

# Asimov II - Desenvolvimento de um Robô Móvel Empregando Tecnologias Abertas

Vinícius Vasconcelos Maurenre, Gustavo Rachid Dutra, Pedro Von Hertwig, Ana Maria Navarro Barbosa, Guilherme Pamplona, Carlos Eduardo Felizardo, Maurício Edgar Stivanello e Mário Lúcio Roloff

<sup>1</sup>Departamento de Metal-Mecânica – Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)  
Campus Florianópolis – Florianópolis – Santa Catarina – Brasil

mauricio.stivanello@ifsc.edu.br

**Abstract.** *In this work the development of a mobile robot that can operate both autonomously through computer vision or remotely controlled by a human operator is presented. The motivation of this work was to develop different skills and knowledge with students of the course of Mechatronics Engineering in building a system involving mechanical, electronic and computer aspects. Its development includes the design and construction of different machining parts, creating parts using 3D printing, production of electronic boards, microcontroller programming and object oriented software development.*

**Resumo.** *No presente trabalho é descrito o desenvolvimento de um robô móvel empregando tecnologias abertas. A motivação do trabalho foi desenvolver diferentes conhecimentos e habilidades junto aos estudantes do curso de Engenharia na construção de um sistema que envolvesse aspectos mecânicos, eletrônicos e de computação. O desenvolvimento do sistema inclui o projeto e construção de partes mecânicas, criação de peças utilizando impressão 3D, fabricação de circuitos eletrônicos e programação de computadores e microcontroladores. Neste sentido, o presente trabalho apresenta um processo de criação de um robô móvel que utiliza tecnologias abertas e que pode ser reproduzido junto a alunos de graduação como ferramenta prática para ensino de engenharia.*

## 1. Introdução

A robótica corresponde a um tema interdisciplinar no qual a junção de várias disciplinas tem contribuído para o desenvolvimento de aplicações práticas expressivas. O crescimento e a diversidade das suas aplicações, bem como o interesse cada vez maior demonstrado por diversos grupos de pesquisa comprovam uma maior importância desta área em domínios como os dos sistemas produtivos, dos serviços e do lazer [Ortigoza et al. 2012].

Robôs móveis, mais especificamente, são dispositivos mecânicos versáteis equipados com sensores e atuadores sob o controle de um sistema computacional. Pela característica interdisciplinar que envolve o projeto e a implementação de um robô móvel, o tema apresenta-se como um excelente objeto de estudo sobre a qual podemos desenvolver uma série de conhecimentos e habilidades relacionados a mecânica, eletrônica e computação [Siegwart and Nourbakhsh 2004].

Por se tratar de tema relevante do ponto de vista tecnológico, econômico e social, e principalmente por envolver temas de estudo relevantes, propôs-se o desenvolvimento

de um Robô Móvel ou Veículos Terrestres Não-Tripulados (VTNT) junto a uma equipe de alunos do curso de Engenharia Mecatrônica. Além do objetivo principal correspondente ao desenvolvimento do robô móvel, o projeto contemplou como objetivos específicos a divulgação da robótica, suas aplicações, possibilidades, produtos e tendências de forma a estimular a formação de uma cultura associada ao tema tecnológico, além de estimular o trabalho em equipe.

No presente artigo é descrito o desenvolvimento do ASIMOV II. Este robô corresponde a um protótipo experimental equipado com sensores, controladores e atuadores que permitem que o mesmo desempenhe tarefas de maneira autônoma como também seja controlado remotamente por um operador humano. O seu desenvolvimento incluiu a realização de projeto mecânico, eletrônico e de software, envolvendo diferentes recursos de projeto e implementação como usinagem de peças, criação de partes utilizando impressão 3D, confecção de placas eletrônicas, programação de microcontroladores e desenvolvimento de software orientado a objetos, dentre outros. Desta forma, correspondeu a excelente estudo de caso para pesquisa e desenvolvimento junto aos alunos envolvidos.

O presente artigo encontra-se organizado da seguinte forma: na seção 2 são descritos conceitos de robótica móvel. Na seção 3 é descrita a metodologia empregada no desenvolvimento do robô, incluindo seu projeto mecânico, eletrônico e de software. Na seção 4 são apresentados os resultados experimentais obtidos na utilização do robô. Por sua vez, as conclusões são apresentadas na seção 5.

## **2. Robótica Móvel**

No passado a palavra robô estava relacionada a manipuladores mecânicos inseridos em linhas de produção, realizando tarefas muito específicas e repetitivas. A robótica estava associada a grandes empresas que desenvolviam equipamentos para soluções gerais de alto custo e venda em alta escala. Contudo, nos últimos anos a robótica móvel quebrou este paradigma e hoje temos exemplares atuando nas mais diversas aplicações, com robôs das mais variadas formas e com diferentes finalidades. Esta realidade foi possível graças aos resultados obtidos por um grande número de pesquisas na área [Ortigoza et al. 2012], pelo surgimento de ferramentas de desenvolvimento específicas e pela popularização das técnicas e barateamento dos dispositivos que constituem um robô.

Os robôs móveis são plataformas eletromecânicas dotadas de um sistema de locomoção capazes de navegar através de um determinado ambiente de trabalho, dotados de certo nível de autonomia para sua locomoção. Suas aplicações podem ser muito variadas e estão sempre relacionadas com tarefas que normalmente são arriscadas ou nocivas para a saúde humana, em áreas como a agricultura, no transporte de cargas perigosas ou em tarefas de exploração. Exemplos clássicos são o traslado e coleta de materiais, as tarefas de manutenção de reatores nucleares, a manipulação de materiais explosivos, a exploração subterrânea etc [Siegwart and Nourbakhsh 2004, Secchi 2008].

As aplicações preveem diferentes cenários de utilização que requerem destes robôs a capacidade de extrair sinais do ambiente que permitam caracterizá-lo e que apresentem certo grau de autonomia. Tarefas como detecção de alvos ou obstáculos, mapeamento do ambiente, cálculo de trajetórias e planejamento de intervenções devem ser realizadas de forma autônoma por sistemas de controle inteligentes embarcados.

### 3. Descrição do Desenvolvimento do Asimov II

O desenvolvimento do protótipo apresentado no presente trabalho foi orientado pelos seguintes requisitos funcionais principais:

- O sistema deve ser operado remotamente;
- O sistema deve permitir a operação baseada em imagens, possibilitando desta forma que o robô e o operador estejam em locais físicos diferentes.
- O sistema deve ser extensível, permitindo que sejam embarcados algoritmos que possibilitem a operação autônoma.

Além disso, os seguintes requisitos não funcionais foram considerados:

- O sistema deve ser implementado fazendo uso de componentes de baixo custo.
- O sistema deve ser implementado empregando tecnologias abertas.

Com base nestes requisitos, foi montado o robô apresentado na Figura 1 através da integração de diversos componentes eletromecânicos e de software. O cenário de utilização desejado que orientou o desenvolvimento do robô é descrito pelo diagrama de implantação apresentado na Figura 2-a.



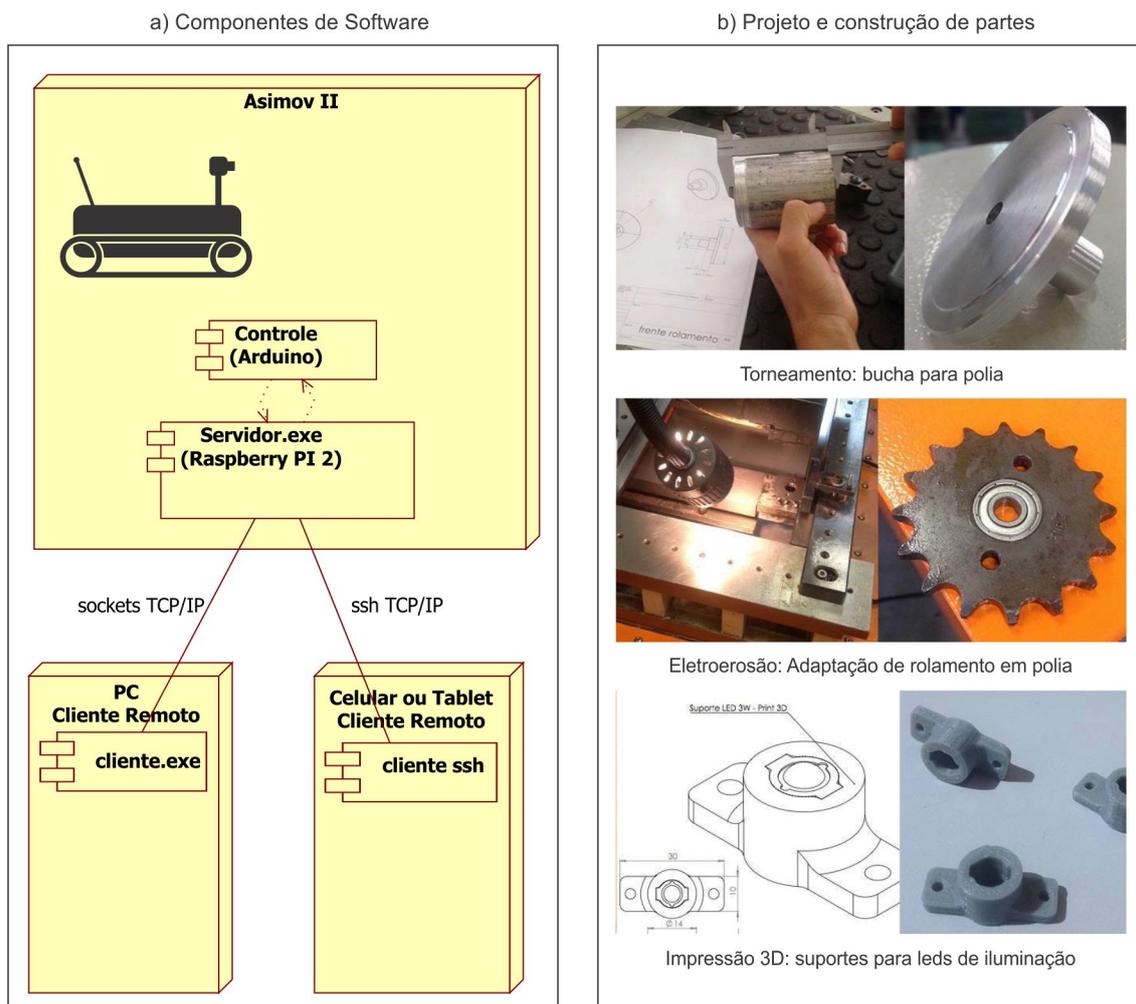
**Figura 1. Robô Móvel Asimov II**

Os principais componentes empregados são descritos a seguir.

#### 3.1. Projeto mecânico

O desenvolvimento da estrutura mecânica foi orientada pela utilização de materiais leves e de boa resistência, com boa disponibilidade e de baixo custo. Como ilustrado na Figura 2-b, diversos processos foram utilizados, incluindo fabricação e adaptação metal-mecânica, construção de peças em polímero através de impressão 3D, dentre outros.

O chassi foi fabricado com uma chapa de alumínio de 4 mm de espessura, dobrada de modo a se criar uma caixa ou envólucro onde foram embarcados os componentes eletro-eletrônicos do robô. As dimensões finais do chassi são de 260 mm de largura, 270 mm de comprimento e 105 mm de altura. Detalhes estruturais como furos no corpo foram



**Figura 2. Ilustração de Projeto de Componentes Mecânicos e de Software**

criados para que pudessem ser acoplados sensores e atuadores. Dentre estes pode-se citar os furos para as buchas de fixação da polia no eixo do motor, furos na face frontal e traseira do chassi para que o suporte dos sensores de distância, câmera e componentes de iluminação, exaustor de ventilação, dentre outros.

Para a instalação dos componentes eletroeletrônicos acoplou-se uma caixa de acrílico com 18mm x 16mm x 5 mm no interior do chassi para que o sistema eletrônico ficasse de forma modular, proporcionando assim uma melhor manutenção, proteção e organização estrutural. Suportes em polímero fabricados por impressão 3D foram acoplados ao chassi, de modo a encaixar os sensores, exaustor de ventilação e componentes de iluminação. Para minimizar os efeitos causados pela vibração foram utilizadas na montagem elementos de borracha entre algumas das partes do corpo do robô.

O sistema de tração corresponde a esteiras e polias, selecionados pela disponibilidade dos componentes. As polias possuem 16 dentes cada e as esteiras 16 elos. Buchas de alumínio foram fabricadas por torneamento de modo a fixar as polias aos eixos dos motores, na parte traseira, e aos rolamentos, na parte dianteira. As polias foram adaptadas por meio de eletroerosão, para que o seu diâmetro interno pudesse ser acoplado a rolamentos.

### 3.2. Componentes eletroeletrônicos

No projeto eletroeletrônicos do robô foram utilizados diferentes componentes, considerando os requisitos existentes impostos ao mesmo. Na Figura 3 são apresentados os principais componentes empregados.

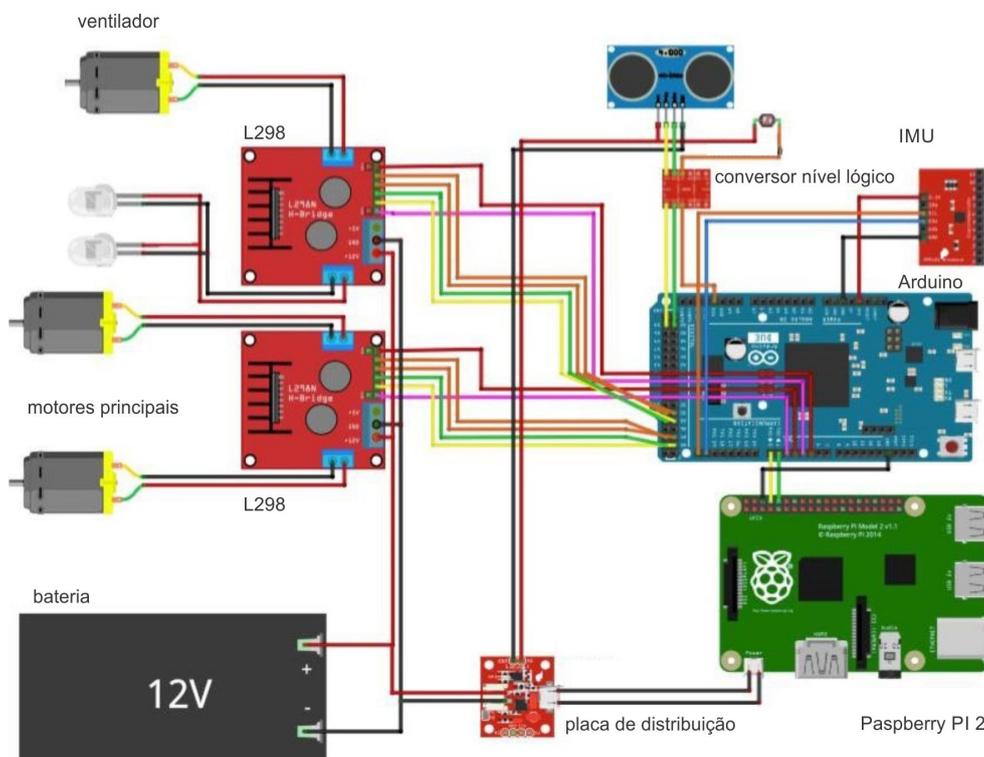


Figura 3. Projeto eletroeletrônico simplificado

A descrição de cada componente é realizada na sequência.

#### 3.2.1. Atuadores

Para acionar o sistema de tração foram utilizados dois motores de corrente contínua de 12 V, 83 rpm e 11,1 KgFcm de torque. Os mesmos possuem uma caixa de redução acoplada, diminuindo assim sua velocidade e aumentando seu torque, fato importante que faz com que ele tenha a força necessária para locomover o robô. Os motores foram fixados diretamente na parte traseira do chassi.

O controle dos motores é realizado através de um driver que implementa uma ponte H empregando o circuito integrado L298N. Este driver possui um regulador de tensão integrado e é projetado para controlar cargas indutivas como os motores DC de 12V utilizados, permitindo assim o controle não só do sentido de rotação do motor, como também da sua velocidade utilizando sinais PWM (*Pulse Width Modulation*).

Como atuadores, também foram acoplados na parte frontal do robô dois leds de alta luminosidade, a serem utilizados em condições de baixa iluminação. Adicionalmente, foi embarcado um exaustor com o objetivo de controlar a temperatura interna do robô.

### **3.2.2. Sensores**

Uma câmera de alta resolução foi instalada no robô, de modo a fornecer imagens ricas em detalhes visuais que permitam o controle remoto do robô pelo operador humano. Estas imagens também podem ser utilizadas como fonte de informação para a operação autônoma, através de algoritmos de visão computacional [Gonzalez and Woods 2006].

Além da câmera, também foi fixado na parte frontal do robô um sensor de distância, que pode ser utilizado juntamente com as imagens fornecidas pela câmera na detecção de obstáculos.

### **3.2.3. Controladores**

Para realizar o controle do robô foram utilizados um Arduino [McRoberts 2011] e uma Raspberry PI 2 [Richardson and Wallace 2012]. O Arduino é um microcontrolador amplamente utilizado na área de robótica e automação devido ao seu desempenho, praticidade e baixo custo. No referido trabalho o mesmo foi utilizado para o acionamento dos motores através do driver L298, leitura do sensor de distância e ativação dos leds de iluminação e exaustor de ventilação.

A Raspberry PI 2, por sua vez, corresponde a um mini pc que possui entradas USB, saídas de vídeo, pinos GPIO, portas de rede, dentre outras interfaces. Todo o seu hardware está acoplado em uma única placa de tamanho reduzido. Por possuir um processador ARMv7 e 1 GB de RAM, a mesma é capaz de suportar sistemas operacionais do tipo ARM GNU/LINUX. Sua escolha foi feita visto que a mesma pode suportar aplicativos de controle de mais alto nível, como os necessários para a captura e transmissão de imagens, o processamento mais avançado necessário para a realização de tarefas de forma autônoma empregando técnicas de visão computacional, dentre outras funcionalidades.

A utilização destas duas placas de desenvolvimento é opcional, visto que a placa Raspberry PI 2 seria suficiente tanto para a execução dos módulos de software de mais alto nível, como aquisição e processamento de imagens, como dos de mais baixo nível, como acionamentos dos motores e leituras dos sensores através dos pinos de GPIO. Porém, optou-se por manter o Arduino pela simplicidade de expansão através dos diversos shields disponíveis para o mesmo.

### **3.2.4. Alimentação**

Para alimentar o sistema eletrônico embarcado foi selecionada uma bateria do tipo Li-Po de 2 células de 7.4 V e 2200 mAh. A mesma possui baixo peso, baixo custo e é usualmente utilizada em modelismo, sistemas robóticos e multimotores (drones). A opção de sua utilização deu-se pelo fato de sua excelente performance, fácil instalação, recarga e alta disponibilidade.

A distribuição da energia fornecida pela bateria é realizada por uma placa eletrônica projetada através do software Proteus e confeccionada em uma fresa LPKF disponível no laboratório da instituição onde o projeto foi desenvolvido. Esta placa suporta até duas baterias em série e realiza a distribuição através de 4 conectores de saída

com a mesma tensão de entrada, garantindo assim o fornecimento igual para os sistemas embarcados que nela estão conectados.

Os diferentes componentes do robô trabalham com diferentes tensões. Por exemplo, o Arduino, a Raspberry PI 2 e os motores suportam até 5V de entrada. A bateria, por sua vez, fornece 7,4V de tensão. Desta forma, optou-se por utilizar um módulo regulador de tensão LM2596 que garante a compatibilidade entre os mesmos.

### 3.3. Software

O software do robô divide-se em três componentes principais, que podem ser identificados no diagrama apresentado na Figura 2: *Servidor*, *Controle* e *Cliente*. Estes componentes são descritos em detalhes na sequência.

#### 3.3.1. Servidor

O Servidor corresponde a um executável que roda na Raspberry. Este módulo é responsável por adquirir as imagens da câmera do robô bem como as informações de sensores e transmiti-las ao Cliente, receber os comandos de atuação enviados pelo Cliente e transformá-los em comandos a serem encaminhados ao Controle que executa no Arduino. O Servidor também é responsável pelo processamento do controle autônomo, caso esteja instalado.

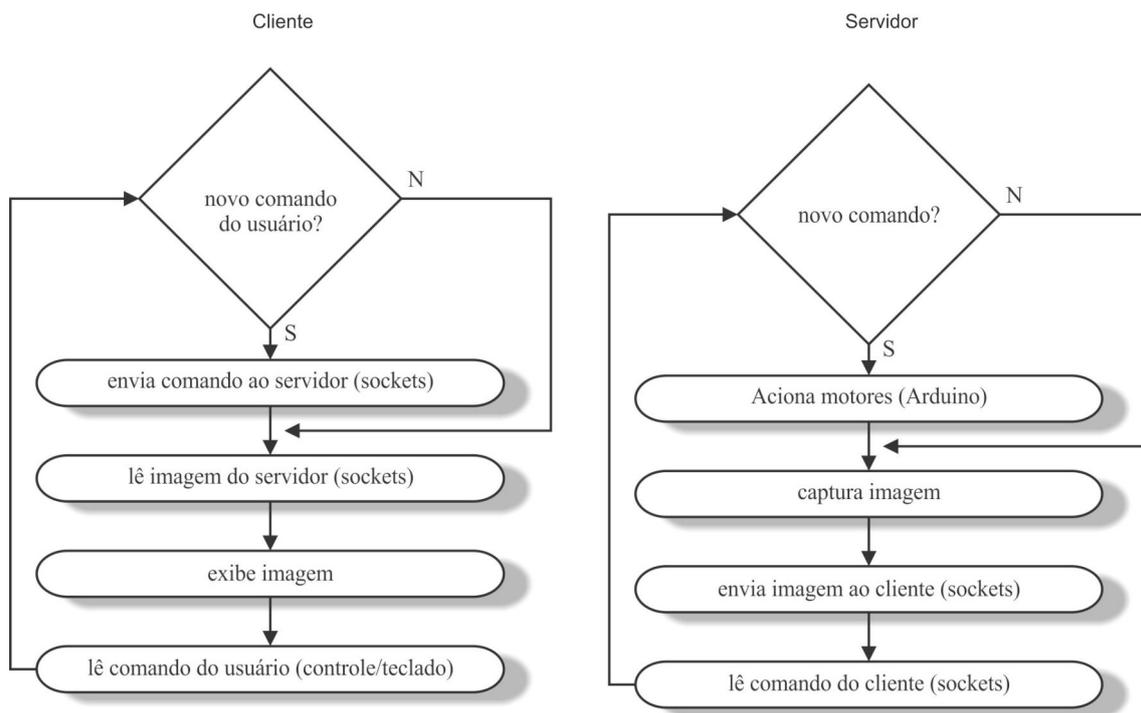
A comunicação entre o Cliente e o Servidor é realizada através de uma rede sem fio. Sobre esta rede, foi implementado um protocolo de comunicação baseado em *sockets TCP* que permite o encaminhamento e recebimento de mensagens que incluem informações de sensores, comandos do robô e imagens. Por sua vez, a comunicação entre o Servidor e o Controle é feito pela porta serial.

A aquisição das imagens da câmera, e eventual processamento quando do controle autônomo, é realizado fazendo uso da biblioteca OpenCv [Bradski and Kaehler 2008]. De modo a reduzir o tamanho dos pacotes que trafegam pela rede, é utilizada compactação JPG das imagens.

O fluxograma simplificado do programa do servidor é apresentado na Figura 4. A cada ciclo, o Servidor verifica o recebido de eventual comando do Cliente para que o robô se movimente em uma dada direção (esquerda, direita, frente, ré). Caso algum comando tenha sido recebido, o mesmo envia o respectivo comando de acionamento para o Controle no Arduino que, por sua vez, ativa os pinos digitais ligados ao Driver L298. Na sequência, uma imagem da câmera é capturada. Também são solicitados ao controle os valores dos sensores, como de distância. A imagem é comprimida através de compressão JPG. A imagem compactada e os dados dos sensores são organizados em um objeto que, em seguida, é serializado e enviado ao Cliente por *Sockets*.

#### 3.3.2. Cliente

O Cliente corresponde a um executável que roda em um PC que serve para monitoramento ou controle do robô. Na Figura 4 é apresentado o fluxo básico de processamento do Cliente. Neste programa é utilizada uma interface gráfica com o usuário através da



**Figura 4. Fluxos de processamento simplificados do cliente e do servidor**

qual é possível visualizar as imagens adquiridas pela câmera, assim como lidos os valores dos sensores do robô. Também através desta interface é possível realizar o controle de movimentação do robô, o acionamento da iluminação e a velocidade do exaustor de ventilação. Na Figura 5 é exibida a tela da interface gráfica com o usuário, onde as funções descritas são disponibilizadas.



**Figura 5. Interface Gráfica com o Usuário**

As funções de movimentação também foram disponibilizadas, além da utilização de botões diretamente na interface gráfica, através da utilização de um joystick.

**Tabela 1. Detalhes do Robô**

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Dimensões	200 mm X 250 mm X130 mm
Massa	4 kg
Autonomia	35 minutos em operação
Velocidade máxima	0,30 m/s
Capacidade de carga	15 kg
Distância de operação	≈ wi-fi

### **3.3.3. Controle**

O componente Controle corresponde ao software que é executado no Arduino. Este componente é responsável por acionar os motores e periféricos, em função de comandos recebidos do Servidor através da porta serial.

Ao receber um comando, o componente interpreta a ação e os parâmetros em função de um protocolo definido e realiza os acionamentos do hardware. Dentre as ações possíveis encontram-se a velocidade e direção dos motores através de PWM, a intensidade da iluminação, a velocidade do exaustor de ventilação.

## **4. Resultados Experimentais**

Desde que montado o robô conforme projeto e implementação descritos na Seção 3, o mesmo tem sido utilizado como plataforma de estudo e pesquisa. Na Tabela 1 são exibidas algumas características que descrevem o sistema montado.

Pode-se afirmar que tanto requisitos funcionais como não funcionais são atendidos pelo sistema. O robô pode ser operado remotamente de maneira efetiva, seja nas situações onde o mesmo se encontra no campo visual do controlador quanto nas situações onde o mesmo se encontra fora do campo de visão, onde o controle é realizado com base nas imagens da câmera. Ainda, testes realizados no controle automático do robô através de rotina de perseguição de objetos com base na cor ou na decodificação de códigos *QR Codes* mostraram a viabilidade de embarcar funcionalidades de operação autônoma.

Em termos de implementação, a seleção dos componentes tanto físicos como de software observaram o critério de serem abertos e de ampla disponibilidade. A utilização da Raspberry PI em conjunto com o Arduino para o controle do robô mostrou-se uma escolha interessante. O grande número de ferramentas e bibliotecas disponíveis para o sistema operacional Raspbian, como é o caso da OpenCV, agiliza em muito o desenvolvimento do sistema. A utilização do Arduino, que poderia ser substituído pela utilização da própria GPIO da Raspberry PI, também se mostrou adequado quando consideramos a intenção futura de integração com novos sensores e atuadores.

A utilização da infraestrutura de rede para a realização da comunicação entre cliente e servidor, via *sockets*, também mostrou-se adequada. As características deste meio de comunicação permitem a utilização realizada em cenários onde o robô e o operador

estejam em locais físicos diferentes. É importante destacar que, mesmo com a alta taxa de transferência disponível nos equipamentos de rede utilizados, os primeiros testes realizados apresentaram lentidão no que se refere à transmissão de imagens entre o servidor e o cliente. Este problema foi contornado ao se incluir compactação das imagens transmitidas, o que permitiu reduzir em até 100 vezes o tamanho das mesmas, e reduziu em muito o atraso observado.

A seleção dos componentes eletromecânicos permitiu a construção de uma plataforma robusta e de fácil manutenção e adaptação. A autonomia do robô é, por sua vez, considerada como um ponto forte. A bateria selecionada, mesmo apresentando tamanho reduzido, permite a operação do sistema por períodos de tempo bastante interessantes.

## 5. Conclusões

No presente trabalho foi descrito o desenvolvimento de um protótipo de um robô móvel. Este protótipo foi implementado utilizando-se componentes de hardware, eletrônica e software de baixo custo e de código aberto. O sistema pode ser operado remotamente ou, ainda, operar de forma autônoma com base em algoritmos de visão computacional. Desta forma, considera-se que os requisitos funcionais e não funcionais foram alcançados. Desde que foi montado o protótipo vem sendo utilizado no meio acadêmico e tem se mostrado como uma excelente ferramenta de estudo e pesquisa.

O trabalho foi concebido de forma que possa ser aperfeiçoado de maneira incremental iterativa. Como projeto futuro tem-se o aperfeiçoamento de toda a plataforma, desenvolvendo assim um robô mais resistente e com maior autonomia. Além disso, serão incluídos algoritmos de visão computacional mais elaborados que permitam a realização de tarefas de forma automática como navegação, detecção e manipulação de objetos.

## Agradecimentos

O presente trabalho recebeu apoio financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) através do Edital SETEC/MEC 17/2014.

## Referências

- Bradski, G. and Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV*. O'REILLY.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2006). *Digital Image Processing (3rd Edition)*. Prentice-Hall, Inc.
- McRoberts, M. (2011). *Arduino Basico*. Novatec.
- Ortigoza, R. S., Marcelino-Aranda, M., Ortigoza, G. S., Guzman, V. M. H., Molina-Vilchis, M. A., Saldana-Gonzalez, G., Herrera-Lozada, J. C., and Olguin-Carbajal, M. (2012). Wheeled mobile robots: A review. *IEEE Latin America Transactions*.
- Richardson, M. and Wallace, S. (2012). *Getting Started with Raspberry Pi*. O'Reilly Media.
- Secchi, H. A. (2008). Una introduccion a los robots moviles. Master's thesis, Universidade Nacional de San Juan.
- Siegwart, R. and Nourbakhsh, I. R. (2004). *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. The MIT Press.