descartados. Para satisfazer á essa necessidade foi desenvolvido um algoritmo que transforma a imagem capturada pela câmera em uma imagem binária, ou seja, a região de interesse (faixa contínua) em branco e o resto em preto. Isso foi feito pela aplicação de uma máscara, obtida através da própria região de interesse, na imagem original, que após ser manipulada, equalizada, aplicada em um filtro de mediana e ser limiarizada, torna-se uma imagem binária.

Em seguida foi necessário implementar uma saída que forneça uma orientação ao veículo. Nesse caso foi entregue ao software o ângulo de inclinação de uma reta tangente que indica a direção da faixa em relação ao eixo horizontal da base da imagem. Um esquema completo do algoritmo pode ser visto na Figura 10.

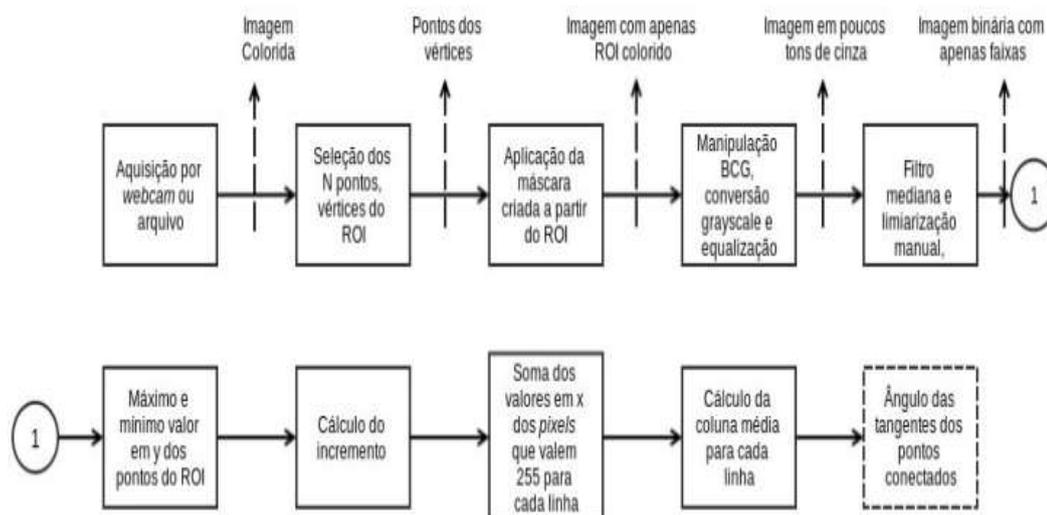
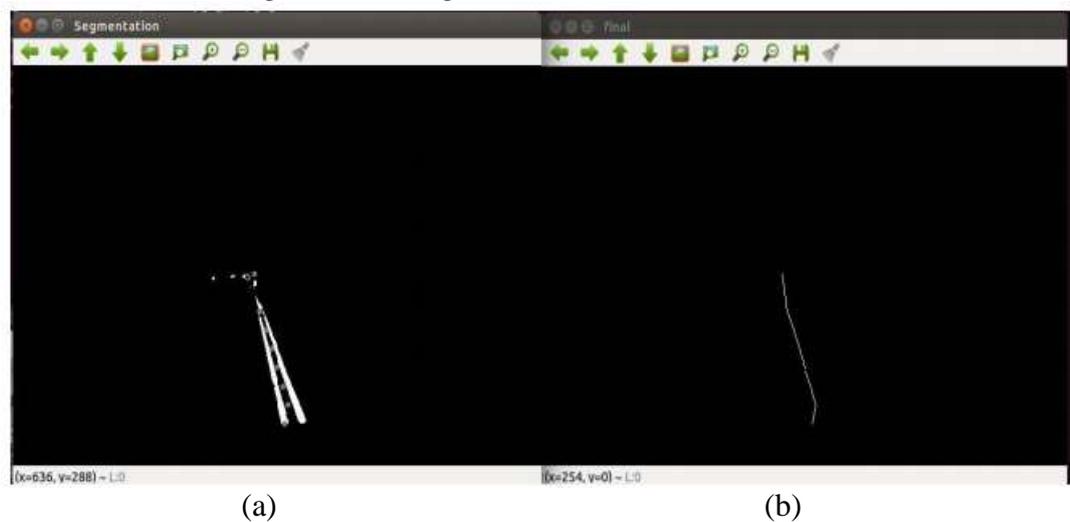


Figura 10- Esquema do algoritmo.

A Figura 11 mostra a imagem de uma rua de São Paulo antes de ser processada pelo algoritmo, e a Figura 12 mostra a mesma imagem depois de ser processada pelo algoritmo na saída do software. No seguinte teste, o tempo gasto pelo software para realizar o processamento foi de aproximadamente 100ms, ou 0.1s.



Figura 11 - Imagem de uma rua de São Paulo.



(a)

(b)

Figura 12 - Imagem processada pelo algoritmo. (a) Imagem processada identificando as faixas centrais. (b) Tracejado da faixa central para determinação do ângulo

Resultados e Conclusões

Este projeto de pesquisa propôs uma contribuição para o estudo de sistemas de navegação para veículos elétricos autônomos. Embora todos os sistemas desenvolvidos ainda não tenham sido integrados, os resultados apresentados nas etapas individuais foram obtidos com sucesso. O projeto contemplou montagem dos circuitos eletrônicos, que funcionam de maneira a garantir que as ações desejadas sejam executadas com êxito, bem como a introdução de sensor de ultrassom e câmera, os quais podem ser interpretados corretamente pelos softwares.

O algoritmo de processamento de imagens desenvolvido em software OpenCV e embarcado no RaspberryPi permite realizar o processamento das imagens capturadas e identificar com relativa precisão as faixas laterais e centrais da pista de movimentação, permitindo sua aplicação no controle de movimentação do veículo elétrico de forma autônoma.

Na eventual continuidade do projeto pretende-se integrar *hardware* com *software* para que o miniveículo possa começar a se movimentar de maneira autônoma, sendo testado e aprimorado de acordo com resultados experimentais.

Agradecimentos

Agradecimentos á Escola de Engenharia Mauá pela infraestrutura disponibilizada e pela bolsa de iniciação científica, que possibilitaram o desenvolvimento deste projeto.

Agradecimentos também aos professores que colaboraram com o trabalho.

Referências Bibliográficas

- Delai, R. L.; Coelho, A. D. (2010) *Visão Computacional com a OpenCV – Material Apostilado e Veículo Seguidor Autônomo* - 2º Seminário Mauá de Iniciação Científica, São Caetano do Sul, SP.
- Delai, R. L.; Coelho, A. D. (2011) *Desenvolvimento de Veículo Autônomo – Inteligência Central e Orientação por Câmeras* - 3º Seminário Mauá de Iniciação Científica, São Caetano do Sul, SP.
- Delai, R. L.; Coelho, A. D.; Mazzeo, P. T. C. (2011) *Desenvolvimento de Veículo Autônomo – Inteligência Periférica, Sensoriamento e Sistemas de Emergência* - 3º Seminário Mauá de Iniciação Científica, São Caetano do Sul, SP.
- Habbermann, D. (2010). *Detecção e Rastreamento de Obstáculos com uso de Sensor Laser de Varredura*. Tese de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Kornhauser, A. L.; Atreya, A.; Cattle, B.; Momen, S.; Collins, B.; Downey, A.; Franken, G.; Glass, J.; Glass, Z.; Herbach, J.; Saxe, A.; Ashwash, I.; Baldassano, C.; Hu, W.; Javed, U.; Mayer, J.; Benjamin, D.; Gorman, L., e Yu, D. (2007). *DARPA Urban Challenge Princeton University Technical Paper*. DARPA Urban Challenge 2007.
- Montemer, M.; Becker, J.; Bhat, S.; Dahlkamp, H.; Dolgov, D.; Ettinger, S.; Haehnel, D.; Hilden, T.; Hoffmann, G.; Huhnke, B.; Johnston, D.; Klumpp, S.; Langer, D.; Levandowski, A.; Levinson, J.; Marcil, J., e Orenstein, D. (2007). *Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge*. DARPA Urban Challenge 2007.
- Reinholtz, C.; Alberi, T.; Anderson, D.; Bacha, A.; Bauman, C.; Cacciola, S.; Currier, P.; Dalton, A.; Farmer, J.; Faruque, R.; Fleming, M.; Frash, S.; Gothing, G.; Hurdus, J.; Kimmel, S.; Sharkey, C.; Taylor, A.; Terwelp, C.; Covern, D. V.; Webster, M., e Wicks, A. (2007). *DARPA Urban Challenge Technical Paper*. DARPA Urban Challenge 2007.
- STMicroelectronics (2014) *L298 - Dual Full-Bridge Driver*. Disponível em https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf. Acesso em 25 de novembro de 2014.
- Usinainfo (2014) *Sensor Ultrassônico de Distância HC-SR04*. Disponível em <http://www.usinainfo.com.br/module/csblog/detailpost/83-81-sensor-ultrassonico-de-distancia-hc-sr04.html>. Acesso em 27 de novembro de 2014.