

# 1 Introdução

Um robô móvel realmente autônomo é um agente inteligente capaz de se mover por ambientes não estruturados, isto é, que não foram preparados para a operação de robôs, realizando tarefas desejadas, aprimorando seu funcionamento e tomando decisões a partir de sua interação com o ambiente sem depender de seres humanos. Os livros de (ZHENG et. al., 1993; NEHMZONW et. al, 2003; SAM e LEWIS et. al, 2006; TZAFESTAS et al., 1999) abordam as diversas técnicas empregadas na construção de robôs autônomos móveis e suas diferentes aplicações.

A capacidade de navegar pelo ambiente torna os robôs autônomos móveis úteis para diversos tipos de tarefas, como para transporte, monitoramento e inspeção. São, desta forma, ideais para tarefas em ambientes inacessíveis ou perigosos para seres humanos, como, por exemplo, o fundo do mar, o espaço sideral e ambientes radioativos.

Apesar do grande número de aplicações possíveis, os robôs autônomos móveis ainda não são comumente utilizados pela indústria ou em aplicações domésticas. Isso se dá principalmente pela falta de robustez e flexibilidade em sua navegação e em seu comportamento para operar em ambientes não estruturados. Os robôs móveis atualmente encontrados na indústria possuem apenas um certo grau de autonomia, sendo seu funcionamento confinado ao seu ambiente direto, pois operam dependentemente de uma estrutura específica no ambiente. Nesse sentido, pode ser citado o robô móvel GP8 da Seegrid, utilizado para transportar cargas em armazéns, vide Fig. 1.



Figura 1 - Robô GP8 da Seegrid.

A dificuldade de operar em ambientes não estruturados se dá devido à existência de eventos inesperados, às flutuações no ambiente e às incertezas nas informações percebidas através dos sensores. Em geral, a autonomia é mais facilmente adquirida no ar, em virtude da inexistência de obstáculos, e.g. mísseis de cruzeiro (Fig. 2).



Figura 2 – Míssil de cruzeiro (Taurus KEPD 350).

O problema se agrava para veículos terrestres devido às dimensões do terreno, à grande disparidade da densidade da superfície, e à instabilidade do ambiente percebido. Neste aspecto, cite-se o *rover* que opera em Marte, MER-A

(Fig. 3), o qual é capaz de mapear superfícies com visão 3D, computar quais áreas dentro de seu campo de visão são seguras ou não, computar a melhor rota até o objetivo desejado utilizando as áreas seguras, bem como dirigir pela rota calculada.

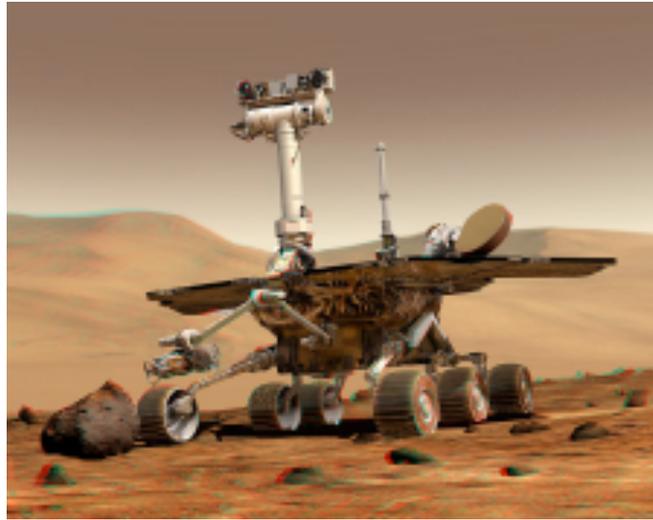


Figura 3 –Rover para operações em solo marciano (MER-A).

O desenvolvimento de um robô autônomo móvel é um processo complexo e multidisciplinar. Isto se deve à necessidade de transformar um mero computador capaz de se mover e perceber algumas propriedades físicas do ambiente em um agente inteligente apto a lidar com incertezas, ambigüidades, contradições e informações com ruído, além de identificar objetos, detectar padrões e regularidades, se localizar, construir mapas, navegar e aprender a partir da sua interação com o mundo.

Os campos disciplinares envolvidos são principalmente: dinâmica, controle, visão computacional, análise de sinais, algoritmos computacionais, teoria da informação, inteligência artificial e teoria da probabilidade. Identificar quais campos serão utilizados dependerá da técnica aplicada para se solucionar o problema. Por exemplo, a solução para o problema de localização, no qual o robô móvel precisa se localizar em um mapa, pode envolver dinâmica, visão computacional e teoria da probabilidade.

Os diversos problemas da robótica móvel podem ser agrupados em quatro módulos distintos - mas interconectados - que se relacionam com o mundo físico e entre si de acordo com o diagrama da Fig. 4:

Percepção – agrupa os problemas relacionados ao sensoriamento do mundo físico;

Movimento – engloba os problemas de controlar o movimento;

Localização – relacionado aos problemas de se localizar em relação ao ambiente e a si mesmo; e

Planejamento – agrupa os problemas que englobam as questões do que fazer, por qual caminho e como fazê-lo.

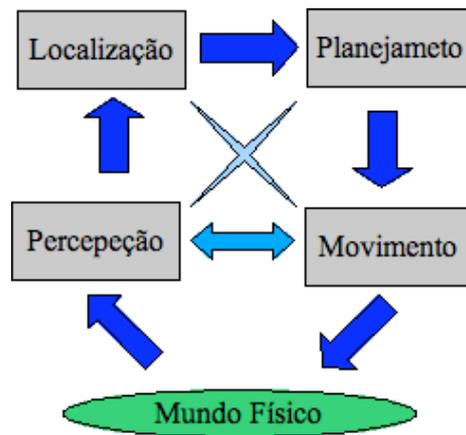


Figura 4 – Diagrama

### 1.1. Motivação

A Petrobras atua na exploração de petróleo e gás na Amazônia, na província de Urucu (AM), na bacia do Rio Solimões, a 650 km da cidade de Manaus. Para escoar tal produção, estão sendo construídos dois gasodutos: Coari-Manaus e Urucu-Porto Velho, com 420 km e 550 km de extensão, respectivamente.

Visando monitorar esses quase mil quilômetros de dutos em uma região de difícil acesso e evitar desastres ambientais, o Laboratório de Robótica do CENPES está desenvolvendo uma série de veículos robóticos anfíbios para monitoramento, denominados robôs ambientais híbridos.

O robô ambiental híbrido é capaz de se mover nas mais diversas configurações de terreno da Amazônia: água, terra e macrófitas aquáticas, e está apto a monitorar cenários adversos utilizando diversos sensores. Na atual versão

do projeto, o robô ainda é tele operado sem realimentação, vide Fig. 5. Versões futuras semi-autônomas e tripuladas estão previstas.

Ao se locomover por uma área tão remota e extensa como a Amazônia e realizar coleta de amostras e dados, torna-se uma questão vital a percepção precisa da posição, possibilitando, assim, a navegação e demarcação de áreas de interesse.



Figura 5 – Robô Ambiental Híbrido.

### **1.2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia que seja capaz de fundir, através de um filtro probabilístico, o sensor inercial e o de GPS de um robô, reduzindo a incerteza de seu posicionamento em ambientes externos.

### **1.3. Justificativa**

Para ser capaz de realizar uma tarefa complexa, e.g. dirigir autonomamente um veículo em um cenário urbano, um robô precisa ser capaz de tomar decisões baseadas no mundo físico que o cerca. O robô percebe este mundo físico através de seus sensores, entretanto este mundo percebido possui um grande número de incertezas.

Robótica probabilística é uma área nova na robótica que se preocupa com percepção e controle em face da incerteza. Através da probabilidade é possível

representar a incerteza dos valores medidos matematicamente, o que possibilita tomar decisões mais robustas em situações reais.

As incertezas podem ser geradas por limitações das informações extraídas de sensores, pois os mesmos estão sujeitos a ruídos, e limites físicos como alcance, resolução e mau funcionamento. As mesmas também podem advir da incapacidade de prever os eventos em um ambiente não controlado, assim como igualmente pode se originar do próprio modelo que o robô possui do mundo por ele percebido, que, por motivos computacionais, é apenas uma aproximação.

#### 1.4.

#### Revisão Bibliográfica

(EVERETT e PETERS et. al., 1995) fornece uma revisão extensa sobre sensores para robôs móveis, entretanto esta deve ser utilizada com cautela, pois a tecnologia dos sensores está sempre evoluindo. (SIEGWART e NOURBAKHSI et. al., 2004) é mais atual e fornece um resumo dos sensores para robôs em seu segundo capítulo. (GREWAL, WEILL e WILEY et. al., 2007; DUDEK e JENKIN et. al., 2008) apresentam informações detalhadas sobre o sensor GPS e o sensor inercial.

(THRUN, BURGARD e FOX et. al., 2005) apresenta uma revisão de probabilidade condicional, e o filtro de Kalman contínuo é abordado de maneira simplificada. (ANDERSON E MOORE et. al., 1979) aborda os conceitos da filtragem estatística, com ênfase no filtro de Kalman, de maneira extensa e detalhada. (THRUN, BURGARD e FOX et. al., 2005) apresenta o filtro de Kalman de forma mais resumida em um de seus capítulos, focando na utilização do filtro para o problema de localização. (WELCH e BISHOP et. al., 2006) fazem uma introdução ao filtro de Kalman discreto e o estendido, além de mostrar, através de exemplos, a influência do ajuste dos parâmetros no resultado da filtragem. (MAYBECK et. al., 1979) explica o porquê de se utilizarem modelos estocásticos ao invés de determinísticos, abordando os conceitos de probabilidade necessários à compreensão e à construção dos mesmos.

(KONG et. al., 2000) apresenta uma modelagem para a navegação inercial de baixo custo, onde na propagação do erro da navegação inercial os erros angulares são assumidos como grandes. Ele comprova sua modelagem aplicando

esta em uma fusão com o GPS através do filtro de Kalman Estendido. (WANG et. al., 2006) também apresenta um trabalho sobre a fusão de um sensor inercial de baixo custo a um GPS, entretanto sua abordagem ao tema é diferente, sugerindo a incorporação de técnicas de inteligência artificial ao filtro de Kalman. (WAGNER e WIENEKE et. al., 2002) discutem o fato de existirem diversas implementações distintas na fusão do GPS com o sensor inercial, através do filtro de Kalman. Eles apresentam em seu trabalho uma sistematização para as diferentes modelagens do filtro e comparam os seus resultados dos mesmos quando aplicados a um mesmo conjunto de dados. (GEORGE e SUKKARIEH) equacionam a fusão do GPS com o sensor inercial utilizando uma implementação acoplada do filtro de Kalman, mostrando os seus resultados quando aplicado à navegação de um veículo autônomo. (BOSE et. al., 1982) apresenta de maneira detalhada o equacionamento da navegação inercial para ambos os tipos de sensores inerciais (“Strapdown“ e “Guimbale”), assim como duas implementações distintas da fusão do sensor inercial com o GPS através do filtro de Kalman: a acoplada e a desacoplada.

### **1.5. Estrutura da Dissertação**

**O capítulo 2** apresenta os sensores mais comumente utilizados para localização. O funcionamento e limitações são brevemente explicados para cada sensor apresentado. O robô ambiental híbrido possui os sensores GPS e inercial (INS) para a localização, logo ambos são apresentados em maiores detalhes e têm suas fontes de erros descritas.

**O capítulo 3** introduz o filtro de Kalman, que consiste num filtro probabilístico que leva em consideração a dinâmica do sistema e as observações feitas pelo mesmo para estimar os estados desejados. Explica-se o conceito de uma estimação probabilística e como o sistema precisa ser descrito em espaço de estado para o filtro poder ser aplicado. O equacionamento do filtro para sistemas lineares e não-lineares é apresentado, assim como o método de linearização por expansão da série de Taylor e o erro resultante da aplicação do mesmo.

**O capítulo 4** apresenta o equacionamento necessário para a fusão do sensor inercial com o GPS. Primeiramente, escolhe-se o modelo da Terra sobre o qual a

fusão será realizada, descrevendo-se, em seguida, os diversos sistemas de coordenadas necessários para o mesmo. A navegação inercial é então equacionada de forma que os resultados do sensor inercial sejam comparáveis com os do GPS. Os erros do sensor inercial são então propagados para a solução de navegação.

**No capítulo 5**, se define o vetor de estados a ser estimado pelo filtro de Kalman através das observações de ambos os sensores e, por conseguinte, determinam-se também as matrizes de observação, dinâmica, entrada e ruídos.

**O capítulo 6** descreve as simulações realizadas visando a validação da teoria proposta e o resultado alcançado com as mesmas.

**No capítulo 7**, o experimento da fusão de um sensor inercial com um GPS através de um filtro de Kalman e são apresentados.

E, finalmente, o **capítulo 8** conclui sobre os resultados observados e propõe trabalhos futuros.