

# 1 Introdução

## 1.1 Definição do Problema

Na atualidade os robôs em geral são muito utilizados para substituir o homem em trabalhos repetitivos, ambientes hostis ou que ofereçam perigo. Em vários casos os robôs são até responsáveis pela realização de uma série de tarefas sem a presença humana, ou seja, há diversas situações nas quais a presença humana faz-se inadequada, ou mesmo impraticável, seja pelo risco inerente envolvendo a sua integridade física, pelo custo elevado, pelo desconhecimento das reais necessidades para a manutenção da vida, ou ainda por restrições de espaço para a execução apropriada de uma dada tarefa.

Dentro deste contexto surgiram os sistemas de teleoperação que como o próprio nome sugere, dizem respeito a um conjunto de dispositivos que permitem ser operados ou manipulados à distância. Geralmente, estes tipos de sistemas são utilizados em explorações oceanográficas ou geológicas em geral, aplicações militares e de resgate para a defesa civil, ocupações de plantas nucleares contaminadas, medicina e explorações espaciais, dentre outras. Podem-se alguns tipos de robô teleoperados visualizar na figura 1.1.

Existem vários tipos de sistemas de teleoperação, dentre os quais podem ser citados: os veículos operados remotamente ou ROV's [1], [2]; Sistemas como o Zeus [3]; [4] que são utilizados em cirurgias robóticas. E, robôs como o Sojourner, que fez parte da missão "Mars Pathfinder" ao planeta Marte [5], [6] e consistia em um teste, onde o Sojourner era controlado a partir de fotos e sinais enviados por ele mesmo para a Terra.

Na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), o departamento de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia tem desenvolvido um sistema Automático em Robô Submarino, o BPM (Braço Passivo Mecânico), que é um sistema pioneiro. Acoplado a robôs submarinos tipo ROV (*Remotely Operated Vehicle*) orienta o robô, que por si só é incapaz de localizar-se no fundo do mar, e o mantém estacionado durante trabalhos de inspeção e reparos em equipamentos de petróleo offshore. Desde o início o sistema suscitou o interesse

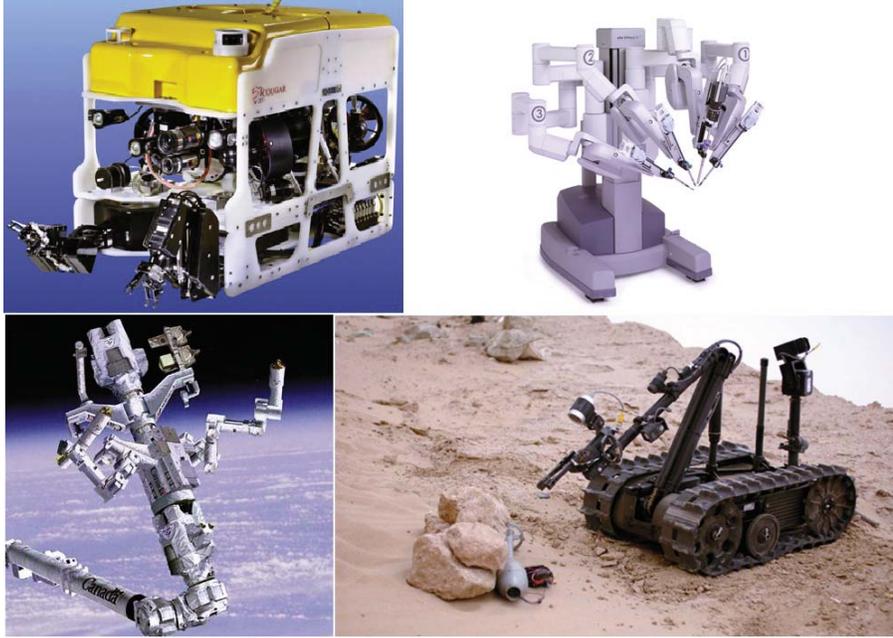


Figura 1.1: Diferentes tipos de Robôs teleoperados

do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Petrobras (CENPES).

Um problema presente em todos os sistemas de teleoperação é a degradação da informação sensorial do ambiente remoto, devido a uma pobre realimentação visual. Este caso é comum em teleoperação, dado que em muitos casos se trabalha em ambientes com pouca visibilidade, um campo de visão limitado ou uma escala microscópica. Oyama[7] desenvolveu um sistema de teleoperação onde a realimentação visual se degradava com a fumaça. O operador controlava um braço mestre cinematicamente, equivalente ao robô escravo de 6 graus de liberdade.

Outro exemplo de teleoperação com uma pobre realimentação visual é a operação de robôs em ambientes submarinos. Inclusive os operadores mais experimentados podem se desorientar trabalhando em águas turbulentas que contêm uma rede complexa de dutos. Isto pode ser causa de acidentes ou perdas de equipamentos por más condições de uso. Em muitos casos, se utilizam simuladores para treinamento com técnicas de realidade aumentada.

Outra dificuldade associada à teleoperação é a presença de retardos nas comunicações devido às longas distâncias. Neste caso, ocorre tanto em aplicações espaciais como terrestres, caso por qualquer razão a comunicação for muito lenta. Em um esquema de teleoperação clássica, o usuário deve adotar uma estratégia que "ordena e espera", o qual conduz a tempos inaceitáveis em tarefas de longa duração.

Muitos destes dos trabalhos que tratam de sistemas com teleoperação de robôs fazem apenas referência à percepção de força isoladamente. Dessa forma, não levam em consideração outros parâmetros importantes envolvidos, como a percepção da textura, temperatura e, inclusive, a sensação de dor. Em vista disto, o termo háptico pode ser definido como a capacidade de avaliar parâmetros como a aspereza, e a força aplicada em um objeto real, ou seja, é a análise de toda a capacidade tátil do ser humano projetado em um equipamento remoto. Se o usuário puder utilizar seu próprio braço para movimentar o robô, e recebendo a realimentação de cada movimento, o manuseio do mesmo se tornará mais fácil e seguro, uma vez que o robô seguirá fielmente o movimento do operador, dando a este a sensação de estar presente no ambiente executando a tarefa. A fidelidade dos movimentos de um robô, em relação ao operador, em alguns casos é de extrema importância.

Pensando e identificando os problemas clássicos de teleoperação (ambientes com pobre realimentação visual, retardos de comunicação e falta de percepção), obtém-se uma considerável melhora quando utiliza-se a realidade virtual e sistemas hápticos integrados a eles.

Atualmente há várias pesquisas nos problemas clássicos de teleoperação, abordando e utilizando a tecnologia háptica. Na maioria dos laboratórios de pesquisa em robótica, existem projetos que tratam de resolver estes tipos de problemas. Citam-se a seguir alguns exemplos em que a colaboração da realidade virtual e a teleoperação estão obtendo importantes avanços.

Na Universidade de California, Blackmon e Stark[8] desenvolveram um modelo de controle para supervisão, utilizando um “*script* de seqüências de trabalho”. O sistema consistia numa estação gráfica de trabalho onde havia um simulador de ambiente remoto. Uma segunda estação de trabalho, colocada em um lugar remoto, controlava um robô RM501 da Mitsubishi de 5 graus de liberdade (figura 1.2). O modelo virtual do robô era controlado pelo operador com um par de *joysticks* de 2 graus de liberdade, onde o operador realizava a tarefa evitando potenciais colisões. Cada *script* da tarefa era realizada primeiro no simulador e logo enviada ao ambiente real. Estes experimentos comprovaram que o sistema oferecia melhor resultado que uma manipulação direta.

Outro trabalho importante foi desenvolvido na Drexel University, numa tese de Doutorado relacionada ao desenho de um robô para cirurgia por computador assistida, cuja utilidade principal foi diminuir traumas aos pacientes com doenças. Nesta pesquisa, restaura-se a capacidade de um retroalimentação de força para cirurgia assistida com robôs[9].

No Brasil, numerosos veículos submarinos foram desenvolvidos para a realização de tarefas submarinas. A aplicação de robôs teleoperados nestes

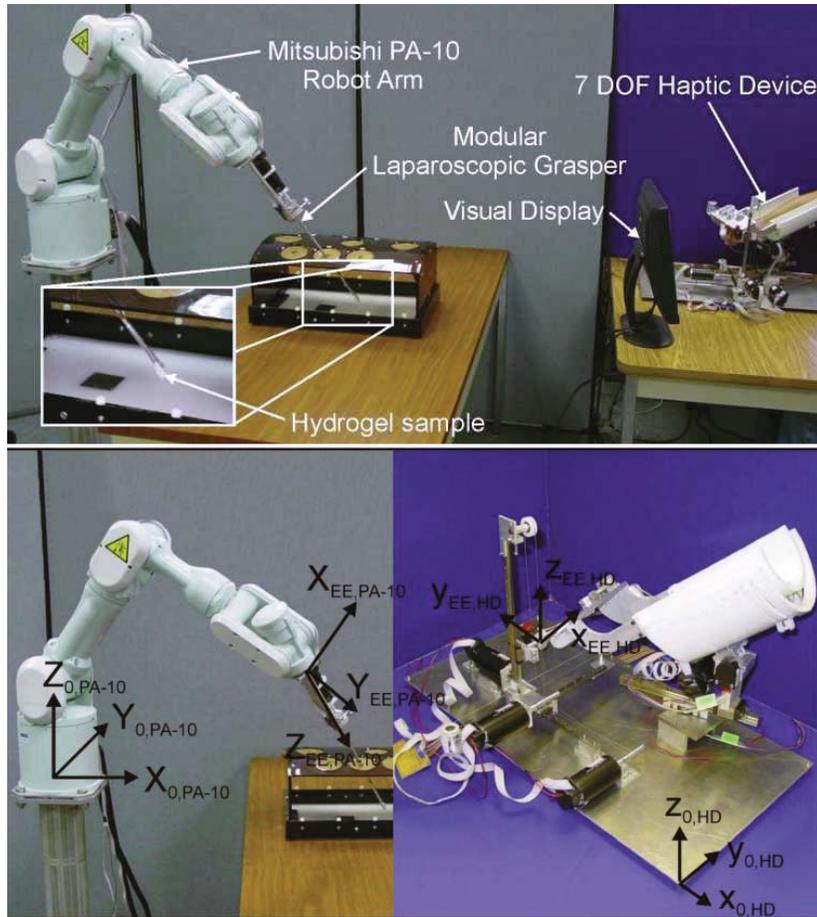


Figura 1.2: Diferentes tipos de Robôs teleoperados [8].

veículos deve-se aos riscos que tem para o humano a realização de trabalhos submarinos, devido às extremas condições de pressão e temperatura, correntes de água, etc. Mas são poucos os trabalhos que tentam incorporar a seu sistema de manipulação uma interface háptica para melhorar sua operação. Este foi o fator preponderante para criação deste projeto, um sistema háptico para teleoperar com realimentação de força, capaz de proporcionar ao usuário do sistema robótico em questão melhor capacidade de executar tarefas. O sistema desenvolvido neste trabalho atua através de um ambiente simulador virtual, onde um robô realizara tarefas ordenadas desde um dispositivo háptico de 5 graus de liberdade de baixo custo.

Os dispositivos hápticos comerciais, que possuem alta precisão e que têm uma funcionalidade em seis graus de liberdade, disponíveis para sua incorporação aos ambientes virtuais, têm o inconveniente de ter um custo relativamente elevado ( Phantom Omni \$2400 USD, Phantom Desktop \$13,000 USD, Phantom Premium 1.5 \$27,500 USD), e isso dificulta o uso em maior

escala, sobre tudo em instituições educativas e de pesquisas. Embora existam dispositivos hápticos de baixo custo no mercado projetados para jogos, estes não têm o número de graus de liberdade requeridos para trabalhos com mais de 3 graus de liberdade.

Um das áreas de oportunidade identificadas neste trabalho de pesquisa é o projeto e adaptação de dispositivos hápticos de baixo custo, integrados a um ambiente virtual de três dimensões, para treinamento e teleoperação de robôs manipuladores. Por isso, é construído um dispositivo háptico de 5 graus de liberdade ligando dois dispositivos de 3 graus de liberdade (Novint Falcon<sup>®</sup>). Além disso, desenvolve-se um ambiente de simulação virtual, onde será teleoperado um modelo do robô manipulador Schilling Titan IV, de 6 graus de liberdade. O ambiente de simulação virtual será desenhado utilizando bibliotecas de OpenGL, ODE (Open Dynamic Engine) e CHAI3D, que são de código fonte aberto.

Para as interações das sensações hápticas ou realimentações de forças, é necessário que haja um sincronismo entre os dois sistemas (virtual-real). Com isto se irá proporcionar uma maior precisão e fidelidade nos movimentos a serem realizados pelo robô, bem como garantir uma maior segurança em um ambiente de trabalho com as condições descritas anteriormente (pois sua principal característica é permitir que o usuário que opera o sistema fique afastado fisicamente do local onde as tarefas serão realizadas).

Muitas aplicações práticas do trabalho em estudo, são em situações de ambientes hostis, que têm emprego em um número de operações, como inspeção de dutos de ar-condicionado e tubulações de alta pressão, na busca de sobreviventes em desabamentos ou tremores, em sistemas de segurança patrimonial, no desarme de bombas, na exploração espacial, etc.

## 1.2 Objetivos da Dissertação

O objetivo geral desta dissertação é estudar a importância dos Sistemas Hápticos e sua utilização, e implementá-lo em um sistema de tele-operação de robôs manipuladores. O sistema é caracterizado por proporcionar uma retroalimentação de força (força de reação), proveniente de um sistema robótico tipo escravo colocado dentro de um ambiente virtual, que também será desenvolvido e que deve permanecer sincronizado com o sistema robótico mestre. O sistema mestre é um dispositivo háptico, cuja movimentação envolve 5 graus de liberdade, para o usuário interagir em tempo real.

O trabalho se concentra em estudar três conceitos importantes:

- Comprovar mediante práticas reais a importância de utilizar sistemas hápticos.
- Desenvolver um simulador de ambiente virtual, capaz de controlar as trajetórias desejadas para um robô de 6 graus de liberdade.
- Aplicação de um dispositivo háptico de 5 graus de liberdade para dirigir o efetuator terminal do robô.

### 1.3

#### Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado está organizada em oito capítulos, sendo o primeiro deles esta breve introdução, que procura dar a ambientação do trabalho realizado.

No capítulo 2 apresenta-se uma narrativa que aborda e mostra definições utilizadas neste trabalho. Além disso, descrevem-se conceitos fundamentais sobre Sistemas Hápticos, Realidade Virtual e tipos de dispositivos Hápticos que atualmente podem-se encontrar em numerosas pesquisas e empresas que os comercializam. Também é feita uma breve descrição de algumas aplicações reais de esta tecnologia.

No capítulo 3 apresentam-se os aspectos e as definições teóricas para estudar a modelagem matemática (cinemática e dinâmica) de um robô manipulador de 6 graus de liberdade (robô escravo). Além do estudo matemático para o manipulador proposto, descrevem-se brevemente dois algoritmos eficientes para estudar e calcular sua dinâmica computacionalmente. Esses algoritmos são ferramentas necessárias para sua implementação no simulador virtual, sobre o qual podem-se aplicar diferentes esquemas de controle.

No capítulo 4 é apresentado um breve estudo e a descrição dos diferentes tipos de algoritmos de controle aplicáveis ao robôs manipuladores. Esses algoritmos de controle foram implementados para o robô estudado no capítulo 3 e serão comparados nas simulações feitas com os diferentes tipos controladores propostos. Isso permitirá escolher o mais apropriado para implementá-lo no simulador virtual.

No capítulo 5 descreve-se o dispositivo háptico Novint Falcon<sup>®</sup>. Mostra-se um estudo de sua modelagem cinemática. Dois Falcons são usados para construir mecanicamente um dispositivo de 5 graus de liberdade (robô mestre). Também estudam-se algumas estratégias para compensar os efeitos gravitacionais devido à massa adicionada na construção do dispositivo, implementando no algoritmo de controle.

No capítulo 6 são apresentados os conceitos básicos para integrar a interface háptica no ambiente virtual para interagir com o dispositivo háptico construído no capítulo 5. Descreve-se a utilização da biblioteca CHAI3D para visualizar e simular em tempo real os cálculos das forças de reação produzidos no ambiente virtual.

No capítulo 7 mostram-se os resultados experimentais com o dispositivo háptico construído. Além disso, apresenta-se a montagem do simulador virtual com um descritivo sobre o mesmo, além dos testes para o sistema, e finalmente discutindo os resultados obtidos nos ensaios realizados sobre a importância de sua utilização.

Finalmente, no capítulo 8 apresentam-se os comentários finais e a conclusão do trabalho, relatando os objetivos alcançados e sugerindo trabalhos que possam ser realizados tomando por base o projeto apresentado.