

# UM SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA O ROBÔ MÓVEL X80

JOSÉ RENATO A. SOUTO\*, ROSIERY MAIA\*, ANDERSON A. SOUZA\*, BRUNO SANTANA\*

*\*Departamento de Computação  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)  
Natal, RN, Brasil*

Emails: renatosouto.91@gmail.com, rosierymaia@uern.br, andersonabner@uern.br,  
bruno.basswn@gmail.com

**Abstract—** The navigation system for the X80 mobile robot is an approach about the path planning and execution by which a robot autonomously executes its trajectory in its environment. The X80 robot starts from an initial configuration until a specified final configuration by deviating from the obstacles in its environment, which is represented by a map that is based on the occupancy grid mapping approach. For the path planning it was used the Manhattan algorithm with some search heuristic. The robot localization is estimated by data obtained from the encoders, and it is based on the kinematic model. By experiments which were carried out by the system, it was possible to show that the X80 robot really executed the trajectory defined by the system.

**Keywords—** X80, Navigation, Mobile Robot.

**Resumo—** O Sistema de Navegação para o robô móvel X80 trata-se de uma abordagem prática sobre o Planejamento e execução de caminho, no qual o robô executa sua trajetória no ambiente autonomamente. O robô parte de uma configuração inicial até uma configuração final especificada, desviando de obstáculos contidos no ambiente, representado por meio de um mapa, seguindo a abordagem por Grade de Ocupação. Para o Planejamento de Caminho é utilizado o algoritmo de função Manhattan. A Localização do robô é estimada através dos dados obtidos pelos encoders, baseando-se no Modelo Cinemático. Experimentos apresentaram resultados satisfatórios, demonstrando a validação do sistema, já que o X80 realmente executou a trajetória definida.

**Palavras-chave—** X80, Navegação, Robô Móvel.

## 1 Introdução

A robótica é uma das áreas das ciências exatas e tecnológicas que mais se desenvolveu nos últimos anos. A utilização de robôs para a realização de tarefas com o intuito de auxiliar e/ou substituir os humanos em atividades diárias, vem se tornando cada vez mais frequente e, com isso, novas aplicações em diversas áreas vêm surgindo a cada dia. Os robôs podem auxiliar ou substituir o homem em tarefas corriqueiras, como em uma linha de produção industrial, ou em tarefas executadas em ambientes que conferem risco à vida humana, como por exemplo, no fundo do mar, em proximidades de incêndios, em terrenos minados ou em áreas com contaminação radioativa (Pedrosa, 2001).

A Robótica abrange o estudo dos vários tipos de robôs, os quais podem ser agrupados em duas principais categorias: robôs manipuladores e robôs móveis. Na robótica de manipuladores se encontra o grupo de robôs cujas atividades são realizadas a partir de um ponto fixo (chamado de base), tendo seus movimentos limitados a uma área em torno dessa base (Souza, 2008). Já no grupo dos robôs móveis, se encontram os robôs que possuem a capacidade de se mover por uma grande área e habilidade de realizar suas atividades de maneira dinâmica, podendo ser autônomo ou não.

Dentre as aplicações que podem ser desenvolvidas com a utilização dos robôs móveis, é possível citar a navegação, onde o robô tem a capacidade de se locomover em um determinado ambiente, percorrendo uma trajetória específica de maneira autônoma. Souza (2012) relata que um dos grandes desafios para a comunidade dos roboticistas é fazer com que os robôs

móveis executem suas tarefas de forma eficiente e segura com o mínimo de interferência humana, isto é, que sejam autônomos.

A navegação autônoma trata da capacidade do robô móvel se locomover no ambiente, sem a necessidade de intervenção humana, de forma eficiente e segura. A partir da representação dos obstáculos do ambiente em um modelo (mapa), o robô deverá se locomover da sua configuração (posição) inicial a uma configuração final, desviando-se de obstáculos e buscando, idealmente, percorrer o melhor caminho. Souza (2012) também afirma que o processo de navegação pode ser subdividido em cinco etapas sequenciais que devem ser seguidas e executadas: Mapeamento de Ambientes; Localização; Planejamento de Caminho; Geração de Trajetória; e Execução de Trajetória.

O Mapeamento de Ambientes é responsável por construir um modelo (mapa) do ambiente e armazenar no robô, de modo que o mesmo possa reconhecer espaços vazios e espaços com obstáculos. Esse mapa pode ser uma Grade de Ocupação, que define aproximadamente todos os componentes situados no ambiente. A Localização determina a configuração do robô, que consiste na posição e na orientação, considerando o modelo gerado na fase do Mapeamento de Ambientes.

Já a etapa de Planejamento de Caminho visa projetar um caminho factível pelo robô, a partir da configuração (pose) inicial até a configuração final, sempre buscando percorrer o melhor caminho, desviando dos obstáculos. Por fim, a Geração de Trajetória é a etapa responsável por definir um caminho (ou trajetória), que deve ser adaptado às restrições temporais específicas do ambiente, além de calcular a velocidade

com que o robô deve se movimentar. A partir dessa trajetória definida, a Execução de Trajetória é a etapa que manipula os atuadores do robô para fazer com que ele possa executá-la.

A realização sequencial dessas cinco etapas compõe o processo de navegação robótica que permite ao sistema executar sua tarefa no ambiente, idealmente de maneira autônoma. Neste trabalho, portanto, esse processo é executado da seguinte forma:

1. Um mapa do ambiente é repassado para o robô por meio de uma representação em Grade de Ocupação;
2. A Localização do robô no ambiente se dá por meio da utilização dos encoders, que são sensores capazes de medir a distância percorrida a partir do giro das rodas;
3. O planejamento de caminho é realizado por meio da utilização da função Manhattan, seguida da busca do melhor caminho. Em robótica móvel, planejar um caminho refere-se principalmente à competência que um robô móvel possui de escolher, dentre várias possibilidades, a rota que, segundo critérios de otimalidade, pretende percorrer (Santana, 2011). Este trabalho admite que essa condição de otimalidade está relacionada com a menor distância a ser percorrida, ou seja, busca-se o menor caminho dentre todos.
4. A execução do caminho é feita através do controle dos atuadores, por meio de um controle cinemático simples, que considera as questões temporais impostas ao caminho.

Este trabalho atua no contexto da navegação robótica, seguindo como pioneira na utilização dos sensores do robô móvel da empresa Dr. Robot X80. Com isso, esta pesquisa propicia uma base de conhecimento para novas aplicações práticas que poderão ser realizadas de acordo com as diversas funcionalidades que o robô disponibiliza, tanto em âmbito comercial quanto em acadêmico.

## 2 Plataforma robótica X80

O rob móvel X80 foi desenvolvido pela empresa Dr. Robot e está mostrado na Figura 1. Ele foi genuinamente pensado para cientistas que desenvolvem aplicações robóticas avançadas, como monitoramento remoto, teleoperação e navegação (Robot, 2009).

Ele oferece uma comunicação sem fio *Wi-Fi*, com capacidade de movimento e vem com uma ampla variedade de sensores: câmera, sensor de infravermelho, sensor de presença, sensor ultrassônico e módulos de áudio, suficientes para servir em diversas aplicações na robótica.

A comunicação remota com o robô X80 pode ser realizada de dois modos: via conexão *Wi-Fi* ou utilizando a porta serial. Neste trabalho, a aplicação utiliza



Figura 1: Plataforma robótica móvel X80, criado pela empresa Dr. Robot pensando em cientistas que desenvolvem aplicações robóticas avançadas (Robot, 2009).

a comunicação por conexão *Wi-Fi*, que pode ser realizada por meio dos protocolos *User Datagram Protocol* – UDP, *Transmission Control Protocol* – TCP e criptografia de segurança *Wired Equivalent Privacy* – WEP de 128 *bits*. Para isso é utilizado um módulo de rede sem fio, que disponibiliza a comunicação com a plataforma sobre uma rede com interface 802.11b e protocolo TCP/IP (Robot, 2009).

A transferência de dados para o X80 é realizada com o auxílio de um roteador, devidamente configurado. A aplicação fica acoplada em um computador, que envia dados para o módulo de rede sem fio (roteador), que se responsabiliza por transmitir a informação para o robô via *Wi-Fi*.

O modelo X80 também permite ampla capacidade de expansão para projetos práticos que podem exigir sensores adicionais ou módulos especializados. A plataforma com rodas tem dois motores de 12 VDC fornecendo, cada um, 300.22 *kg/cm* de torque, o que permite produzir uma velocidade máxima de 1 *m/s*.

## 3 Sistema de navegação para o Robô Móvel X80

O Sistema de navegação para o Robô Móvel X80 consiste em determinar um caminho navegável, a partir de uma configuração inicial até uma configuração final, desviando dos obstáculos que estiverem no ambiente e percorrendo a menor distância. A trajetória estabelecida deve ser percorrida pelo robô.

### 3.1 Representação do Ambiente real por Grade de Ocupação

Para cumprir corretamente suas tarefas, tanto em ambientes internos como em externos, uma das necessidades fundamentais do robô móvel é a aquisição de informações espaciais do ambiente de atuação. Em outras palavras, para o robô percorrer, de maneira autônoma, um determinado espaço de configuração é necessário criar alguma forma de representação do ambiente, que possibilite ao robô coordenar seus movimentos no sentido de realizar sua tarefa.

Uma alternativa para essa representação é a construção de mapas, que podem ser definidos como sendo

uma representação das regiões contidas em um determinado ambiente (Hata, 2010). O mapa deve conter informações sobre as propriedades das regiões, além dos objetos que elas possuem. Essas informações servem para o pré-planejamento e a pré-execução de tarefas, garantido uma representação do mundo real. Com o uso de um Mapa, portanto, é possível definir as partes do ambiente que estão livres para a navegação do robô e reconhecer os locais que contêm obstáculos que impossibilitam a movimentação desse robô.

Os Mapas Métricos possuem certa fidelidade métrica em relação ao ambiente real em que o robô atua. Essa abordagem guarda as informações de objetos, além das informações geométricas contidas no ambiente do robô, o que ocasiona um custo computacional maior para o mapeamento. Esses mapas são baseados em Grade de Ocupação.

Na representação do ambiente por Grade de Ocupação, o espaço é discretizado em espaços contínuos, de forma que ele é representado sob a forma de uma matriz bidimensional (2D) ou tridimensional (3D), composta por células que dividem o espaço contínuo em um conjunto finito de células de mesma dimensão. A divisão regular do espaço permite a disponibilização métrica aproximada dos objetos contidos no ambiente, favorecendo a Localização do robô (Souza, 2008).

Por ser de fácil manipulação, essa abordagem é muito utilizada na Robótica, já que é possível ter uma noção aproximada da posição de cada um dos obstáculos do ambiente, além da posição do robô, facilitando a implementação de aplicações em que o robô necessita de autonomia. Sendo assim, a representação do espaço desta pesquisa é obtida através de um Mapa Métrico, mais especificamente, de uma Grade de Ocupação.

### 3.2 Localização baseada em Odometria

Através da etapa de Localização é possível determinar a pose (posição e orientação) aproximada do robô em seu ambiente de atuação. Com a utilização das leituras obtidas pelos sensores em determinados espaços de tempo, o robô deve ter a capacidade de determinar e manter atualizadas as suas posição e orientação no ambiente (Bezerra, 2004). O sensor utilizado neste trabalho é o *encoder*, que possibilita o cálculo da pose do robô através de suas medições em conjunto com um método matemático (Odometria). A Localização baseada em Odometria tem a finalidade de determinar a posição das coordenadas  $x$  e  $y$  do robô no ambiente, além da sua orientação. Esses dados são obtidos através da integração dos deslocamentos incrementais das rodas, tomados a partir de um referencial fixo (Santana, 2007).

O sistema de Odometria do robô é composto por dois *encoders* ópticos de alta resolução, sendo um acoplado à roda direita e outro acoplado à roda esquerda. As leituras desses sensores vão de 0 a 32.767 pulsos, iniciando a contagem do valor zero novamente quando atingem o valor máximo. No *encoder* acoplado à roda direita, a leitura dos pulsos é realizada de maneira

crescente, já no acoplado à roda esquerda, a leitura é realizada de maneira decrescente. A partir dos dados obtidos na leitura, juntamente com as equações do Modelo Cinemático, é possível estimar a Localização do robô em um determinado instante de tempo.

Na Figura 2 pode ser visualizado como é realizado o cálculo da Localização de um robô móvel, que se move de maneira linear em um determinado ambiente. A posição inicial do robô está representada por  $P_0$ , de onde o robô inicia o seu deslocamento ao ponto  $P_1$  (deslocamento  $D_1$ ).  $P_1$  é calculado somando o deslocamento  $D_1$  ao ponto  $P_0$ , isto é,  $P_1 = P_0 + D_1$ . Seguindo a mesma ideia, após o robô realizar o deslocamento  $D_2$ , chegando à posição  $P_2$ , essa nova posição pode obtida somando o deslocamento realizado ao ponto de partida, ou seja,  $P_2 = P_1 + D_2$ . Percebe-se, portanto, que a posição atual do robô pode ser calculada com base no acúmulo dos deslocamentos efetuados por ele, com relação a sua posição inicial.

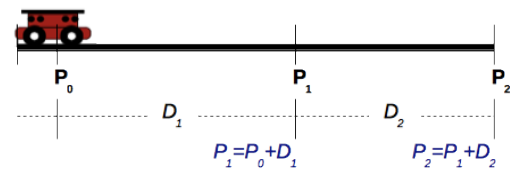


Figura 2: Demonstração do deslocamento obtido por Odometria (Souza, 2008). Após os deslocamentos, o ponto  $P_1$  é calculado somando o deslocamento  $D_1$  ao ponto  $P_0$ . Da mesma forma, o ponto  $P_2$  é calculado somando o deslocamento  $D_2$  ao ponto  $P_1$ .

### 3.3 Planejamento de Caminho utilizando o Algoritmo de Manhattan e busca em vizinhança $N_8(P)$

Planejamento de Caminho consiste em determinar uma rota o robô no espaço de atuação. Para isso, o sistema robótico necessita das configurações inicial e final do robô, além de informações sobre possíveis obstáculos (disponíveis em um Mapa). Por meio dessas informações, o sistema robótico irá determinar uma rota a ser percorrida pelo robô, de modo que seja possível sair de sua posição inicial e chegar na posição final, sem colidir com algum obstáculo.

Para a geração da trajetória pelo sistema é utilizada a Função de Navegação Manhattan, que pode ser definida como sendo uma heurística baseada na atribuição de pesos ao Campo Potencial. Nesse caso, um robô é representado por um ponto localizado no Espaço de Configuração e os movimentos realizados pelo robô levam em consideração um caminho especificado, de acordo com o gradiente negativo de um Campo Potencial. Em outras palavras, essa abordagem atribui um Potencial Atrativo para a posição final do robô e um Potencial Repulsivo aos obstáculos. O Potencial Atrativo é independente dos obstáculos e o Repulsivo é independente da posição final. Contudo,

a soma desses Campos Potenciais (de Atração e de Repulsão) age sobre o robô, uma vez que, se ele seguir o gradiente, espera-se que ele atinja seu objetivo evitando os obstáculos (Almeida, 2011).

O Algoritmo de Manhattan visa o preenchimento da Grade, onde é gerado um Potencial para cada célula de forma crescente a partir da célula que contém a posição final que o robô precisa alcançar. A Figura 3 mostra um Mapa em Grade preenchido de acordo com esse algoritmo. A célula que contém a posição final ( $q_{fim}$ , destacada com azul) recebe o Potencial nulo. Em seguida, suas adjacentes recebem o Potencial da célula central acrescido de uma unidade. Continuamente, as células adjacentes também recebem Potenciais acrescidos de uma unidade de suas vizinhas. Esse procedimento continua até que todo Mapa esteja preenchido por um Potencial. É importante mencionar que os obstáculos representados pelas células em cinza não são levados em consideração durante o preenchimento das células livres, não possuindo um Potencial alocado.

2	1	2	3	4	5	
1	$q_{fim}$	1	2	3	4	
2	1	2	3	4	5	
3	2			5	6	7 $q_{ini}$
4	3			6	7	8 9
5	4			7	8	9 10
6	5	6	7	8	9	10 11
7	6	7	8	9	10	11 12

Figura 3: Geração de Campo Potencial através do Algoritmo de Manhattan, em um ambiente representado por uma Grade de Ocupação. A célula vermelha é a posição inicial ( $q_{ini}$ ), a azul é a posição final ( $q_{fim}$ ), as cinzas indicam obstáculos e as brancas indicam o Potencial definido com o algoritmo.

Após o preenchimento do Mapa com os potenciais, inicia-se a etapa de busca pelo melhor caminho (caminho mais eficiente ou o de menor custo). Existem várias abordagens de busca, como o Algoritmo A\* (lê-se "A estrela"). Esse método é um algoritmo de busca em grafos, que encontra um caminho entre um ponto de origem e um ponto de destino. Ele emprega uma estimativa heurística que classifica cada ponto pela estimativa de melhor rota, passando por esse ponto, até o ponto destino. É garantido que o A\* sempre encontra um caminho entre origem e destino, caso haja um, e mais que isso, ele sempre encontra o caminho com menor custo (Goldberg and Luna, 2005).

O método de busca deste trabalho utiliza o conceito de "Vizinhança-em-Oito", ou  $N8(P)$ , por ser um método com um custo computacional pequeno, bem rápido para o ambiente de atuação do robô. Neste tipo de abordagem, o ponto mais importante é a seleção da estrutura da vizinhança, ou seja, a forma que ela será definida. Quanto maior a vizinhança, melhor é a qualidade das soluções encontradas.

A Figura 4 mostra a representação da vizinhança  $N8(P)$  de um estado  $P$  de coordenadas  $(x, y)$ . O espaço de busca está representado em forma de Grade, com um conjunto de 8 vizinhos nas seguintes coordenadas:  $(x-1, y-1)$ ,  $(x-1, y)$ ,  $(x-1, y+1)$ ,  $(x, y-1)$ ,  $(x, y+1)$ ,  $(x+1, y-1)$ ,  $(x+1, y)$  e  $(x+1, y+1)$ . O algoritmo analisa essas 8 células vizinhas e busca a de menor Potencial.

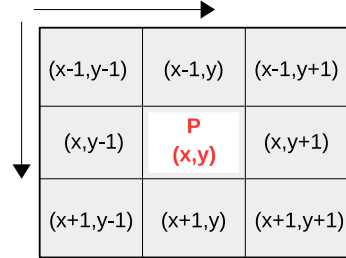


Figura 4: Disposição das coordenadas das 8 células vizinhas  $N8(P)$ , de um estado  $P$  de coordenadas  $(x, y)$ .

Utilizando o conceito da heurística de busca em vizinhança, a partir da célula inicial, o algoritmo fará uma busca nas oito células vizinhas visando a de menor Potencial. Esse processo ocorre até que a célula encontrada seja a célula final. Finalmente, o sistema traça um caminho no ambiente em que o robô deve percorrer.

Na Figura 5 é demonstrado o resultado da aplicação do algoritmo de busca em vizinhança  $N8(P)$  para a geração da trajetória, utilizando o Campo Potencial da Figura 3. A trajetória gerada está destacada de verde. A célula de cor vermelha representa a posição inicial do robô (onde ele deve iniciar o seu percurso), a que está com a cor azul representa a posição destino do robô (onde ele deve concluir o seu percurso) e as de cor cinza simbolizam obstáculos contidos no ambiente, ou seja, por onde o robô não deve se locomover. A partir desse momento, o controlador cinemático de posição gera os comandos de controle (velocidades linear e angular) para acionar os atuadores do robô, de modo que o mesmo execute a trajetória planejada.

2	1	2	3	4	5	
1	$q_{fim}$	1	2	3	4	
2	1	2	3	4	5	
3	2			5	6	7 $q_{ini}$
4	3			6	7	8 9
5	4			7	8	9 10
6	5	6	7	8	9	10 11
7	6	7	8	9	10	11 12

Figura 5: Planejamento de Caminho utilizando o Algoritmo de Manhattan e busca em vizinhança  $N8(P)$  em um ambiente representado por uma Grade de Ocupação. A célula vermelha é a posição inicial ( $q_{ini}$ ), a azul é a posição final ( $q_{fim}$ ), as cinzas indicam obstáculos, as brancas indicam o Potencial e as que estão destacadas de verde informam a trajetória gerada.

#### 4 Experimentos e resultados

Para a validação do sistema, foram realizados experimentos em um ambiente fechado, de dimensão  $3,8m \times 6,0m$ . A Figura 6 mostra esse ambiente representado através de Grade de Ocupação. Cada célula corresponde a um espaço real de dimensão  $0,2m \times 0,2m$ . A Grade possui 19 células na horizontal e 30 na vertical. Na representação, é possível visualizar células brancas que indicam lugares por onde o robô pode navegar e células cinzas indicando lugares com obstáculos e, sendo assim, por onde o robô não pode navegar.

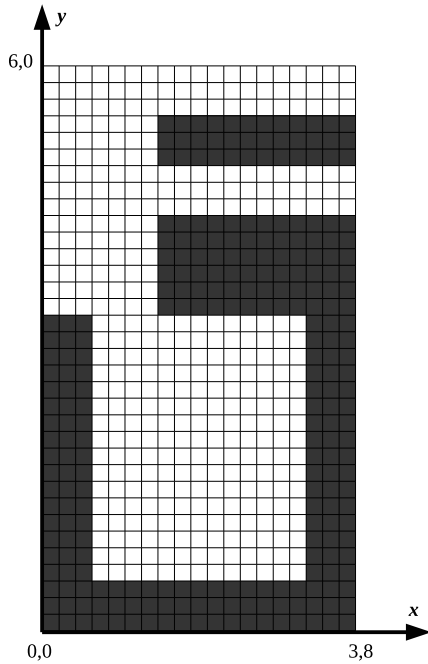


Figura 6: Representação por Grade de Ocupação do ambiente fechado, de dimensão real  $3,8m \times 6,0m$ . Cada célula representa um espaço real de  $0,2m \times 0,2m$ . As células brancas indicam lugares livres e as cinzas indicam os obstáculos.

A Figura 7 ilustra uma Grade de Ocupação do ambiente de trabalho, demonstrando dois espaços diferentes: a célula representada pela cor azul, que indica a posição de saída (inicial) e a célula de cor vermelha, que indica a posição final. Mais especificamente, a posição inicial no ambiente real corresponde ao ponto  $(3,0 ; 1,4)$ , representando  $3,0m$  e  $1,4m$ , nessa ordem. Já a final, corresponde ao ponto  $(3,0 ; 4,4)$ , representando  $3,0m$  e  $4,4m$ , respectivamente. As células representadas pela cor verde indicam o caminho gerado com a execução do Algoritmo de Manhattan.

Após o planejamento, o caminho realmente executado pelo robô X80, com a realização desse experimento, está representado na Figura 8. É possível perceber que ele se deslocou da posição inicial  $(3,0 ; 1,4)$  no ambiente real, até a posição  $(2,7 ; 4,4)$ . Sendo assim, esse resultado constata que o robô percorreu o caminho desejado e o sistema funciona de maneira eficaz.

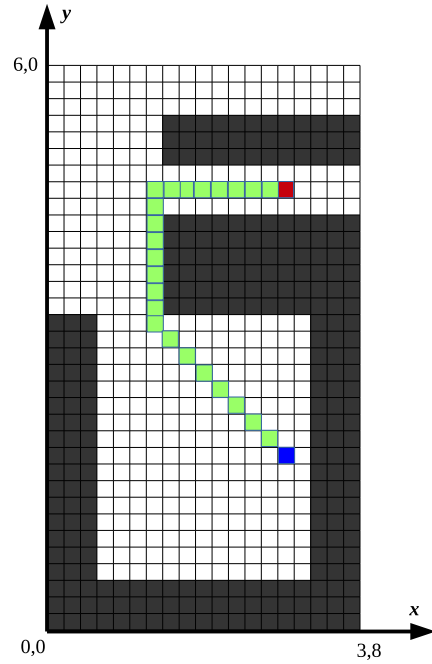


Figura 7: Representação da trajetória gerada pelo sistema em Grade de Ocupação, de dimensão real  $3,8m \times 6,0m$ . As células brancas indicam lugares livres, as cinzas indicam os obstáculos, a vermelha é a posição inicial e a azul indica a posição final (objetivo). A trajetória gerada está destacada de verde.

De acordo com esse dado, a trajetória percorrida pelo robô teve um erro de  $0,17m$  na direção do eixo  $x$ . Considerando as dimensões do ambiente real, é possível inferir que o resultado obtido foi o esperado, já que a trajetória percorrida pelo robô foi semelhante à trajetória especificada na etapa de planejamento de caminho.

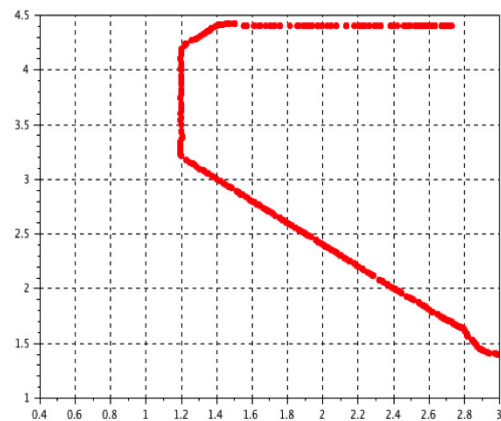


Figura 8: Representação da trajetória executada pelo robô móvel X80 no ambiente real de teste, seguindo a trajetória planejada pelo sistema.

## 5 Conclusão

Neste trabalho foi apresentado um Sistema de Navegação para o robô móvel X80, que tem a função fazer o robô partir de sua configuração inicial e percorrer um caminho até uma configuração final específica, desviando dos possíveis obstáculos contidos no ambiente. Foram necessárias quatro etapas para o desenvolvimento desse sistema: Representação do Ambiente, Localização do Robô, Geração da Trajetória e Execução da Trajetória.

O ambiente fechado utilizado para validação do sistema foi o Laboratório de Aprendizagem Robótica – LAR do Campus de Natal da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, de dimensões 3,8m x 6,0m. Para a Representação do Ambiente, foi utilizado o método por Grade de Ocupação, que consiste em dividir o ambiente em regiões quadrangulares de tamanhos iguais, e por meio do qual, foi possível estimar as informações métricas do ambiente e a Localização exata dos obstáculos.

A Localização do robô no ambiente foi realizada por meio do Modelo Cinemático, o que possibilitou, através das medições dos *encoders*, estimar a posição do robô no ambiente. A posição inicial do robô foi representada com a definição de uma célula específica na Grade de Ocupação, e da mesma forma, a posição final (onde o robô deveria chegar após a navegação). Para a geração da trajetória foi utilizado o algoritmo de função Manhattan.

A execução da trajetória se deu através do controle dos sensores contidos no X80. Utilizando as funcionalidades contidas nos dois *encoders*, um acoplado à roda direita e outro à roda esquerda, o robô foi capaz de realizar sua tarefa (percorrer uma trajetória específica) no ambiente, de maneira autônoma.

Com base nos experimentos realizados, conclui-se que o sistema de navegação implementado funcionou de maneira satisfatória, confirmando a eficácia da representação do ambiente através de Grade de Ocupação, da geração da trajetória utilizando o Algoritmo de função Manhattan e da Localização do robô por meio dos *encoders*.

Diante do sistema desenvolvido e de suas peculiaridades, é possível destacar a possibilidade de utilizar os demais sensores (além dos *encoders*) para estimar a Localização do robô no ambiente, como por exemplo os sonares. Outra alternativa para a Localização seria utilizar a câmera estéreo que o robô X80 possui. Também é possível realizar estudos de heurísticas de exploração para tornar o processo de Mapeamento autônomo.

Atividades com ênfase em Localização e Mapeamentos Simultâneos – SLAM também poderão ser desenvolvidas. Além disso, é possível admitir diferentes tarefas para que o robô X80 execute, como por exemplo, limpar um determinado ambiente fechado, ou buscar determinado objeto conhecido previamente. Para isso, é necessário definir um esquema de tarefas básicas que sejam conhecidas previamente pelo robô.

## Referências

- Almeida, C. E. (2011). Navegação de robô móvel utilizando decomposição do ambiente em células e funções potenciais, *Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*.
- Bezerra, C. G. (2004). Localização de um robô móvel usando odometria e marcos naturais, *Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.
- Goldberg, M. C. and Luna, H. P. (2005). *Otimização combinatória e programação linear*, 2th edn, Elsevier.
- Hata, A. Y. (2010). Mapeamento de ambientes externos utilizando robôs móveis, *Dissertação. Instituto de Ciências Matemática e de Computação da USP*.
- Pedrosa, D. P. F. (2001). Sistema de navegação para robôs móveis autônomos, *Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.
- Robot, D. (2009). Sistema de navegação para robôs móveis autônomos, *WiFi Mobile Robot Development Platform with extreme mobility and Video/Audio Capability: Quick Start Guide*.
- Santana, A. M. (2007). Localização e planejamento de caminho para um robô humanoide e um robô escravo com rodas, *Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.
- Santana, A. M. (2011). Localização e mapeamento de ambientes planos usando visão monocular e representação híbrida do ambiente, *Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.
- Souza, A. A. S. (2008). Mapeamento com sonar usando grade de ocupação baseado em modelagem probabilística, *Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.
- Souza, A. A. S. (2012). Mapeamento robótico 2,5-d com representação em grade de ocupação elevação, *Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*.