



UMA EXPERIÊNCIA NA PEDAGOGIA DE PROJETO: IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO DEAD RECKONING EM UM ROBÔ MÓVEL

Luciano L. S. Fortes – lucleofortes@gmail.com
Joabe R. da Silva – joaberuella@gmail.com
Sedrik Q. de Andrade – andrade.sedrik@gmail.com
Marco A. de S. L. Cuadros – marcoantonio@ifes.edu.br
Instituto Federal do Espírito Santo
Rodovia ES-010 - Km 6,5 - Manguinhos
29173 - 087 – Serra – ES

Resumo: *Este trabalho visa explicar como implementar a odometria num robô móvel construído pelos próprios alunos usando o algoritmo Dead Reckoning. A odometria permite ao robô móvel estimar a sua localização através de sensores instalados em cada roda. Na realização deste projeto são usadas diversos conhecimentos e habilidades interdisciplinares, podendo o discente verificar as diferenças entre a prática e a teoria. Nesta experiência fundamentada na pedagogia de projeto, o professor verificou como a motivação dos alunos em realizar o projeto prático fomentou o correto andamento do trabalho. O robô móvel didático construído e os resultados são apresentados.*

Palavras-chave: *Odometria, Robótica Móvel, Aprendizagem na Engenharia, Dead Reckoning.*

1 INTRODUÇÃO

A implementação de robótica móvel na engenharia proporciona a oportunidade para aplicação de física, eletrônica, programação e etc., podendo ser estudado e executado em diversos níveis como: engenharia mecânica, elétrica, computação, automação e etc.

Neste artigo se mostra uma experiência fundamentada na pedagogia de projeto, com o objetivo de mostrar que à medida que o robô móvel percorre mais distância o erro tende a se incrementar.

Dead Reckoning é um algoritmo para determinação da posição e orientação de um agente móvel baseado em cálculos provenientes da odometria; o cálculo da trajetória do robô entre regiões distintas através do modelo de movimento utilizado (BEKEY, 2005), (SIEGWART & NOURBAKHS, 2004). A odometria é uma forma de sensoriamento proprioceptivo, uma vez que se baseia em medidas internas (BEKEY, 2005), ela é simples e de fácil implementação prática, para a estimativa de posição em relação ao tempo.

Na odometria, a estimativa da posição é feita a partir da contagem de pulsos provenientes dos *encoders* instalados nas rodas do robô, integrando seu movimento de maneira consecutiva (BEKEY, 2005), (RIBEIRO, 1999). A partir da contagem de pulsos pode-se estimar a posição do robô a cada instante, gerando sua trajetória.



Neste trabalho foram utilizados *encoders* óticos, que medem a rotação das rodas do robô e, a partir do modelo cinemático deste, calcula-se a sua posição e orientação. Os *encoders* incrementais, estão acoplados a cada um dos motores. A partir desses *encoders* é possível medir as rotações da roda correspondente, permitindo assim determinar a localização do robô.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a descrição o robô. Na seção 3 é feita a descrição do algoritmo implementado. Na seção 4 é mostrado os resultados dos testes práticos. Finalizando, na seção 5 são discutidas as conclusões e recomendações.

2 DESCRIÇÃO DO ROBÔ

O robô apresentado na Figura 1 foi montado em uma estrutura de alumínio, possui uma largura de 37,5 cm e utiliza uma bateria Freedom® DF 2500- 165Ah. Este robô foi desenvolvido com a finalidade de realizar estudos científicos na temática de robótica móvel. As rodas de tração são acionadas por motores de corrente contínua.

Figura 1 – Robô móvel



O robô móvel possui uma roda boba, mostrada na Figura 2, permitindo que o robô realize o seu movimento giratório de forma mais eficiente, realizando apenas a variação de velocidades entre as rodas dianteiras. Essa estrutura de robô é conhecida como robô com acionamento diferencial.

Figura 2 – Visão traseira do robô móvel.

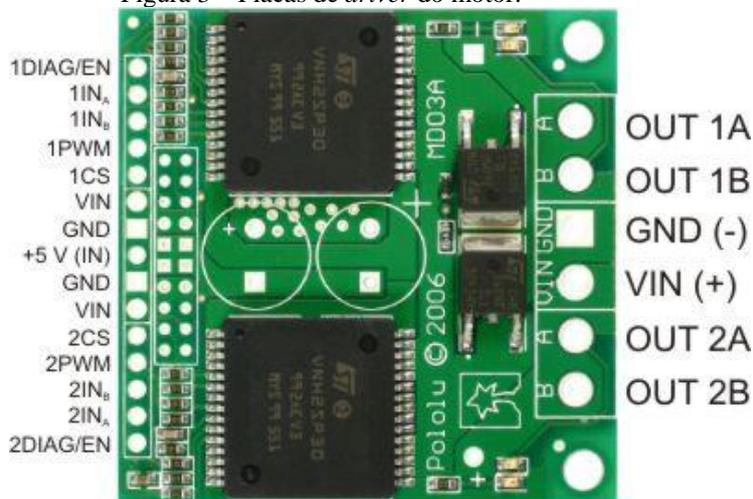


Para realizar o acionamento dos motores é utilizado uma placa de *driver* para os motores da marca Pololu e modelo Dual VNH2SP30, desenvolvida para robôs de médio porte, pois ela é compacta e pode conectar 2 motores diferenciais para estes tipos de robôs. Esta placa



permite operar o PWM a altas frequências (20KHz). Os conectores e a placa são mostrados na Figura 3.

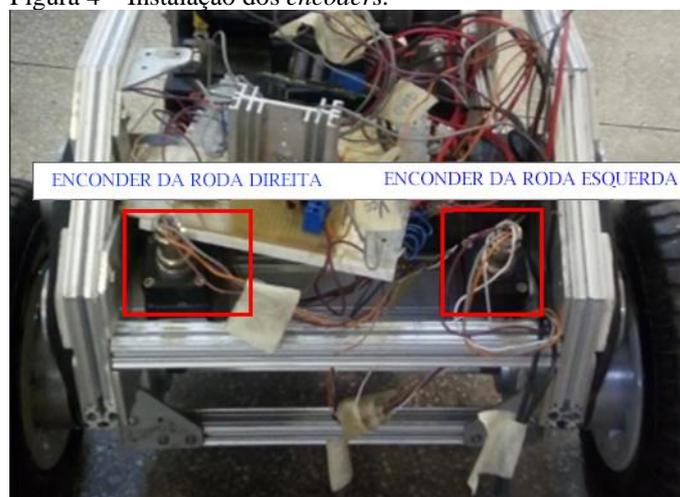
Figura 3 – Placas de *driver* do motor.



Fonte: <https://www.pololu.com>

Cada motor gera o movimento em uma roda. Os movimentos das rodas geram pulsos nos *encoders* proporcionando medir a distância percorrida para cada roda. Cada *encoder* possui dois canais o que permite identificar em qual sentido a roda está girando e possui uma resolução de 3991 pulsos por volta. O diâmetro das rodas é de 21,5 cm. Os *encoders* podem ser vistos na Figura 4.

Figura 4 – Instalação dos *encoders*.



Para realizar a conexão entre o computador e o robô móvel foi utilizado o dispositivo de hardware para projetos embarcados NI myRIO (*Reconfigurable Input Output*) da *National Instruments*. Ele possui 3 conectores de E/S, Wi-Fi, processador em tempo real ARM Dual Core e um FPGA Xilinx. A instalação deste dispositivo no robô móvel pode ser vista na Figura 5.

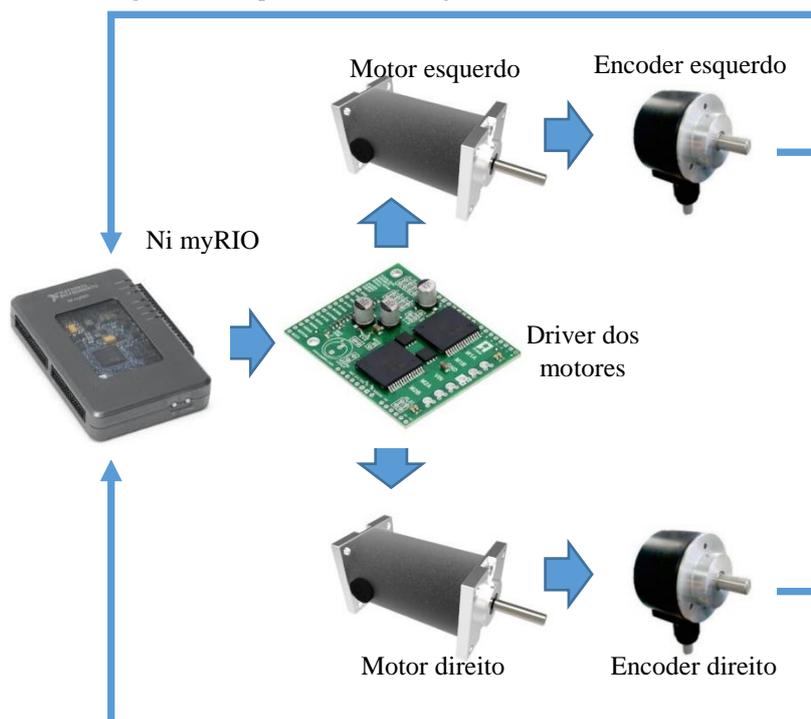


Figura 5 – Módulo NI myRIO conectado ao robô móvel.



A troca de dados entre o computador e o robô é feita via Wi-Fi, onde um valor de referência em PWM (*Pulse Width Modulation*) é enviado para o acionamento dos motores, estes realizam a movimentação do robô e faz com que os *encoders* girem produzindo os pulsos. Os pulsos gerados retornam ao NI myRIO e através do algoritmo *Dead Reckoning* é apresentado graficamente no supervisor a movimentação do robô. O diagrama do robô está apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Esquema da construção do robô móvel.



3 ODOMETRIA

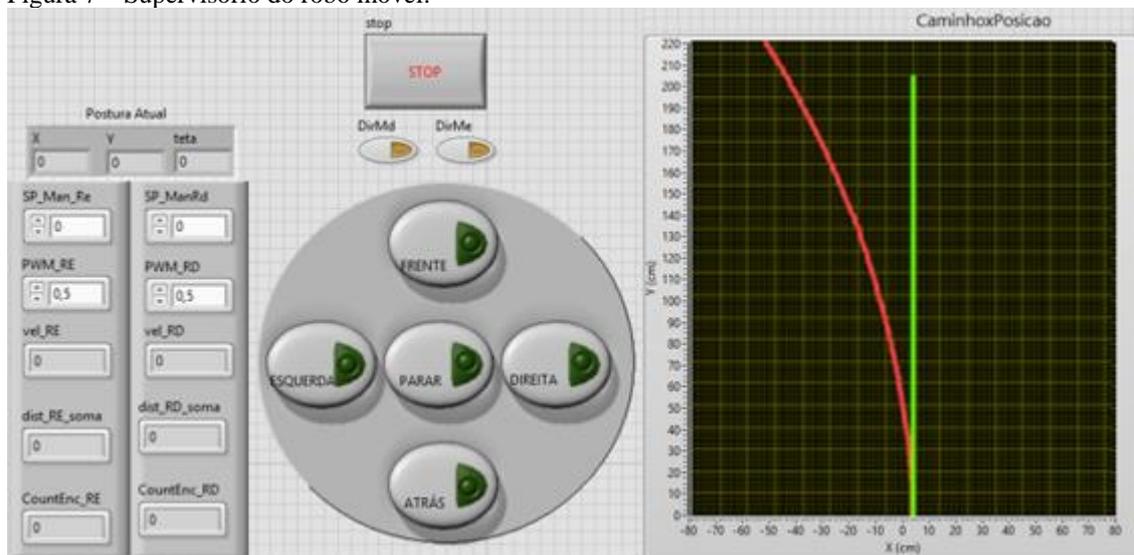
A principal preocupação ao se trabalhar com robôs é poder identificar sua localização, ou seja, sua posição e orientação no ambiente analisado.

Para realizar os movimentos do robô foi elaborado um supervisor no ambiente de programação LabVIEW[®] onde o robô móvel poderia realizar 4 tipos de movimentos: frente, giro à direita, giro à esquerda e movimento para trás. Além disso, é possível selecionar com qual velocidade o robô irá realizar esse movimento ajustando o valor da entrada de PWM que



varia de 0,0 a 1,0. O supervisorio pode ser observado na Figura 7: à esquerda, em “Postura Atual”, é apresentado o valor de orientação e posição do robô móvel segundo a odometria calculada e à direita é mostrado o gráfico do seu deslocamento. A linha reta no gráfico, destacada em verde, representa o caminho que o robô deveria seguir (referência). A linha curva, em vermelho, informa o percurso realizado pelo robô.

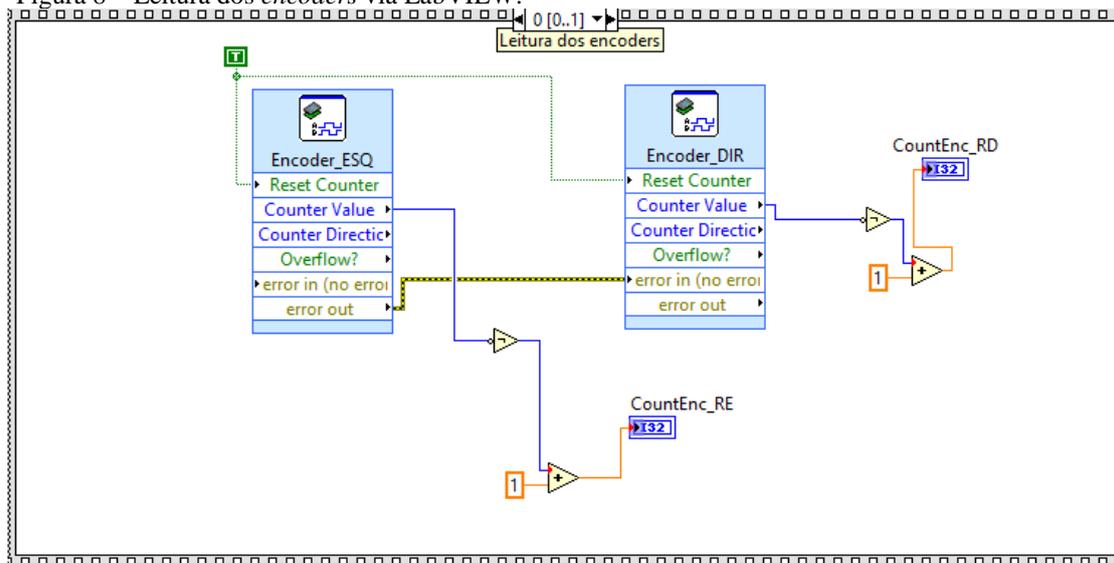
Figura 7 – Supervisorio do robô móvel.



No ambiente de programação a primeira etapa para realizar a odometria é definir o sensor que irá estimar a posição do robô e obter esses dados (Figura 8).

Os valores de CountEnc_RE e CountEnc_RD são enviados pelos *encoders* através da placa do NI myRIO como mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Leitura dos *encoders* via LabVIEW.



Por teste foi observado que para uma revolução na roda, o *encoder* conta 3991 pulsos. Dessa forma, pode-se calcular a distância entre os pulsos das rodas (arco de circunferência) usando a Equação (1).



$$\text{Distância entre os pulsos das rodas} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{Raio da roda}}{\text{Quantidade Total de pulsos por volta}} \quad (1)$$

Considerando uma quantidade parcial de pulsos, é possível saber qual distância que cada roda percorreu, como mostrado nas Equações (2) e (3).

$$\Delta S_d(\text{distância percorrida pela roda direita}) = |\text{CONT_RD} \cdot \text{dist_pulso_dir}| \quad (2)$$

$$\Delta S_e(\text{distância percorrida pela roda esquerda}) = |\text{CONT_RE} \cdot \text{dist_pulso_esq}| \quad (3)$$

Sendo CONT_RD e CONT_RE a quantidade de pulsos fornecido pelo *encoder* direito e esquerdo, respectivamente. As variáveis *dist_pulso_dir* e *dist_pulso_esq* representam a distância (arco de circunferência) entre cada pulso da roda direita e da roda esquerda calculados na Equação (1), respectivamente.

Como apresentado por SANTANA *et al.*, (2008), é possível calcular a velocidade linear e a velocidade angular utilizando as Equações (4) e (5):

$$\Delta teta = (\Delta S_d - \Delta S_e)/b \quad (4)$$

$$\Delta S = (\Delta S_d + \Delta S_e)/2 \quad (5)$$

onde *b* é a distância entre as rodas do robô móvel, $\Delta Teta$ é a variação angular sofrida e ΔS é a distância linear percorrida.

É possível identificar qual foi o deslocamento no eixo X e no eixo Y do robô seguindo as Equações (6) e (7).

$$\Delta X = \Delta S \cdot \cos(teta + \frac{\Delta teta}{2}) \quad (6)$$

$$\Delta Y = \Delta S \cdot \sin(teta + \frac{\Delta teta}{2}) \quad (7)$$

Com essas equações é possível estimar a posição e orientação atual do robô móvel (BORENSTEIN *et al.*, 1996), que é o valor anterior adicionado a uma variação calculada da distância *X*, *Y* e *teta*, como se mostra nas Equações (8), (9) e (10), respectivamente.

$$X = X_a + \Delta X \quad (8)$$

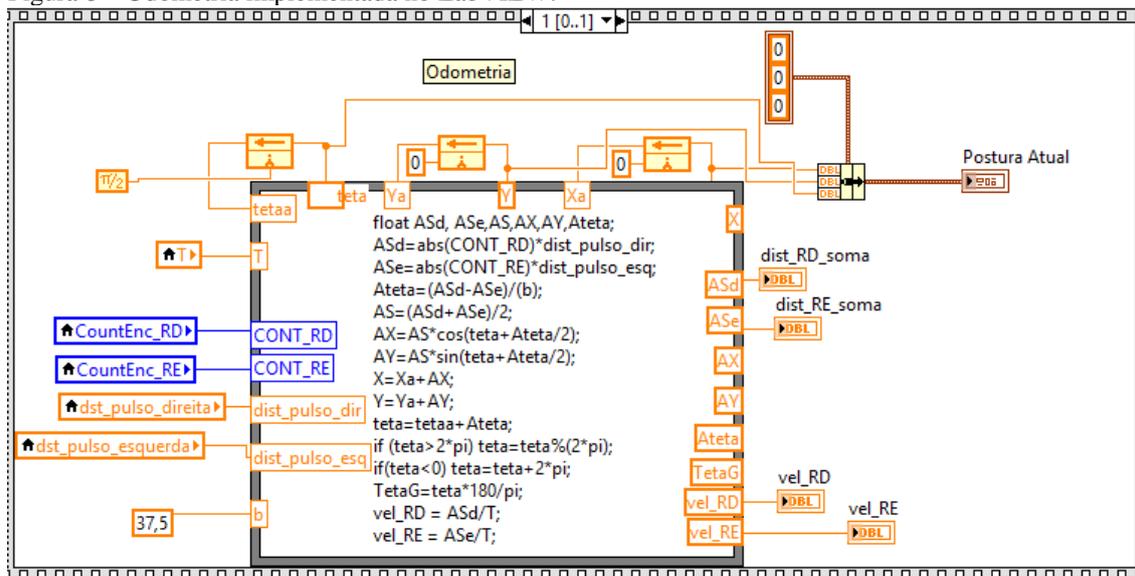
$$Y = Y_a + \Delta Y \quad (9)$$

$$teta = teta_a + \Delta teta \quad (10)$$

A odometria implementada no LabVIEW é apresentado na Figura 8. Por limitação do LabVIEW, a letra “A” maiúscula no corpo do *script* representa a letra grega “Δ” (delta) das equações acima, dando o significado de variação.



Figura 8 – Odometria implementada no LabVIEW.



4 TESTES PRÁTICOS

Foi anexado um pincel preto na posição central do robô móvel para marcar no chão a trajetória que o mesmo executava, como mostrado na Figura 9. Foi realizado 5 testes para 1m, medido o valor real com uma trena e através do supervisor foi verificado o valor estimado e dessa forma calculado o erro absoluto para cada um dos testes. Como apresentado no Gráfico 1 e Tabela 1.

Figura 9 – Resultados do teste de 1m.





Gráfico 1– Posição Estimada dos testes de 1m.

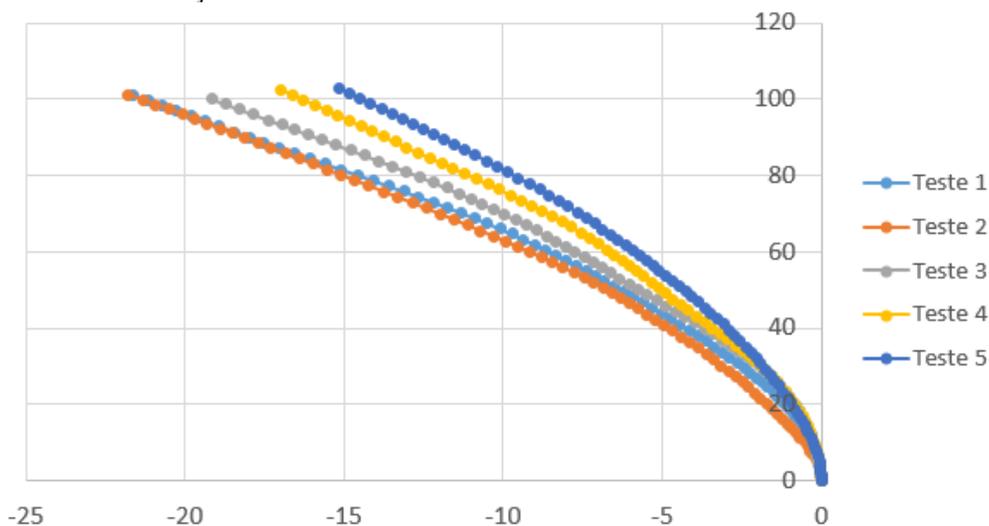


Tabela 1– Distâncias no eixo X do teste de 1m.

Teste	Distância Real [cm]	Distância Estimada [cm]	Erro Absoluto [cm]
1	-22,0	-21,62	0,38
2	-19,5	-21,33	1,83
3	-19,0	-19,16	0,16
4	-18,5	-16,63	1,87
5	-15,0	-14,50	0,50

Considerando os dados de Erro Absoluto acima é possível calcular o erro Médio e obtemos o valor de 0,95 cm.

O mesmo experimento realizado para 1m foi repetido para uma distância de 2m, como mostrado na Figura 10, Gráfico 2 e Tabela 2

Figura 10 – Resultados do teste de 2m.





Gráfico 2 – Posição Estimada dos testes de 2m.

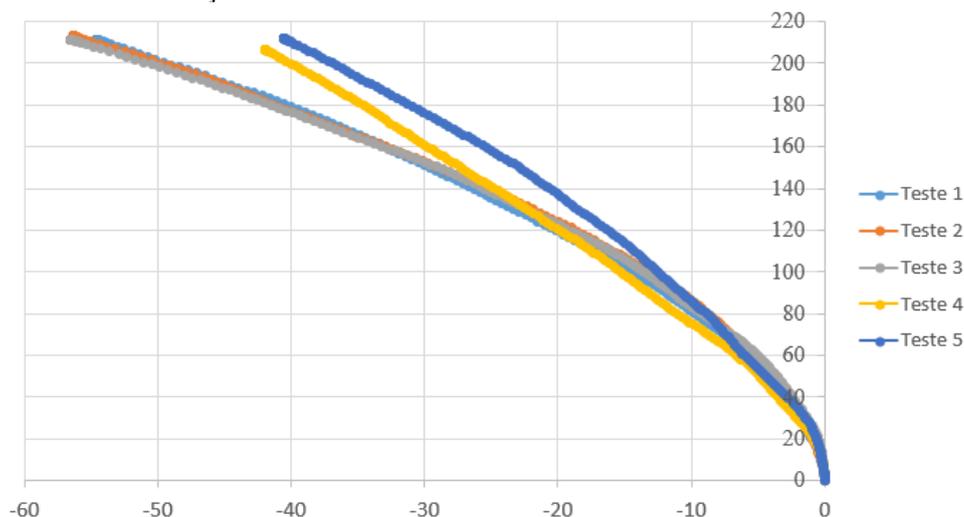


Tabela 2 – Distâncias no eixo X do teste de 2m.

Teste	Distância Real [cm]	Distância Estimada [cm]	Erro Absoluto [cm]
1	-53,2	-50,45	2,75
2	-52,8	-50,44	2,36
3	-52,3	-49,59	2,71
4	-43,2	-40,38	2,89
5	-39,4	-36,89	2,51

Considerando os dados de Erro Absoluto acima é possível calcular o Erro Médio e obtêm-se o valor de 2,64 cm.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta experiência prática fundamentada na pedagogia de projetos pode-se constatar que os alunos construíram os seus resultados progressivamente e em grupo, sendo um resultado dos alunos com a orientação do professor e não um trabalho do professor.

Com a implementação da odometria ao robô móvel é possível observar que sem uma técnica de correção adequada o movimento do robô não é executado como o esperado, isto ocorre devido às perturbações existentes, como atrito, derrapagem, variação dos pneus devido a diferença de calibração sofridas ao longo do tempo, folga nas rodas, as rodas não possuem inércia simultânea entre outros.

Como descrito por BEZERRA (2004) os resultados obtidos pela odometria apresentam uma margem de erro crescente com a distância, isto pode ser observado comparando os valores médios dos erros absolutos. Nos testes para distância de 1m a odometria apresentou um erro de 0,95 cm e ao aumentar a distância para 2m foi possível observar que o erro triplicou comprovando o erro acumulativo.

No entanto, para que o robô navegue pelos pontos desejados, é necessário o uso de um controlador de trajetória, por exemplo: PID, *Backstepping* entre outros.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq, SETEC/MEC, FAPES, IFES e ao GAIIn (Grupo de Automação Industrial) pelo apoio concedido às pesquisas que deram origem a este trabalho.

Organização



Promoção





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEKEY, G.A. **Autonomous Robots – From Biological Inspiration to Implementation and Control**, Chp. 14. *MIT Press*, 2005.

BEZERRA, C. H. 2004. **Localização de um Robô Móvel usando Odometria e Marcos Naturais**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: s.n., 2004.

BORENSTEIN, J.; EVERTT, H. R.; FENG, L. **“Where am I?” sensors and a methods for mobile robot positioning**, University of Michigan, 1996.

RIBEIRO, M.I. **Localização em Robótica Móvel - Odometria**. Lisboa: *Instituto Superior Técnico*, Out. 1999. Disponível em: <http://users.isr.ist.utl.pt/~mir/cadeiras/robmovel/Odometry.pdf> acessado em 02/06/2017.

SANCHES, V. L. M. 2009. **Um sistema de localização robótica para ambientes internos baseados em redes neurais**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2009.

SANTANA, A. M.; SOUZA, A. A. S.; BRITTO, R. S.; ALSINA, P. J.; MEDEIROS, A. A. D. **Localization of a mobile robot based on odometry and natural landmarks using extended Kalman Filter**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS IN CONTROL, AUTOMATION AND ROBOTICS, 5. 2008.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSI, I.R. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**, Chp 4 and 5. Cambridge, MA: *MIT Press*, 2004.

AN EXPERIENCE IN PROJECT PEDAGOGY: IMPLEMENTATION OF THE DEAD RECKONING ALGORITHM IN A MOBILE ROBOT

Abstract: *This work aims to explain how to implement odometry in a mobile robot built by the students using the algorithm Dead Reckoning. Odometry allows the mobile robot to estimate its location through sensors installed on each wheel. In the realization of this project several interdisciplinary knowledge and abilities are used, being able the student to verify the differences between the practice and the theory. In this experience based on the project pedagogy, the teacher verified how the motivation of the students to carry out the practical project fostered the correct progress of the work. The mobile didactic robot built and the results are presented.*

Key-words: *Odometry, Mobile Robotics, Engineering Learning, Dead Reckoning.*