



ROBÓTICA MÓVEL: LEVANTAMENTO, QUALIFICAÇÃO E CAPTURA DOS DADOS DE INTERESSE VOLTADOS À TELEMETRIA.

José Carlos de Oliveira Custódio¹, Leonardo de Araujo Moraes², Marcio Gomes da Silva³, José Aniceto Duarte Costa⁴

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB. e-mail: carloscustodio@globocom

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB. e-mail: leocefetpb@gmail.com

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB. e-mail: mgcefet@gmail.com

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB. e-mail: anicetodc@yahoo.com.br

Resumo: Este trabalho apresenta um levantamento e propõe a criação de uma qualificação de dados úteis à robótica móvel, tendo como objetivo a construção de um protótipo de um sistema de baixo custo, de captura de dados para telemetria contendo um conjunto básico de informações relacionadas ao tema. Para o protótipo foi desenvolvido um sensor de inclinação utilizando um sensor de efeito *Hall*. O circuito eletrônico é compacto, de baixo consumo e com *firmware* escrito em linguagem C. Todas as leituras de dados foram estáveis com resolução e exatidão esperada em toda a faixa prevista para os sensores e a divisão dos dados em classes facilitou sua interpretação.

Palavras-chave: Microcontrolador, robótica móvel, sensor, telemetria.

1. INTRODUÇÃO

A evolução, popularização e redução de custo dos microcontroladores auxiliam o crescimento dos sistemas de telemetria. Podemos citar, por exemplo, os utilizados em sistemas supervisórios em vários ramos da indústria, na área médica no acompanhamento de pacientes, na área automobilística e na robótica.

Na robótica móvel de controle à distância, o operador não se encontra próximo ao robô sendo interessante e muitas vezes imprescindível o envio de informações para auxiliar na sua operação e supervisão. Além da necessidade de um sistema de visão, geralmente utilizando uma ou mais câmeras, há a necessidade de verificar vários outros parâmetros, entre eles: quantidade de carga da bateria, consumo elétrico do robô, temperatura interna e externa, velocidade dos motores de movimentação, ângulos de inclinação do robô e vários outros parâmetros dedicados a cada tipo de robô supervisionado (CUSTÓDIO, 2012).

Foi realizada uma pesquisa que identificou que tanto no mercado nacional quanto no internacional, não existe à venda uma unidade de telemetria com dados voltados para robótica móvel e o que existe, além de um alto custo, não se ajusta totalmente às necessidades de um projeto específico como este. Diante da decisão de elaborar este projeto e certificar o seu valor de ineditismo foi realizada uma pesquisa onde não foi encontrada uma qualificação de dados de telemetria para robótica móvel, nem mesmo uma menção aos parâmetros de interesse mais comuns.

Foi adotado como objetivo geral deste trabalho, apresentar uma qualificação através de um levantamento dos principais parâmetros relevantes a arquitetura de um robô móvel e implementar um protótipo de unidade de captura de dados para telemetria voltada para esta aplicação, utilizando componentes disponíveis no mercado nacional brasileiro, tudo isto aliado a um baixo custo e possibilidade de futuras expansões do sistema.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Após um levantamento preliminar dos dados de interesse à telemetria para robótica móvel ficou evidenciada a necessidade de uma classe que demonstrasse o estado da “máquina robô”. Nesta classe



pode-se começar, por exemplo, com a sua disponibilidade de energia, pois sem ela nada funciona. Esta classe que incorpora os dados do estado do robô será doravante chamada de *Status*.

Outra classe proposta mostra as informações sobre o ambiente onde o robô se encontra. Além de informar o operador sobre o ambiente, esta classe também contribui para a proteção do próprio robô, indicando possibilidade de danos causados por situações para as quais o robô não foi preparado para operar. Esta classe será chamada de *Ambiente*.

Tendo em vista que a classe de robôs para o qual o sistema de telemetria está direcionado é a de robótica móvel, há a necessidade de uma classe de dados para navegação. Esta classe mostra, por exemplo, dados como odometria, direção e posição do robô. Ela situa o robô no espaço de operação. Esta classe será chamada de dados de navegação ou simplesmente *Navegação*.

Restavam ainda os dados referentes à comunicação do robô com o mundo externo a exemplo do sistema de navegação por GPS ou mesmo com o seu operador. A classe que inclui estes parâmetros será doravante chamada de *Comunicação*.

Sendo assim, define-se quatro classes, sendo elas a de *Status*, *Ambiente*, *Navegação* e *Comunicação*. Os dados de interesse referentes a cada classe podem ser vistos no quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros de interesse e sua qualificação

Classe	Parâmetros
Status	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão da bateria; • Consumo imediato sobre a bateria; • Temperatura interna do robô; • Temperatura do(s) motor(es) de movimentação; • Sensor de água e/ou umidade.
Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura ambiente; • Luminosidade; • Umidade; • Presença de gases; • Presença de fumaça.
Navegação	<ul style="list-style-type: none"> • Bússola eletrônica; • Sistema de localização global – GPS; • Inclinômetros; • Sensores de velocidade; • Sensores de aceleração; • Sensor de altitude; • Sensores de distância; • Sensores de contato.
Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade do sinal de comunicação com a estação base; • Qualidade do sinal transmitido e recebido; • Intensidade do sinal do sistema GPS; • Número de satélites captados pelo sistema GPS

Com uma utilização de classes para os dados supervisionados pelo sistema de telemetria possibilita-se a análise dos dados mais facilmente, os vendo de acordo com um contexto de sua origem. Isto facilita inclusive a organização do programa supervisor que recebe estes dados.

Considerando esta classificação, foi feita a seleção dos dados a serem implementados no protótipo do sistema de telemetria procurando contemplar cada classe com pelo menos um dado a ser mensurado, com exceção da classe *Comunicação* que não contava com *hardware* necessário instalado (GPS ou *Link* de rádio). Os parâmetros selecionados podem ser vistos no quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros selecionados para o protótipo

Classe	Parâmetros
Status	<ul style="list-style-type: none"> Tensão da bateria.
Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> Temperatura ambiente;
Navegação	<ul style="list-style-type: none"> Bússola eletrônica; Inclinômetros.

Quanto ao protótipo, este foi baseado no microcontrolador PIC16F877A. Este componente é fabricado pela *Microchip* tendo arquitetura *Harvard* e conjunto de instruções RISC (MICROCHIP, 2012). A versão de encapsulamento escolhida foi a 40-Pin PDIP, pois é a mais fácil de trabalhar em protótipos devido as suas maiores dimensões. A utilização do microcontrolador PIC16F877A nesta unidade de telemetria deu-se por algumas características desta linha, entre elas, seu custo, disponibilidade de informações técnicas e suas interfaces internas. Dentre estas estão o conversor analógico-digital (ADC) de oito entradas e 10 *bits* e a interface de comunicação serial. O diagrama de blocos do sistema de coleta de dados para telemetria pode ser visto na Figura 1.

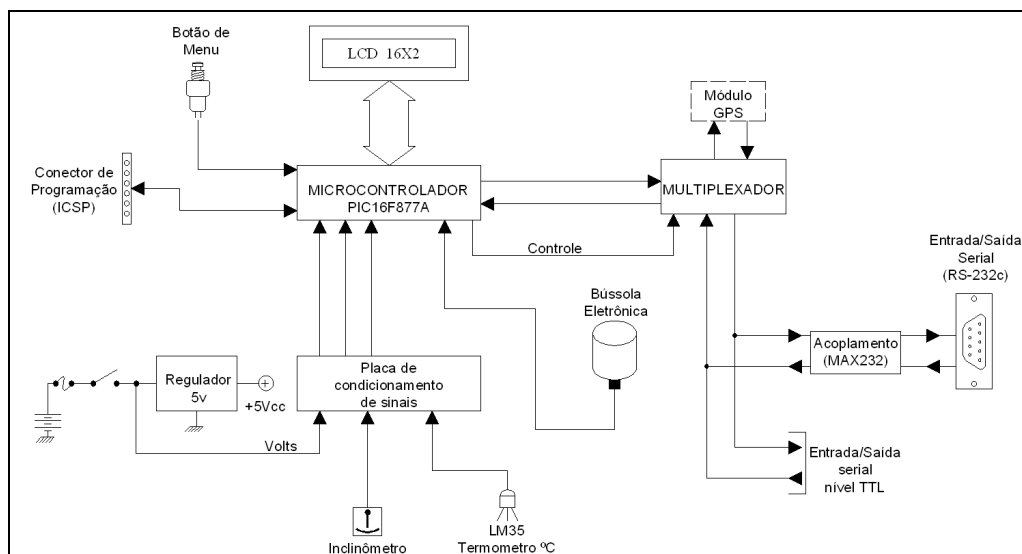


Figura 1 – Diagrama de blocos do protótipo

Normalmente o sistema conecta a porta serial do PIC no conector de saída de dados para o PC ou transmissor de dados. Quando há necessidade de leitura dos dados vindos do GPS, o microcontrolador envia um sinal ao multiplexador que conecta a porta serial do microcontrolador ao conector do GPS. Com isso é possível utilizar a USART do microcontrolador para mais de um periférico serial. O integrado 74HC241 foi escolhido para multiplexar os sinais pela compatibilidade com a lógica de 3.3V requerida pelo módulo GPS. Este componente é composto por oito *buffers/line drivers* e saídas em *3-state*, ou seja, podem assumir alta impedância. Ainda quanto a comunicação serial, foi necessária a utilização de um circuito para adequação dos sinais de níveis TTL para os padrões da norma RS232. Foi escolhido o circuito integrado MAX232 para esta função.

Para a medição de tensão da bateria foi utilizado um divisor resistivo. Normalmente o sinal a ser lido deve ser manipulado antes de sua leitura pelo sistema de aquisição (THOMAZINI, 2007). Este divisor resistivo faz este papel, dividindo o valor de tensão de entrada por quatro. Esta divisão se faz

necessária, pois o ADC do PIC pode receber no máximo uma tensão de 5 Vcc. Como o objetivo é medir tensão de uma bateria de 12 Volts, que durante a carga pode chegar perto de 15 volts ou mesmo superar este limite por uma sobrecarga, foi utilizado o divisor por quatro, podendo assim, a tensão de entrada chegar a 20 Vcc. Um capacitor de 0.1 μ F cerâmico foi adicionado ao circuito como filtragem.

O sensor de temperatura do protótipo é do tipo LM35 fabricado pela *National Semiconductor*. Este sensor foi escolhido devido ao fato de ter uma saída linear de tensão proporcional a temperatura e vir calibrado de fábrica. Sua variação é de 10 mV/°C, o que facilita a tarefa de converter esta tensão em uma indicação de temperatura. No sensor foi adicionado um resistor e um capacitor, formando um filtro passa baixas na linha de alimentação e uma rede RC série (resistor/capacitor) adicional na saída de sinal levada ao ADC.

Para a bússola do protótipo foi utilizada o modelo *Vector 2X*. Este, módulo é uma bússola/magnetômetro de dois eixos, fabricado pela *Precision Navigation*, sendo um módulo específico para desenvolvimento de projetos, que tem como características: boa precisão, baixo consumo de energia, pequenas dimensões e baixo custo.

O módulo pode funcionar como magnetômetro, indicando a intensidade do campo magnético em cada um dos eixos ou, como é o caso da utilização no protótipo, funcionar como bússola com resolução de 1°, indicando de 0 a 359°, sendo 0° o norte magnético.

Outra característica é a possibilidade de funcionar em modo mestre ou escravo, sendo que em modo mestre o módulo gera o *clock* para comunicação SPI e no modo escravo recebe o *clock* do dispositivo máster conectado a ele. As leituras podem ser transmitidas continuamente ou em modo *Polled*, onde os dados só são transmitidos quando interrogado por outro dispositivo.

O inclinômetro foi construído utilizando-se um sistema de pêndulo. Inicialmente foi considerado o uso de um pêndulo ligado mecanicamente ao eixo de um potenciômetro. Esta montagem mostrou-se robusta, mecanicamente simples e com boa resolução, mas considerando-se que um componente mecânico como o potenciômetro que possui “pistas” de grafite tem um desgaste consideravelmente rápido, utilizou-se outro tipo de sensor.

Foi utilizado um sensor do tipo *Hall*, onde dois ímãs são fixados no sistema de pêndulo e com a movimentação a orientação do campo magnético que percorre o sensor *Hall* muda. A saída de um sensor *Hall* do tipo linear muda com a intensidade e a orientação do campo magnético que o percorre. Considerando a intensidade de campo constante, a orientação fica como única variável que altera a saída do sensor e esta orientação depende diretamente do ângulo do pêndulo. Foi utilizado um sensor *Hall* linear tipo SS495 e ímãs de *Neodímio* de 10 mm de diâmetro. A montagem do sensor do inclinômetro pode ser visto na Figura 2.

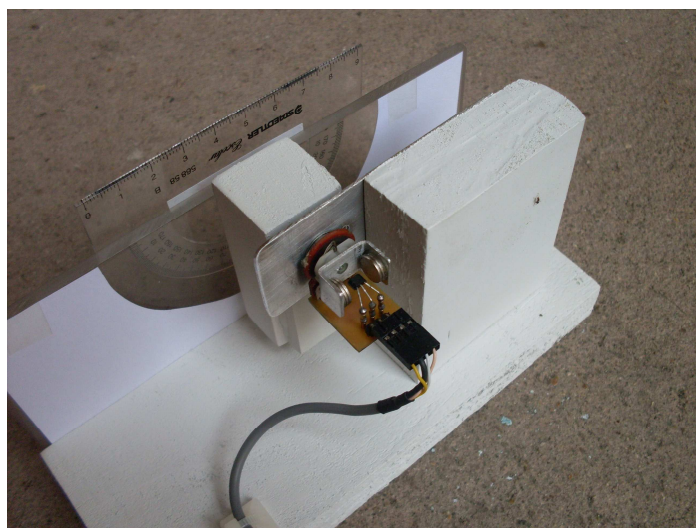


Figura 2 – Montagem do inclinômetro.

O software residente é escrito em linguagem C, que assim como outras linguagens de alto nível utiliza a filosofia de programação estruturada permitindo uma construção mais simples e clara do software de aplicação, o que permite a criação de programas de maior complexidade quando comparada a outras linguagens não estruturadas como o *Assembly* ou BASIC (PEREIRA, 2008).

O software faz a troca de modos de operação do sistema através de uma chave chamada de chave “*Menu*”. Um display LCD mostra o modo de operação corrente ou as informações de diagnóstico.

São três os modos de operação, no modo *Burst* o sistema envia continuamente os dados dos sensores, no modo *Asked* o sistema recebe uma requisição de dados, faz a leitura dos sensores e envia as informações e finalmente no modo *Diagnóstico* pode-se visualizar a leitura de cada sensor no *display* para verificação dos dispositivos sensores e ajustes. O último modo selecionado no desligamento é lembrado ao se religar o circuito. Nos dois primeiros modos existe uma rotina no programa para redução de consumo de energia, desligando a iluminação do LCD após 10 segundos da seleção destes modos de operação ou após o sistema ser ligado.

A estrutura de dados necessária para o envio via interface serial é composta de caracteres ASCII formando uma *string* de caracteres (CAMPBELL, 1986). Para o protótipo esta *string* é composta por um caracter de início “#” seguido dos valores, separados por ponto e vírgula, da bússola, tensão, temperatura e inclinômetro. Por fim são enviados os caracteres de controle *Line-feed* (LF) e *Carriage-return* (CR) para indicar o fim da *string*. Uma sequência de dados poderia ser vista como “#350;12.5;032.5;+09”, onde a bússola indica 350°, a tensão da bateria é de 12.5 volts, a temperatura ambiente é de 32.5°C e o inclinômetro indica 9° de inclinação positiva.

Para economia de espaço o *display* de LCD foi montado sobre o microcontrolador. Ainda com referência à montagem, na placa de circuito impresso, existem vários conectores ligados as entradas/saídas restantes do microcontrolador para futuras expansões. A montagem da placa pode ser vista na Figura 3.

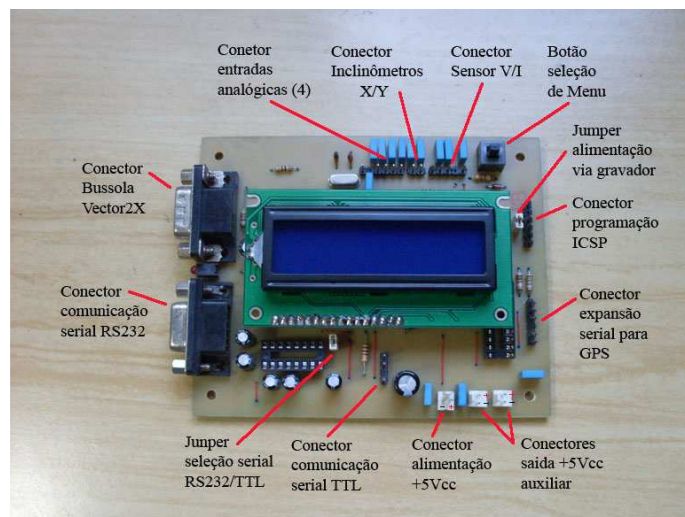


Figura 3 – Montagem do circuito

Posteriormente foi adicionada uma frente de acrílico e uma chapa de alumínio como base para proteção do circuito, ficando toda lateral aberta para conexão dos diversos cabos elétricos.

Para a realização dos testes, o protótipo e seus periféricos, como os sensores, foram montados em uma base com alças para facilitar o manuseio e transporte. Nesta base também foram instaladas uma bateria tipo gel selada de 12 Volts/7 Ah, um conversor 12 V/5 V para converter a tensão da bateria em 5 Vcc para alimentar o protótipo, um elemento de proteção elétrica (fusível de 1 A) e uma chave geral de alimentação. Esta montagem pode ser vista na Figura 4.

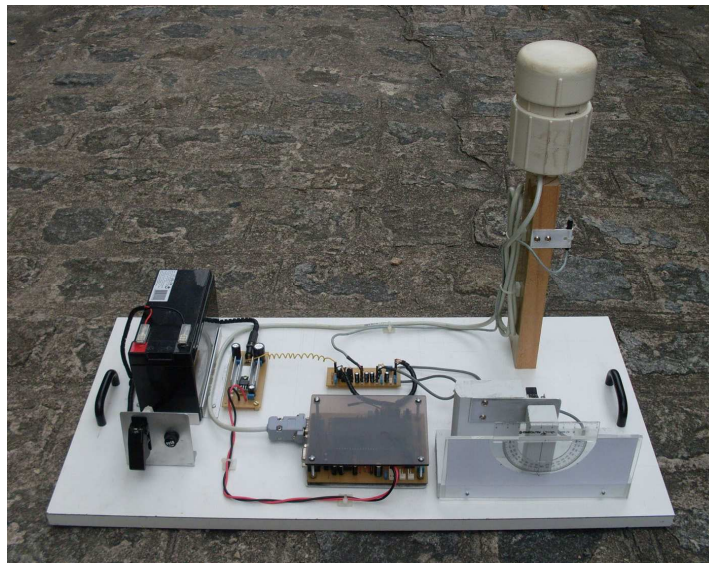


Figura 4 – Montagem para testes do protótipo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi avaliado o consumo de energia do protótipo incluindo os sensores instalados (tensão, temperatura, bússola e inclinômetro), o resultado do teste pode ser visto na tabela 1, onde constata-se uma redução de consumo de 20 % com o sistema de economia de energia desligando a luz de fundo do *display* LCD. A seguir foram realizados os testes dos sensores.

Tabela 1 – Resultado de medida de consumo de energia.

Consumo de energia (Luz de fundo desligada)	120 mA
Consumo de energia (Luz de fundo ligada)	150 mA

A medida de tensão foi bem estável, mostrando que as providências de filtragem de sinais e linhas de alimentação surtiram o efeito esperado de redução de interferências. As medidas efetuadas pelo protótipo foram comparadas as de um multímetro *Minipa ET-2082*.

A medida de temperatura também ficou estável com uma resolução de 0,5 °C já que o sensor utilizado oferece uma saída de 10 mV/°C e o ADC do PIC16F877A uma sensibilidade de 5 mV. Se for necessária mais precisão pode-se utilizar outro PIC com conversor A/D de 12 bits. Foi realizada medida de extremos (0° e 100°) e tomadas de temperatura intermediária comparando-se os resultados com um termômetro de coluna de mercúrio.

Quanto à bússola, seu funcionamento foi como o esperado com uma resolução de 1° e boa estabilidade. Sua instalação foi feita em um plano mais alto, pois a mesma tem que ficar afastada de fontes magnéticas, elétricas ou mesmo metálicas para evitar variações de leitura. Foi realizado um comparativo das leituras com uma bússola convencional afim de verificar sua precisão.

O inclinômetro forneceu leituras estáveis de +/- 45° de inclinação de fundo de escala. Foi utilizado um transferidor fixado ao próprio inclinômetro com escala graduada para realização dos testes. Uma leitura de +/-46° indica uma leitura fora de escala. O resumo dos resultados experimentais das medidas efetuadas de tensão da bateria, temperatura, bússola e inclinômetro estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados experimentais

Medida efetuada	Faixa	Resolução	Erro máximo
Tensão da bateria	0 – 20 Vcc	100 mV	200 mV
Temperatura	0° a 100 °C	0,5 °C	0,5 °C
Bússola	0° a 359°	1°	2°
Inclinômetro	-45° a +45°	1°	2°

Nos testes de comunicação de dados utilizou-se o *Hyper Terminal* do próprio *Windows* configurado para 9600,8N1, sem controle de fluxo a tela com alguns dados recebidos pode ser vista na Figura 5.

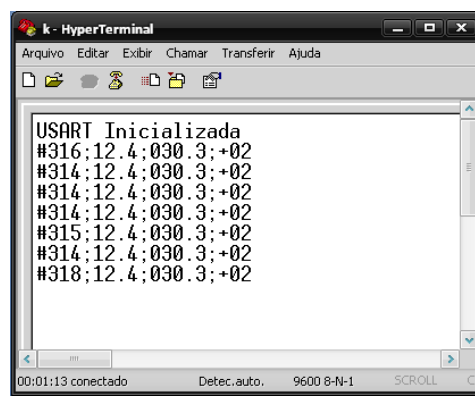


Figura 5 – Tela do *Hyper Terminal*.

Para mostrar a facilidade de leitura dos dados do protótipo utilizando a qualificação proposta por este trabalho foi feito um programa utilizando o software *LabView* para gerar uma tela apresentando os dados recebidos dos sensores separando-os segundo sua qualificação. O resultado da divisão dos dados segundo as classes propostas pode ser visto na Figura 6.

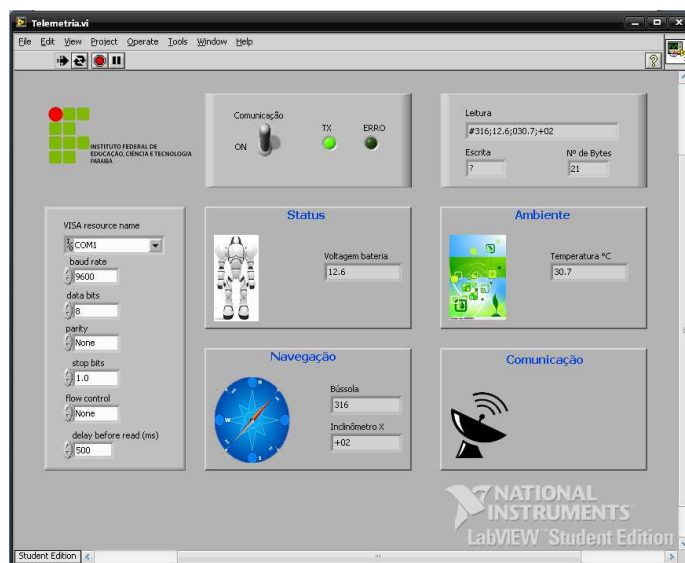


Figura 6 – Tela apresentando os dados segundo a qualificação proposta.



4. CONCLUSÕES

A qualificação de dados proposta por este trabalho mostrou-se útil na organização e interpretação dos dados recebidos. A separação de dados em classes possibilitou o foco de atenção em áreas de interesse independente dos tipos de sensores utilizados. As quatro classes propostas cobrem a grande maioria dos dados de interesse na robótica móvel, mesmo assim, esta classificação pode ser expandida em casos mais específicos, como, por exemplo, uma classe de *Armamentos* em robôs móveis militares.

O sistema de aquisição de dados para robótica móvel alcançou o objetivo esperado, obtendo um bom grau de exatidão e estabilidade na leitura dos parâmetros selecionados. Tanto a resolução quanto o erro máximo de cada sensor dentro de sua faixa de operação ficaram dentro do esperado e suprem a necessidade de um operador de um robô móvel dando boa representação da grandeza mensurada.

O custo reduzido, a disponibilidade de componentes para sua montagem e seu baixo consumo de energia são pontos importantes no projeto e foram comprovados durante o seu desenvolvimento. A simplicidade do formato do seu pacote de dados mostrou-se útil tanto na apresentação dos dados pelo software *Hyper Terminal* do *Windows*, quanto na interpretação e separação das informações por programas mais complexos como foi o caso do *LabView*, para geração da tela de exemplo da classificação dos dados.

O código fonte do microcontrolador PIC pode ser facilmente adaptado para vários tipos de sensores. Como proposta para trabalhos futuros sugere-se a substituição do microcontrolador por um equivalente com mais memória e ADC de 12 bits, além da utilização de sensores com comunicação I2C em substituição aos sensores analógicos utilizados neste protótipo.

REFERÊNCIAS

CAMPBELL, Joe. **RS-232 Técnicas de interface**. Trad. Niuton Braga. São Paulo: EBRAS–Editora Brasileira Ltda, 1986.

CUSTÓDIO, José Carlos de Oliveira. Robótica móvel: **Levantamento, qualificação e captura de dados de interesse voltados à telemetria**. Monografia de graduação do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial. IFPB, 2012.

MICROCHIP. **PIC16F877A Data Sheet**. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>>. Acessado em 13.jan.2012.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC-programação em C**. 7ed. Sao Paulo: Editora Érica, 2008.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 3.ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2007.