

## MÉTODO PARA MAPEAMENTO DO CAMPO DE ATUAÇÃO 3D DE SENSORES ULTRASSÔNICOS

Romulo M. M. Oliveira<sup>1</sup>, Marcelo H. Stoppa<sup>1</sup>.

1. Universidade Federal de Goiás – Campus Catalão  
Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, setor universitário, Catalão, Goiás  
romulomuriel@gmail.com, mhstoppa@pq.cnpq.br

Recebido em: 28/10/2014 – Aprovado em: 05/11/2014 – Publicado em: 06/11/2014

### RESUMO

A aplicação de sensores em processos industriais bem como em produtos, cresce diariamente, seja para automação, ganho de qualidade ou incremento de segurança. Um exemplo disso são os sensores ultrassônicos, que têm sido aplicados em linhas de produção, residências e automóveis. Esse tipo de sensor faz uso do método pulso eco e são comumente utilizados para identificação da distância entre objetos. Para determinação desta distância, o sensor avalia o tempo de trânsito necessário para uma onda ultrassônica, percorrer o trajeto de ida e volta. Com esse intervalo, o tempo é convertido em distância. A informação do alcance de atuação é especificado no datasheet do produto, no entanto, em função das intempéries e variáveis de industrialização, os sensores podem não atuar conforme citado no datasheet. Além disso, nas especificações técnicas não é apresentado o campo tridimensional de atuação dos sensores e sim uma área plana de abrangência, o que torna difícil o emprego desses sensores em alguns casos específicos. Sendo assim, este trabalho propõe um método capaz de delimitar o campo de atuação tridimensional de um sensor ultrassônico, garantindo maior confiabilidade na aplicação do mesmo em situações que exigem segurança. Para definir o espaço onde as ondas ultrassônicas conseguem detectar um objeto foi desenvolvido um sistema capaz de movimentar um objeto frente ao sensor, percorrendo coordenadas pré-definidas. Dessa forma, ao entrar no campo de atuação do sensor o sistema registra a coordenada onde ocorreu a detecção, gerando uma matriz tridimensional do campo de atuação.

**PALAVRAS-CHAVE:** campo de atuação, Mapeamento, sensor ultrassônico

### ABSTRACT

It is possible to see a considerable growth in the application of sensors in processes and products, seeking for automation, quality gain or to increase safety. Among the vast array of sensors, one of the most used is the ultrasonic sensor. It works based on a measurement of the time spent by a sound wave that travels from a transmitter transducer, reflects on the surface of an object and returns to a detector, commonly

used for determining distance. Despite being a well-known principle, it is not trivial to determine the total coverage space of the ultrasonic sensor. Companies that produce ultrasonic sensors, generally, specify the actuation distance or the range of the sensor in its datasheet. However, the information about the working zone of the sensors is not presented, only a linear distance or a planar region of operation is shown. In order to fulfill this need, the paper presents a method capable to measure the actuation zone of an ultrasonic sensor, ensuring greater reliability in their application. To define the region where the ultrasonic waves can detect an object, a device was developed, capable of mapping this three-dimensional volume. After the analysis it is possible to generate a graphic with the volume of activity of the sensor, which is known as the beam of the sensor. This method can contribute for the identification of the opening angle and maximum range of detection,

**KEYWORDS:** mapping, ultrasonic sensor, actuation zone.

## INTRODUÇÃO

O termo ultrassom é empregado para definir ondas acústicas com frequência superior à capacidade audível do ser humano, ou seja, acima 20.000 ciclos por segundo (Webster, 1999). Também conhecidas como sinais ultrassônicos, as ondas acústicas inaudíveis são captadas por meio de transdutores, os quais, em função da ressonância, convertem energia acústica em elétrica e vice-versa (THOMAZINI, 2005).

Sensores ultrassônicos são dispositivos que, por meio de transdutores elétricos, fazem uso do método de pulso eco para medição de distância. Este método é capaz de detectar a distância de um objeto em função do tempo gasto entre emissão e recepção de uma onda ultrassônica (BASTOS, 1999). Para determinação da distância, conforme Eq. (1), o sensor avalia o tempo de trânsito necessário para uma onda ultrassônica percorrer o trajeto de ida e volta. Uma vez obtido esse intervalo de tempo, através do transdutor receptor, por meio do eco-refletido, o tempo é convertido em distância.

$$d = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

Na eq. (1), o termo  $d$  refere-se à distância entre o sensor o objeto,  $c$  a velocidade do som no ar e  $t$  o tempo do pulso ultrassônico, considerando ida e volta. Sendo as duas últimas variáveis divididas por dois em função do percurso de ida e volta, que uma onda acústica percorre, resultando na distância entre objeto e sensor (RASTOGI & MEHRA, 2012).

Na indústria, os sensores ultrassônicos são comumente aplicados, proporcionando entre outros benefícios, o controle de operações, medições e detecções (MÁGORI, 1994). Os sensores de proximidade ultrassônicos, por sua vez, são empregados para verificar níveis de fluídos, contar produtos que passam em uma linha de montagem, além de detectar presença de pessoas. Todavia, para aplicações que requerem um nível de confiabilidade mais elevada, em geral não se tem informações segura o suficiente para o perfeito emprego do sensor. Entre outras dificuldades se destaca a limitação quanto o espaço acústico de atuação do sensor, bem como o alcance máximo do mesmo.

Dessa forma, para atendimento a aplicações específicas, podem surgir incertezas quanto à definição de alcance, ângulo de abertura e volume de atuação. A in-

formação quanto ao campo de atuação do sensor e definição de como se dá o ângulo de abertura do mesmo (horizontal ou vertical), contribui para utilização do mesmo.

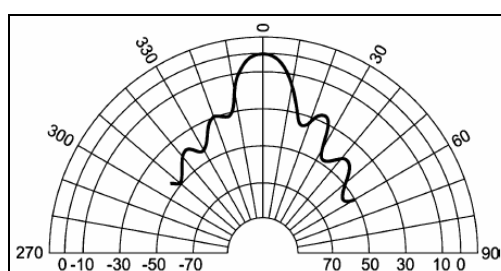
As informações técnicas que os fabricantes de sensores disponibilizam para seus produtos, apresentam em geral uma área horizontal de atuação, o que não garante o correto funcionamento do sensor, principalmente em casos onde a detecção vertical também é importante. Além disso, a distância de atuação, mencionada pelo fornecedor, nem sempre é efetiva, proporcionando imprecisões nas aplicações que requerem segurança.

Outra aplicação que requer uma melhor especificação do campo de atuação de um sensor ultrassônico é a de segurança ativa veicular, a qual prevê inclusão de sensores em veículos para minimizar a possibilidade de colisão. O resultado desse artigo contribui com dados importantes para esta aplicação, não se limitando somente a ela. Os benefícios iniciais seriam o auxílio na escolha do sensor a ser empregado e possibilidade de avaliar o volume de atuação, contribuindo para o correto posicionamento do mesmo no veículo ou em qualquer outra aplicação.

Sendo assim, esse artigo tem por objetivo identificar o campo de atuação de sensores ultrassônicos, por meio da elaboração de um sistema de detecção do volume de trabalho desses sensores.

## DESENVOLVIMENTO

Devido à dificuldade na identificação do campo de atuação dos sensores ultrassônicos, um método foi desenvolvido com o intuito de obter uma estimativa do campo de atuação, proporcionando assim precisão na aplicação do sensor. Normalmente, nas especificações técnicas dos sensores é possível encontrar, entre outras informações, os parâmetros de funcionamento elétricos, tipos conexões e área de atuação. Para este último, além de mencionar a distância de detecção (mínimo e máximo alcance), as especificações geralmente apresentam também um gráfico contendo a área horizontal de abrangência das ondas ultrassônicas, como apresentado na Fig. 1.



**FIGURA 1.** Característica típica do campo de atuação de sensores da série 600-Polaroid (MAJCHRZAK et al., 2009)

Neste contexto, é possível observar (Fig. 1), que o campo de atuação horizontal dos sensores ultrassônicos 600-série Polaroid, tem um ângulo de aproximadamente 120 graus de abertura, no entanto, se esta abertura também se comporta da mesma forma verticalmente, formando um cone cujo vértice coincide com o ponto em que o sensor está posicionado, não fica evidente.

Existe distinção entre o campo de atuação discriminado pelo fornecedor e o campo efetivo, os quais podem ser referenciados respectivamente, como, distância de detecção nominal e distância de detecção operacional. Distância de detecção nominal ( $S_n$ ) é a distância máxima em que o sensor pode operar, porém despreza intempéries do tempo e variações como tensão de fornecimento e variáveis inerentes à sua fabricação. Distância operacional do sensor ( $S_a$ ) é a distância em que o mesmo pode ser utilizado com segurança, considerando tensões, ambiente em que é aplicado e variações de industrialização (FUENTES, 2005). No datasheet, ou especificação técnica dos sensores ultrassônicos é destacada apenas a distância de detecção nominal, o que não garante o correto emprego do sensor. Tudo isso gera uma série de limitações em sua aplicação, bem como impede que o mesmo seja aplicado em projetos que exigem confiabilidade na detecção.

Para atender a essa demanda, um método para mapear uma estimativa do campo de atuação 3D de sensores ultrassônicos foi desenvolvido, possibilitando a representação do espaço de alcance das ondas ultrassônicas.

### **Método proposto**

A proposta para mapeamento e identificação do campo de atuação do sensor ultrassônico está baseada em um método experimental, onde um objeto é deslocado frente ao sensor. Através dessa movimentação, que obedece a coordenadas pré-definidas, sempre que o objeto entra no campo de atuação do sensor, a posição do mesmo é armazenada, gerando assim uma matriz com os resultados da detecção. As matrizes são compostas por apenas de dois resultados, zero (0) quando não houver detecção e um (1) quando o objeto entrar no campo de atuação.

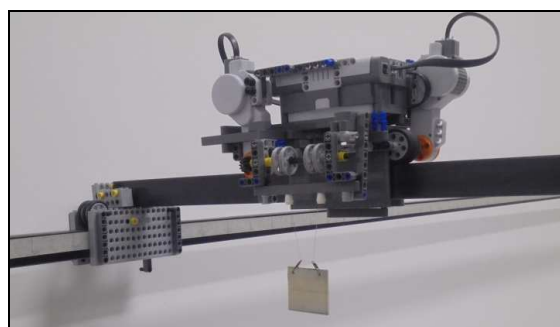
Sendo assim, para identificação do campo de atuação, uma estrutura cartesiana ortogonal foi desenvolvida, capaz de assegurar o deslocamento do objeto, sem interferir no campo de atuação, uma vez que é maior que a distância de detecção nominal. A estrutura foi construída com barras retangulares de metal, cuja seção transversal é de 20x30 mm, e 0,7 mm a espessura da chapa. A estrutura foi elaborada com dimensões de 1000x1000x4000 mm (altura, largura e comprimento), como mostra a Fig. 2.



**FIGURA 2.** Vista isométrica da estrutura destinada ao mapeamento

Sobre essa estrutura, desloca-se uma barra, feita com o mesmo material da estrutura base, que se movimenta no eixo Z, por meio de polias com acionamento manual. Sobre a barra foi posicionado um robô LEGO® (Fig. 3), de acordo com a figura 5, responsável por movimentar uma massa nos eixos X e Y, possibilitando assim que o espaço contido dentro da estrutura possa ser varrido pelo objeto.

Esse robô movimenta entre os eixos X e Y, uma chapa metálica quadrada, com dimensões de 40 mm e espessura de 4,3 mm, fazendo assim, uma varredura em cada face perpendicular ao eixo Z. O robô desloca a placa por 625 pontos em cada seção transversal do volume prismático retangular de interesse da estrutura, sendo 25 movimentos na vertical e 25 na horizontal. Dois motores foram instalados no robô, de forma que, um efetua o seu próprio deslocamento sobre a barra (eixo X) e o outro é responsável pela movimentação da massa (eixo Y). A chapa metálica foi fixada em uma carretilha, que recolhe ou libera a chapa a ser detectada pelo sensor. Foi utilizado um fio de Nylon, com 0,25 mm de espessura, a qual, não interfere na detecção do sensor ultrassônico.



**FIGURA 3.** Robô LEGO® movimentando a placa dentro da estrutura

Quanto ao sensor (Fig. 4), o mesmo é posicionado no centro da parte frontal da estrutura, a qual contém uma barra horizontal para acomodação de sensores (Fig. 2), ficando o mesmo apontado para o interior da estrutura. Os sensores usados para esse experimento não apresentam em suas especificações técnicas, área de atuação maior do que a disponibilizada pela estrutura, não comprometendo assim os testes. Além disso, estando o sensor em atuação, no centro da estrutura, nenhuma distância é detectada, o que prova não haver interferência entre a estrutura e o campo de atuação, ou seja, seus limites de detecção são menores que os da estrutura. O sensor utilizado para avaliação desse método foi o HC-SR04, que conforme figura 4, possui transdutores, um transmissor e um receptor e opera em uma frequência de 40 KHz.



**FIGURA 4.** Sensor ultrassônico HC-SR04

Os softwares utilizados para desenvolvimento deste método foram os seguintes: Mindstorms NXT 2.0, versão estudante, através do qual foi elaborado o programa de deslocamento do robô LEGO®; Arduino 1.0.5-r2, utilizado para controlar a leitura do sensor e apresentar os resultados de detecção; e por fim o Matlab, versão 7.8.0.347 (R2009a), responsável por gerar o gráfico do comportamento do campo de atuação, mediante a matriz 3D de resultados.

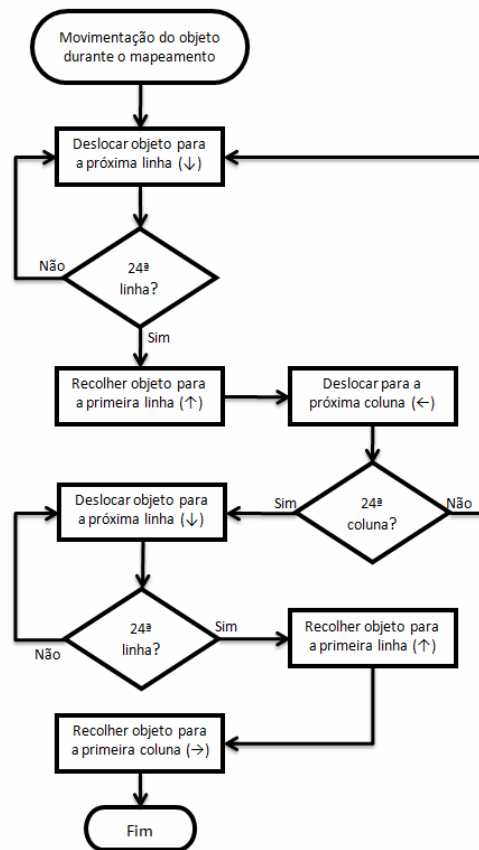
## Experimento

Para validação do método, testes foram realizados utilizando um sensor ultrassônico, com o intuito de averiguar o comportamento do campo acústico do mesmo. Para este experimento, o teste foi realizado utilizando o sensor HC-SR04, do fornecedor Elec Freaks, em função de este apresentar em suas especificações um limite de alcance equivalente ao da estrutura proposta, sendo assim capaz de validar o método.

O experimento consiste em utilizar o robô, que efetua o deslocamento da placa, em sincronia com a atuação do sensor, que por sua vez está conectado a um microcontrolador Arduino. Após o início de ambos os sistemas, o Arduino solicita a leitura do sensor ultrassônico, aguardando 5 segundos para fazer uma nova requisição, tempo necessário para que o robô efetue o deslocamento da placa para a próxima coordenada. Os resultados do mapeamento são armazenados pelo Serial Monitor do Arduino, sendo posteriormente vinculados às coordenadas pré-definidas da malha.

O fluxo de movimentação seguido pelo robô (Fig. 5), ocorre principalmente de modo vertical, de forma que o objeto é deslocado coluna por coluna, frente ao sensor. Ao completar as vinte e cinco posições da coluna, a placa é recolhida pelo robô,

o qual se desloca para a próxima coluna, conduzindo novamente a placa pelas coordenadas pré-definidas da coluna. Dessa forma, o objeto a ser detectado percorre todas as colunas de uma determinada face (entende-se por face as divisões do eixo Z) da estrutura, gerando assim uma matriz de pontos. Ao final do mapeamento de cada face, os resultados são reunidos, dando origem a uma matriz de três dimensões, onde os valores em um (1) referem-se à posição onde o objeto foi detectado e os valores em zero (0) a posição onde não ocorreu detecção. Para início do mapeamento, o objeto parte da primeira linha e primeira coluna da estrutura, com isso, ao se movimentar pelas próximas vinte e quatro posições (linhas e colunas), cumpre o percurso total de um plano da estrutura.

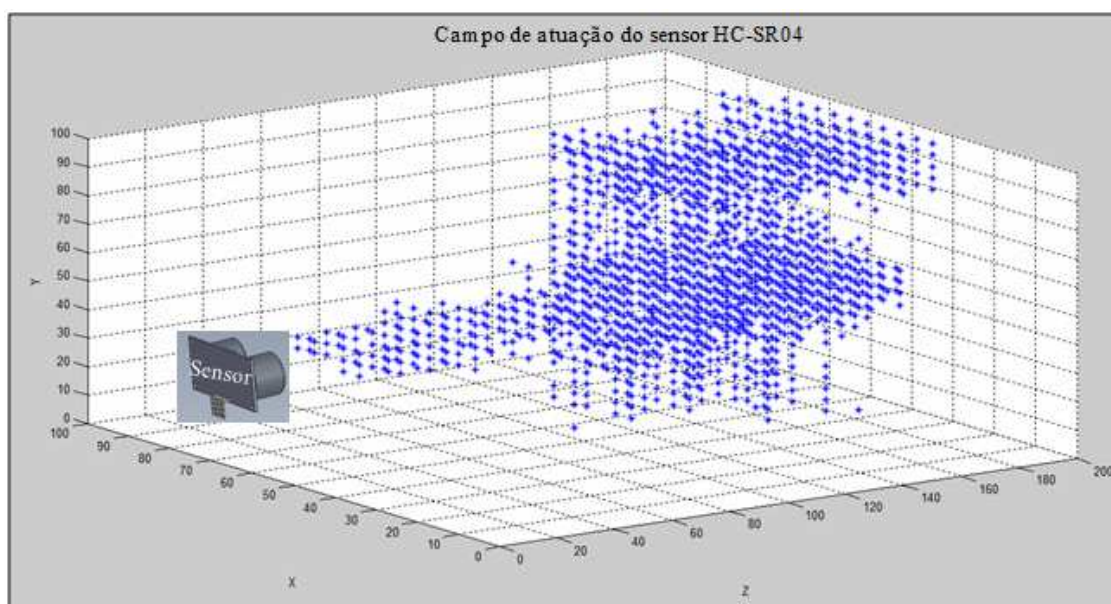


**FIGURA 5.** Fluxograma de movimentação do objeto, executada pelo robô

O teste foi realizado com a placa perpendicular ao sensor, não foi considerada a possibilidade de detecção da placa em um ângulo diferente. Além disso, o experimento foi executado em uma área fechada, onde as condições do ambiente permaneceram constantes, com temperatura em torno de 25 graus Celsius, livre de vento, barulho e qualquer outro fator que pudesse influenciar os resultados.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

De acordo com as especificações técnicas (datasheet) da Elec Freaks, o sensor HC-SR04 fornece uma capacidade de detecção entre 20 e 4000 mm, e opera com um ângulo de abertura de 15 graus. No entanto, o datasheet não traz a informação quanto à área horizontal de detecção. O eixo Z da estrutura foi dividido em várias faces, de 100 mm cada uma, resultando em 20 planos a serem analisados, diante do sensor. Em cada um desses, o objeto se deslocou criando uma malha de pontos, em X e Y, formando assim, através dos pontos de detecção, uma estimativa do campo de atuação do sensor (Fig. 6).



**FIGURA 6.** Resultado do mapeamento do sensor ultrassônico HC-SR04

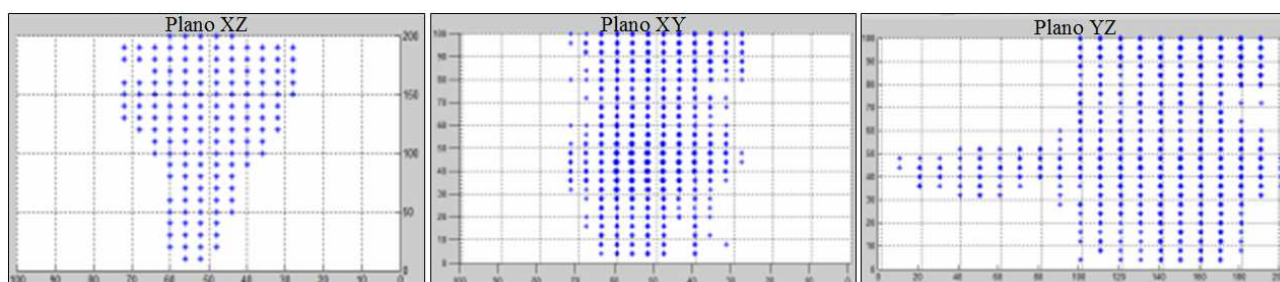
Os 20 planos mapeados durante o experimento sugerem os limites de atuação do sensor, sendo que no vigésimo primeiro plano, o sensor não foi capaz de detectar a presença do objeto em nenhum dos pontos da malha X,Y.

Com este resultado foi possível perceber que o sensor, instalado no centro da estrutura, nas coordenadas [X(-500 mm), Y(500 mm), Z(0,0 mm)], emite ondas acústicas capazes de detectar o objeto em um espaço não superior a 2000 mm, diferente do que é citado no datasheet, que menciona 4000 mm. Os resultados apontam que a distância de melhor detecção do sensor está entre 1000 e 1800 mm. Após essa distância, tem-se uma redução do campo de atuação.

Importante ressaltar que o experimento foi realizado utilizando apenas o objeto de 40 mm<sup>2</sup>. Para este, a capacidade de detecção não ultrapassou 2000 mm. Para objetos maiores, testes não foram aplicados.

Verifica-se também que as informações discriminadas no datasheet do produto, não transmitem segurança suficiente para definição do campo de atuação do sensor, diferentemente do que é apresentado na figura 6, que sugere o seu campo de atuação. De acordo com os resultados deste experimento, foi possível identificar que o ângulo de quinze graus, referente a abertura do feixe, mencionado pelo fornecedor, se dá de forma vertical, informação esta que não estava evidente, antes do experimento.

Para uma melhor compreensão do experimento, a Fig. 7 apresenta os três planos resultantes do mapeamento, onde é possível distinguir a diferença entre a seção horizontal (comumente utilizada nos datasheets) e o campo de atuação 3D. Cada plano refere-se a uma vista do campo de atuação, sendo elas, superior, frontal e lateral. Dessa forma, fica evidente que apresentar apenas uma vista do campo de atuação do sensor, pode limitar a sua aplicação, uma vez que seu comportamento em outros planos, também é importante.



**FIGURA 7.** Resultado dos três planos mapeados do sensor HC-SR04

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através deste método, desenvolvido para mapeamento de sensores ultrassônicos se mostrou eficaz, possibilitando uma melhor definição do campo de atuação desses dispositivos, possibilitando a obtenção de no mínimo uma estimativa de alcance das ondas acústicas.

O resultado obtido nesse experimento, uma vez incluído no datasheet do sensor analisado contribuiria significativamente para melhoria da sua aplicação. Dessa forma, o método se mostra viável para avaliação do campo de atuação 3D de sensores ultrassônicos, o qual poderia ser executado para definição de alcance de sensores, sendo o resultado disponibilizado nos datasheets como uma informação importante para sua correta aplicação. Com base em variações de industrialização, tensão, entre outros, não é possível dizer que todos os sensores do modelo analisado têm o mesmo comportamento, no entanto após avaliação de algumas amostras do mesmo sensor, sendo os resultados similares, um campo de atuação seguro poderia ser definido, criando um campo de atuação seguro para o determinado modelo.

A utilização deste método de mapeamento mostrou-se eficaz, assegurando uma melhor interpretação da zona de atuação, o que contribui para aplicações que requerem esse tipo de informação. Em casos como o da indústria automobilística, onde sensores ultrassônicos são utilizados para determinação de proximidade entre veículos, elevados níveis de segurança e confiabilidade são exigidos, o método facilitaria a identificação do tipo de sensor a ser aplicado e o melhor posicionamento do mesmo no veículo, uma vez que o campo de atuação está definido.

Para avaliações futuras, testes serão aplicados utilizando objetos com formatos diferentes, avaliando se em função da frequência de operação dos sensores, os resultados podem variar. Além disso, testes com objetos de diferentes formas e em outros planos (não perpendicular ao sensor), contribuirão para uma melhor definição do campo de atuação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro parcial de CAPES, FEMEC/UFU, FAPEMIG, PPGGO/UFG/RC, FAPEG e CNPq.

## REFERÊNCIAS

BASTOS, TEODIANO F.; ABREU, JOSÉ MIGUEL M.; CERES, RAMÓN. **Uso de sensores ultrassônicos na medição de parâmetros em robótica e outras aplicações.** Sba - Controle & Automação, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p.299-303, abr. 1991. Disponível em: <<http://www.sba.org.br/revista/vol3.htm>>. Acesso em: 25 fev. 2014.

BORENSTEIN, J., KOREN, Y. 1988. **Obstacle Avoidance with Ultrasonic Sensors.** IEEE Journal of Robotics and Automation. Vol. 4.

FUENTES, Rodrigo C. **Apostila de Automação Industrial.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

KIM, SUNGBOK; KIM, HYUNBIN. **Optimally Overlapped Ultrasonic Sensor Ring Design for Minimal Positional Uncertainty in Obstacle Detection.** International Journal Of Control, Automation, And Systems, Korea, v. 010, n. 12555, p.1280-1287, 2010.

MÁGORI, V. 1994. **Ultrasonic Sensors in Air.** Proceedings of the 1994 IEEE Ultrasonics Symposium, Levy, M., Schneider, S. H., e McAvoy, B. R., Eds., IEEE, New York, 1994, 471.

MAJCHRZAK, JAROSŁAW; MICHALSKI, MATEUSZ; WICZYNSKI, GRZEGORZ. **Distance Estimation With a Long-Range Ultrasonic Sensor System.** IEEE Sensors Journal. [s. L.], p. 767-773. jul. 2010.

MOHAMMAD, T., 2009. **Using Ultrasonic and Infrared Sensors for Distance Measurement.** World Academy of Science, Engineering and Technology. International Scholarly and Scientific Research & Innovation. Vol:3 2009-03-26.

RASTOGI, RAHUL KUMAR; MEHRA, RAJESH. **Efficient Error Reduction in Ultrasonic Distance Measurement Using Temperature Compensation.** International Journal Of Advanced Electrical And Electronics Engineering (IJAEED). Chandigarh, p. 57-63. set. 2012. Disponível em: <[www.irdindia.in](http://www.irdindia.in)>. Acesso em: 24 maio 14.

THOMAZINI, DANIEL. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações.** São Paulo: Érica, 2005.

WEBSTER, JOHN G. **Measurements, Instrumentation, and Sensors.** Boca Raton: Crc Press Llc, 1999.

ZANG, X., MAO, Y., ZHAO, H., GUAN, X. **The Research of Ultrasonic Detection Method for Car Back Obstruction**. Jilin University, CHangChun, China. 2004.