

**Um Laboratório Virtual de Robótica e Visão
Computacional**

Luciano Rodrigues de Queiroz

Dissertação de Mestrado

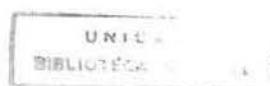
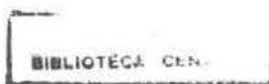
Um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional

Luciano Rodrigues de Queiroz

Novembro de 1998

Banca Examinadora:

- Alberto Elfes (Orientador)
- Heloísa Vieira da Rocha
Instituto de Computação da Unicamp
- Marcel Bergerman
Instituto de Automação da Fundação Centro Tecnológico para a Informática
- Edmundo R. M. Madeira (Suplente)



99.13769

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TOMBO BC/	38062
PROC.	225/99
C	☐
D	☒
PREÇO	55,00
DATA	16-07-99
N.º CPD	

CM-00125536-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP

Queiroz, Luciano Rodrigues de
Q32L Um laboratório virtual de robótica e visão computacional / Luciano
Rodrigues de Queiroz -- Campinas, [S.P. :s.n.], 1998.

Orientadores : Alberto Elfes, Rogério Drumond

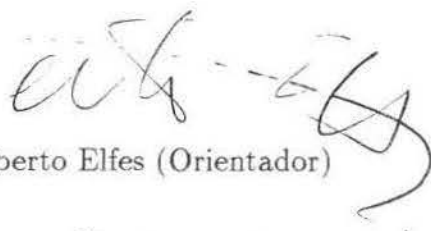
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Computação.

1. Robótica. 2. Ensino a distância. 3. Tecnologia educacional. I.
Elfes, Alberto. II. Drumond, Rogério. III. Universidade Estadual de
Campinas. Instituto de Computação. IV. Título.

Um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação devidamente corrigida e defendida por Luciano Rodrigues de Queiroz e aprovada pela Banca Examinadora.

Campinas, 27 de Novembro de 1998.



Alberto Elfes (Orientador)

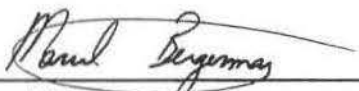


Rogerio Drumond (Co-orientador)

Dissertação apresentada ao Instituto de Computação, UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

TERMO DE APROVAÇÃO

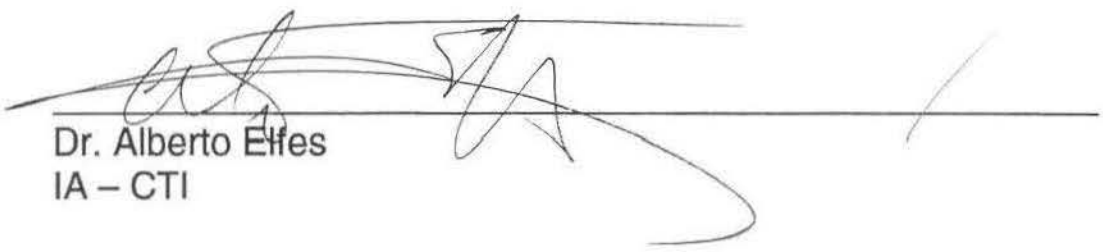
Dissertação defendida e aprovada em 14 de dezembro de 1998,
pela Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores:



Dr. Marcel Bergeman
IA - CTI



Profa. Dra Heloísa Vieira da Rocha
IC - UNICAMP



Dr. Alberto Eltes
IA - CTI

Agradecimentos

Eu gostaria de agradecer ...

A Deus,

que, como por encanto soube compreender os vários tons de meus anseios que, a cada momento, se constituíam num mar de complexidade, proporcionando-me força e saúde e iluminando meus caminhos.

Aos Pais,

Vânia e Vladimir, que me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade iluminando os caminhos obscuros com afeto e dedicação.

Aos Mestres,

que me apontaram os infinitos caminhos da sabedoria e que me deram um grande impulso para chegar ao saber. Um agradecimento especial para o Dr. Alberto Elfes, pela oportunidade e por acreditar em mim, possibilitando-me o cumprimento de mais um grande passo na minha vida.

Ao Amigo Marcel,

que, muito mais do que um “orientador”, mostrou-se um verdadeiro amigo e conselheiro, ajudando-me em tudo o que fosse preciso e em todas as grandes decisões que tive que tomar durante o tempo em que trabalhamos juntos.

Ao Grupo de Robótica e Visão Computacional do CTI,

em especial para Samuel, Rubens, Paulo, Ailton, Tavares e Marcelo, por toda a ajuda prestada e por todo o carinho com que me receberam desde o início do projeto.

Ao Grupo de Capoeira Ginga Pura,

pela força e pelo bem estar físico e mental que me proporcionou durante toda a minha estada em Campinas. Em especial gostaria de agradecer ao mestre Sandro (mestre Coxinha) que muito mais do que um mestre, foi um grande amigo.

Aos Grandes Amigos

que apesar de estarem por último nesta lista, não significa que são menos importantes (muito pelo contrário). A aqueles que estiveram comigo nos vários momentos de alegrias e tristezas, muito obrigado. Em especial: Marilhão, Alessandra, Janne, Glaucita, Marcelo Marcos, André Glub-Glub, Patrício, Amandita, Selma Culega, Kitina, Giselec, Nanni, Márcio Roberto, Ralph, DeCarlo, Geraldo, Walter, Sávio, Luciano, Anne Raquel, Cneves, Ju, Fá, Déia, Dri, Marquinhos, Luiz Gustavo, Possante, Ana Karine e todos os outros que, por eventualidade, posso ter esquecido de colocar nesta lista.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, o meu mais profundo agradecimento.

*Não foi o martelo que deixou perfeitas estas pedras,
mas a água, com sua doçura, sua dança e sua canção.
Onde a dureza só faz destruir, a suavidade consegue esculpir.*

R. Tagore

Resumo

A falta de acessibilidade à educação avançada, caracterizada pelo distanciamento tecnocientífico crescente entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, é um problema que vem sendo considerado por educadores e pesquisadores de várias áreas.

Com o desenvolvimento da Informática e principalmente com o advento da Internet, abriram-se novas fronteiras para a educação a distância, cujos limites e possibilidades ainda não são plenamente conhecidos. Neste sentido, vários estudos estão sendo realizados no que diz respeito a criação e implantação de Laboratórios Virtuais de Pesquisa e Desenvolvimento. Tais laboratórios constituem-se em ferramentas que permitem a aproximação de grupos de pesquisa geograficamente dispersos, através de meios de comunicação de dados, sons e imagens, que promovem a integração de seus recursos computacionais e laboratoriais pela interoperabilidade de dados e aplicativos.

Neste trabalho, é proposto e implementado o primeiro Laboratório Virtual do país. O laboratório é acessível pela Internet, e baseado em uma arquitetura cliente-servidor, incorporando naturalmente os conceitos de telepresença. A plataforma experimental é o robô Nomad 200, equipado com sensores de distância e uma câmera de vídeo. Dois modos de telepresença permitem a utilização do sistema: telepresença básica, onde sequências de comandos de movimentação do robô ou de processamento de imagens compõem a interface de operação; e telepresença avançada, onde tais sequências são geradas automaticamente de forma automática.

Além do estudo prático com o robô, nesta tese são também abordados os conceitos teóricos de educação a distância e laboratórios virtuais. Uma proposta de classificação de laboratórios Virtuais e uma análise dos vários Laboratórios existentes são, assim, apresentados; bem como várias sugestões de trabalhos futuros.

Abstract

The lack of accessibility to advanced education, characterized by the growing technological and scientific gap between industrialized and emergent countries, is a problem being increasingly considered by researchers of several areas. With the most recent developments in computer science and the Internet, new and unexplored frontiers have opened up for distance learning projects. Within these, an important of R & D Virtual Laboratories. Such laboratories constitute a class that bring together geographically distant research groups, through the integration of their laboratorial and computational resources.

In this work we propose and implement the first Brazilian Robotics and Computer Vision Virtual Laboratory. It is accessible via the Internet, based on a client-server architecture, and naturally incorporates the concept of telepresence. The experimental platform is a Nomad 200 mobile robot, equipped with distance sensors and a video camera. Two telepresence modes coexist in this system. In the basic mode, operation is performed through manually-generated sequences of motion or image processing commands. In the advanced mode, such sequences are automatically generated.

Besides de practical implementation of the laboratory, this thesis also deals with the theoretical aspects of distance learning and virtual laboratories. A classification scheme for virtual laboratories is proposed, and several existing laboratories are analysed and classified according to it.

Several suggestion for future work are presented at the end of the thesis.

Conteúdo

Agradecimentos	v
Resumo	viii
Abstract	ix
1 Introdução	1
1.1 Objetivos do Trabalho	2
1.2 Organização da Dissertação	2
2 Educação a Distância	4
2.1 Introdução	4
2.2 Histórico	4
2.3 Conceitos	5
2.4 A World Wide Web e a Educação	6
2.5 Laboratórios Virtuais	7
2.5.1 Conceitos e Benefícios	7
2.5.2 Laboratórios Virtuais: Real ou Virtual?	8
2.6 Classificação de Laboratórios Virtuais	9
2.7 Exemplos de Classificação	11
2.8 Trabalhos Relacionados	12
2.8.1 Nível 1	13
2.8.2 Nível 2	13
2.8.3 Nível 3	15
3 Telepresença	17
3.1 Introdução	17
3.2 Conceituação	17
3.3 Componentes de um Sistema de Telepresença	18
3.4 Realidade Virtual e Telepresença	19

3.5	Limitação da Interação Homem-Máquina	20
3.6	Revisão Bibliográfica	21
3.6.1	Visão Geral	21
3.6.2	Telepresença na Web	21
4	O Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional	24
4.1	Introdução	24
4.2	Proposta de Implementação	25
4.2.1	A linguagem Java	25
4.2.2	Funcionamento do Sistema	27
4.3	Plataforma Experimental	27
4.4	O Subsistema de Telemonitoração	28
4.5	O Subsistema de Teleoperação	29
4.6	O Subsistema de Auto Proteção	30
4.7	A Arquitetura do REAL	30
4.8	Interface Homem-Máquina	32
4.9	Interface de Controle do REAL	33
4.9.1	Página Principal	34
4.9.2	Janela de Funções de Processamento de Imagens	34
4.9.3	Janela de Funções de Movimentação do Robô	41
5	Funcionalidade do REAL	43
5.1	Introdução	43
5.2	Modos de Controle	43
5.2.1	Telepresença Básica	43
5.2.2	Telepresença Avançada	48
5.3	Detalhamento de Implementação	49
5.3.1	Comunicação Cliente-Servidor	49
5.3.2	Método de Busca do Robô na Imagem	51
5.3.3	Método de Navegação	52
5.4	Compartilhamento do Laboratório Virtual	53
6	Conclusão	55
6.1	Contribuições	55
6.2	Extensões e trabalhos futuros	56
	Bibliografia	58

Lista de Tabelas

3.1	Comparação entre Telepresença e Telepresença Virtual.	19
-----	---	----

Lista de Figuras

2.1	O conceito de Laboratório Virtual: (A) pesquisa remota; (B) pesquisa cooperativa.	7
2.2	Classificação de Laboratórios Virtuais em três níveis diferentes.	10
2.3	Camadas que compõem um Laboratório Virtual.	11
2.4	Camadas que compõem um Meta-Laboratório Virtual.	11
2.5	Fronteiras nos três níveis de Laboratórios Virtuais.	12
3.1	Telepresença = Telemonitoração + Teloperação.	18
4.1	Conceito de um Laboratório Virtual, utilizando a arquitetura cliente-servidor.	25
4.2	Funcionamento de um Laboratório Virtual de Robótica.	26
4.3	Sequência de eventos na comunicação cliente-servidor.	28
4.4	Robô Nomad 200.	29
4.5	Configuração experimental.	30
4.6	Sequência de eventos do subsistema de telemonitoração.	31
4.7	Sequência de eventos do subsistema de teloperação.	31
4.8	A arquitetura do REAL.	32
4.9	Conceito de interface homem-máquina	32
4.10	Página de boas-vindas do REAL.	35
4.11	Página que explica o que é o REAL.	36
4.12	Página sobre como utilizar a interface do REAL.	37
4.13	Página de publicações a respeito do REAL.	38
4.14	Página informando ao usuário que o laboratório está ocupado.	39
4.15	Página principal do REAL.	40
4.16	Janela de comandos das funções de processamento de imagem.	41
4.17	Janela de comandos das funções de movimentação do robô.	42
5.1	Janela apresentando ao usuário a notícia de que a detecção de bordas baseado no Laplaciano foi realizado.	44
5.2	Sequência de operações realizadas na janela de funções de movimentação do robô.	46

5.3	As posições do robô no início (A) e após realizar os comandos <i>Zeroing</i> (B), <i>Move Forward: 1m</i> (C), <i>Turn Right: 45 degrees</i> (D).	47
5.4	Posições do robô antes (A) e após (B) detectar a presença do objeto. . . .	48
5.5	Janela de movimentação do robô informando de que foi detectado um objeto na frente do robô.	48
5.6	Posições do robô, visto pela câmera do teto antes (A) e após (B) atingir o ponto destino escolhido pelo usuário.	49
5.7	Esquema de comunicação do REAL.	50
5.8	O processo de localização do robô na imagem: image original (A) e a resultante do processamento de imagem (B).	52
5.9	Imagens do robô antes (A) e após realizar os processamentos <i>Open Top-hat</i> (B), <i>Opening</i> (C), <i>Thresholding</i> (D).	53
5.10	Método básico de navegação para o REAL.	54

Capítulo 1

Introdução

A falta de acessibilidade à educação avançada, caracterizada pelo distanciamento tecnocientífico crescente entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, é um problema que vem sendo considerado por educadores e pesquisadores de várias áreas. Formas alternativas de proporcionar educação a um número maior de pessoas e, até mesmo, facilitar e incentivar o aprendizado e a pesquisa, vêm sendo estudadas.

Com o desenvolvimento da informática e principalmente com o advento da Internet, abriram-se novas fronteiras para a educação a distância, cujos limites e possibilidades ainda não são plenamente conhecidos. Trabalhos nessa área vêm de encontro à demanda por estudos e investigações sobre como utilizar o computador em favor de um desenvolvimento e de uma modernização que permitam a expansão da criatividade e da autonomia do ser humano.

Quando nos referimos ao termo educação devemos ter em mente os dois lados que constituem o aprendizado: o lado teórico, formando a base do conhecimento, e o lado prático, possibilitando ao aprendiz aplicar e desenvolver todo o conhecimento antes adquirido. É certo que tanto o lado prático quanto o teórico têm a sua importância na escala do aprendizado. Entretanto, a necessidade de recursos para a viabilização de experimentos práticos está muitas vezes além da capacidade de muitas instituições de ensino, pois o projeto e a construção de laboratórios e sistemas no nível do estado da arte demanda muito tempo e dinheiro.

No sentido de permitir que cada vez mais pessoas tenham acesso à experimentação prática, vários estudos estão sendo realizados no que diz respeito à criação e implantação de Laboratórios Virtuais de Pesquisa e Desenvolvimento. Tais laboratórios constituem-se em ferramentas que permitem a aproximação de grupos de pesquisa geograficamente dispersos, através de meios de comunicação de dados, sons e imagens, que promovam a integração de seus recursos computacionais e laboratoriais pela interoperabilidade de dados e aplicativos.

Devido a ausência de definições para o termo “Laboratório Virtual”, é proposto uma possível classificação, de acordo com a forma como são apresentados aos usuários. Além disso, para permitir um estudo de caso, as áreas de robótica e visão computacional foram escolhidas como plataforma de desenvolvimento de um Laboratório Virtual. Por serem áreas onde resultados experimentais são fundamentais para a validação de métodos propostos e por necessitarem de equipamentos com um alto custo, robótica e visão computacional beneficiam-se largamente do conceito de Laboratórios Virtuais. Desta forma, será apresentado um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional, o primeiro do país e um dos pioneiros no mundo. Este Laboratório Virtual foi implementado utilizando os conceitos advindos de tecnologias de telepresença, tecnologia esta que pode ser entendida como a união das capacidades de telemonitoração e teleoperação de um espaço remoto. Através de técnicas de telepresença o ser humano pode observar e atuar em objetos distantes com grandes reduções de custo e de perigo a sua pessoa. No caso do Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional, a telemonitoração se dá através de câmeras de vídeo, enquanto que a teleoperação se dá através da movimentação de um robô móvel.

1.1 Objetivos do Trabalho

Os objetivos do trabalho são os seguintes:

- apresentar uma proposta de arquitetura básica para um Laboratório Virtual;
- apresentar a implementação e as funcionalidades de um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional. Tal implementação utiliza-se dos conceitos de telepresença, uma componente natural de todo processo que exige a movimentação de objetos a distância;
- conceituar e caracterizar o termo “Laboratório Virtual” e apresentar uma proposta de classificação para o mesmo.

1.2 Organização da Dissertação

Além desta introdução, esta dissertação é composta por mais cinco capítulos:

- O Capítulo 2 discorre sobre alguns conceitos utilizados durante o trabalho, tais como educação a distância e Laboratórios Virtuais, além de apresentar uma caracterização e uma proposta de classificação para Laboratórios Virtuais e alguns trabalhos relacionados, de acordo com a classificação proposta.

- O Capítulo 3 aborda os conceitos relativos à tecnologia de telepresença, quais os componentes de um sistema de telepresença, algumas comparações entre Realidade Virtual e Telepresença, bem como as limitações impostas por estes tipos de tecnologia.
- O Capítulo 4 apresenta uma proposta de implementação para Laboratórios Virtuais, os protocolos de comunicação entre o usuário e o ambiente remoto, bem como a implementação de um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional, batizado com o nome REAL.
- O Capítulo 5 apresenta as funcionalidades do REAL, os modos de controle através da telepresença básica e avançada e alguns detalhes de implementação.
- O Capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas neste trabalho, bem como suas principais contribuições e possibilidades de extensão.

Capítulo 2

Educação a Distância

2.1 Introdução

A educação a distância é um recurso de incalculável importância como modo apropriado para atender a grandes contingentes de interessados, de forma rápida, efetiva e de baixo custo, sem reduzir a qualidade dos serviços oferecidos.

A escolha da modalidade da educação a distância, como meio de dotar as instituições educacionais de condições para atender às novas demandas por ensino e treinamento ágil, célere e qualitativamente superior, tem por base a compreensão de que, a partir dos anos sessenta, a educação a distância começou a distinguir-se como uma modalidade não convencional de educação, capaz de atender com grande perspectiva de eficiência, eficácia e qualidade aos anseios de universalização do ensino e, também, como meio apropriado à permanente atualização dos conhecimentos gerados de forma cada vez mais intensa pela ciência e cultura humana [31] .

Neste capítulo apresentaremos um pouco da história da educação a distância, alguns dos vários conceitos utilizados para defini-la, o conceito utilizado no decorrer deste trabalho e as facilidades de se tê-la utilizando o serviço WWW. Apresentaremos também os conceitos, características, benefícios e dúvidas de uma ferramenta utilizada em educação a distância e que vem despertando o interesse de milhares de pesquisadores em todo o mundo: Laboratórios Virtuais. Por último apresentaremos uma definição para uso de tal termo, uma proposta de classificação para tais laboratórios e uma série de trabalhos relacionados.

2.2 Histórico

A educação a distância vem de uma longa história de experimentações, sucessos e fracassos [31] . Sua origem recente está nas experiências de educação por correspondência iniciadas

no final do século XVIII e com largo desenvolvimento a partir de meados do século XIX, chegando aos dias de hoje a utilizar multimeios que vão desde os impressos a simuladores *on-line*, em redes de computadores, avançando em direção da comunicação de dados, voz e imagens via satélite ou por cabos de fibra ótica, com aplicação de formas de grande interação entre o aluno e o centro produtor, quer utilizando-se de técnicas de inteligência artificial, ou mesmo de comunicação instantânea com professores e monitores.

2.3 Conceitos

Há conceitos que, por sua pouca maturidade ou grande dependência com outros já dominantes, demoram muito a firmar-se a partir de suas próprias características [31]. Com a educação a distância aconteceu assim. Primeiro conceituou-se, por ser também mais simples e direto, o que não seria educação a distância. Somente a partir das pesquisas dos anos 70 e 80, ela foi vista pelo que é, ou seja, a partir das características que a determinam ou por seus elementos constitutivos.

Desta forma, as primeiras abordagens conceituais que qualificavam a educação a distância pelo que ela não era, tomavam um referencial externo ao próprio objeto como paradigma, pois estabeleciam comparação imediata com a educação presencial, também denominada educação convencional, direta ou face-a-face, onde o professor, presente em sala de aula, é a figura central. No Brasil, até hoje, muitos costumam seguir o mesmo caminho, preferindo tratar a educação a distância a partir da comparação com a modalidade presencial da educação. Essa abordagem não é de toda incorreta, mas promove um entendimento parcial do que é a educação a distância e, em alguns casos, estabelece termos de comparação pouco científicos.

Estudos mais recentes apontam para uma conceituação, se não homogênea, mais precisa do que é educação a distância.

Walter Perry e Greville Rumble [31] afirmam que a característica básica da educação a distância é o estabelecimento de uma comunicação de dupla via, na medida em que o professor e o aluno não se encontram juntos na mesma sala, requisitando, assim, meios que possibilitem a comunicação entre ambos, como correspondência postal, correspondência eletrônica, telefone ou telex, rádio, *modem*, vídeo-disco controlado por computador, televisão apoiada em meios abertos de dupla comunicação, entre outros.

Desmond Keegan [31] afirma que o termo genérico de educação a distância inclui um conjunto de estratégias educativas referenciadas por: educação por correspondência, utilizado no Reino Unido; estudo em casa (*home study*), nos Estados Unidos; estudos externos (*external studies*), na Austrália; ensino a distância, na *Open University* do Reino Unido. E, também, *télé-enseignement*, em Francês; *Fernstudium/Fernunterricht*, em Alemão; *educación a distância*, em Espanhol; e teleducação, em Português.

Segundo G. Dohmem [31], educação a distância é uma forma sistematicamente organizada de auto-estudo onde o aluno se instrui a partir do material de estudo que lhe é apresentado, onde o acompanhamento e a supervisão do sucesso do estudante são levados a cabo por um grupo de professores. Isto é possível de ser feito a distância através da aplicação de meios de comunicação capazes de vencer longas distâncias. O oposto de “educação a distância” é a “educação direta” ou “educação face-a-face”: um tipo de educação que tem lugar com o contato direto entre professores e estudantes.

Já para O. Peters [31], educação a distância é um método racional de partilhar conhecimento, habilidades e atitudes, através da aplicação da divisão de trabalho e de princípios organizacionais, pelo uso extensivo de meios de comunicação, especialmente para o propósito de reproduzir materiais técnicos de alta qualidade, os quais tornam possível instruir um grande número de estudantes ao mesmo tempo, enquanto esses materiais durarem. É uma forma industrializada de ensinar e aprender.

2.4 A World Wide Web e a Educação

De todos os desenvolvimentos recentes nas tecnologias de redes avançadas, é a World Wide Web aquela que capturou verdadeiramente a imaginação de milhões de tecnófilos e *experts* em informática. Desde a sua popularização em 1993, a WWW (também conhecida como W3 e Web) vem sendo utilizada de uma maneira incontrolável pelos mais variados tipos de pessoas, nas mais variadas áreas.

A “Internetmania” é, porém, mais do que uma moda: ela marcou o começo daquilo que muitos analistas afirmam ser uma mudança fundamental na forma de se fazer computação. Contribuindo com a visão de “ausência de fronteiras” de um mundo globalizado, várias promessas tem sido publicadas sobre as potencialidades da Internet nas mais diversas áreas (educação, negócios, marketing, entre outras). A idéia de se possuir uma infinidade de informações, as quais podem ser acessadas através de uma interface gráfica amigável tais como os programas de navegação, ou navegadores (*browser*), é muito sedutora. Alguns chegam até a afirmar que o *browser* está sendo cada vez mais a interface do usuário com o mundo moderno.

Originalmente concebida como um método experimental para organizar e melhorar o acesso às informações da Internet para pesquisadores e entusiastas de computadores, a WWW apresenta-se hoje como uma poderosa ferramenta educacional, nos mais diversos ramos do saber. Devido a sua alta popularidade, disponibilidade e facilidade de ser utilizada como um meio de comunicação capaz de vencer longas distâncias, ela é capaz de tornar-se o elo de ligação entre milhares de estudantes com milhares de centros produtores de saber.

2.5 Laboratórios Virtuais

2.5.1 Conceitos e Benefícios

Com o desenvolvimento da Informática, e principalmente com o advento da Internet, abriram-se novas fronteiras para a educação a distância, cujos limites e possibilidades ainda não são plenamente conhecidos. No sentido de utilizar o máximo destas possibilidades, vários estudos estão sendo feitos no que diz respeito a criação e implantação de Laboratórios Virtuais.

Um Laboratório Virtual de Pesquisa e Desenvolvimento é uma ferramenta que permite a aproximação de grupos de pesquisa geograficamente dispersos através de meios de comunicação de dados, sons e imagens, que promovem a integração de seus recursos computacionais e laboratoriais pela interoperabilidade de dados e aplicativos.

De uma forma mais simples, dizemos que um Laboratório Virtual permite que usuários localizados distantes de um laboratório educacional ou de pesquisa utilizem remotamente os recursos do mesmo, como se os usuários estivessem presentes fisicamente no laboratório. Neste contexto, podemos dizer que é possível a realização de pesquisa remota, onde o pesquisador de um laboratório 1 acessa os recursos de um laboratório 2, e vice-versa (Figura 2.1 (A)); bem como a realização de pesquisa cooperativa onde dois grupos de pesquisadores distantes se unem para realizar experimentos em um ou mais Laboratórios Virtuais espalhados pelo mundo (Figura 2.1 (B)).

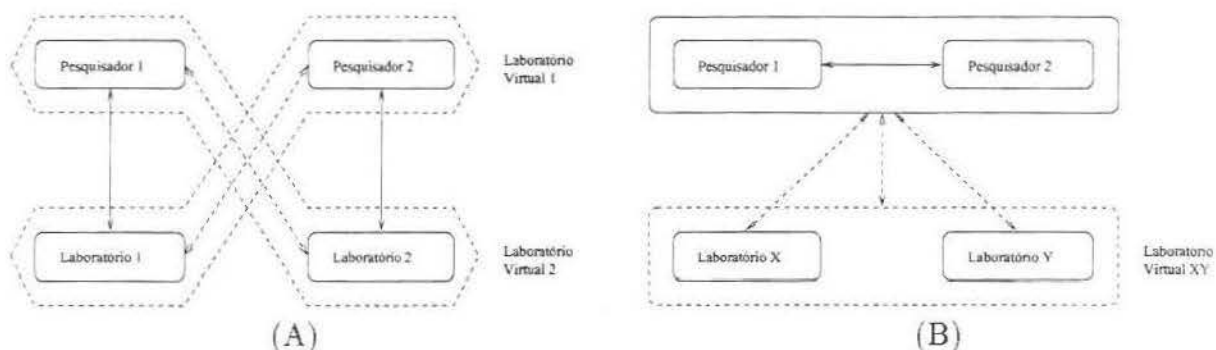


Figura 2.1: O conceito de Laboratório Virtual: (A) pesquisa remota; (B) pesquisa cooperativa.

Dentre os vários benefícios obtidos quando da implantação de Laboratórios Virtuais, podemos destacar:

- a possibilidade de compartilhamento de recursos até então restritos a um número limitado de pessoas, já que múltiplos usuários, em diferentes localidades geográficas, podem compartilhar, de forma cooperativa, um único recurso;

- o aumento da quantidade de acesso a materiais pedagógicos por parte dos mais variados tipos de interessados, como estudantes do ensino fundamental, médio e superior;
- o estabelecimento de padrões de divulgação de trabalhos científicos, principalmente em áreas práticas, uma vez que os pesquisadores podem demonstrar, de forma experimental, métodos propostos em simulação;
- o aumento de produtividade através da redução do tempo de viagens, através da capacitação de pesquisadores a participar de múltiplos experimentos distribuídos geograficamente.

Colocar tais laboratórios na Internet introduz os “estudantes virtuais” às experiências sem os altos custos, restrições de tempo e limitações de espaço, impostas por um laboratório real.

Para exemplificar isto, vamos supor que um típico laboratório de engenharia elétrica necessite de 30 osciloscópios. Com estas ferramentas, apenas 30 estudantes poderiam conduzir experimentos de uma vez.

Vamos supor agora que seja possível simular tais experimentos através de um equipamento virtual, algo que existisse apenas na tela de um computador, mas permitisse ao usuário comandar e alterar os acontecimentos, simulando exatamente o que um osciloscópio real faria caso o estudante estivesse na frente dele.

Neste caso pode-se argumentar que os estudantes não teriam a total experiência quando utilizassem o laboratório virtual. Mas suponhamos que 80% do efeito seja obtido. Mesmo assim o custo é bastante reduzido, comparado com o custo do laboratório real. Além disso, qualquer estudante com um computador e acesso a Internet poderia ser capaz de utilizar o equipamento virtual.

Uma outra suposição que pode ser feita é o caso em que não será feita a simulação das experiências, mas sim a realização real, só que de uma forma remota. Neste caso, o Laboratório Virtual também é altamente vantajoso. Apesar da quantidade de equipamentos ser a mesma, estudantes de outras instituições que não possuem tais equipamentos podem estar acessando-os, a qualquer hora, e, conseqüentemente, beneficiando-se desta facilidade sem as limitações de tempo, espaço e custo.

2.5.2 Laboratórios Virtuais: Real ou Virtual?

O termo Laboratório Virtual não é um conceito totalmente isolado da realidade. Eles estão se proliferando com grande rapidez por serem considerados ambientes de pesquisa de grande sucesso nos meios acadêmicos e ferramentas de grande utilidade para o trabalho

experimental. Entretanto, a utilização do termo virtual pode causar algumas dúvidas, conforme veremos logo abaixo.

A definição de “virtual” segundo o dicionário Aurélio [1], é:

Virtual. [Do lat. escolástico *virtuale*] Adj. **1.** Que existe como faculdade, porém sem exercício ou efeito atual. **2.** Suscetível de se realizar; potencial. **3.** *Filos* Diz-se do que está predeterminado e contém todas as condições essenciais à sua realização.

Como podemos observar, segundo a definição acima, um Laboratório Virtual é um laboratório que não existe, mas que contém as condições essenciais à sua realização. Ou seja, apesar dele não existir, ele é capaz de simular um laboratório real, permitindo a realização de todos os experimentos como se fosse o próprio laboratório real. Note que nestes casos há somente uma simulação do laboratório real.

Para o caso em que os laboratórios somente simulam as experiências, a afirmativa acima é válida. Entretanto, como fica esta definição para os casos de Laboratórios Virtuais onde o usuário é capaz de interagir com o ambiente remoto e realizar experimentos reais sobre o assunto a ser estudado? Note que neste caso não há uma simulação de um laboratório real, mas sim a execução remota de um experimento em um laboratório real.

Para estes casos, poderíamos utilizar outros termos, tais como “Laboratório de Experimentação Remota” ou, simplesmente, “Laboratório Remoto”. Entretanto, “Laboratório Virtual” é um termo largamente utilizado nos meios acadêmicos e que foi incorporado ao trabalho devido a sua grande utilização.

Analisando este último caso de uma outra forma, podemos fazer uma dissociação entre o ambiente físico do laboratório (sala ou local onde ele se encontra) e os equipamentos nele contidos. Desta forma, o laboratório poderá ser encarado como um Laboratório Virtual pois o ambiente físico que é apresentado ao usuário, e no qual ele está inserido, não existe (é somente a tela de um computador mostrando uma página WWW ou *site*), apesar dele conseguir manipular equipamentos reais de um laboratório remoto.

2.6 Classificação de Laboratórios Virtuais

Analisando o conceito, as características e alguns Laboratórios Virtuais já existentes, apresentamos como contribuição deste trabalho, uma proposta de classificação para tais laboratórios, dependendo da forma como são apresentados ao aluno¹, ou do nível de interação entre o aluno e o ambiente remoto.

A classificação proposta é baseada em uma pirâmide de três níveis (Figura 2.2).

¹Neste trabalho denominaremos o termo aluno como sendo o usuário do Laboratório Virtual.

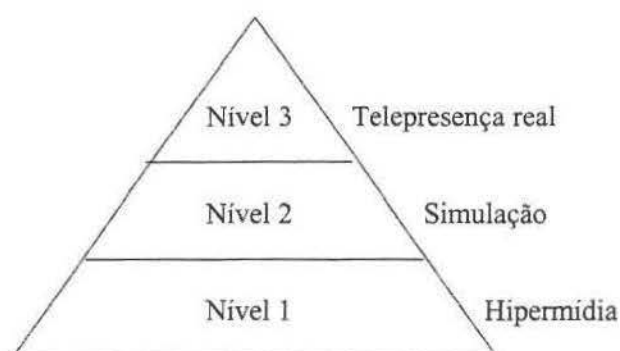


Figura 2.2: Classificação de Laboratórios Virtuais em três níveis diferentes.

O nível 1, hipermedia, que está na base da pirâmide, contém os Laboratórios Virtuais que apresentam ao usuário somente textos, figuras ou vídeo sobre o assunto a ser ensinado. Note que neste tipo de laboratório, o nível de interação entre o usuário e o ambiente remoto é geralmente baixo, restrita somente à captura de informações (material didático) que se encontram distantes do usuário.

No nível 2, simulação, encontramos laboratórios que apresentam um nível de interação bem maior que o primeiro. Neste caso, o usuário é capaz de fazer uma simulação das experiências que seriam realizadas no laboratório real.

Já no nível 3, telepresença real, o usuário é capaz de interagir com o ambiente remoto e realizar experimentos reais sobre o assunto a ser estudado. Neste nível, existe um laboratório físico real que, em conjunto com uma camada de abstração de entrada e saída (I/O) e o meio de telecomunicação, constitui o laboratório virtual (Figura 2.3). Existe ainda o caso em que mais de um laboratório é utilizado para a realização de pesquisas. Neste caso podemos designar tal composição como sendo um “Meta-Laboratório Virtual” (Figura 2.4).

É importante ressaltar que no nível 3, os conceitos advindos de tecnologias de telepresença apresentam-se como uma componente natural do processo de educação a distância, uma vez que o usuário deve projetar-se fisicamente no ambiente remoto a fim de realizar os experimentos. Maiores detalhes desta tecnologia serão apresentadas no próximo capítulo. Além disso, é importante lembrar que apesar das fronteiras dos três níveis apresentados serem bastante definidas, um mesmo laboratório pode apresentar características de mais de um nível (Figura 2.5). Neste caso ele é classificado como sendo do nível mais alto na pirâmide de classificação.

A seguir, apresentaremos exemplos para cada um dos níveis apresentados.

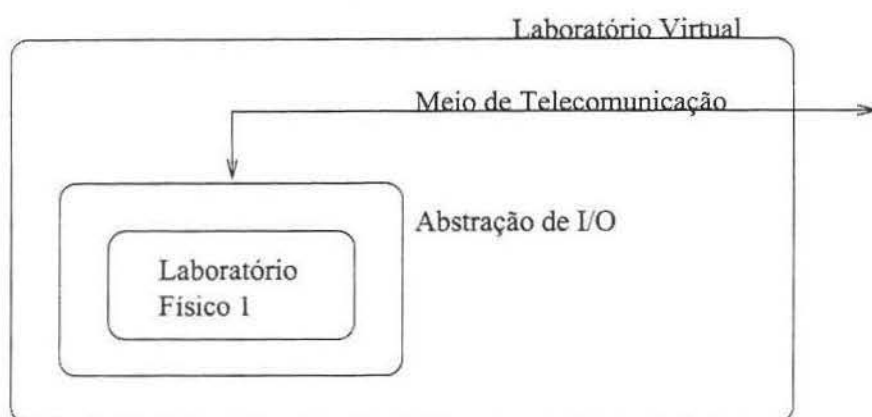


Figura 2.3: Camadas que compõem um Laboratório Virtual.

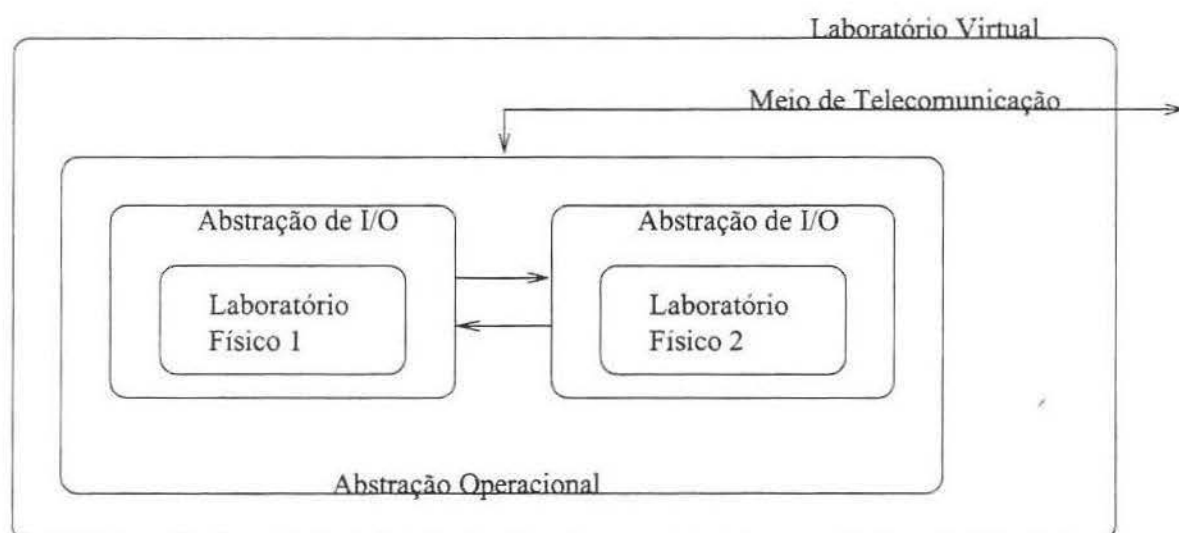


Figura 2.4: Camadas que compõem um Meta-Laboratório Virtual.

2.7 Exemplos de Classificação

Vamos supor o caso de um Laboratório Virtual de Biologia cujo experimento caracteriza-se por classificar uma série de bactérias como sendo eucarionte ou procarionte. Note que este laboratório pode facilmente ser mapeado para um laboratório real. Portanto, pode ser considerado um Laboratório Virtual. A seguir, apresentaremos características deste mesmo laboratório para três casos diferentes, de acordo com cada um dos níveis apresentados.

Suponha que neste Laboratório Virtual de Biologia, seja apresentado para o usuário uma série de fotos e até mesmo textos contendo algumas informações, e que o usuário deva observar as fotos e classificar as bactérias. Note que são apresentados ao usuário

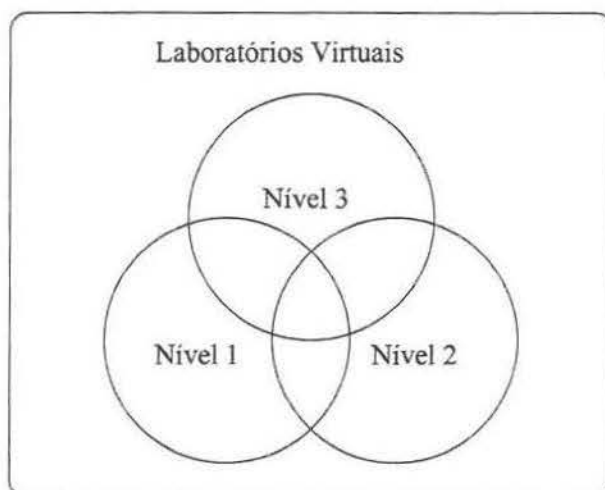


Figura 2.5: Fronteiras nos três níveis de Laboratórios Virtuais.

somente textos e fotos, não havendo qualquer tipo de simulação ou manipulação remota de um equipamento real. Portanto, este laboratório está no nível 1.

Vamos supor agora que, ao invés de serem apresentadas somente fotos e textos, o usuário possa analisar as bactérias de uma forma mais concisa, através de um microscópio virtual, fazendo a simulação de um microscópio real. Note que, neste caso, há a simulação de um microscópio e, portanto, tal laboratório é classificado como sendo do nível 2.

Suponha agora que o usuário seja capaz de acessar um microscópio de uma outra instituição e seja capaz de analisar a estrutura da bactéria e chegar às devidas conclusões. Neste caso, tal laboratório é considerado como sendo do nível 3.

2.8 Trabalhos Relacionados

A experiência prática é uma componente muito importante da educação, mas a necessidade de recursos é intensa. Projetar e construir experimentos práticos no estado-da-arte demanda muito tempo e dinheiro. O compartilhamento de recursos localmente e remotamente permite que um laboratório bem equipado possa ser utilizado de uma maneira mais intensa, diminui o custo do experimento por estudante e torna mais experimentos disponíveis a mais estudantes.

Antigamente, o estudante tinha que estar fisicamente presente em um laboratório para ganhar experiência prática. Hoje em dia, com a implantação de laboratórios virtuais nas mais diversas áreas, esta restrição não é mais válida. Podemos encontrar hoje na Internet os mais diversos tipos de Laboratórios Virtuais, nas mais diversas áreas e dentro de cada um dos níveis apresentados, como visto na sequência.

2.8.1 Nível 1

Como mencionado anteriormente, os trabalhos constantes no nível 1 caracterizam-se por possuírem uma ênfase no lado teórico do saber e por não possuírem uma grande interação com o usuário (geralmente são apresentados textos e/ou imagens). É interessante notar que, frente aos grandes recursos computacionais existentes nos dias de hoje, é difícil encontrar laboratórios com características exclusivas do nível 1. Em geral, tais laboratórios estão voltados mais para aplicações em ciências humanas do que para ciências exatas ou biológicas. Abaixo temos alguns exemplos.

Art & Spirit [11] é um Laboratório Virtual da área de psicologia que explora o processo criativo através da Internet. Este laboratório contém uma série de poemas, imagens e questões que estimulam a criatividade de seu usuário, na medida em que ele navega pelas páginas. Segundo o autor, neste *site* o usuário tem a escolha de exercitar a liberdade e a imaginação, sentindo outros sentidos que, até então, estavam adormecidos dentro dele.

O *Virtual Laboratory for Experimental Psychology* [43], utiliza-se dos benefícios das tecnologias de redes de computadores para prover pesquisadores e educadores de psicologia com uma ferramenta capaz de suportar o estudo, análise, modificação e re-execução de alguns experimentos. Neste caso são apresentados aos usuários uma série de casos, fotos e vídeos que o usuário deve ser capaz de analisar e chegar a conclusões plausíveis.

Outro exemplo de laboratório virtual deste nível é o *The Telecommunications Laboratory Manual* [39], um veículo para proporcionar a educação a distância de estudantes em Sistemas de Comunicação por Fibra Ótica. O seu propósito é prover um experiência educacional com estações de telecomunicação por fibra ótica. O manual contém documentos multimídia e *links* que permitem aos usuários realizarem vários experimentos.

2.8.2 Nível 2

No nível 2, onde a característica marcante é determinada pela capacidade de simular experimentos reais, encontramos exemplos de vários laboratórios.

O *Virtual Laboratories in Probability and Statistics* [42] tem como objetivo desenvolver módulos, cada um baseado em uma grande quantidade de tópicos em probabilidade e estatística. Os módulos por sua vez são divididos em páginas, cada uma baseada em um unidade menor de material (seções). A maioria dos textos consiste de exercícios que são capazes de guiar o estudante através do desenvolvimento de uma teoria matemática, do senso probabilístico e estatístico do estudante (ou intuição), bem como introduzir o estudante a tarefas computacionais. Os exercícios são apresentados aos estudantes com dois ícones diferentes, dependendo do tipo do exercício. O primeiro tipo são exercícios matemáticos que necessitam apenas de papel e caneta e tem como objetivo desenvolver a teoria matemática. O segundo, denota um exercício de simulação. Em alguns casos o

estudante deve somente observar os estados da simulação, ou até mesmo gerar e observar dados. Em todos os casos o objetivo é demonstrar a teoria matemática de uma maneira dinâmica e interativa.

Articulate Virtual Laboratories for Science and Engineering Education [13] tem como objetivo desenvolver Laboratórios Virtuais que ensinam ciência e princípios de engenharia orientando os estudantes nas tarefas de projeto. Experiências de projeto são difíceis de serem realizadas num ambiente típico de sala de aula, porque muitos artefatos físicos de interesse (tais quais plantas de força, motores a jato, e refrigeradores) são caros ou perigosos para se construir e testar. Este laboratório evita tais problemas, possibilitando aos estudantes projetar, analisar e testar os artefatos em um ambiente simulado, barato e seguro.

No trabalho *Virtual Laboratory for Beginning Scientists/Engineers* [22] [23], foram focados dois pontos principais relacionados ao ensino de ciência e educação: podem experimentos simulados serem desenvolvidos para fornecer *insights* aos estudantes que não tem acesso a algum laboratório físico? E podem experimentos interativos serem escritos em JAVA, sendo, portanto, capazes de serem entregues via Internet? Segundo o autor, a resposta para estas duas perguntas é sim. As simulações são organizadas em um curso de nível básico, para expor estudantes a múltiplos parâmetros de tomada de decisão, aproximação, parâmetros de estimação e avaliação de dados numa grande variedade de disciplinas de engenharia. Os experimentos incluem o cálculo de transferência de calor, coeficientes de interferogramas holográficos, programação de braços robóticos e projeto de circuitos lógicos.

O projeto *Virtual Laboratory* [10] da Université Laval tem como objetivo desenvolver um sistema de simulação de realidade virtual, possibilitando a implementação de Laboratórios Virtuais. Os trabalhos iniciais consistem basicamente de um Laboratório Virtual que possibilita aos estudantes realizarem uma série de experiências com uma rede de fase ótica. Através de uma visualização interativa de um mundo virtual, o usuário pode determinar qual o comprimento de um feixe de onda, em qualquer uma das entradas de um dispositivo, e o sistema é capaz de simular qual será o ramo de saída do feixe de luz, baseado no seu comprimento.

Pesquisadores do Laboratório Eletrotécnico da Agência de Ciência e Tecnologia do Japão desenvolveram um Laboratório Virtual que utiliza *browsers* Web para auxiliar a teleoperação de manipuladores robóticos [20]. Utilizando o *browser*, o usuário pode planejar o movimento de objetos interativamente com um simulador que possui uma representação do mundo. Os movimentos planejados podem depois ser enviados a qualquer outro *site* para a movimentação real em algum manipulador.

No trabalho *Finding Real Solutions in The Virtual Laboratory* [48], Stephen Warde faz uma análise sobre como o processo de simulação é importante no que diz respeito

à criação de Laboratórios Virtuais, sobretudo nas áreas de biologia e farmácia. Alguns exemplos são apresentados, tais como os laboratórios que simulam as ativações de enzimas, a cristalização de moléculas e a combinação de genes.

Por último destacamos o *Virtual Laboratory Environment* [28], um ambiente interativo para a criação e condução de ambientes simulados. Segundo o autor, é um verdadeiro *playground* de experimentação. Atualmente, a ênfase do laboratório está voltada para a geração de fractais e o modelamento de plantas, através de um programa de simulação e modelamento chamado *cpfg* (*plant and fractal generator with continuous parameters*).

2.8.3 Nível 3

Os Laboratórios Virtuais situados no nível 3 geralmente fazem o uso de equipamentos robóticos para a manipulação remota de instrumentos de pesquisa. Entretanto, simples relés, placas e motores também podem e são utilizados. Como exemplos de laboratórios deste nível podemos citar os casos abaixo.

Second Best to Being There (SBBT) [7] é uma aplicação de rede desenvolvida pela Universidade do Estado de Oregon, que combina *hardware* e *software* para prover a usuários remotos a oportunidade de conduzir experimentos em um laboratório local. No SBBT, a Internet provê a infraestrutura de comunicação entre estudantes e experimentos. Neste caso, os estudantes localizados remotamente são capazes de desenvolver, compilar, depurar e executar controladores em tempo real. Os estudantes podem também ver os experimentos em tempo real, escutar os sons do laboratório e interagir com outros usuários do sistema.

O Departamento de Eletrônica do Colégio Técnico de Turim, no campo de medição e instrumentação eletrônica, desenvolveu um sistema para assistir os estudantes a adquirir os fundamentos básicos da instrumentação [3]. Este sistema inclui lições, exercícios e treinamentos em instrumentos virtuais que emulam instrumentos reais (características do nível 2). Além disso, permite aos estudantes acessar e manipular experimentos reais a partir do laboratório remoto (características do nível 3).

BioSoftLab [47] é um Laboratório Virtual de bio-separação. A bio-separação é um processo de separação de componentes utilizado para a purificação de produtos farmacêuticos, de proteínas, de água e de uma série de processos bioquímicos. Neste laboratório a bio-separação ocorre tanto de forma simulada quanto real. Portanto, apesar de estar classificado como sendo do nível 3, ele também apresenta características do nível 2.

Um programa desenvolvido através do Laboratório de Química Inorgânica da Universidade de Oxford permite que estudantes se movimentem através de um laboratório Virtual na Internet e escolham realizar experimentos interativos reais [19]. Tais experimentos incluem observar a reação de íons de metais na presença de alguma solução, desenvolver soluções supercondutoras e simples substâncias inorgânicas.

Um outro exemplo na área de química é o *Virtual Laboratory for Nucleic Acid and Chemistry* [46]. Este laboratório permite que usuários remotos utilizem seus equipamentos para realizarem a síntese de oligonucleotídeos e oligopeptídeos.

Partindo para Laboratórios Virtuais que utilizam equipamentos robóticos, podemos citar o *NetroLab* [17], um projeto da Universidade de Reading, UK, que objetiva demonstrar o uso da Internet para permitir que instituições de educação possam compartilhar experimentos robóticos que são caros e difíceis de manter. O laboratório, denominado *Roboscape*, visa o auxílio de projetos nas áreas de robótica e inteligência artificial. Dentre os seus recursos robóticos podemos citar um manipulador, um robô móvel com uma câmera de vídeo monocular, um conjunto de sensores sonares e um conjunto de câmera de TV para que os usuários possam ver a realização de seus experimentos.

Outro exemplo é o *UCLA Commotion (Cooperative Motion) Laboratory*, um laboratório remoto de robótica através da Internet, cuja principal meta é a pesquisa no campo de colônias de robôs em locais remotos [5]. O sistema consiste de dez robôs móveis pequenos, controlados por estações de trabalho Unix. Os robôs possuem habilidades de sensoreamento, remoção e posicionamento de obstáculos e comunicação entre robôs. As estações Unix permitem aos usuários controlar os robôs a partir de comandos simples num ambiente familiar.

Por último podemos citar o trabalho realizado por pesquisadores da Universidade de Washington, que desenvolveram o protótipo de um sistema para capturar cristais de proteína a bordo de uma estação espacial [18]. Este protótipo utiliza um *miniature direct drive robot*, uma câmera de vídeo CCD e um sistema utilizando protocolos Internet para suportar a captura de cristais de proteínas numa solução aquosa. Atualmente o sistema está sendo demonstrado entre Huntsville, AL, e Seattle, WA.

Capítulo 3

Telepresença

3.1 Introdução

Foi comentado no capítulo anterior que no caso de Laboratórios Virtuais situados no nível 3, a tecnologia de telepresença aparece como uma componente natural no processo de educação a distância, uma vez que o usuário deve-se projetar fisicamente num ambiente remoto a fim de realizar os experimentos.

Neste capítulo iremos apresentar o conceito de telepresença segundo Sheridan, bem como o conceito adotado neste trabalho. Apresentaremos também quais são os componentes que formam um sistema de telepresença, a relação entre telepresença e realidade virtual e algumas limitações impostas por estas tecnologias.

3.2 Conceituação

Segundo Sheridan [41], telepresença refere-se ao fato de uma pessoa sentir-se fisicamente presente em um ambiente remoto, através do recebimento de informações, de uma maneira suficientemente natural, da máquina teleoperada e do ambiente remoto onde ela se encontra. Geralmente, para isso, o ser humano deve fazer uso de capacetes, óculos e luvas especiais.

No âmbito deste trabalho, redefinimos o termo telepresença, ou presença a distância, como sendo a capacidade de uma ou mais pessoas projetarem-se virtualmente em um espaço remoto, com o poder de monitorar bem como atuar em tal espaço. Tal conceito pode então ser entendido como a união das capacidades de telemonitoração e teleoperação de um espaço remoto (vide Figura 3.1).

Através de técnicas de telepresença, os seres humanos podem observar e atuar em objetos distantes com grandes reduções de custo e de perigo à sua pessoa. Situações corriqueiras do dia-a-dia também são facilitadas; por exemplo, a monitoração remota de

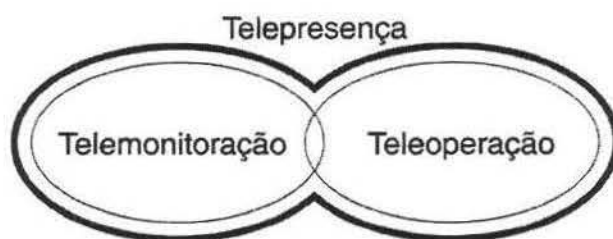


Figura 3.1: Telepresença = Telemonitoração + Teleoperação.

peessoas idosas ou de crianças, ou o desligamento remoto de aparelhos domésticos, permitem às pessoas manter controle sobre uma situação delicada sem ter que se afastar de sua mesa de trabalho. Além disso, a utilização da telepresença permite o compartilhamento de recursos que estariam restritos a um pequeno grupo de pessoas, uma vez que o usuário torna-se capaz de atuar em objetos (recursos) a distância. Desta forma, tal objeto pode ser compartilhado tanto por quem está perto, quanto por quem está distante.

3.3 Componentes de um Sistema de Telepresença

Como mencionado na seção anterior, o conceito de telepresença pode ser entendido como a união das capacidades de telemonitoração e teleoperação de um espaço remoto.

A telemonitoração é comumente realizada pelo controle de diversos tipos de sensores. Câmeras de TV, sensores infravermelho e de movimento são os mais comuns - e produzem melhores resultados quando são montados sobre plataformas móveis e controláveis (tais como mecanismos de *pantilt*).

A teleoperação exige a utilização de equipamentos controláveis pelo ser humano. Uma lista de tais equipamentos abrange desde simples motores e relés controlados remotamente, até manipuladores mecânicos e robôs móveis capazes de executar, de forma autônoma, comandos abstratos de alto nível de forma eficaz e segura.

Através da combinação destes equipamentos e sensores, o ser humano pode realizar as mais diversas tarefas em um mesmo ambiente remoto. Para isso, necessita apenas de uma interface de controle que faça a interação homem-máquina. Tal interface deve, idealmente, permitir ao operador humano sentir-se imerso no ambiente onde o robô se encontra e permitir ao operador, mesmo que virtualmente, tomar decisões adequadas num dado momento, iniciando, modificando ou abortando a telemonitoração e a teleoperação quando julgar necessário. As tecnologias de Realidade Virtual (que incorporam dados, sons, gráficos, imagens 3D, entre outros) são altamente utilizadas, por traduzirem com grande precisão o ambiente remoto.

3.4 Realidade Virtual e Telepresença

Realidade virtual tem sido um termo muito comentado nos últimos anos. Realidade virtual é um ambiente simulado, em três dimensões, gerado por computador e que é criado em tempo real de acordo com o comportamento do usuário [27]. Ainda que existam muitas formas de se conceituar realidade virtual, a maioria dos pesquisadores concorda que ela possui no mínimo três características principais:

- imersão no ambiente fornecido pelo computador; o sentimento de estar dentro de tal espaço;
- interatividade com objetos no espaço; movendo objetos, abrindo portas, entre outras ações;
- habilidade de navegar pelo espaço, indo na direção que desejar.

Como base nisto podemos afirmar que a realidade virtual possui todas as características básicas necessárias à telepresença. Através da tecnologia de realidade virtual, o ambiente remoto pode ser sinteticamente gerado, baseado em modelos CAD. As características de imersão e navegação podem auxiliar o usuário com o sentimento de se sentir presente no ambiente remoto, mesmo não estando lá. Este tipo de telepresença pode ser denominada como telepresença virtual, uma vez que o ambiente remoto apresentado ao usuário é apenas um ambiente sintético gerado por computador ao invés de um ambiente real.

Segundo [27], telepresença utiliza-se de um espaço real distante do usuário, como por exemplo um ambiente remoto visto através de uma câmera de vídeo. Já a telepresença virtual utiliza-se de um espaço distante, simulado por computador. Quando aplicadas estas duas tecnologias à teleoperação ou telemonitoração, ambas produzem resultados bastante diferentes, em adição às diferenças na origem da imagem (Tabela 3.1).

	Telepresença	Telepresença Virtual
Imagem	Real	Sintética
Interação	Mundo Real	Modelo 3D
Qualidade da imagem	Depende da visibilidade	Independe da visibilidade

Tabela 3.1: Comparação entre Telepresença e Telepresença Virtual.

3.5 Limitação da Interação Homem-Máquina

A comunicação sempre foi uma das maiores preocupações do ser humano. Desde os primórdios, com os desenhos nas cavernas, passando pela invenção do telégrafo e do telefone, até chegar aos dias atuais com redes mundiais como a Internet, o homem sempre esteve à busca de novos meios de comunicação, eficientes e capazes de representar as informações, de modo mais natural possível.

Atualmente, as redes de computadores são um dos melhores exemplos dessa busca incessante por novos canais de comunicação. Como visto em [25], no início trafegavam pelos cabos que interligavam computadores de grande porte e terminais apenas *bits* e *bytes* representando estruturas de dados que, por sua vez, simbolizavam a realidade, mas que exigiam uma grande capacidade de abstração do usuário.

Com o avanço da tecnologia, já é possível ver passeando pelas redes voz e vídeo, mais “palpáveis” e próximos da realidade. Entretanto, nem sempre é fácil garantir resultados satisfatórios em termos de qualidade e de velocidade.

O que alguém geralmente espera quando está utilizando uma rede de computadores resume-se a, basicamente, tempo de resposta, confiabilidade, acesso a recursos e economia. Traduzindo isto para uma linguagem de computação, essas palavras significam banda passante, velocidade de transmissão, qualidade de serviço, conectividade, redundância, segurança, disponibilidade de aplicativos e preço.

Entretanto, o tráfego de dados multimídia se diferencia do tráfego tradicional de dados pois exige o cumprimento de certas restrições temporais de atraso, da variação deste atraso e do sincronismo nas mídias. Em geral envolve um alto volume de dados, mas pode tolerar pequenas perdas.

Para satisfazer estas restrições, diversos requisitos são necessários nos sistemas digitais de comunicação, compreendendo as redes e os sistemas de transmissão e recepção. Para cumprir a velocidade de apresentação, uma grande quantidade de dados deve ser continuamente transmitida ao usuário. Isso implica em altas taxas de transmissão dos sistemas de comunicação, ou seja, grande banda passante.

No caso de sistemas que utilizam técnicas de telepresença e que geralmente fazem o uso de mídias contínuas tais como áudio e vídeo, a fim de traduzir com precisão tudo o que ocorre no ambiente remoto, o meio de comunicação entre o homem e a máquina deve ser, idealmente, um *link* dedicado, com uma alta banda passante, capaz de fornecer ao operador todas as informações de uma maneira extremamente rápida e sem a inclusão de atrasos que possam causar inconsistências no sistema. Entretanto, um *link* de comunicação com estas características nem sempre é fácil de se estabelecer, principalmente devido ao seu alto custo, o que restringe a acessibilidade do sistema.

Frente a isto, a Internet apresenta-se como uma solução plausível. Apesar de não

possuir um *link* com uma alta banda passante, os recentes avanços na área de redes de computadores permitiram que a telepresença fosse possível de se realizar apesar dos atrasos da rede. É claro que isto diminui a qualidade e o nível da telepresença. Entretanto, isto é compensado por seus benefícios de baixo custo e alta acessibilidade.

3.6 Revisão Bibliográfica

3.6.1 Visão Geral

A idéia de telepresença já vem sendo utilizada há muito tempo. Dispositivos como a *Camera Obscura* [4] proporcionavam a observadores a sutil ilusão de estarem em algum outro lugar. Tal idéia progrediu, surgindo então manipuladores mecânicos que podiam ser controlados remotamente e, mais tarde, manipuladores “mestre-escravo” mais sofisticados, os quais passavam sinais de controle por meio de conexões elétricas [45].

Um dos primeiros sistemas teleoperacionais mecânicos foi desenvolvido por Goertz [14] em 1954. A partir daí, vários outros sistemas surgiram, com o intuito de explorar de uma maneira segura ambientes remotos hostis, tais como vulcões [51], reatores nucleares [15], o fundo do mar [2], minas [30] e o espaço [50]. Além disso, aplicações para as áreas de medicina (tele-cirurgia [16]), entretenimento (tele-jogos [40]) e manufatura [9] têm sido exploradas por diversos pesquisadores.

No entanto, a maioria desses sistemas são muito caros e complexos, necessitando de um *hardware* especial, um *software* dedicado somente a controlar e interligar o usuário com os mecanismos do ambiente remoto, bem como um *link* de comunicação com uma alta banda passante que, apesar de melhorar o desempenho do sistema, nem sempre está disponível ao grande público.

3.6.2 Telepresença na Web

Como dito anteriormente, o advento da Internet ofereceu uma forma alternativa aos sistemas dedicados, executados em plataformas fixas. Mais especificamente, os *browsers*, através do serviço WWW, tornam esta alternativa uma realidade. Nos últimos anos foram introduzidas na Web uma grande quantidade de sistemas com dispositivos mecânicos controlados remotamente. Alguns desses sistemas empregam câmeras fixadas em ambientes remotos onde usuários podem observar comportamentos dinâmicos, tais como a quantidade de café em uma cafeteira [33] ou a atividade de um animal no seu *habitat* nativo [49]. Outros permitem uma maior interação do usuário com o ambiente, tais como a câmera outrora instalada dentro do Laboratório de Robótica e Visão Computacional do Instituto de Automação (IA) da Fundação Centro Tecnológico para a Informática (CTI)

[8], que podia ser movimentada remotamente para a direita e esquerda, ou para cima e para baixo, graças à estrutura de *pantilt* no qual a câmera estava montada.

Os robôs foram verdadeiramente introduzidos na *Web* em meados de 1994. O projeto Mercúrio [24], desenvolvido por Ken Goldberg et al., foi o primeiro a permitir a manipulação tele-robótica de um ambiente remoto por usuários da WWW. Tal projeto consiste de um manipulador mecânico com três graus de liberdade que permite ao usuário explorar um mundo remoto cheio de objetos enterrados, emitindo jatos de ar comprimido sobre a areia que os cobre. Uma câmera fixada sobre o braço do robô - apontada diretamente para baixo - retorna uma nova imagem após cada movimento.

Mais recentemente, Ken Goldberg et al. desenvolveram outro sistema tele-robótico, chamado Tele-Garden [34]. Esta instalação permite a usuários WWW ver e interagir com um jardim remoto contendo plantas vivas. Qualquer pessoa que compartilhar seu endereço eletrônico com os outros membros do sistema torna-se capaz de observar, plantar e cultivar a vida neste jardim, através dos movimentos do braço de um robô industrial.

Neste contexto destacam-se ainda os trabalhos de Mark Cox, da Universidade de Bradford [32], e de Eric Paulos e John Canny, da Universidade da Califórnia em Berkeley [36]. Mark Cox desenvolveu um sistema para permitir que usuários requisitem imagens de um telescópio controlado remotamente. Já Eric Paulos e John Canny criaram um *browser* para ambientes remotos, chamado *Mechanical Gaze*, que permite a múltiplos usuários controlar ativamente os seis graus de liberdade do braço de um robô, a fim de explorar um ambiente remoto real. Seu ambiente inicial foi uma coleção de exposições de um museu, no qual os usuários podiam visualizar as peças em várias posições, orientações e níveis de resoluções.

Existem ainda algumas aplicações que, apesar de serem um pouco mais complexas e de exigirem um alto grau de liberdade, também estão disponíveis via Internet. Tais aplicações utilizam-se de robôs móveis. Um exemplo é o projeto do robô Xavier [26], criado no Learning Robots Lab (LRL) da Carnegie Mellon University. Xavier é uma plataforma no qual um grande número de experimentos robóticos são realizados, incluindo aprendizado, planejamento e cálculo da posição estimada. Sua interface consiste de um mapa, contendo os lugares para o qual ele pode ir, e a imagem transmitida pela sua câmera, que é atualizada de tempos em tempos.

Kaplan et al. [21] montaram um modelo de carro controlado remotamente, provendo uma visão de *race driver* através de uma câmera de vídeo montada sobre ele. O usuário remoto pode ver imagens ao vivo a partir do carro e, usando o *mouse*, controlar a sua velocidade e direção.

Podemos citar ainda outro trabalho de Paulos e Canny. Eles implementaram um dirigível *indoor* controlado via *link* de rádio, com uma câmera de vídeo [35]. Tal balão pode passar através de portas abertas, subir escadas e entrar num elevador. Neste experimento,

o piloto, de qualquer lugar da Internet, usa um *applet* escrito em linguagem Java, executado a partir de um *browser* habilitado para a mesma, para enviar comandos contínuos ao balão e receber informações necessárias à sua navegação.

Capítulo 4

O Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional

4.1 Introdução

A demanda por estudos nas áreas de robótica e visão computacional, vem crescendo a cada dia. Entretanto, vários cursos de informática, ciência da computação e engenharia, tanto no Brasil como em vários outros países em desenvolvimento, não possuem acesso a equipamentos robóticos, devido ao problema de custos. Por serem áreas onde resultados experimentais são fundamentais para a validação de métodos propostos, tais áreas beneficiam-se largamente do conceito de laboratórios virtuais.

Para prover acesso a equipamentos robóticos e de visão caros e escassos no país, além de únicos na América do Sul, foi criado um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional, batizado como Laboratório de Pesquisas em Robótica Acessível via Internet, REAL (do Inglês *Robotics Research Internet-Accessible Laboratory*). Este é o primeiro Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional do Brasil e um exemplo típico de Laboratório Virtual situado no nível 3, apresentando, portanto, os conceitos relativos à telepresença. Neste caso, a telemonitoração se dá através de câmeras de vídeo, enquanto que a teleoperação se dá através da movimentação de um robô móvel.

Neste capítulo apresentaremos o detalhamento do Laboratório Virtual REAL, a plataforma experimental utilizada e os subsistemas de telemonitoração e teleoperação. Além disso, é abordada a importância da disciplina Interação Homem-Máquina (IHM) para sistemas interativos, como é o caso de Laboratórios Virtuais, e apresentada a interface de controle do Laboratório Virtual REAL.

4.2 Proposta de Implementação

Uma das possíveis formas de implementação de Laboratórios Virtuais é utilizando a arquitetura cliente-servidor (Figura 4.1). O usuário, através de uma máquina cliente, conecta-se a uma máquina servidora, que executará um processo que resultará em uma ação no ambiente remoto. Desta forma, Laboratórios Virtuais podem ser implementados nas mais diversas áreas, tais como química, física, biologia e ciências.

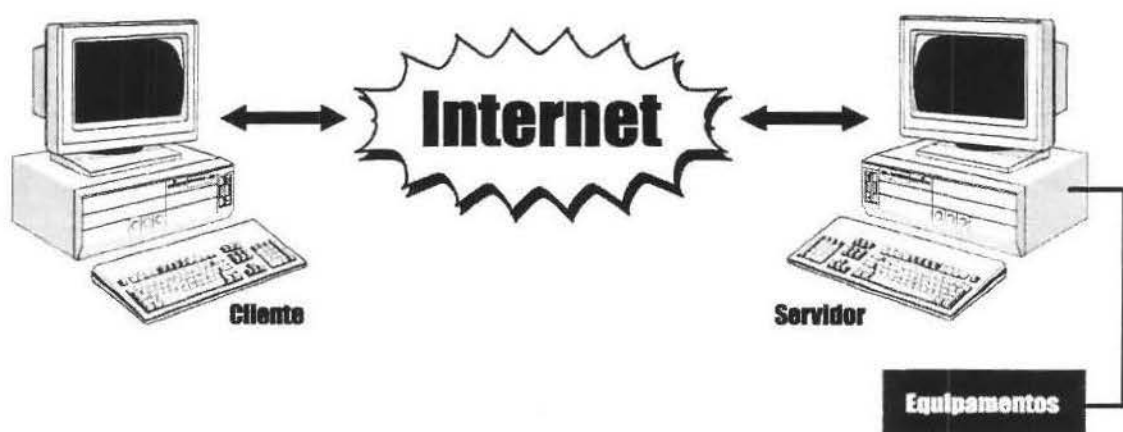


Figura 4.1: Conceito de um Laboratório Virtual, utilizando a arquitetura cliente-servidor.

Para o caso de um Laboratório Virtual de Robótica, o usuário, através de uma máquina cliente, deve enviar ao sistema uma série de comandos abstratos em alto nível. O sistema por sua vez, deve interpretar tais comandos e gerar uma sequência lógica em baixo nível, que deve ser entendida e executada pelo robô. As informações sensoriais devem ser repassadas ao sistema, o qual deve interpretar e abstrair tais informações, para que sejam apresentadas ao cliente num nível mais alto (Figura 4.2).

No Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional, REAL, a comunicação entre o usuário e o ambiente remoto é feita através de uma interface gráfica, desenvolvida com as linguagens de programação HTML e Java, acessível através de *browsers* da Internet. Conforme veremos na seção 4.2.1, esta escolha permite que o sistema seja executado a partir de qualquer computador conectado à Internet, sem que o usuário tenha que utilizar o mesmo tipo de arquitetura onde a interface foi construída.

4.2.1 A linguagem Java

Nos últimos anos, muito tem se falado em relação a linguagem de programação Java [12]. Como característica podemos dizer que, além de prezar pelo pequeno código gerado, ideal

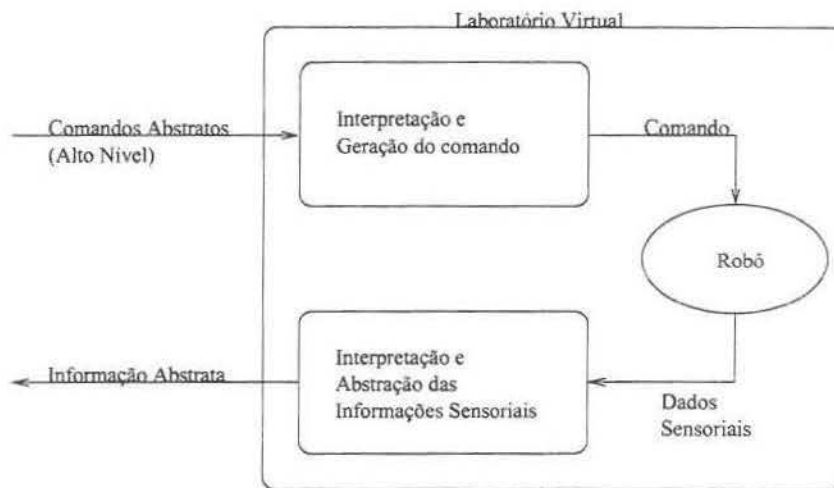


Figura 4.2: Funcionamento de um Laboratório Virtual de Robótica.

para aplicações geradas ao longo da rede, seu grande trunfo é traduzido pela Sun em uma frase - “Faça uma vez, execute várias” -, ou seja, o mesmo código pode ser utilizado em diversas plataformas [44].

A origem da Java veio da idéia de desenvolver uma plataforma para ser usada em componentes eletrônicos de largo consumo. Para tanto, deveria ser independente do equipamento, pois, caso contrário, o lançamento de um novo modelo tornaria o código obsoleto; além disso, deveria gerar programs reduzidos. Porém, depois de uma tentativa em vão de desenvolver TVs para Time-Warner em 1993, a equipe resolveu deslocar o foco do projeto para o mundo das redes e das aplicações distribuídas. Assim, Java despertou a Sun para a Internet, mais especificamente para a Web, que reúne, em escala maior, as mesmas necessidades que os equipamentos eletrônicos: deve lidar com código de tamanho reduzido para diminuir o tráfego pela rede e deve ser neutra com relação à arquitetura usada nos diferentes ambientes.

O que possibilita essa independência de plataforma é a chamada máquina virtual. O desenvolvedor Java programa baseado em uma API (*Application Programming Interface*, conjunto padrão de funções para execução de tarefas específicas) comum. Posteriormente, o aplicativo será executado por máquina virtual, que interpretará o código e transformará as chamadas da API em comandos específicos do sistema operacional do ambiente.

Java é uma linguagem de propósito geral. Além de *applets* (termo que designa, em “javanês”, mini-aplicativos que necessitam de um navegador Web para serem executados), é possível gerar aplicações independentes que podem ser executadas a partir de máquinas virtuais. Por ser interpretado, o código Java é cerca de 15 a 20% mais lento que um código nativo para a máquina, segundo números da Sun, mas já existem compiladores “just-in-time” que traduzem o programa para o código de máquina à medida que o interpreta pela

primeira vez.

Para instalar a máquina virtual no computador, é necessário fazer o *download* a partir do site da Sun do ambiente de execução Java JRE (*Java Runtime Environment*), caso já não tenha sido instalado a partir de um navegador Web, por exemplo. Existem máquinas virtuais para praticamente todos os sistemas operacionais do mercado, de Windows 3.1, 95 e NT, OS/2, Mac/OS até servidores Unix de diversos fabricantes.

4.2.2 Funcionamento do Sistema

De uma forma geral o sistema funciona da seguinte maneira (Figura 4.3):

- o usuário, através de uma máquina cliente, requisita a página de entrada do laboratório ao *daemon http*;
- o *daemon* envia ao cliente a página HTML;
- a página HTML enviada faz referência a um *applet* em linguagem Java, o qual é enviado posteriormente;
- este *applet* estabelece uma conexão via *socket*¹ com um *daemon* de ação, responsável por executar todas as ações no ambiente remoto;
- o *daemon* de ação, após realizar a ação no ambiente remoto, retorna ao usuário o resultado da operação.

4.3 Plataforma Experimental

O ambiente de testes do Laboratório Virtual REAL é um laboratório de pesquisas situado no Instituto de Automação da Fundação Centro Tecnológico para a Informática (IA/CTI). Nele encontram-se pessoas, móveis, equipamentos e um robô móvel.

O robô móvel utilizado é um robô do tipo Nomad 200 (Figura 4.4), fabricado pela Nomadic Technologies, Inc., e pertencente ao IA/CTI. Ele mede 75 cm de altura, pesa 60 Kg, é controlado por um processador Pentium e sua programação é feita em ambiente Linux [29].

A base do robô é apoiada sobre três rodas com capacidades independentes de rotação e translação. A posição angular do robô também é controlada de forma independente

¹ *Socket* é um canal que suporta a comunicação entre processos não relacionados, e também entre processos executados em máquinas diferentes que se comunicam através de uma rede.

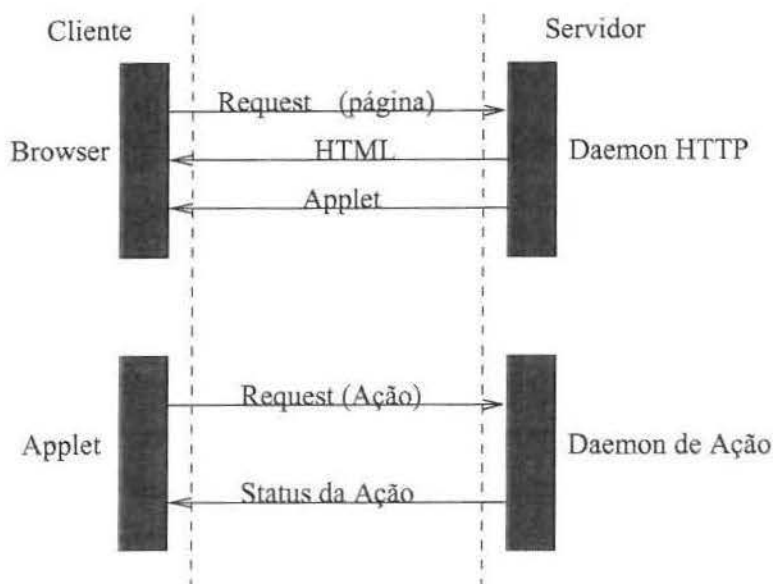


Figura 4.3: Sequência de eventos na comunicação cliente-servidor.

das rodas por um motor adicional. As velocidades máximas de translação e rotação são respectivamente iguais a 0,6 m/s (para frente e para trás) e 1 rd/s.

O robô possui 16 sensores de ultrassom, com alcance de até 10,6 m, 16 sensores de infravermelho com alcance de 60 cm, 20 sensores de tato e uma câmera monocromática, montada sobre um mecanismo de *pantilt*, conectada a um *frame grabber* que provê imagens com uma resolução de 640 x 480 *pixels*. Sua comunicação com o mundo ocorre via *link* de rádio, a 1.6Mbps, com um PC que está conectado à Internet a 10 Mbps (Figura 4.5).

4.4 O Subsistema de Telemonitoração

O subsistema de telemonitoração permite ao usuário visualizar e monitorar os laboratórios do IA. O subsistema utiliza duas câmeras de vídeo, uma montada sobre o robô móvel e outra instalada no teto do laboratório, no centro da sala, fornecendo uma visão geral do local de trabalho.

O funcionamento do subsistema de telemonitoração é explicado de acordo com a Figura 4.6. Após o usuário receber do *daemon http* a página de entrada do laboratório, o *applet* estabelece um canal de comunicação via *socket* com um *daemon* de imagens, o qual é responsável por capturar as imagens das câmeras de vídeo e enviá-las de volta ao cliente.

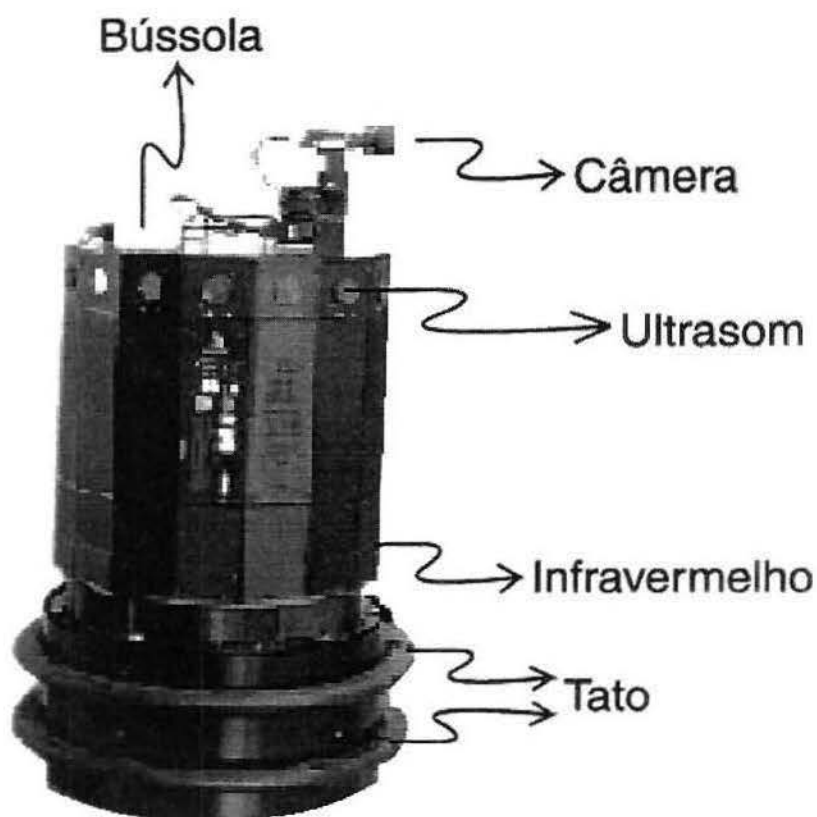


Figura 4.4: Robô Nomad 200.

4.5 O Subsistema de Teleoperação

O subsistema de teleoperação permite que o usuário atue nos laboratórios do IA, através da movimentação do robô móvel, conforme será explicado na seção 5.2.

O funcionamento do subsistema de teleoperação é explicado de acordo com a Figura 4.7. Após o usuário receber do *daemon http* a página do laboratório, o *applet* estabelece um canal de comunicação via *socket* com um *daemon* de movimentação do robô, o qual será responsável por realizar os movimentos do robô móvel. Este *daemon* também é responsável pelo sistema de auto-proteção do robô, conforme explicado na seção 4.6. Após a execução de cada movimento do robô, o *daemon* retorna ao usuário um *status* de controle indicando se os movimentos tiveram sucesso.

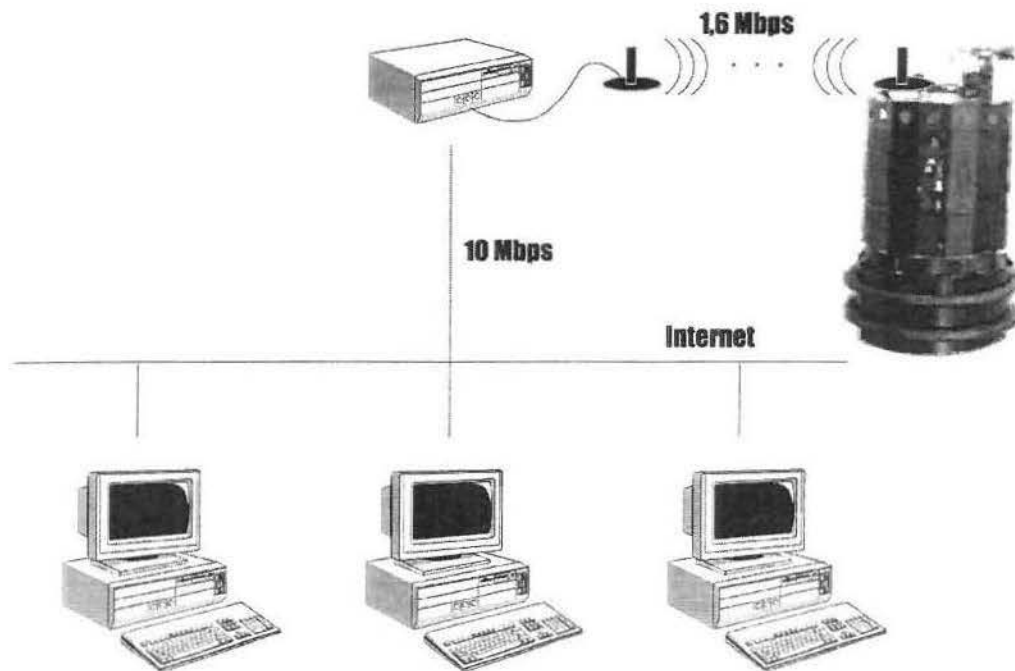


Figura 4.5: Configuração experimental.

4.6 O Subsistema de Auto Proteção

O subsistema de auto-proteção é responsável pela integridade física do robô e do ambiente no qual ele está inserido.

Sempre que o robô está executando algum movimento, ele fica automaticamente, e constantemente, verificando os seus sensores de ultra-som com o intuito de localizar qualquer objeto que esteja em um raio de 50 cm e que esteja em seu caminho. Caso ele encontre algum objeto, ele abortará a execução deste comando, e enviará para o usuário uma mensagem de erro.

4.7 A Arquitetura do REAL

De modo geral, a arquitetura do REAL é a seguinte (Figura 4.8):

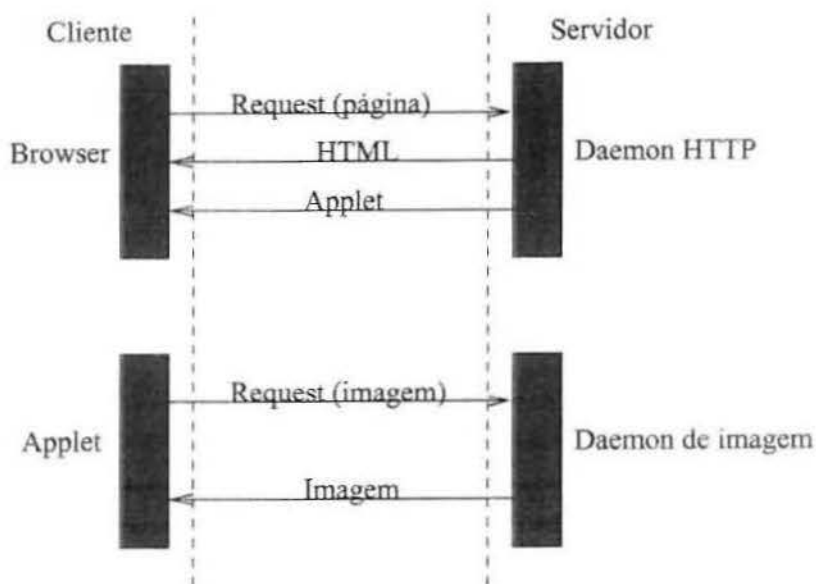


Figura 4.6: Sequência de eventos do subsistema de telemonitoração.

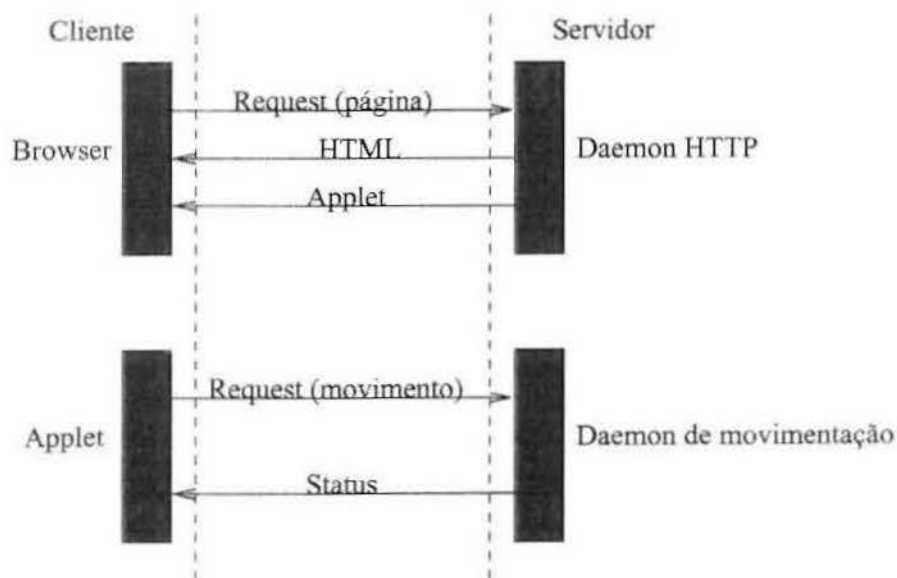


Figura 4.7: Sequência de eventos do subsistema de teleoperação.

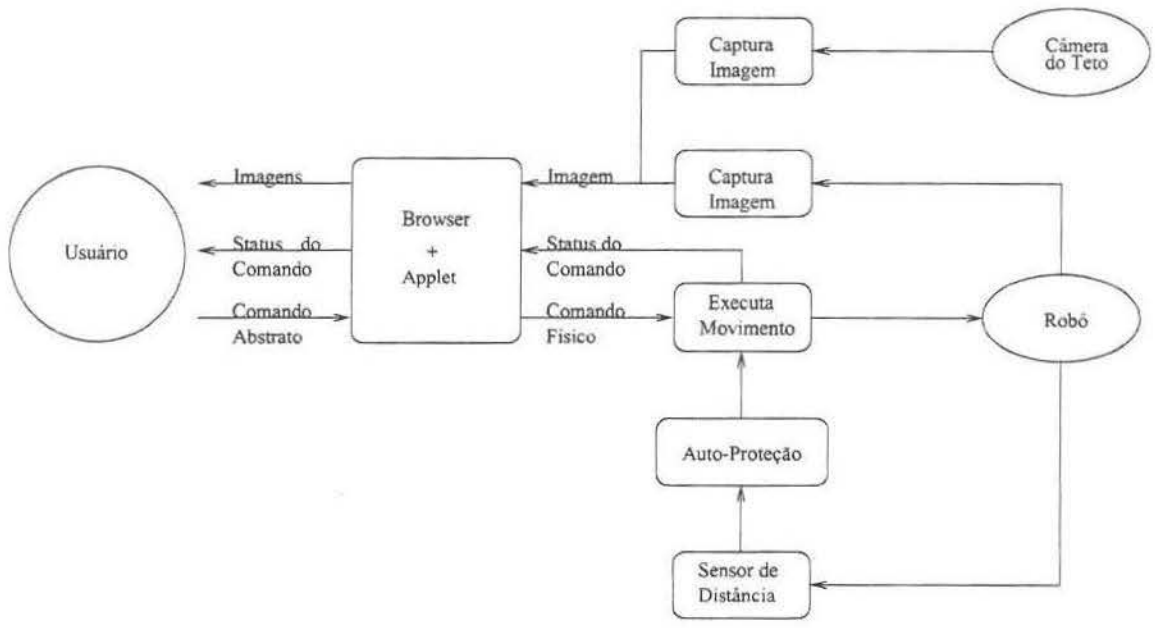


Figura 4.8: A arquitetura do REAL.

4.8 Interface Homem-Máquina

A interface homem-máquina (interface, por simplicidade) é um elemento imprescindível para a aceitação de um sistema interativo pelo usuário. Segundo Chi [6], a interface homem-máquina compreende todos os comportamentos do usuário e do computador que são observáveis externamente. Há uma linguagem de entrada, uma de saída para refletir os resultados e um protocolo de interação (Figura 4.9).

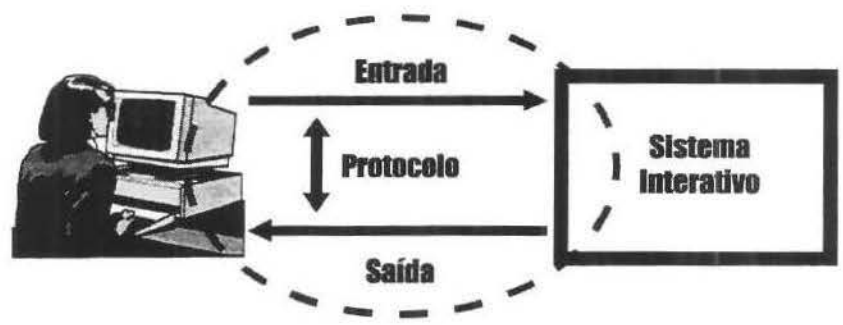


Figura 4.9: Conceito de interface homem-máquina

Dada a importância da interface em sistemas interativos, todos os aspectos envolvidos na sua construção devem ser analisados, sobretudo aqueles que envolvem fatores humanos.

Se os fatores humanos são levados em consideração, o diálogo é amigável e um ritmo é estabelecido entre o homem e a máquina. Em caso contrário, o sistema será visto como “não-amigável”. Algumas características em sistemas amigáveis (do inglês *user-friendly* são citadas abaixo:

- facilidade de aprendizado (*easy-to-learn*) e de uso (*easy-to-use*), que tornam a interface previsível, flexível e transparente ao usuário, isto é, permitam a ele concentrar-se nas tarefas finais que precisa realizar;
- ocorrência mínima de erros, já que estes afetam o desempenho dos usuários;
- recordação rápida e facilidade de lembrança dos comandos, para que o usuário não tenha que recorrer a manuais toda a vez que for utilizar a interface;
- atração do usuário, uma vez que a maioria dos usuários preferem interfaces mais “confortáveis”, em sistemas de desempenho ligeiramente baixo, do que interfaces complexas, em sistemas de alto desempenho.

4.9 Interface de Controle do REAL

Uma componente fundamental de um Laboratório Virtual é a interface homem-máquina, que permite ao usuário interagir com o laboratório remoto. Anos de pesquisas na área de Interfaces Homem-Máquina (IHM) resultaram na definição de diretrizes para auxiliar o projeto de interfaces amigáveis. Baseado em algumas destas diretrizes, foi projetada uma interface para permitir a interação de usuários com o REAL [37]. Tal interface teve como foco usuários com formação nas áreas de robótica e visão computacional, ou estudantes de graduação das áreas de engenharia ou computação. A interface é simples e clara, apresentando comandos e janelas auto-explicativos, uma característica que elimina a necessidade de memorização de detalhes por parte do usuário. Além disso, os comandos estão agrupados logicamente, com o objetivo de tornar mais eficiente o diálogo homem-máquina.

A interface constitui-se de uma página de boas-vindas ao usuário (Figura 4.10), contendo um botão que dá acesso ao REAL (o botão *Acess Real*) e *links* para outras páginas com informações explicando o que é o REAL (Figura 4.11), como utilizar a interface de controle (Figura 4.12) e publicações sobre o laboratório desde o início do seu desenvolvimento (Figura 4.13).

Quando o usuário pressiona o botão *Access REAL*, o sistema irá verificar se o laboratório já está sendo utilizado por alguém ou não. Se o laboratório estiver desocupado, o sistema irá abrir a página de interface do laboratório. Entretanto, caso o laboratório

esteja ocupado, o sistema irá informar ao usuário e pedir que ele volte mais tarde (Figura 4.14).

A página de interface do laboratório consiste de uma janela principal, que é a página de controle do Laboratório Virtual (Figura 4.15), e duas janelas agrupando, respectivamente, funções para o processamento de imagens (Figura 4.16) e funções para a movimentação do robô móvel (Figura 4.17). Estas duas janelas são obtidas quando se pressionam os botões *Robot Command* e *Image Processing* na janela principal.

O detalhamento das três janelas mencionadas é apresentado na sequência.

4.9.1 Página Principal

A página principal (Figura 4.15) consiste dos seguintes componentes:

- *Robot's World*: janela que transmite ao usuário uma visão panorâmica do laboratório físico onde o robô se encontra, através da câmera de vídeo situada no teto do laboratório;
- *Camera View*: janela que transmite ao usuário a imagem vista pelo robô, através da câmera de vídeo situada sobre o mesmo;
- *Processed Image*: janela que apresenta ao usuário a versão processada da imagem descrita acima. As opções de processamento são apresentadas na seção 4.9.2;
- *Robot Command*: botão que abre a janela de menu de comandos de movimentação do robô, descrita na seção 4.9.3;
- *Image Processing*: botão que abre a janela de funções de processamento de imagens, descrita na seção 4.9.2;
- Abaixo dos botões descritos, há uma área retangular onde são transmitidas ao usuário mensagens de erro e do *status* dos comandos por ele enviados ao Laboratório Virtual.

4.9.2 Janela de Funções de Processamento de Imagens

A janela de funções de processamento de imagens (Figura 4.16) apresenta ao usuário, em forma de *menu*, várias opções de filtros e transformações que lhe permitem processar a imagem fornecida na janela *Camera View*. Vale lembrar que estas opções representam apenas algumas das várias formas de se trabalhar com as imagens transmitidas pela câmera do laboratório. As opções disponíveis são:

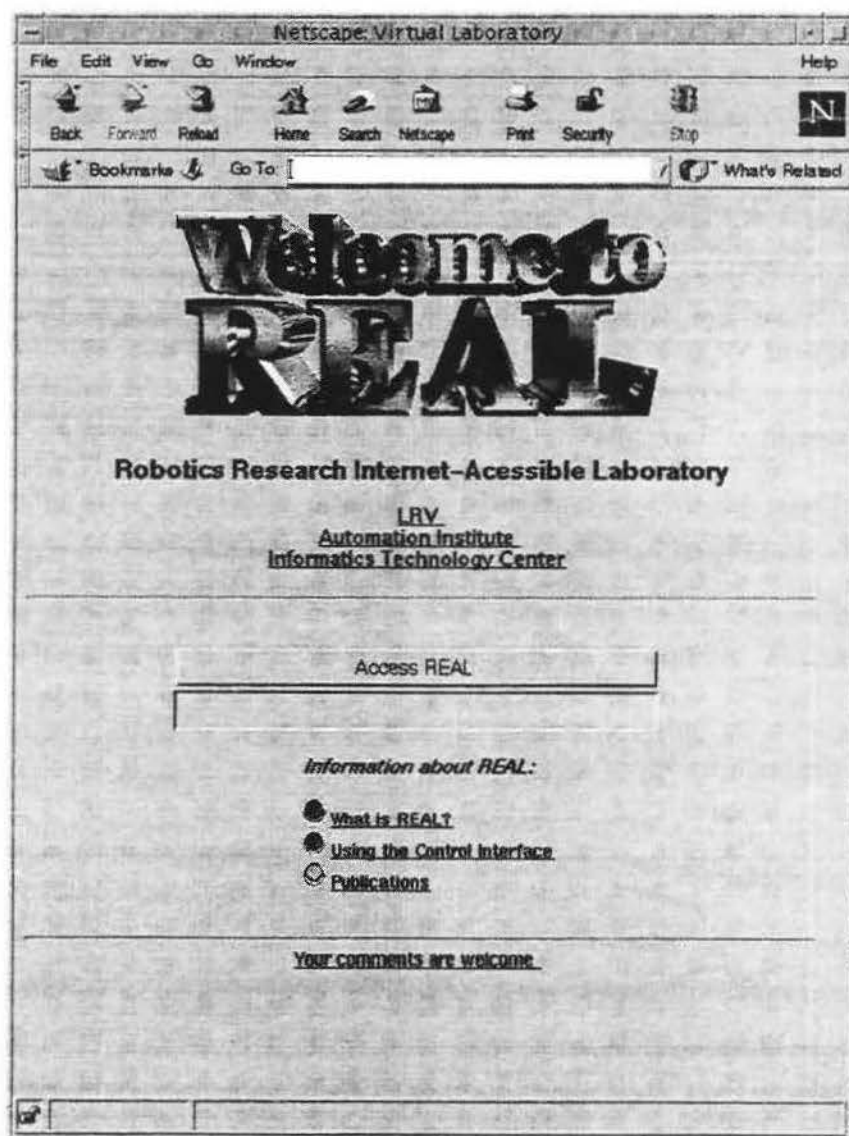


Figura 4.10: Página de boas-vindas do REAL.

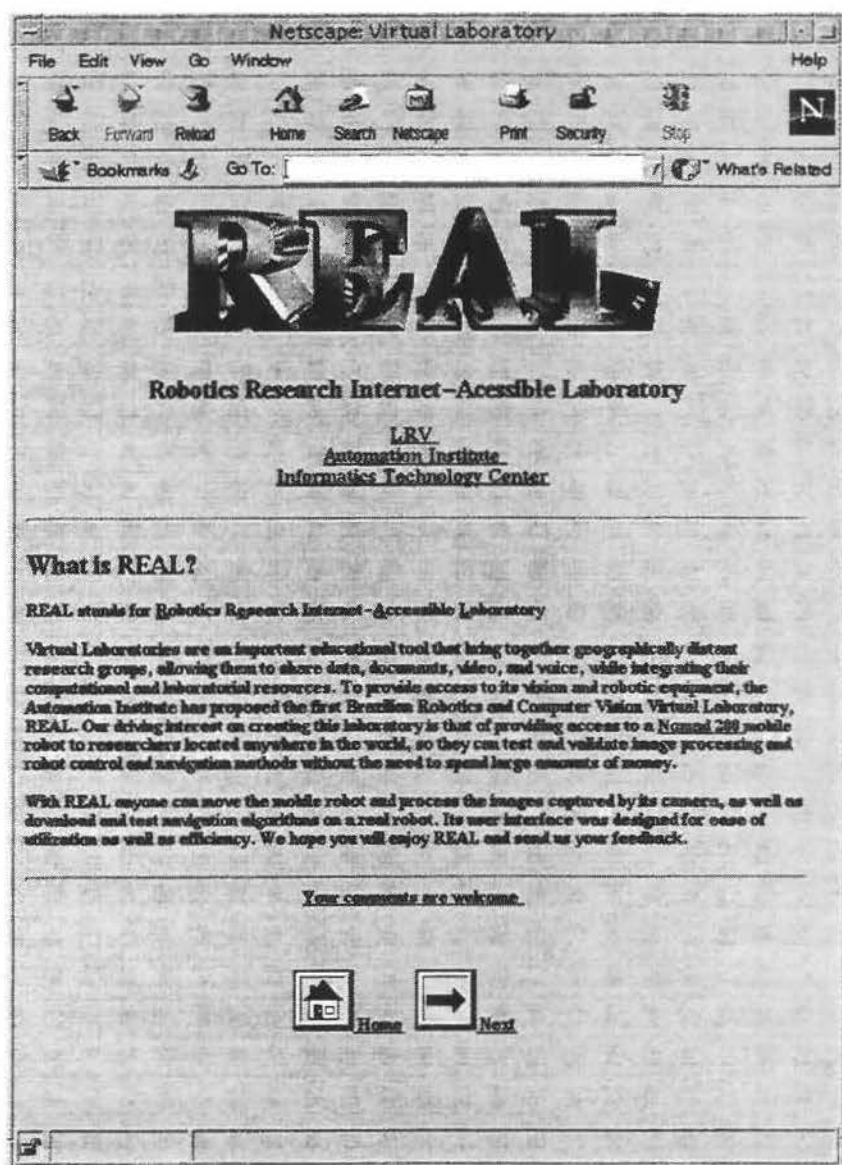


Figura 4.11: Página que explica o que é o REAL.

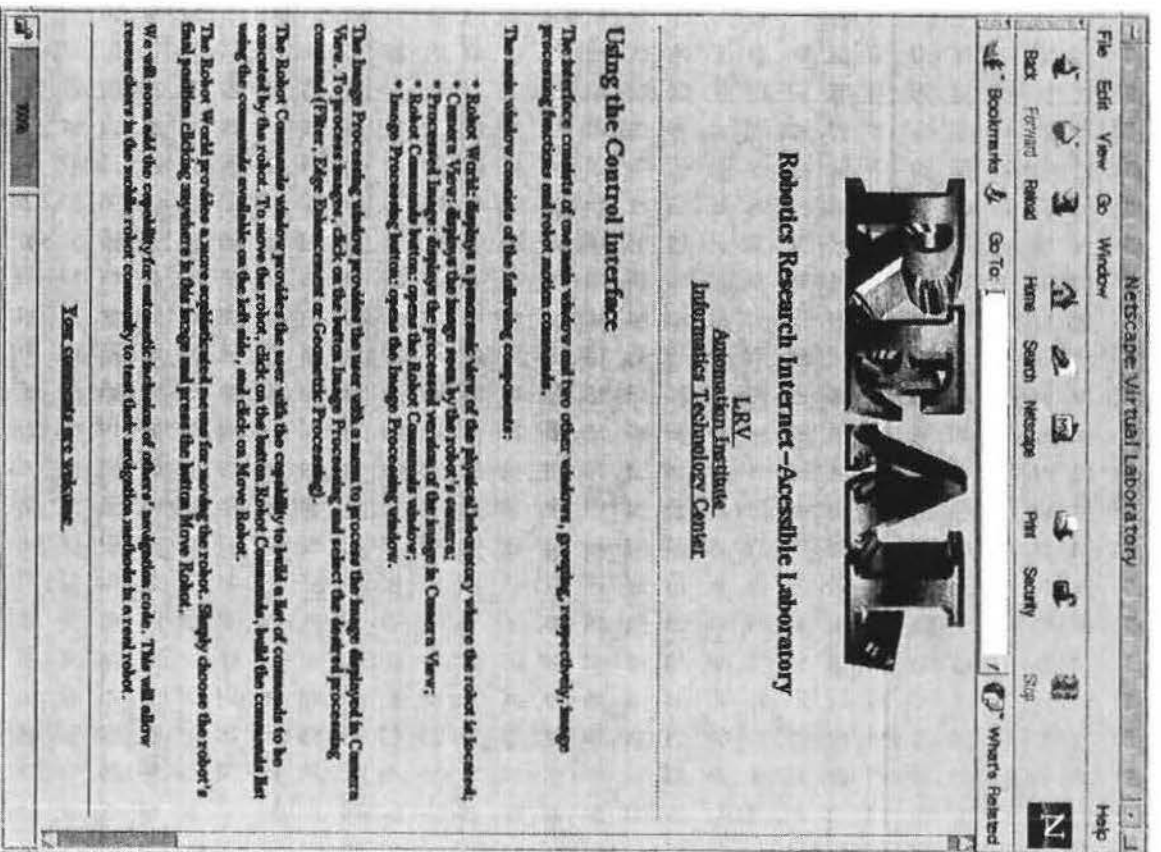


Figura 4.12: Página sobre como utilizar a interface do REAL.

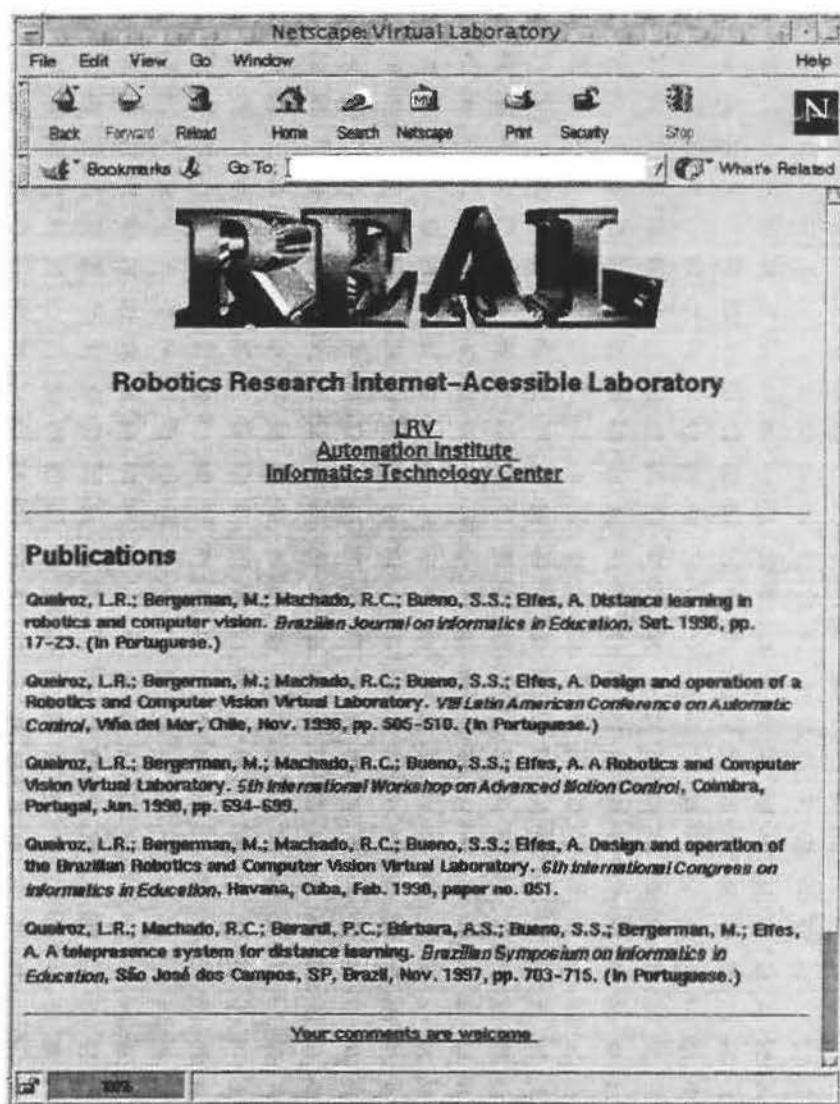


Figura 4.13: Página de publicações a respeito do REAL.

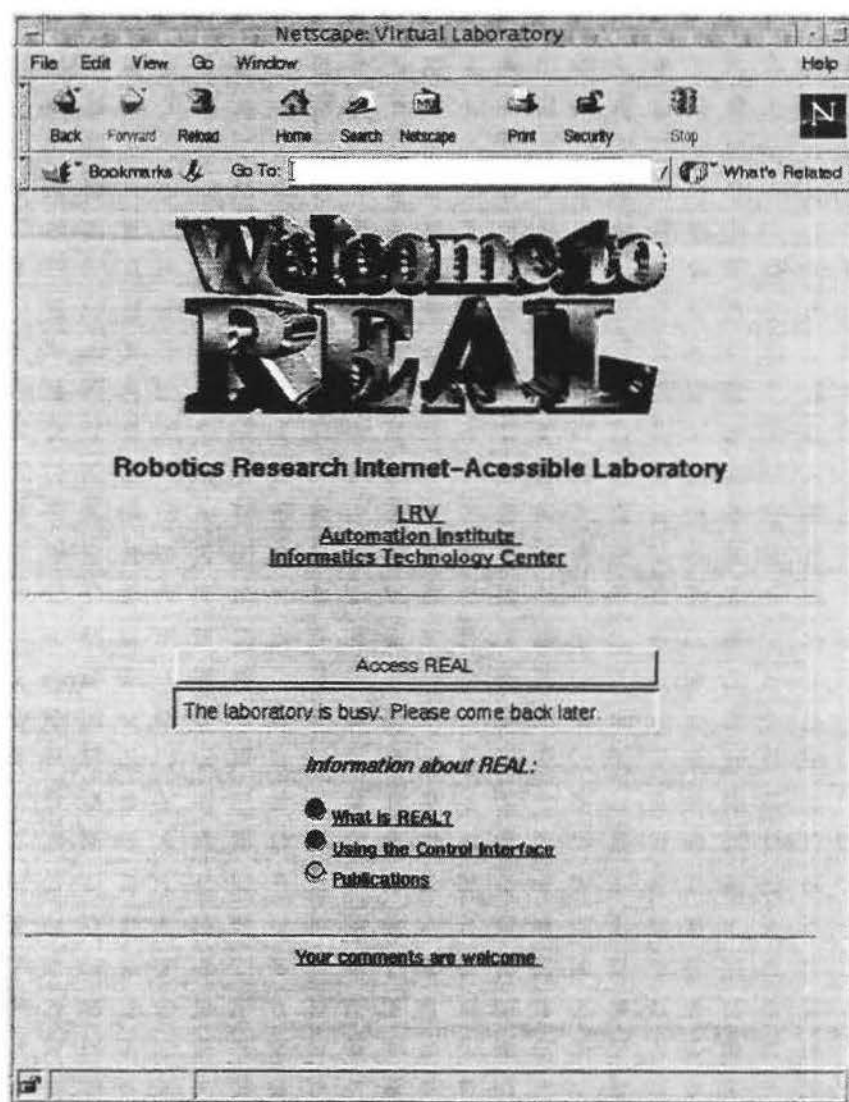


Figura 4.14: Página informando ao usuário que o laboratório está ocupado.

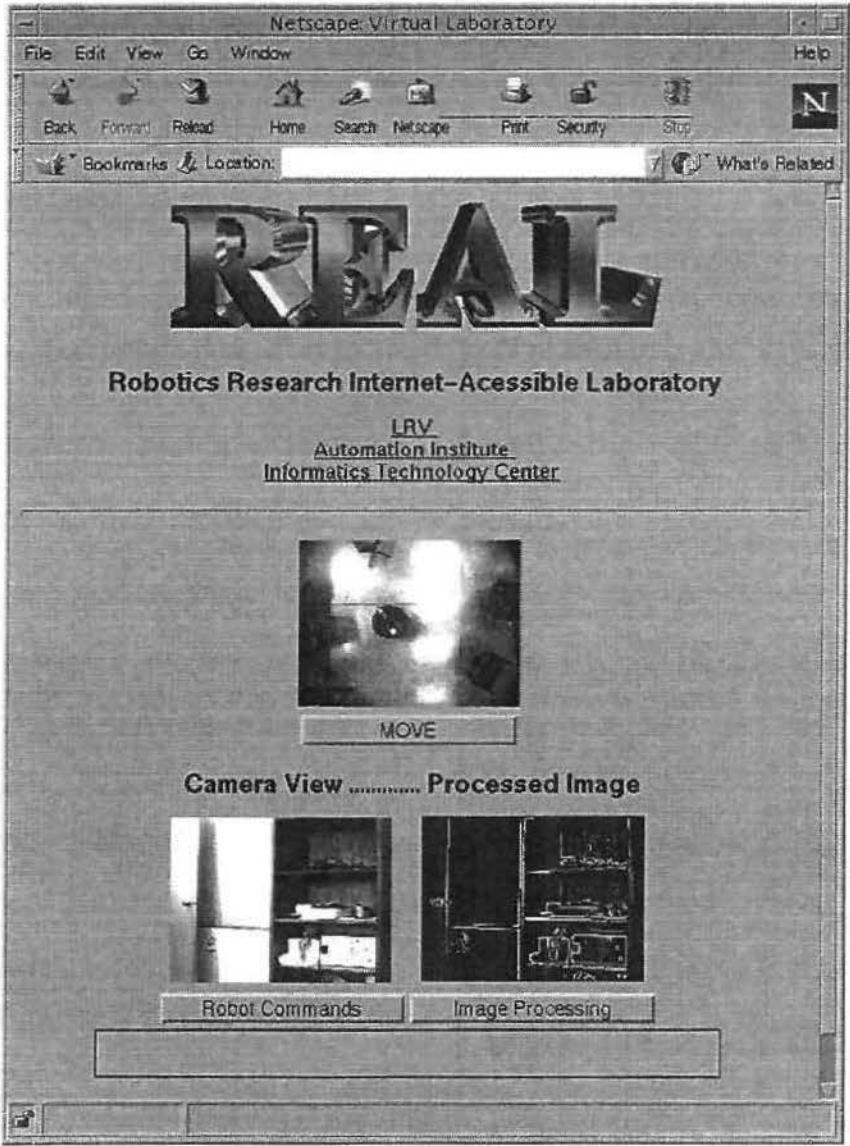


Figura 4.15: Página principal do REAL.

- *Filter*: Filtros passa-baixa, passa-banda, passa-alta e *blur*;
- *Edge Enhancement*: métodos de realce de bordas, baseados no Laplaciano, no gradiente da imagem ou utilizando o algoritmo de Sobel;
- *Geometric Transformation*: escalamento, rotação, translação ou espelhamento da imagem.

A janela possui ainda uma área de texto, abaixo do *menu*, onde são transmitidas ao usuário informações sobre o *status* das operações de filtragem executadas.

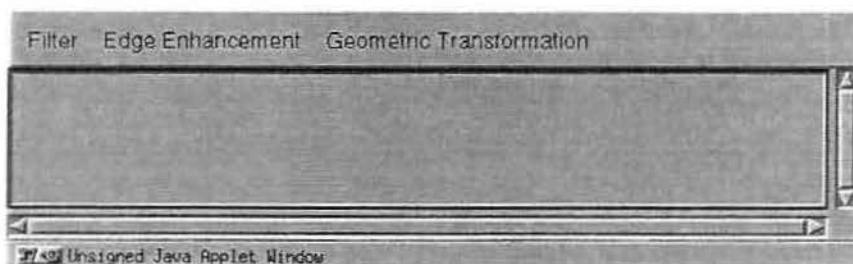


Figura 4.16: Janela de comandos das funções de processamento de imagem.

4.9.3 Janela de Funções de Movimentação do Robô

A janela de funções de movimentação do robô (Figura 4.17) consiste de 5 áreas, que contém, respectivamente:

- comandos de movimentação: *Zeroing*, *Turn Left*, *Turn Right*, *Move Forward* e *Move Backward*;
- comandos de edição: *Delete Commands* e *Reset List*;
- uma área de texto para mostrar ao usuário os comandos de movimentação já escolhidos;
- um botão que executa os movimentos do robô;
- uma área de texto para mensagens de *status* e de erro.

Como podemos observar, os comandos de movimentação do robô são auto-explicativos, eliminando a necessidade de memorização de detalhes:

- *Zeroing*: Inicializa todas as posições do robô;

- *Turn Left*: Vira o robô para a esquerda;
- *Turn Right*: Vira o robô para a direita;
- *Move Forward*: Move o robô para a frente;
- *Move Backward*: Move o robô para trás.

Da mesma forma, podemos dizer que os comandos de edição também são auto-explicativos:

- *Delete Commands*: retira um ou mais comandos da lista;
- *Reset List*: apaga toda a lista de comandos.

Vale lembrar também que, assim como ocorre com as funções da janela de processamento de imagens, estas opções representam apenas alguns dos comandos que poderiam ser dados ao robô.

Exemplos da utilização de tal janela serão apresentados no próximo capítulo.

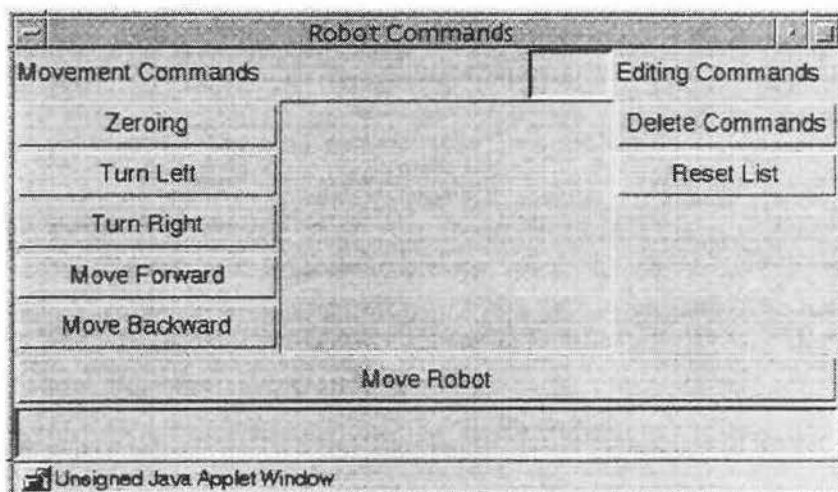


Figura 4.17: Janela de comandos das funções de movimentação do robô.

Capítulo 5

Funcionalidade do REAL

5.1 Introdução

No capítulo anterior apresentamos o REAL, Laboratório de Pesquisas em Robótica. Acessível via Internet, a forma como foi implementado, seus subsistemas e a sua interface de controle. Neste capítulo apresentaremos a sua funcionalidade. Veremos que existem dois modos de controlar o robô a distância, telepresença básica e telepresença avançada, e alguns exemplos sobre como atuar no robô a distância. Além disto, alguns detalhes de implementação tais como a comunicação cliente-servidor e os métodos de navegação e de busca do robô na imagem são apresentados.

5.2 Modos de Controle

Utilizando-se as três janelas apresentadas na seção anterior, é possível atuar no robô de duas maneiras: através de primitivas básicas de telepresença ou através de telepresença avançada. O detalhamento destes dois modos é apresentado na sequência.

5.2.1 Telepresença Básica

No modo básico de telepresença, o usuário é capaz de enviar ao robô comandos primitivos do tipo “mova”, “vire” e “vá à posição inicial”, bem como utilizar funções de processamento de imagens para melhor entender o ambiente remoto. Este modo é realizado através de operações realizadas nas janelas *Image Processing* e *Robot Commands*.

A utilização da janela *Image Processing* é bastante simples. O usuário deve apenas escolher se quer fazer uma filtragem, detecção de bordas ou uma transformação geométrica, e selecionar com o *mouse* a opção desejada. O exemplo 1 ilustra o seu uso.

Exemplo 1: A figura 4.15 apresenta, na janela *Processed Image* uma imagem que corresponde às bordas presentes na imagem em *Camera View*. Para obter essa imagem, basta o usuário abrir a janela de funções de processamento de imagens, escolher a opção *Edge Enhancement* e, posteriormente, *Laplacian*. O usuário é notificado quando o processamento se completa (Figura 5.1).

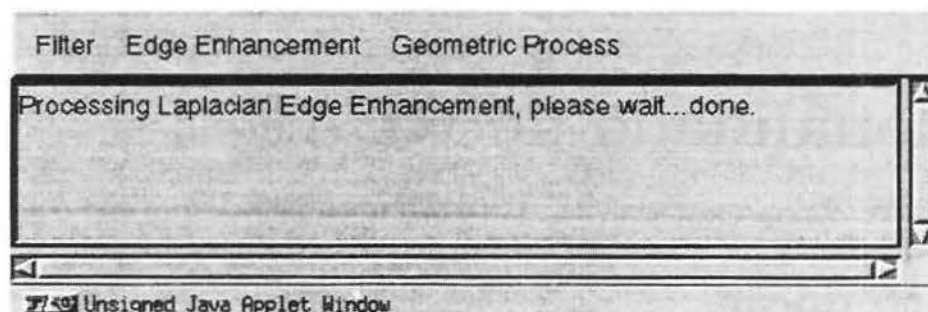


Figura 5.1: Janela apresentando ao usuário a notícia de que a detecção de bordas baseado no Laplaciano foi realizado.

A utilização da janela *Robot Commands* é um pouco mais complexa. Neste caso o usuário deve pressionar os botões correspondentes aos comandos de movimentação a serem executados em sequência. A cada comando escolhido, a interface pede ao usuário que escolha o parâmetro do comando, que é o ângulo no caso das rotações ou a distância no caso das translações. Para facilitar a operação de usuários novatos, valores *default* de 45 graus para rotação e de 1 metro para translação são automaticamente escolhidos, caso o usuário não digite nenhum valor.

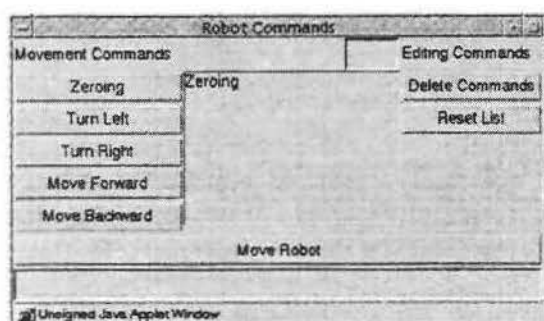
O usuário pode também apagar valores que ele porventura decida retirar da lista, ou mesmo apagar toda a lista, usando os comandos de edição. Uma vez pronta a lista de comandos, o usuário pressiona o botão *Move Robot* e a lista é enviada ao robô, que a executa. Se todos os comandos forem executados com sucesso, uma mensagem indicando tal fato aparece na área de texto. Caso algum dos comandos não possa ser realizado (por exemplo quando o comando implicar em uma colisão do robô com algum objeto do ambiente), uma mensagem de erro é enviada ao usuário e os comandos subsequentes são ignorados.

A seguir são apresentados dois exemplos que ilustram a utilização de tal janela.

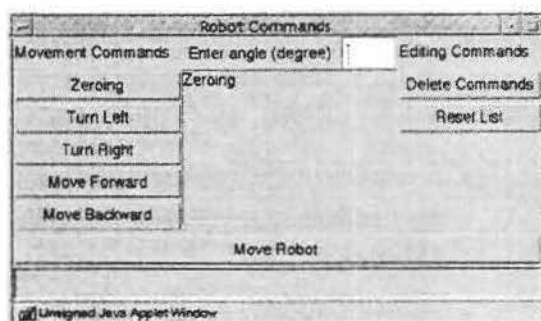
Exemplo 2: As figuras de 5.2(A) a 5.2(H) apresentam a seguinte sequência de operações para a definição de uma lista de comandos:

- o usuário pressiona o botão *Zeroing*, que remete ao robô à sua posição base. Como este comando não necessita de nenhum parâmetro adicional, ele é inserido diretamente na lista de comandos (Figura 5.2 A);

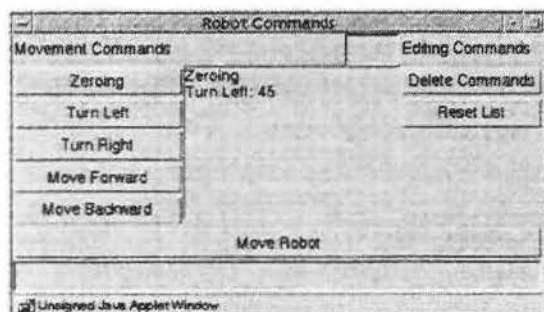
- o usuário pressiona o botão *Turn Left* (Figura 5.2 B). Nesse caso a interface pede ao usuário que entre com o ângulo de giro. No exemplo, o usuário digita 45 (Figura 5.2 C);
- o usuário pressiona o botão *Move Forward*. Novamente, a interface pede ao usuário que entre com a distância a ser percorrida, 1m neste exemplo (Figura 5.2 D).
- continuando o raciocínio acima, o usuário insere na lista os comandos *Turn Right: 45 degrees* e *Move Backward: 2 m* (Figura 5.2 E).
- suponha agora que antes de mandar o robô executar tais comandos, o usuário volta atrás nas suas decisões e decide apagar alguns comandos. Para isto, ele seleciona na lista aqueles comandos que ele deseja que sejam apagados (Figura 5.2 F) e logo em seguida, pressiona o botão *Delete Commands*. O resultado desta operação é apresentado na figura 5.2 G.
- o usuário, satisfeito com a lista planejada, aperta o botão *Move Robot*. Os três comandos da lista (*Zeroing*, *Move Forward: 1m*, *Turn Right: 45 degrees*) são enviados ao robô e, nesse caso, executados com sucesso, tal qual comprovado pela mensagem de êxito da Figura 5.2 H. A evolução do robô no laboratório é mostrada na figura 5.3.



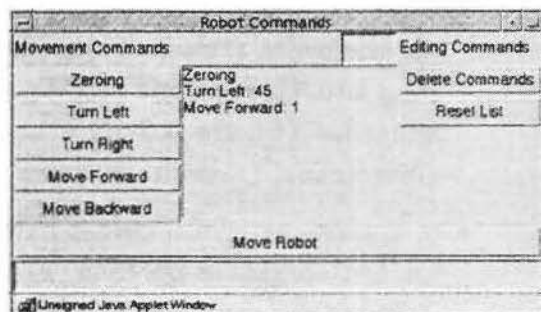
(A)



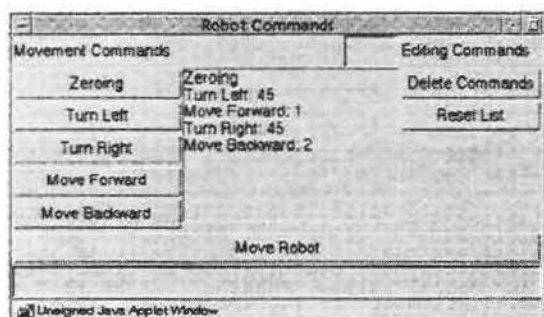
(B)



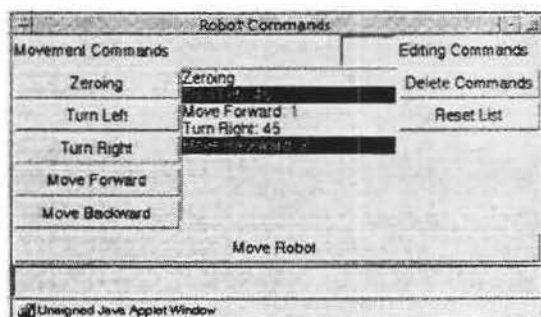
(C)



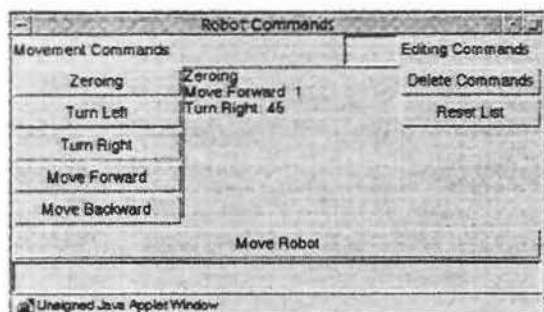
(D)



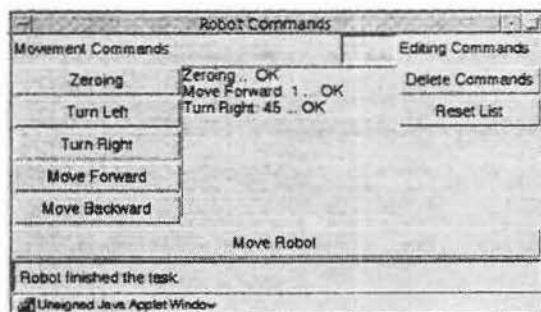
(E)



(F)



(G)



(H)

Figura 5.2: Sequência de operações realizadas na janela de funções de movimentação do robô.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 5.3: As posições do robô no início (A) e após realizar os comandos *Zeroing* (B), *Move Forward: 1m* (C), *Turn Right: 45 degrees* (D).

Exemplo 3: De forma similar ao exemplo acima, suponha que o robô esteja na posição inicial apresentada na figura 5.4 (A) e que o usuário deseje que ele execute a mesma lista de comandos apresentada no exemplo 2 acima. Entretanto, observe que existe um objeto (uma cadeira) próximo ao robô. Neste caso, o robô irá começar a executar a lista de comandos e assim que detectar o objeto, irá informar ao usuário de que ele não poderá finalizar a execução da tarefa, bem como qual o comando que não foi totalmente executado (Figura 5.5). O restante da lista é ignorado pelo sistema. A posição final do robô é apresentada na figura 5.4 (B).

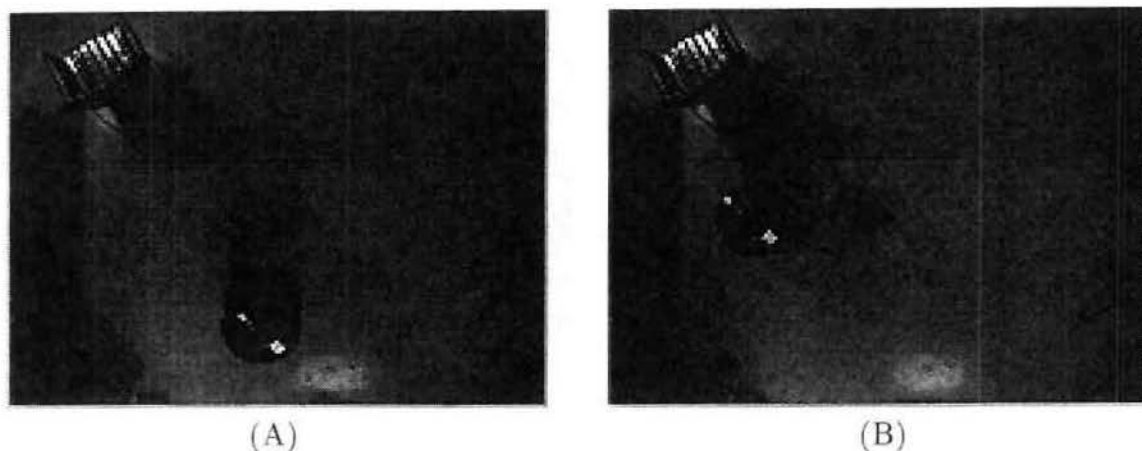


Figura 5.4: Posições do robô antes (A) e após (B) detectar a presença do objeto.

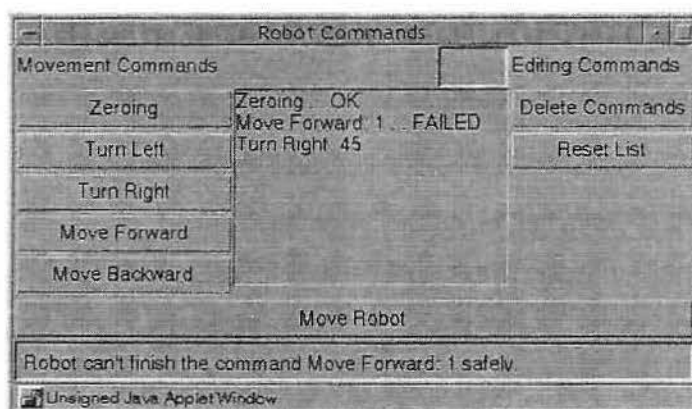


Figura 5.5: Janela de movimentação do robô informando de que foi detectado um objeto na frente do robô.

5.2.2 Telepresença Avançada

O modo de telepresença avançado é realizado através da janela *Robot's World*. Neste modo, o usuário é capaz de movimentar o robô sem a necessidade de ter que ficar estabelecendo uma lista de comandos como a apresentada na seção 5.2.1. Neste caso o usuário precisa apenas selecionar na imagem um ponto de destino para o robô, bastando para isto pressionar com o botão do *mouse* qualquer ponto nesta janela. Uma vez selecionado o ponto e pressionado o botão *Move*, o robô irá se deslocar do ponto inicial até o ponto destino. Na realidade o que ocorre é que o sistema localiza na imagem a posição central e a direção para onde o robô está virado, e repassa estes dados juntamente com o ponto destino a um método de navegação bastante simples. Este método gera automaticamente uma lista de comandos primitivos (rotação e translação) que são repassados ao robô para fins de locomoção. Maiores detalhes sobre o método de busca e o método de navegação são

apresentados nas seções 5.3.2 e 5.3.3, respectivamente. O exemplo 4 ilustra a utilização do modo avançado de telepresença.

Exemplo 4: A figura 5.6 apresenta o robô em sua posição inicial e o ponto de destino escolhido pelo usuário. Na sequência é apresentado o robô na sua posição final, alcançada com uma rotação de 166 graus e translação de 1.05 m.

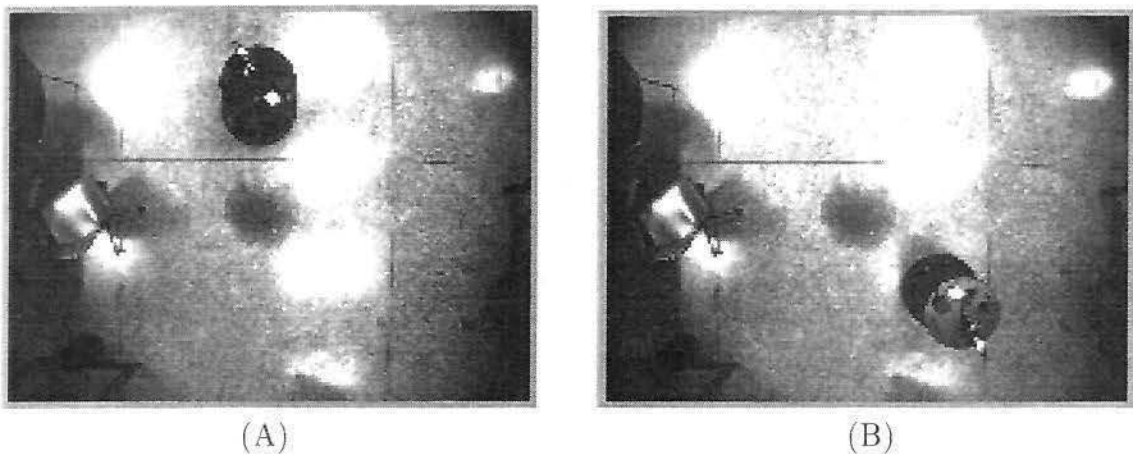


Figura 5.6: Posições do robô, visto pela câmera do teto antes (A) e após (B) atingir o ponto destino escolhido pelo usuário.

5.3 Detalhamento de Implementação

5.3.1 Comunicação Cliente-Servidor

Como mencionado na seção 4.2, *applets* Java e servidores de ação trabalham em conjunto no núcleo do Laboratório Virtual. Um primeiro conjunto de *applet*, um servidor de imagens e um servidor de movimentação, reside dentro do robô móvel. Outro conjunto análogo a este reside em um outro PC executando Linux. Além destes, um servidor de localização do robô na imagem também reside neste PC (Figura 5.7). A responsabilidade dos servidores estão divididas da seguinte forma:

- servidor de imagens do robô: responsável por enviar as imagens capturadas pela câmera situada sobre o robô.
- servidor de movimento do robô: responsável por executar os comandos de movimentação do robô no modo básico de teleoperação.

- servidor de imagens do PC: responsável por enviar as imagens capturadas pela câmera situada no teto do laboratório.
- servidor de movimento do PC: responsável por executar os comandos de movimentação do robô, no modo avançado de teleoperação.
- servidor de localização do robô: responsável por localizar o eixo principal do robô (ponto central mais direção da frente do robô) a partir da imagem da câmera situada no teto do laboratório.

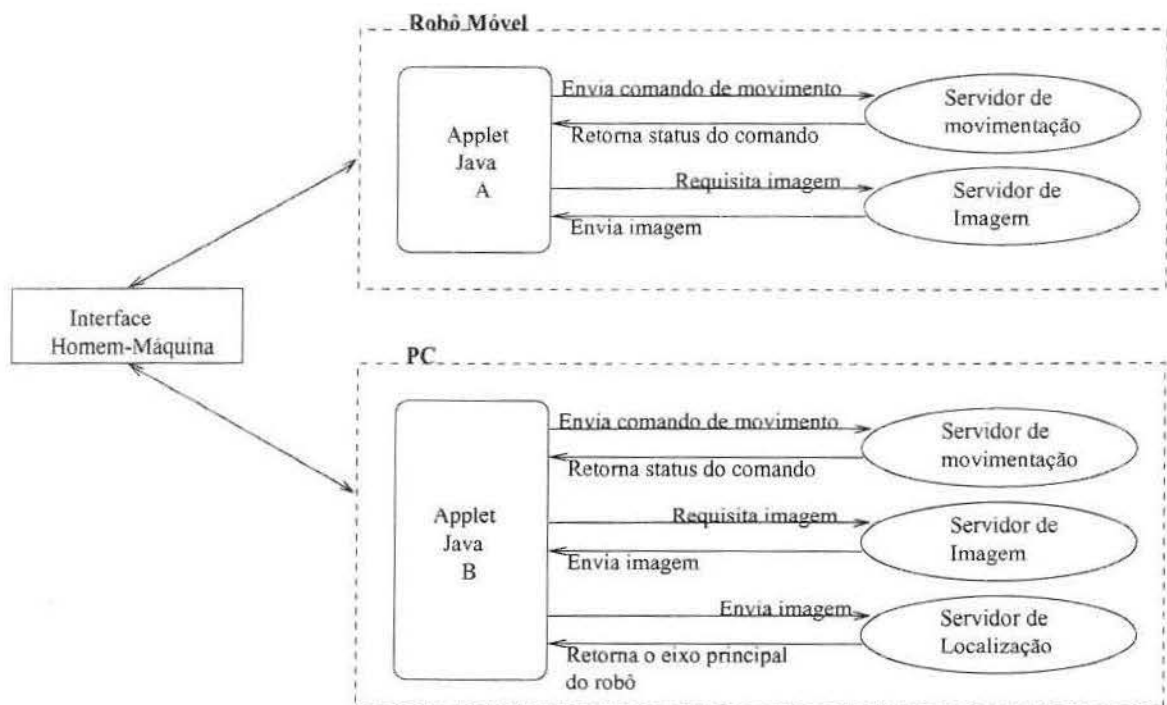


Figura 5.7: Esquema de comunicação do REAL.

A decisão de utilizar dois conjuntos diferentes de *applets* e servidores foi baseada na necessidade de se operar o robô sem nenhum tipo de fio ou cordão umbilical preso a ele. Se o servidor de imagens do conjunto B estivesse armazenado no robô, ao invés do PC, um cabo deveria conectar o cabo da câmera do teto ao *frame grabber* do robô. Consequentemente, este servidor de imagens teve que ser armazenado em um computador diferente do robô.

Uma outra questão que deve ser levantada é a restrição de segurança imposta por um *applet* Java, que diz que um *applet* só pode se conectar a um servidor localizado no mesmo computador no qual o *applet* foi chamado. Portanto, o *applet* B deve residir no PC juntamente com o servidor de imagens. Pelo mesmo motivo, o *applet* B só pode se

conectar com o seu respectivo servidor de movimento, se este servidor também estiver armazenado no PC. Resumindo, para manter o robô livre de fios e cabos, foi utilizado um outro computador, além do robô móvel.

Tanto o *applet* do robô quanto o *applet* do PC ficam continuamente requisitando imagens aos seus respectivos servidores de imagens. Estas imagens são enviadas assincronamente, isto é, o envio de uma não depende do envio da outra. Além disso, o envio de imagens também independe dos movimentos do robô. Esta característica foi possível devido a opção de se implementar processos separados para o envio de pedidos e o recebimento de respostas dos servidores de imagens e movimentação.

O *applet* do robô é responsável por abrir a janela *Robot Commands*, aceitar as entradas do usuário, construir uma lista de comandos, e enviar esta lista ao servidor de movimentação do robô. Após isto, ele fica esperando até que o servidor execute todos os comandos com sucesso, apresentando neste caso a mensagem "Robot finished the task", ou detecte a possibilidade de colisão. Neste caso o servidor aborta a execução da lista de comandos e o *applet* apresenta ao usuário uma mensagem de que o comando falhou e a lista foi abortada.

O *applet* no PC é responsável por detectar o *click* do *mouse* na janela *Robot World* e capturar as coordenadas de tal ponto (em *pixels*). Após isto ele envia a imagem desta janela para o servidor de localização do robô, que busca, na imagem, a posição do centro do robô e a direção da sua frente, conforme apresentado na seção 5.3.2. Uma vez que tais dados são retornados, o *applet* envia estes dados e o ponto de destino para o servidor de movimentação, o qual é responsável por gerar as primitivas de movimentação que irão conduzir o robô até o ponto destino, através do método de navegação apresentado na seção 5.3.3. Da mesma forma como no *applet* anterior, o servidor deverá executar todos os comandos, ou enviar uma mensagem de erro caso haja a possibilidade de colisão com algum objeto.

5.3.2 Método de Busca do Robô na Imagem

Para fins de obtenção do eixo principal do robô, foi implementado um servidor de localização do robô na imagem da janela *Robot's World*. O eixo principal é dado pelo ponto central do robô e a direção da câmera de vídeo situado sobre ele.

Uma vez que a imagem é passada para o servidor, o mesmo deve identificar duas marcas brancas situadas sobre o robô, sendo uma sobre a câmera e outra, um pouco maior, exatamente ao lado oposto da primeira (Figura 5.8 (A)). Com isto, uma vez localizado tais marcas, é possível identificar a posição central e a direção da frente do robô (Figura 5.8 (B)), através de uma interpolação de dados e através do tamanho das marcas brancas (a marca menor indica a frente).

O processo de localização das marcas brancas sobre o robô consiste basicamente na execução de funções de processamento de imagens, a fim de isolar tais marcas do restante do ambiente. Para isto foram utilizadas funções da biblioteca de morfologia matemática do Matlab [38]. Tais funções realizam os seguintes processamentos (Figura 5.9):

- Open Top-hat: detecta regiões brancas menores que um retângulo de lado 4 *pixels*.
- Opening: remove regiões brancas menores que um retângulo de lado 1 *pixel*.
- Thresholding: detecta as marcas do robô.

Uma vez que já temos isoladas as marcas brancas do restante do ambiente, basta calcular o centróide de cada marca, traçar um reta entre ambos os pontos e calcular o ponto central desta reta. Este ponto é o centro do robô que, juntamente com o ponto central da marca menor, indicam a direção do robô.

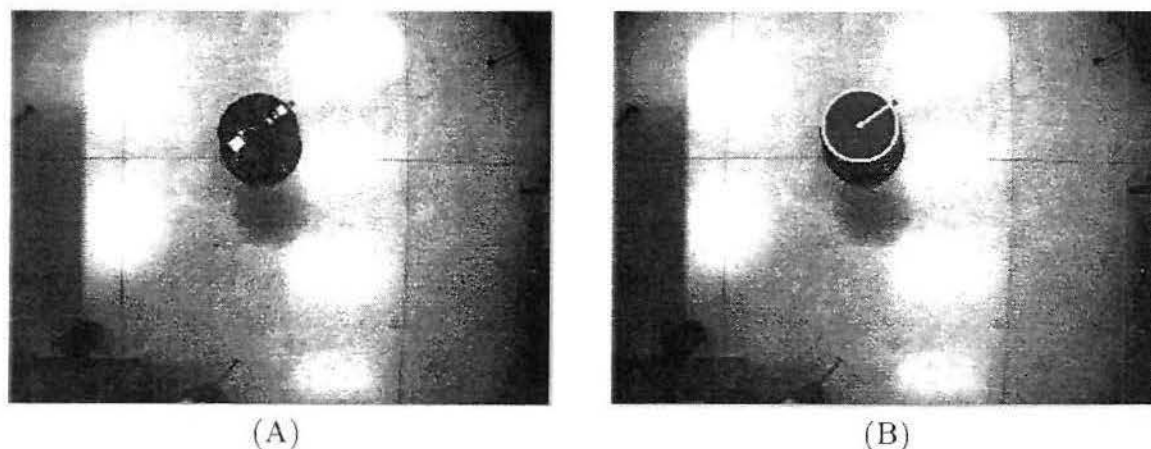


Figura 5.8: O processo de localização do robô na imagem: image original (A) e a resultante do processamento de imagem (B).

5.3.3 Método de Navegação

Como mencionado anteriormente, uma vez que o usuário seleciona um ponto da janela *Robot's World*, o robô é capaz de se deslocar da sua posição inicial até o ponto selecionado, através de uma lista de comandos (translação e rotação) gerados automaticamente por um método de navegação. Atualmente, este método consiste simplesmente em girar o robô para alinhar seu eixo principal com a direção do vetor que conecta o centro do robô e o ponto destino (ângulo θ , na figura 5.10), e deslocá-lo até o ponto destino (distância d na figura 5.10). Algoritmos de navegação mais sofisticados podem ser implementados e incorporados ao laboratório conforme apresentado na seção 5.4.

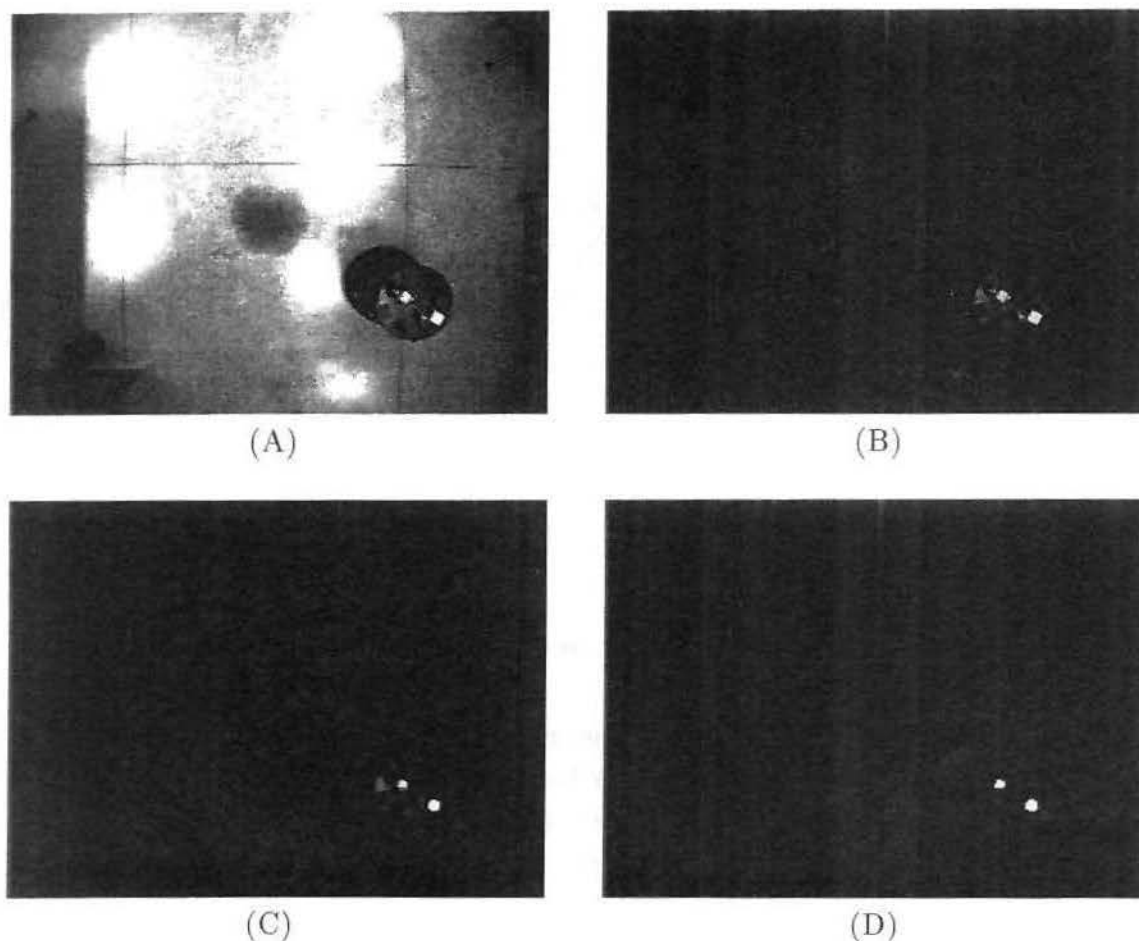


Figura 5.9: Imagens do robô antes (A) e após realizar os processamentos *Open Top-hat* (B), *Opening* (C), *Thresholding* (D).

5.4 Compartilhamento do Laboratório Virtual

Neste ponto é importante descrever como pesquisadores trabalhando em diferentes lugares do mundo serão capazes de utilizar o REAL para realizarem suas pesquisas. Conseguimos antever no mínimo três caminhos:

- pesquisadores que desejarem testar seus algoritmos de processamento de imagens, serão capazes de incorporar seu código a um item de *menu* padrão, na janela *Image Processing*. A robustez de um código pode ser testada movimentando o robô pela sala até que uma cena em particular possa ser encontrada e processada. Isto permite que usuários testem seus códigos em imagens de mundo real, ao invés de imagens geradas sinteticamente, e sem a necessidade de gastar dinheiro com a aquisição de câmeras e placas de vídeo;

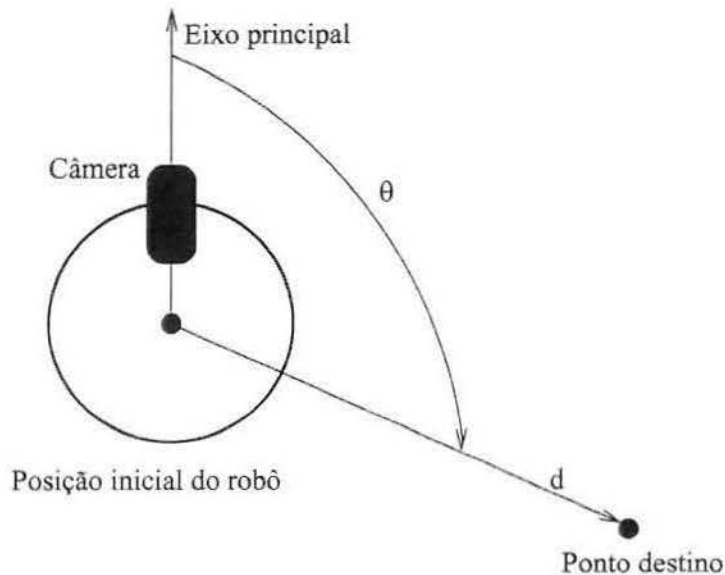


Figura 5.10: Método básico de navegação para o REAL.

- pesquisadores que desejarem testar seus métodos de navegação e controle serão capazes de incorporar seus códigos no Laboratório Virtual, substituindo o método básico de navegação apresentado na figura 5.10. Para isto o usuário deverá construir seu algoritmo de forma que a função de entrada tenha como parâmetros somente três pontos: o ponto central do robô, o ponto que dá a direção da frente do robô e, por último, o ponto destino. Além disso esta função deve retornar uma String "OK", caso a movimentação ocorra com sucesso, ou, caso contrário, uma mensagem de erro explicando qual o problema. Resultados do caminho percorrido pelo robô podem ser enviados aos pesquisadores através de um arquivo texto, contendo informações obtidas a partir dos sensores do robô;
- o Laboratório Virtual abre as portas para a incorporação e validação de outros tipos de pesquisas, como, por exemplo, pesquisas nas áreas de aprendizado e/ou reconhecimento de ambientes. Assim, o REAL abre as portas do Laboratório de Robótica e Visão do CTI para uma infinidade de oportunidades de pesquisa.

Capítulo 6

Conclusão

6.1 Contribuições

Laboratórios Virtuais são ferramentas de educação e pesquisa a distância que deverão ser utilizadas cada vez em maior escala para atender à demanda por educação avançada tanto no Brasil como no exterior. Neste trabalho, foram focalizadas a conceituação, definição e implementação de um laboratório virtual, adotando-se como estudo de caso as importantes áreas de robótica e visão computacional.

Analizando o conceito e as características dos vários Laboratórios Virtuais existentes, foi proposto uma possível classificação para tais laboratórios. De uma maneira simplificada, os Laboratórios Virtuais podem ser classificados em três níveis diferentes, dependendo da forma como são apresentados aos usuários, ou do nível de interação entre o usuário e o ambiente remoto. Laboratórios do nível 1 apresentam ao usuário somente textos, figuras ou vídeo sobre o assunto a ser estudado. No nível 2 os laboratórios são capazes de realizar uma simulação do experimento a ser realizado. No nível 3, o usuário é capaz de interagir com o ambiente remoto e realizar experimentos reais sobre o assunto a ser estudado.

Baseados nestas definições, questões como “ser um laboratório virtual ou real” também foram tratadas. Neste caso, chega-se a conclusão de que o termo “laboratório virtual” para casos em que há a realização remota de experimentos também pode ser utilizada, pois ele já é largamente utilizado nos meios acadêmicos, e por isso foi incorporado ao trabalho. Segundo uma outra forma de análise, podemos utilizar este termo desta maneira simplesmente para fazer uma dissociação entre o ambiente físico do laboratório (sala ou local onde ele se encontra) e os equipamentos nele contidos.

Por último, é apresentado um estudo de caso voltado para as áreas de robótica e visão computacional. Por serem áreas onde resultados experimentais são fundamentais para a validação de métodos propostos e por necessitarem de equipamentos com um

alto custo e escassos no país, foi proposta a implementação de um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional. Este laboratório, o primeiro do Brasil e um dos pioneiros no mundo, foi batizado com o nome de REAL (do inglês **R**obotics **R**esearch **I**nternet-**A**ccessible **L**aboratory). Sua implementação foi realizada utilizando-se as linguagens C, Java e HTML, e foi totalmente baseada numa arquitetura cliente-servidor. Conceitos presentes na tecnologia de telepresença (telemonitoração e teleoperação de um espaço remoto) também foram utilizados, por ser esta uma tecnologia sempre presente em laboratórios situados no nível 3. Detalhes de implementação, da sua interface e da sua funcionalidade também são apresentados.

Em resumo, as principais contribuições deste trabalho são:

- o estabelecimento de uma arquitetura básica para o desenvolvimento e implantação de Laboratórios Virtuais;
- a criação, desenvolvimento, implementação e implantação de um Laboratório Virtual de Robótica e Visão Computacional, onde pesquisadores de qualquer parte do mundo podem testar seus algoritmos de processamento de imagens, navegação e controle robótico;
- a caracterização para o termo “Laboratórios Virtuais”, bem como uma proposta de classificação para os vários Laboratórios Virtuais existentes.

6.2 Extensões e trabalhos futuros

Dentre as possibilidades de pesquisa de porte significativo relacionadas a este trabalho podemos citar:

- a incorporação automática do código dos pesquisadores visitantes ao Laboratório Virtual, bem como o envio automático dos dados sensoriais do robô, a fim de promover uma análise mais rápida e eficiente dos resultados das pesquisas realizadas. Neste caso, o laboratório poderia conter um botão que fizesse um *download* do código desejado e na medida que o código fosse sendo executado, todos os dados sensoriais referentes a cada movimento do robô iriam sendo incorporados a um arquivo texto, por exemplo. Posteriormente, este arquivo texto poderia ser enviado para o usuário, também de forma automática.
- a implementação de um meta-laboratório virtual, utilizando o REAL como base. Neste caso, o REAL poderia ser utilizado para interagir com um outro laboratório virtual, em alguma outra parte do mundo. Como exemplo, poderíamos ter um pesquisador utilizando o REAL para a execução de algum algoritmo, o qual irá gerar dados para alimentar um outro laboratório virtual.

- a incorporação e validação de vários outros tipos de pesquisa, como, por exemplo, nas áreas de aprendizado, reconhecimento de ambientes, fusão sensorial e percepção.
- a utilização da arquitetura básica proposta para a implementação de outros laboratórios virtuais, nas mais diversas áreas do conhecimento: ciências, química, biologia, psicologia, estatística, dentre outras.

Bibliografia

- [1] *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Editora Nova Fronteira, 1996.
- [2] R. D. Ballard. A last long look at titanic. *National Geographic*, Dezembro 1986.
- [3] F. Cambiotti, M. Parvis, and U. Pisani. Multimedia training and remote operating laboratory: innovative solutions for instrumentation and electronic measurements courses. In *Proceedings of the International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering*, pages 245–251, Julho 1996.
- [4] Camera obscura. <http://nebula.physics.uakron.edu:80/light/obscura/obscura.html>, Agosto 1997.
- [5] Y. U. Cao, T. W. Chen, and M. D. Harris. A remote robotics laboratory on the internet. <http://www.isoc.org/HMP/PAPER/219/>, Agosto 1997.
- [6] U. H. Chi. Formal specifications of user interfaces: a comparison and evaluation of axiomatic approaches. *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-11(8):671–685.
- [7] Burçin Aktan, Carisa A. Bohus, Lawrence A. Crawl, and Molly H. Shor. Distance learning applied to control engineering laboratories. *IEEE Transactions on Education*, 39(3):320–326, Agosto 1996.
- [8] Laboratório de Automação Avancada. Controlling a pantilt. <http://www.laa.ia.cti.br/Demos/Demo1/Demo.html>, Dezembro 1996.
- [9] J. V. Draper. Teleoperators for advanced manufacturing: applications and human factors challenges. *International Journal of Human Factors in Manufacturing*, 1995.
- [10] Michael M. Duguay. Project “virtual laboratory”. <http://www.gel.ulaval.ca/~mbernard/project/project.html>, Setembro 1998.
- [11] Penina Finger. Art & spirit. <http://www.web.com.com/penina>, Setembro 1998.

- [12] David Flanagan. *Java in a Nutshell*. O'Reilly & Associates, Inc., Maio 1996.
- [13] Kenneth D. Forbus. Articulate virtual laboratories for science and engineering education. <http://www.qrg.ils.nwu.edu/projects/NFS/av1.htm>, Setembro 1998.
- [14] R. Goertz and R. Thompson. Electronically controlled manipulator. *Nucleonics*, 1954.
- [15] A. E. R. Greaves. State of the art in nuclear telerobotic: focus on the man/machine connection. *Transactions of the American Nuclear Society*, 1992.
- [16] P. S. Green, J. W. Hill, J. F. Jensen, and A. Shah. Telepresence surgery. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 1995.
- [17] Active Robotics Group. A new technology initiative. <http://skynet.reading.ac.uk>, Agosto 1995.
- [18] B. Hannaford, J. Hewitt, T. Maneewarn, S. Venema, M. Appleby, and R. Ehresman. Telerobotics remote handling of proteins crystals. In *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1010–1015, Abril 1997.
- [19] Karl Harrison. Chemists “experiment” in virtual laboratory. http://info.ox.ac.uk/gazette/1996-7/weekly/130397/news/story_2.htm, Março 1997.
- [20] H. Hirukawa, T. Matsui, and H. Onda. Prototypes of teleoperation systems via a standard protocol. In *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1028–1034, Abril 1997.
- [21] A. E. Kaplan, S. Keshav, N. L. Schryer, and J. H. Venutolo. An internet accessible telepresence. *Multimedia Systems Journal*, 1996.
- [22] Michael Karweit. A virtual engineering/science laboratory course. <http://www.jhu.edu/virtlab/virtlab.html>, Setembro 1998.
- [23] Michael Karweit. A virtual laboratory for beginning scientist/engineers. <http://print.cps.nl/calgary/6.html>, Setembro 1998.
- [24] K. Goldberg, M. Mascha, S. Gentner, N. Rothenberg, C. Sutter, and J. Wiegley. Robot teleoperation via www. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Maio 1995.
- [25] L. G. Kiatake, M. Zanoni, and F. Meylan. Do ethernet ao gigabit e atm. *PC World Magazine*, pages 30–34, Setembro 1998.

- [26] Learning Robotics Lab. Where in the world is xavier, the robot? <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/Web/People/Xavier>, Janeiro 1997.
- [27] Q. Lin and C. Kuo. Virtual tele-operation of underwater robots. In *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1022–1027, Abril 1997.
- [28] Radomir Mech. The virtual laboratory environment. <http://www.cpsc.ucalgary.ca/projects/bmv/vlab/vlab.html>, Fevereiro 1997.
- [29] Nomadic Technologies. *Nomad 200 Hardware Manual*, 1996.
- [30] C. Ntuen, E. Park, and S. Kimm. A blackboard architecture for human-machine interface in mining teleoperation. *Human Computer Interaction*, 1993.
- [31] I. B. Nunes. Noções de educação a distância. <http://www.intelecto.net/ead/ivonio1.html>, Julho 1998.
- [32] University of Bradford. Bradford robotic telescope. <http://www.eia.brad.ac.uk/rti/index-5>, Março 1997.
- [33] University of Cambridge Computer Lab. The trojan room coffee machine. <http://www.cl.cam.ac.uk/coffee/coffee.html>, Janeiro 1997.
- [34] University of Southern California. The telegarden. <http://www.usc.edu/dept/garden>, Janeiro 1997.
- [35] Eric Paulos and John Canny. Space browsers: A tool for ubiquitous tele-embodiment. <http://www.cs.berkeley.edu/paulos/papers/www4/>, Dezembro 1996.
- [36] Eric Paulos and John Canny. A world wide web telerobotic remote environment browser. <http://www.cs.berkeley.edu/paulos/papers/www4/>, Janeiro 1997. Forth International World Wide Web Conference.
- [37] L. R. Queiroz, R. C. Machado, P. C. Berardi, A. S. Barbara, S. S. Bueno, and A. Elfes. Uma ferramenta de telepresença para educação a distância. *VIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 703–715, Novembro 1997.
- [38] Sdc morphology toolbox. <http://www.scd.com.br/morphology/Default.html>, Outubro 1998.
- [39] Andrew L. Sears and Steve E. Watkins. A multimedia manual on the world wide web for telecommunications equipment. *IEEE Transactions on Education*, 39(3):342–348, Agosto 1996.

- [40] YAHOO WWW Server. Interesting devices connected to the net. http://www.yahoo.com/Computers_and_Internet/Internet/Interesting_Devices_Connected_to_the_Net, Janeiro 1997.
- [41] T. B. Sheridan. Telerobotics. *Automatica*, 25(4):487-507, 1989.
- [42] Kyle Siegrist and Jason York. Virtual laboratories in probability and statistics. <http://www.math.uah.edu/stat>, Setembro 1998.
- [43] The virtual psychology lab project. <http://www.york.ac.uk/inst/ctipsych/web/CTI/vplab.html>, Setembro 1998.
- [44] Leonardo Tolomelli. Ferramentas java. *PC World Magazine*, pages 35-45, Outubro 1995.
- [45] J. Vertut and P. Coiffet. Teleoperation and robotics - evolution and development. *Robot Technology*, 3A & 3B, 1985.
- [46] Virtual laboratory for nucleic acid and protein chemistry. <http://www.interactiva.de/vlab/index.html>, Setembro 1998.
- [47] Linda Wang. Biosoftlab. <http://www.cs.purdue.edu/research/cse/softlab/softlab-labs/softbiolab/softbiolab.html>, Setembro 1998.
- [48] Stephen Warde. Finding real solution in the virtual laboratory. <http://pubs.acs.org/hotartcl/tcaw/96/jun/real.html>, Junho 1996.
- [49] Atomic Web. Steve's ant farm. <http://sec.dgsys.com/AntFarm.htm>, Janeiro 1997.
- [50] C. R. Weisbin and D. Lavery. Nasa rover and telerobotics technology program. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 1994.
- [51] D. Wettergreen, C. Thorpe, and R. Whittaker. Dante's exploration of mount erebus. Technical report, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 1992.