

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
ESPECIALIZAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA**

CLAUDINEI DIAS

AMBIENTE DE TELERROBÓTICA COLABORATIVA COLLBOT4US

JOINVILLE
Outubro, 2010

CLAUDINEI DIAS

AMBIENTE DE TELERROBÓTICA COLABORATIVA COLLBOT4US

Monografia submetida à Universidade do Estado de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Especialista em Computação Aplicada.

Orientador: Marcelo da Silva Hounsell

JOINVILLE
Outubro, 2010

Ambiente de Telerrobótica Colaborativa CollBot4us

Claudinei Dias

Monografia submetida à Universidade do Estado de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Especialista em Computação Aplicada

Banca Examinadora

Marcelo da Silva Hounsell, Doutor (orientador)

Carla Diacui Medeiros Berkenbrock, Doutora

Maurício Aronne Pillon, Doutor

Roberto Silvio Ubertino Rosso Jr., Doutor

Joinville, ____/____/2010

Dedico este trabalho a
minha esposa e
aos meus filhos
por todo o amor,
dedicação e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Dedico meus sinceros agradecimentos:

- Em especial ao professor Marcelo, orientador deste trabalho, por todo o auxílio e dedicação;
- Ao professores Maurício Aronne Pillon, Roberto Silvio Ubertino Rosso Jr. e a professora Carla Diacui Medeiros Berkenbrock por todo auxílio e dedicação;
- A minha família por todo o empenho, dedicação, compreensão e incentivo;
- Aos amigos que me auxiliaram e prestaram apoio durante toda a especialização e durante este trabalho em específico;
- E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um Simulador Telerrobótico denominado **CollBot4us** (*Collaborative roBots for us*), que é um ambiente para solução de tarefas telerrobóticas colaborativas simuladas em 3D via rede de computadores. O CollBot4us utiliza modelos 3D simulados de robôs de cinco articulações; é um sistema que propõe uma tarefa e fica avaliando quando os operadores atingem o objetivo e, ao mesmo tempo, captura métricas que podem ser utilizadas para avaliar o processo de colaboração. Foram identificados da literatura Requisitos de Colaboratividade relacionados tanto às características funcionais do sistema quanto aos aspectos que determinam uma tarefa colaborativa. No que diz respeito aos *Ambientes Virtuais Colaborativos*, foram encontrados na literatura alguns trabalhos relacionados que possuem funcionalidades e estratégias que contribuíram para o projeto do CollBot4us. Para a comunicação remota entre os operadores do CollBot4us foi definida uma arquitetura cliente/servidor que permite a manipulação dos robôs por cinemática direta e troca de mensagens textuais via *chat*. Foram projetadas várias tarefas colaborativas que podem ser exploradas pelo CollBot4us e uma delas, a “Coleta Colaborativa” em que os operadores devem pegar objetos que se encontram dispersos sobre uma mesa e depositá-los em uma área específica, foi feita uma análise com usuário. Para isto, foi definido um *Protocolo de Realização de Experimentos* que gerou dois questionários de avaliação da colaboração juntamente com um *log* coletado pelo sistema. Dentre as métricas coletadas tem-se número de manipulações, tempo para primeira coleta, tempo para finalização, número de erros detectados e tempo total. A análise dos resultados permitiu um melhor entendimento da relação dos usuários com o sistema e o potencial do CollBot4us na concepção de tarefas colaborativas. Esta análise levou a criação de uma nova tarefa, *Quebra Cabeça*, que exige maior planejamento, comunicação e atenção do que uma das tarefas propostas, a *Coleta Colaborativa* inicialmente proposta. Algumas das mudanças aplicadas na nova tarefa foram: inclusão de objetos para auxiliar nas referências espaciais; divisão simétrica de objetos no espaço de trabalho de forma que aumente a probabilidade de colisão; aumento da variedade de objetos manipuláveis que são parte do objetivo da tarefa de forma que estimule a descoberta e comunicação entre os operadores; inclusão de esferas que parecem estar ao alcance de um dos robôs mas, na verdade são alcançáveis somente pelo outro. Percebeu-se que o uso de uma solução para detecção e sinalização de colisões entre os elementos da cena são imprescindíveis e isto foi acrescentado na tarefa *Quebra Cabeça*. Portanto, o CollBot4us é uma plataforma para concepção e proposição de tarefas robóticas colaborativas que pode ser usada para ensino de robótica através da colaboração ou estratégias colaborativas através da robótica.

Palavras-Chave: Telerrobótica. Realidade Virtual. Simulador 3D. Colaboração. Tarefas Colaborativas.

ABSTRACT

This paper presents the development of a Telerobotic Simulator called **CollBot4us** (*Collaborative roBots for us*), which is an environment for solving collaborative telerobotics tasks in 3D via computer network. CollBot4us uses 3D models of a five degrees of freedom robot, proposes a task and evaluates when operators reach a predefined goal and, at the same time, captures metrics that can be used to assess the collaboration process. Collaborative Requirements related to both the functional characteristics of the system and regarding the aspects that determine a collaborative task were identified from the literature. For the case of *Collaborative Virtual Environments*, some related works that have features and strategies that contributed to the project CollBot4us were found in the literature. For remote communication between the operators a client/server architecture that allows the manipulation of robots by direct kinematics and messaging via text chat was defined. Several collaborative tasks that can be exploited by CollBot4us were defined and for one of them, "Collaborative Collection" in which operators must pick up objects that are scattered on a table and deposit them in a specific area, experiments with users were done. For this, a *Experimental Protocol* was defined that generated two evaluation questionnaires together with a log collected by the system. Among the metrics collected it includes the number of manipulations, time for the first collection, time to completion, number of errors detected and, the total time. The results provided a better understanding of the relationship between users and the potential of CollBot4us in providing collaborative tasks. This analysis led to the creation of a new task, *Puzzle*, which requires more planning, communication and attention than *Collaborative Collection*, one of the proposed tasks originally proposed. Some of the changes include: insertion of objects to assist in spatial references; symmetrical division of objects in the workspace in a way that increases the probability of a collision; increasing the variety of handballed objects that are part of the goal of the task so that encourages discovery and communication between operators; insertion of objects that appear to be within reach of one of one robots, but are be reached only by the other. It was found that the use of collision detection between scene elements is essential and this test was added in the *Puzzle*. Therefore, CollBot4us is a platform for designing and proposing collaborative robotic tasks that can be used for robotics education through collaboration or collaborative education through robotics.

Keywords: Telerobotics. Virtual Reality. 3D Simulator. Collaboration. Collaborative Tasks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anatomia e movimentação do robô Scorbot ER-4PC.	19
Figura 2 - Arquitetura de um Sistema Telerrobótico.....	21
Figura 3 - Simulador Gráfico Preditivo do Robô PA-10.....	32
Figura 4 - Estação de Controle.	33
Figura 5 - Teleoperação Colaborativa Baseada na Rede Local-LAN.	34
Figura 6 - <i>Quintena</i> , Simulador de Teleoperação Baseado na Internet.....	35
Figura 7 - Arquitetura de um Sistema de Teleoperação.	36
Figura 8 - Operações da Tarefa do Cubo de Rubick	36
Figura 9 - Operações da Tarefa Rings	37
Figura 10 - Arquitetura Telerrobótica Háptica.	38
Figura 11 - Sistema Virtual Teleoperação Háptica.	38
Figura 12 - Tarefa de Construção de um Gazebo.....	39
Figura 13 - Arquitetura do Simulador Gazebo.	40
Figura 14 - Espaço de Trabalho do Ambiente CollBot4us.....	45
Figura 15 - Janela da Cinemática Direta do CollBot4us.	46
Figura 16 - Tarefas de Coleta Treino do Ambiente CollBot4us.....	48
Figura 17 - Ferramenta de Comunicação <i>Chat</i>	48
Figura 18 - Tarefa de Ordenação de Cores.....	49
Figura 19 - Tarefa de Ordenação Crescente de Números.....	50
Figura 20 - Tarefa de Coleta Colaborativa do Ambiente CollBot4us.	51
Figura 21 - Ambiente Colaborativo CollBot4us.....	51
Figura 22 - Simulador VirBot4u.....	54
Figura 23 - Funcionamento das Camadas do Protocolo RMI.	56
Figura 24 - Arquitetura de Comunicação CollBot4us.	57
Figura 25 - Arquitetura de <i>software</i> do CollBot4us.	58
Figura 26 - Diagrama de Casos de Uso UML do Sistema CollBot4us.	60
Figura 27 - Diagrama de Máquinas de Estados UML.....	62
Figura 28 - Interface de Boas Vindas.	63
Figura 29 - Interface de Conexão.	63
Figura 30 - Interface de Sincronização da Tarefa.....	64
Figura 31 - Interface de Sincronização da Tarefa Quebra Cabeça.	79
Figura 32 - Simulador CollBot4us com Tarefa Quebra Cabeça.....	80
Figura 33 - Visão do Topo da Tarefa Quebra Cabeça.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos para Análise de Colaboração.....	28
Tabela 2 - Requisitos dos Indicadores de Colaboração.....	31
Tabela 3 - Contribuições da Literatura e Características Funcionais.....	41
Tabela 4 - Respostas do TP.....	72
Tabela 5 - Médias, Medianas e Desvio Padrão das Questões de 1 a 11 Aplicado no TP.....	73
Tabela 6 - Tempos Médios para Conclusão Parcial e Total do TP.....	74
Tabela 7 - Dados Coletados por Log.....	74
Tabela 8 - Cores das Esferas e Depósitos Referentes a Cada Robô.....	81
Tabela 9 - Bônus a cada Esfera Coletada com Sucesso para cada Robô.....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Possíveis Soluções da Tarefa de Coleta Colaborativa	52
Quadro 2 - Trechos dos Códigos da Modelagem X3D	66
Quadro 3 - Trechos de Códigos da Classe WindowsFK para Incremento da Junta do Robô. .	67
Quadro 4 - Trechos de Códigos da Classe Collaborator.	68
Quadro 5 - Questionário Aplicado no TP.....	71

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE 1 - PROTOCOLO DE TESTES	90
APÊNDICE 2 - DESCRITIVO DO EXPERIMENTO	92
APÊNDICE 3 - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA TAREFA/COLABORAÇÃO	93
APÊNDICE 4 - ARTIGOS PUBLICADOS.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicações)
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CD	Cinemática Direta
CollBot4us	<i>Collaborative Robots for us</i>
CSCW	<i>Computer Supported Cooperative Work</i>
CVE	<i>Collaborative Virtual Environments</i> (Ambiente Virtual Colaborativo)
DOF	<i>Degrees of Freedom</i> (Graus de Liberdade)
HMD	<i>Head Mounted Display</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferência de Hipertexto)
IC	Indicadores de Colaboração
JVM	<i>Java Virtual Machine</i> (Máquina Virtual Java)
LAN	<i>Local Area Network</i> (Rede Local)
LARVA	<i>LABoratory for Research on Visual Applications</i>
MOMR	<i>Multiple Operator Multiple Robot</i> (Múltiplos Operadores Múltiplos Robôs)
PFP	Ponto Final da Pinça
QC	Questionário de avaliação da tarefa e Colaboração
QD	Questionário Demográfico
RC	Requisitos de Colaboratividade
RMI	<i>Remote Method Invocation</i> (Invocação de Métodos Remotos)
RV	Realidade Virtual
SAI	<i>Scene Access Interface</i>
SOMR	<i>Single Operator Multiple Robot</i> (Único Operador Múltiplos Robôs)
SOSR	<i>Single Operator Single Robot</i> (Único Operador Único Robô)
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TP	Teste Piloto
UML	<i>Unified Modeling Language</i> (Linguagem de Modelagem Unificada)
VE	<i>Virtual Environments</i> (Ambientes Virtuais)
VirBot4u	<i>Virtual Robot for you</i>
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
X3D	<i>Extensible 3D</i>
Xj3D	<i>Extensible Java 3D</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE APÊNDICE	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XIII
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 ROBÓTICA.....	19
2.2 TELERROBÓTICA	20
2.2.1 Arquitetura.....	21
2.2.2 Áreas de aplicação	22
2.3 REALIDADE VIRTUAL.....	22
2.4 X3D	23
2.5 COLABORAÇÃO E COOPERAÇÃO	24
2.6 ANÁLISE DE COLABORAÇÃO	25
2.6.1 Divisão de Tarefas	26
2.6.2 Objetivo	26
2.6.3 Dinâmica da Tarefa	26
2.6.4 Hierarquia	27
2.6.5 Competência	27
2.6.6 Comunicação intragrupo.....	27
2.6.7 Estratégias.....	28
2.6.8 Coordenação	29
2.6.9 Revisão	29
2.6.10 Monitoramento	30
2.6.11 Desempenho	30
3 AMBIENTES CORRELATOS	32
3.1 SIMULADOR DO ROBÔ PA-10	32
3.2 SIMULADOR COM MÚLTIPLOS ROBÔS	35
3.3 SIMULADOR TELERROBÓTICO HÁPTICO	37
3.4 TAREFA COLABORATIVA ACOPLADA	39
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	41

4 TAREFAS COLABORATIVAS	44
4.1 DESCRIÇÃO GLOBAL DAS TAREFAS	44
4.1.1 Descrição da Tarefa de Coleta Treino	46
4.1.2 Tarefa de Ordenação de Cores.....	49
4.1.3 Tarefa de Ordenação Crescente de Números	49
4.1.4 Descrição da Tarefa de Coleta Colaborativa	50
4.2 EXPERIMENTO	53
5 O SISTEMA COLLBOT4US	54
5.1 VIRBOT4U	54
5.2 COLLBOT4US: COLABORAÇÃO COM TAREFAS ROBÓTICAS	55
5.3 PROJETO DO COLLBOT4US.....	55
5.3.1 Protocolo de Comunicação	56
5.3.2 Arquitetura do Sistema	57
5.3.3 Arquitetura de <i>Software</i>	57
5.3.3 Mensagens Cliente/Servidor.....	59
5.4 MODELAGEM	60
5.5 INTERFACE	62
5.6 IMPLEMENTAÇÃO	65
5.6.1 Implementações 3D	65
5.6.2 Alterações de Classes Existentes.....	66
5.6.3 Implementação de Novas Classes Java	67
6 ESTUDO DE CASO	69
6.1 AMBIENTE REAL DOS EXPERIMENTOS.....	69
6.2 PROTOCOLO DE REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	69
6.3 ANÁLISE DO TESTE PILOTO	70
6.4 PROBLEMAS NO TESTE PILOTO	76
6.5 PROPOSIÇÃO MELHORADA DA TAREFA DE COLETA COLABORATIVA.....	77
6.5.1 Melhorias aplicadas no CollBot4us.....	78
6.5.1 Requisitos Colaborativos da Tarefa Quebra Cabeça	79
7 CONCLUSÃO.....	84
7.1 TRABALHOS FUTUROS	85
REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

Os robôs se destacam na automação de processos e por terem a capacidade de executar tarefas que são nocivas aos seres humanos. Sua utilização tem crescido nos últimos anos, em especial os robôs telecontrolados, por proporcionar um ambiente de trabalho em que o controlador encontra-se geograficamente distante da tarefa. Na indústria automobilística, os braços robóticos são fundamentais para a produção dos veículos. Sendo úteis em manipulações de alto risco e de precisão, como exemplo, em uma linha de produção uma determinada peça é manipulada por um braço que a posiciona e o outro que efetua a solda, esta tarefa precisa de colaboração entre os braços robóticos para efetuar a com sucesso.

Simuladores telerrobóticos baseados em rede de computadores são utilizados em aplicações industriais e em ambientes perigosos, proporcionando a interação do ser humano com a ação dos robôs. Essas aplicações fazem uso de RV (Realidade Virtual) tecnologia que permite simular tarefas de alto risco num ambiente seguro, promovendo a sensação de realidade, onde erros são completamente administráveis não ocasionando danos aos equipamentos e nem riscos à integridade física dos usuários envolvidos na tarefa (DIEHL, 2004). Assim, a RV permite ganhos na produtividade por ser uma solução que proporciona ambientes de prototipagem com baixo custo para o desenvolvimento de produtos (WANG, MOALLEM & PATEL, 2008).

Além do que, efetuar simulações das configurações dos elementos de um sistema através da RV traz facilidade na verificação dos processos, contribuindo na realização de tarefas. Os elementos do cenário de trabalho virtual podem ser visualizados por ângulos ilimitados para verificação da conformidade da tarefa diante do processo, garantindo a precisão da tarefa (DIEHL, 2004). Os ambientes virtuais fornecem uma série de análises de tarefas, reduzindo o custo e otimizando os métodos de execução o que torna a produção mais flexível (CHURCHILL & SNOWDON, 1998).

Neste contexto, os *Ambientes Virtuais Colaborativos* promovem espaços onde, dois ou mais usuários podem, além de navegação e interação com objetos, comunicar entre si e efetuar interações interdependentes. Logo, a colaboração é definida como um trabalho em

equipe onde todos os elementos do grupo contribuem para construir um entendimento comum e desenvolver junto um determinado trabalho de forma coletiva (MAREK *et al*, 2007).

A avaliação da colaboração em sistemas telerrobóticos envolve diversas características que devem ser observadas e medidas. Pode-se citar: divisão de tarefas, objetivo comum, dinâmica da tarefa, comunicação, estratégias, coordenação, desempenho, etc. Marek *et al* (2007), apresenta um estudo que é utilizado para caracterizar e medir o quanto um *software* é colaborativo, já Collazos *et al* (2007), apresenta um estudo que é utilizado para caracterizar e medir o quanto uma *tarefa* é colaborativa. O CollBot4us utiliza os requisitos de Marek e Collazos para desenvolver e medir a colaboratividade de software e tarefa respectivamente.

Portanto, o estudo deste trabalho concentra-se em dois aspectos:

(a) Desenvolvimento de um Simulador 3D Telerrobótico Colaborativo para solução de tarefas colaborativas, denominado **CollBot4us** “*Collaborative roBots for us*” contendo dois robôs manipuladores *Scorbot ER-4PC* com o objetivo de prover um ambiente virtual 3D onde a colaboração possa ser estudada e medida;

(b) Avaliação do simulador através de testes com usuários para verificar a colaboração, onde são abordados e coletados aspectos quantitativos e qualitativos que caracterizam o grau de colaboratividade.

O escopo deste trabalho inclui dois robôs virtuais, fixos, articulados, colaborativos, telecontrolados e dispostos em posições opostas de modo que ocorra sobreposição de seus espaços, formando uma área comum para troca de objetos. O ambiente propõe uma tarefa colaborativa com objetos primitivos dispersos sobre a mesa em posições pré-estabelecidas e simétricas aos dois robôs. Os operadores terão que pegar um determinado objeto, transportá-lo a uma área de depósito e após alcançar tal posição, soltá-lo. Esta ação se repete enquanto houver objetos ao alcance do braço robótico que precisem ser depositados. Existem objetos que estão fora do alcance do operador, neste caso o colaborador terá que ajudá-lo. Durante a resolução da tarefa o sistema fica avaliando quando os operadores atingem o objetivo e, ao mesmo tempo armazena uma série de métricas através de *log*.

A expectativa é que se possa construir um ambiente que se ensine robótica de forma colaborativa e que se ensine colaboração usando robótica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um simulador gráfico 3D colaborativo utilizando técnicas de Realidade Virtual para teleoperação de dois braços robóticos fixos intermediados via rede de computadores com arquitetura cliente/servidor que executem tarefas colaborativas em um espaço compartilhado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Pesquisar estratégias de colaboração em tarefas robóticas.
- b) Desenvolver arquitetura de comunicação cliente/servidor.
- c) Definir métricas quantitativas e qualitativas para análise de colaboração.
- d) Aplicar testes com usuários para averiguar a colaboratividade do ambiente Collbot4us.

1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta monografia está estruturada como segue: O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho e o objetivo. O capítulo 2 é dedicado ao estudo dos fundamentos sobre Robótica, Telerrobótica, Realidade Virtual, Colaboração e Cooperação, Análise de Colaboração, estes conceitos são de suma importância para o entendimento dos trabalhos correlatos e do trabalho proposto.

No capítulo 3 são apresentados alguns Ambientes Correlatos encontrados na literatura. No capítulo 4 são discutidas as Tarefas Colaborativas e suas características de colaboratividade, a fim de obter a Análise de Colaboração.

No capítulo 5 é descrito a modelagem do Sistema CollBot4us, apresentando sua Arquitetura, Interfaces e Implementação. No capítulo 6 é aplicado um Estudo de Caso com testes com usuários para obter o grau de colaboratividade do sistema. E por fim, no capítulo 7 são apresentadas as Conclusões, evidenciando assim os resultados obtidos neste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são inseridos os conceitos básicos utilizados neste trabalho de pesquisa. Na seção 2.1 é apresentado conceitos de robótica. Na seção 2.2 é introduzido o conceito de Telerrobótica, apresentando sua arquitetura típica e áreas de aplicação. Na seção 2.3 são apresentadas as noções básicas sobre a RV, objetivando esboçar sua estrutura, modelagem, aplicações. Na seção 2.4 é apresentado a linguagens X3D. Na seção 2.5 é introduzido conceitos de colaboração e cooperação. Na seção 2.6 são apresentadas as métricas para análise de colaboração.

2.1 ROBÓTICA

Os robôs são máquinas manipuladoras compostas por corpos rígidos articulados capazes de mover materiais, peças ou ferramentas em diversas trajetórias programadas. Podem ter base fixa ou móvel, são compostos por elos e juntas (articulações em torno de um eixo) e possuem de 3 a 6 graus de liberdade (DOF-*degrees of freedom*) que lhes permitem um movimento relativo entre si (SILVA *et al*, 2006).

O Scorbot ER-4PC, exibido na Figura 1, representa um robô manipulador articulado fixo empregados em laboratórios e treinamentos, permitindo aos estudantes o ganho de experiência em robótica e automação (ESHED ROBOTEC, 1982).

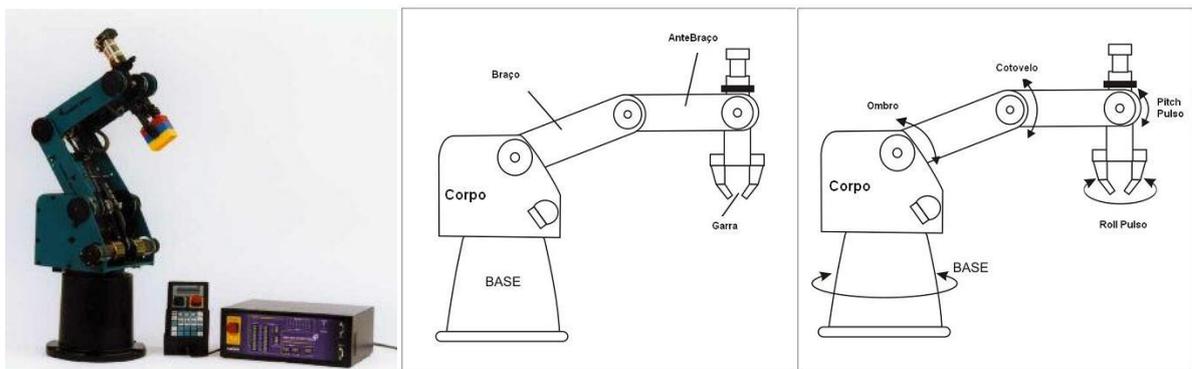


Figura 1 - Anatomia e movimentação do robô Scorbot ER-4PC.

Fonte: ESHED ROBOTEC (1982).

No modelo Scorbot ER-4PC existem quatro ligações elo-junta que proporcionam cinco DOF's ao manipulador, estes movimentos são (ESHED ROBOTEC, 1982):

- Movimento de rotação – Base-Corpo, limite de rotação 310° ;
- Movimento de rotação – Corpo-Braço, limite de rotação $+130^\circ/-35^\circ$;
- Movimento de rotação – Braço-Antebraço, limite de rotação $\pm 130^\circ$;
- Pitch – Garra-Antebraço (Pulso) é o movimento que a garra faz, com sua ponta, de cima para baixo (e vice versa), limite de rotação $\pm 130^\circ$;
- Roll – Garra-Antebraço (Pulso) é o movimento de rotação dela em relação ao seu próprio eixo, rotação ilimitada.
- Garra -

Para efetuar movimentações no robô pode-se utilizar a Cinemática Direta (CD) que é responsável pelo controle da posição e orientação da garra em um espaço tridimensional, a partir dos valores angulares de cada uma das juntas. Ou através do sistema de coordenadas cartesianas, pode-se utilizar a Cinemática Inversa (CI) partindo de uma posição e orientação pretendidas, para o atuador final (garra), deve-se calcular e encontrar todos os possíveis ângulos para todas as juntas do robô, de forma que estes alcancem a posição e orientação desejada (HOSS; HOUNSELL & LEAL, 2009).

2.2 TELERROBÓTICA

Telerrobótica é a interação humana com a ação dos robôs, por comandos tele-controlados, ou seja, sem a presença do operador no local da tarefa (GOLDBERG & CHEN, 2001). Esta técnica é utilizada para manipular remotamente robôs que trabalham em ambientes perigosos ou que não são acessíveis ao operador.

Esses robôs controlados remotamente são manipuladores com mecanismos que incluem vários DOF projetados para mover objetos, ferramentas ou peças para realização de uma tarefa determinada (HE & CHEN, 2008). Os robôs são compostos por elos e juntas que definem suas articulações. Seus movimentos podem ser por meio de atuadores pneumáticos (empregados quando o robô não necessita transportar uma grande carga), por atuadores hidráulicos (que aumentam o poder de carga) ou através de motores elétricos (sendo de mais fácil controle, porém necessita de redutores de velocidade) (SHHEIBIA, 2001).

Os sistemas telerrobóticos possuem diferentes abordagens quanto ao número de operadores e ao número de robôs. Eles podem ter as seguintes identificações (CHONG *et al*, 2001):

- *Single Operator Single Robot (SOSR)*, esta abordagem possui um Único Operador controlando um Único Robô.
- *Single Operator Multiple Robot (SOMR)*, esta abordagem possui um Único Operador controlando Múltiplos Robôs.
- *Multiple Operator Multiple Robot (MOMR)*, esta abordagem possui Múltiplos Operadores e Múltiplos Robôs. Com o sistema MOMR, pode-se testar a habilidade de dois operadores colaborarem diante do controle de dois braços robóticos para alcançar um objetivo comum em uma determinada tarefa.

2.2.1 Arquitetura

A arquitetura típica de um sistema telerrobótico é definida por três módulos fundamentais conforme exibido na Figura 2(YANG & CHEN, 2004): cliente, servidor e robô.

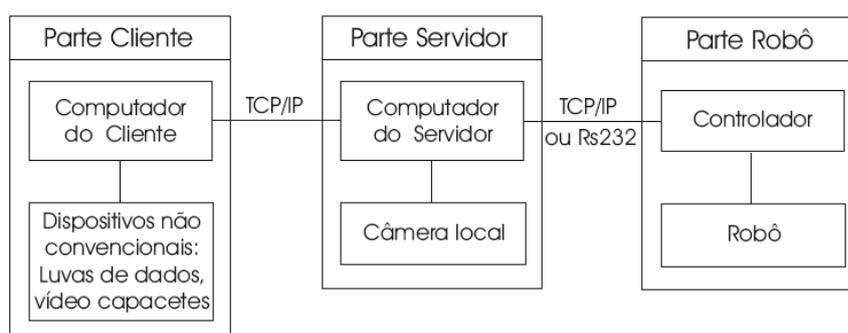


Figura 2 - Arquitetura de um Sistema Telerrobótico.

Fonte: YANG & CHEN (2004).

- O módulo cliente possui a interface de operação, podendo ter apenas dispositivos de entrada convencionais, tais como, *mouse* e teclado, ou dispositivos de entrada não convencionais, tais como dispositivos hápticos, *joysticks*, luvas (*datagloves*), capacete (*Head Mounted Display - HMD*). Quanto ao software podem possuir imagens reais (*streamer*), imagens virtuais (simulador), ou ambas.
- O módulo servidor é composto por *hardware* e câmera local conectado ao controlador do robô. Quanto ao *software* pode possuir diferentes funções, tais como, sensores, câmeras de vídeo entre outros para estabelecer a conexão e controle do robô.

- O módulo robô compreende o robô e o controlador do robô.

Deste modo, em um ambiente de robótica tele-controlado, a comunicação pode ser através da rede local de computadores ou pela internet em que uma ou mais pessoas que estejam em regiões distantes possam controlar dispositivos robóticos, permitindo aos usuários a visualização e interação remota (CIOI; VATAU & MANIU, 2006).

2.2.2 Áreas de aplicação

A telerrobótica representa recursos que proporcionam aplicações em diversas áreas onde a interação humana é necessária, mas que para manter sua integridade física ou por ser impossível o acesso, não podem ser realizadas diante de sua presença (HU *et al*, 2001).

Exemplos de área de aplicação: exploração espacial, exploração subterrânea, manipulação de materiais explosivos, nocivos, radioativos ou tóxicos, incêndios, controle de tráfego, escavadores e guindastes para execução de força além da capacidade humana, exploração de águas profundas, entre outras atividades que necessitam de intervenção, mas estas não podem ser executadas diretamente por seres humanos (WANG, MOALLEM & PATEL, 2003).

2.3 REALIDADE VIRTUAL

A Realidade Virtual (RV) objetiva promover a sensação de realidade num ambiente sintético, permitindo ao usuário realizar imersão, navegação e interação em um ambiente com interface tridimensional gerado por computador, utilizando canais multi-sensoriais (BURDEA & COIFFET, 1994).

Segundo Netto, Machado e Oliveira (2002), imersão está vinculada com a sensação de fazer parte do ambiente virtual como se estivesse dentro do ambiente. Para isso, dispositivos como retorno auditivo, tato e força de reação da pessoa e dos movimentos da cabeça são também importantes. A navegação representa formas e possibilidades de movimentar, caminhar, visualizar no espaço 3D do ambiente. A interação está relacionada com a capacidade do computador de identificar as entradas do usuário e modificar imediatamente o mundo virtual e as ações sobre ele.

Para a realização de experimentos em robótica pode-se proceder de dois modos: aplicar comandos diretamente em um robô real; ou aplicar comandos em um robô simulado. Utilizar um robô real representa ter que parar sua produção para programá-lo ou para aplicar

treinamento aos operadores. Já o uso de simulação traz benefícios para indústrias, por apresentar como vantagem no desenvolvimento da programação *off-line*, não ocorrendo risco de danificar o robô e não sendo necessárias manutenções no robô, diminuindo os custos dos materiais e equipamentos reais, além de poder ser utilizado com propósito didático o qual se mostra uma alternativa interessante por apresentar custo baixo, produtividade e acesso facilitado (REDEL & HOUNSELL, 2004).

O uso de RV em robótica proporciona modelos que podem ser testados e medidos em condições que o operador não pode manipular ou que apresentam custos inviáveis se executadas em um ambiente real (CIOI; VATAU & MANIU 2006). Por isso, a simulação representa uma opção de baixo custo para o treinamento e configuração, de modo que os problemas e erros podem ser identificados e ajustados nos ambientes virtuais antes que sejam aplicados ao sistema real.

Deste modo, as tecnologias computacionais de Ambientes Virtuais Colaborativos (CVEs – *Collaborative Virtual Environments*), os quais representam espaços virtuais compartilhados. Permitem que usuários realizem interações com objetos e com outros usuários remotamente, neste contexto contribui no aprendizado dos comandos de telerrobótica por meio de manipulações de robôs virtuais (FILIPPO, 2007).

2.4 X3D

O padrão X3D (*eXtensible 3D*) representa uma linguagem que permite a representação de ambientes virtuais 3D através de geometrias primitivas, transformações hierárquicas, fontes de luz, pontos de visão, animações, mapeamentos de texturas, entre outros. O X3D pode ser considerado a evolução da especificação ISO VRML97 (WEB3DCONSORTION, 2009).

O X3D é uma linguagem independente de plataforma, ou seja, foi desenvolvido para intercâmbio de conteúdo 3D na web combinando interoperabilidade e flexibilidade. Esta linguagem possibilita representar ambientes tridimensionais interativos na *Internet*. As sintaxes combinam geometria e descrições de comportamentos instantâneos em um único arquivo, e para que sejam visualizados através de um *navegador* é preciso que seja configurado adicionando-se um *plug-in*, assim ele poderá interpretar o conteúdo do arquivo que está recebendo (X3DGRAPHICS, 2009).

Devido aos novos requisitos de suportar múltiplos formatos de arquivo e linguagem de programação, o X3D é composto de três especificações ISO separadas: 19775:200x

(descrição abstrata de todas as partes funcionais do sistema); 19776:200x (conjunto de descrições de formatos de arquivos e como uma estrutura abstrata de uma especificação é codificada nestes arquivos); 19777:200x (conjunto de mapeamentos para várias linguagens de programação) (WEB3DCONSORTION, 2009).

A estrutura de um arquivo X3D é formada basicamente pelo cabeçalho que identifica o padrão como X3D e as descrições dos modelos gráficos e animações. O cabeçalho é obrigatório e identifica a versão da linguagem, e a identificação da codificação de caracteres suportados “utf8”, *case sensitive* (“<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>”). Em seguida declara qual o perfil (*profile*) está sendo utilizado (“ <X3D profile='Interactive' version='3.0'> ”).

A linguagem X3D também permite integração de aplicações JAVA com o Xj3D para visualização do ambiente 3D, por meio da SAI (Scene Access Interface) uma API definida na especificação X3D, onde é possível extrair toda a dinâmica do sistema em uma aplicação independente e robusta, visualizando o mundo virtual 3D (WEB3DCONSORTION, 2009).

2.5 COLABORAÇÃO E COOPERAÇÃO

Na literatura são atribuídas algumas visões sobre a relação entre colaboração e cooperação. Em termos leigos, é comum confundir colaboração com cooperação, portanto, é pertinente definir a relação entre esses termos (MAREK *et al*, 2007):

- A cooperação implica em trabalhar em conjunto, onde é feita a divisão de tarefas e cada integrante do grupo realiza uma parte da tarefa em comum individualmente e no final, são unidas as partes realizadas por cada integrante formando então o trabalho como um todo.
- Já o termo colaboração é definido como um trabalho em equipe, um processo de interação contínua, onde todos os membros do grupo trabalham para construir e desenvolver juntos um determinado trabalho de forma coletiva.

Portanto, colaboração, vai muito além de um trabalho em grupo onde existe apenas uma parcela de contribuição de cada pessoa para o desenvolvimento do trabalho. Não é uma relação hierárquica, onde as coisas são impostas, mas uma relação entre pessoas que saibam ouvir, compartilhar tarefas e trabalhar permitindo que haja uma constante interação entre os membros do grupo, visando o sucesso do projeto o qual permite obter a melhor solução decidida pelo grupo (MAREK *et al*, 2007).

Colaboração é caracterizada por atividades que dependem parcialmente ou integralmente de ações/movimentações que um usuário faça de modo a contribuir em ações que ajude os demais usuários a realizá-las. Deste modo, as equipes devem desenvolver estratégias para a realização das tarefas ocorrendo num espaço compartilhado na manipulação de objetos. Neste ambiente não podem ocorrer conflitos e é importante que os colaboradores saibam o que está sendo feito e o que foi feito no contexto dos objetivos da tarefa (CHURCHILL & SNOWDON, 1998).

Robôs cooperativos têm como ênfase executar tarefas parciais que formam um contexto global quando concluídas, como exemplo uma linha de produção em que um produto passa por uma esteira e a cada fase um robô específico contribui parcialmente com a produção para, no final, o produto estar completamente acabado.

Robôs colaborativos são aplicados em tarefas que não podem ser executadas por um único robô de modo satisfatório, por exemplo, Wang, Moallem e Patel (2003) aplicaram um experimento que possui um ambiente com abordagem MOMR. Neste caso, propuseram uma tarefa que é necessária a contribuição de dois braços robóticos para concluí-la, ocorrendo interação em um espaço comum de trabalho e atingindo um resultado global, esse ambiente contém características colaborativas.

Neste contexto, os trabalhos colaborativos suportados por computador (*Computer Supported Cooperative Work - CSCW*) que oferecem suporte a grupos de usuários (*groupware*) diante de uma tarefa comum, representam sistemas que possuem interfaces com espaço de trabalho compartilhado para comunicação, colaboração e decisão (GUTWIN & GREENBERG, 2001).

2.6 ANÁLISE DE COLABORAÇÃO

Para ocorrer a colaboração, um ambiente tem que possuir uma visualização comum entre os usuários e uma forma de interação simples, intuitiva e conjunta. E para verificar se há colaboração, e se houver avaliá-la, se faz necessário o uso de métricas qualitativas e quantitativas de modo que seja possível avaliar o sucesso, o desempenho e a qualidade da colaboração.

Neste contexto, a colaboração requer planejamento, coordenação, interdependência, controle e resolução das tarefas, mantendo a sincronização entre os usuários. Deste modo, os requisitos colaborativos propostos por Marek *et al* (2007) e Collazos *et al* (2007) são

abordados no CollBot4us respectivamente no desenvolvimento do software e das tarefas, nas seções que seguem esses requisitos serão abordados:

2.6.1 Divisão de Tarefas

Essa característica será empregada para avaliar como se dá a divisão de tarefas no contexto global do ambiente, onde serão avaliados nesse aspecto três requisitos (MAREK *et al*, 2007):

- *Divisão feita por negociação* - é decidido entre o grupo o que cada um vai realizar;
- *Trabalho conjunto* - quando realizado em conjunto, todos os integrantes participam da execução da tarefa;
- *Faz sempre com consulta ao grupo* - quando o trabalho é feito com consulta ao grupo nada é realizado sem a opinião dos demais.

2.6.2 Objetivo

Os colaboradores da tarefa devem delinear seus objetivos, nesse aspecto dois requisitos são avaliados (MAREK *et al*, 2007):

- *Objetivo da Equipe* - quando é da equipe o objetivo é colaborativo e único em favor do grupo, podendo ser registrado, divulgado e/ou gerenciado o objetivo comum/maior da tarefa;
- *Procuram a melhor solução* - a melhor solução é aquela decidida pelo grupo em um processo colaborativo, existindo vários cenários de soluções para a mesma tarefa, onde é escolhida a melhor.

2.6.3 Dinâmica da Tarefa

Essa característica indica como a tarefa é tratada pelos colaboradores, aqui um requisito é avaliado (MAREK *et al*, 2007):

- *Operação única* - Uma tarefa com operação única é aquela que restringe a ação em uma única sessão do grupo. Quando ocorre de forma única denota colaboração;

2.6.4 Hierarquia

Negociada ou hierarquia imposta (MAREK *et al*, 2007):

- *Hierarquia negociada* é decidida dentro do grupo os papéis de cada um, ocorrendo assim, colaboração;
- Em contrapartida, em uma *hierarquia imposta*, os papéis dos membros são definidos por outrem, caracterizando cooperação.

2.6.5 Competência

Os dois requisitos a serem avaliadas são (MAREK *et al*, 2007):

- *Competência variada* - um grupo que valoriza indivíduos com competências variadas é um indicativo da colaboratividade, pois suscita não só a negociação e divergência, mas também respeito e coletividade;
- *Diferenças de opiniões* - as diferenças de opiniões facilitam a contestação de opiniões, diferentes argumentações e divergências dentro do grupo, indicando cooperação.

2.6.6 Comunicação intragrupo

Constituída de três requisitos que abrangem as formas de se comunicar entre o grupo (MAREK *et al*, 2007):

- *Comunicação constante* - na comunicação constante não há interrupção do diálogo, e está relacionada à dependência do indivíduo de estar sempre consultando o grupo de forma colaborativa. A comunicação de forma constante contribui mais para um processo colaborativo;
- *Comunicação síncrona* - na comunicação síncrona o diálogo é realizado sincronizado (*full duplex*), podendo ser constante ou inconstante, possibilitando a interdependência;

Os requisitos apresentados por Marek *et al* (2007) nas subseções 2.5.1 à 2.5.6 estão divididos em dois conjuntos mensuráveis que caracterizam colaboração, onde um deles é relativo a três requisitos principais que caracterizam a tarefa e o outro é relativo a três

requisitos principais que caracterizam os usuários. Analisando a Tabela 1, pode-se observar uma síntese dos requisitos que são utilizadas para análise de colaboratividade.

Tabela 1 - Requisitos para Análise de Colaboração.

Requisitos		
Tarefa	Divisão	Feita por negociação
		Trabalho conjunto e interdependente
		Com consulta ao grupo
	Objetivo	Da equipe
		Melhor solução
	Dinâmica	Operação única
Usuários	Hierarquia	Negociada
	Competência	Variada
		Diferenças de opiniões
	Comunicação	Constante
		Síncrona

Fonte: MAREK *et al* (2007).

Estes requisitos colaborativos contribuem para análise de colaboração, pois admite que ela seja medida da mesma forma como é aplicada normalmente entre as pessoas em um ambiente real, acrescentadas pelos *logs* de informações fornecidas pelo ambiente virtual.

Porém, individualmente, essas características descritas não são capazes de identificar colaboratividade, pois não existe consenso de que uma única variável de colaboração seja determinante para tal.

2.6.7 Estratégias

Cada usuário tem uma visão global do cenário e para resolver a tarefa tem que interagir diretamente com o outro usuário que se encontra conectado remotamente. Se os colaboradores da tarefa são capazes de concluir a tarefa pode-se dizer que construíram um entendimento compartilhado do problema.

A discussão da estratégia para resolver o problema ajuda a equipe a construir uma visão comum ou um modelo mental de seus objetivos e tarefas necessárias para resolvê-lo.

Nesse contexto, a estratégia de colaboração é constituída pelos seguintes requisitos (COLLAZOS *et al*, 2007):

- *Solução da tarefa* - qual a estratégia utilizada pelos colaboradores para resolver o problema;
- *Eficiência da estratégia* - o grau de qualidade da técnica aplicada para resolver a tarefa;
- *Explícita* - a estratégia foi consciente e pode ser apresentada de forma clara e compreensível;
- *Manutenção da tarefa* - a coerência e a interdependência entre os colaboradores requerem a manutenção da estratégia da colaboração durante toda a tarefa;
- *Comunicação* - comunicação entre os usuários durante a tarefa é um recurso primordial para resolver e evitar os conflitos que podem ocorrer durante a resolução da tarefa.

2.6.8 Coordenação

Se cada usuário é capaz de entender como sua tarefa está relacionada com o objetivo global, então cada um pode antecipar suas ações, as quais exigirão menos esforço e apresentarão melhor coordenação. O procedimento de uma boa coordenação e uma estratégia compartilhada deve refletir-se em uma interação eficiente e se as ações aplicadas durante a tarefa são compreendidas, sucintas, precisas e oportunas, assim exigindo menos interações no decorrer dos trabalhos entre as duplas (COLLAZOS *et al*, 2007).

2.6.9 Revisão

Nas tarefas, o sucesso dos colaboradores, depende da capacidade dos usuários reverem suas estratégias. Neste contexto, o sucesso parcial da tarefa deve ser avaliado pela quantidade de etapas já concluídas e, se necessário, deve-se buscar novas soluções relacionadas com as metas parciais e globais para otimizar a tarefa, o que reflete o interesse no desempenho individual e coletivo (COLLAZOS *et al*, 2007).

2.6.10 Monitoramento

O monitoramento é entendido como uma atividade de regulação. O objetivo desta atividade é fiscalizar se a equipe manteve as estratégias escolhidas para solucionar o problema, mantendo-se centrado sobre os objetivos e os critérios de sucesso. Se um usuário não sustentar o comportamento esperado, os colaboradores não irão atingir o objetivo comum (COLLAZOS *et al*, 2007).

2.6.11 Desempenho

O desempenho baseia-se em três requisitos (COLLAZOS *et al*, 2007):

- *Qualidade* - o quão bom é o resultado das tarefas durante o trabalho colaborativo. A qualidade pode ser subdividida em três fatores:
 - *erros cometidos pelos usuários* - a quantidade de erros define se ocorreu eficiência na resolução da tarefa;
 - *solução do problema* - este requisito define se alcançaram o objetivo;
 - *interações no ambiente* - define o quão interativo os usuários foram para resolver a tarefa este requisito representa a eficácia dos colaboradores.
- *Tempo* - total de tempo decorrido durante toda a tarefa. Esta característica representa a eficiência dos colaboradores;
- *Trabalho* - verificar se ocorreu conclusão parcial ou total das tarefas.

Para facilitar a análise dos Indicadores de Colaboração (IC) apresentados por Collazos *et al* (2007) nas subseções 2.5.7 à 2.5.11, uma visão global dos requisitos são exibidos na Tabela 2, facilitando sua compreensão. Cada requisito é expresso numa escala de 0.00 à 1.00, exceto nos IC1 e IC5 o qual terá o valor médio ponderado. As ponderações a serem utilizadas para obter o grau de colaboração estão descritas entre parênteses ao lado dos IC.

Esses indicadores são calculados automaticamente pelo sistema colaborativo a partir de dados registrados durante o processo de colaboração, o que pode ajudar a identificar quais os aspectos do processo é mais complicado e podendo também ser utilizado para detectar os pontos fracos dos usuários, e assim determinar como melhorar as deficiências do processo colaborativo.

Nos estudos de Collazos *et al* (2007) foi observado que usuários com pouca experiência em trabalhos colaborativos tendem a não utilizarem ou não adotarem estratégias de colaboração. Neste caso, ocorre a necessidade de detectar as deficiências do processo e melhorá-las.

Tabela 2 - Requisitos dos Indicadores de Colaboração

Requisitos					
IC1	Estratégias (média ponderada dos sub-indicadores para resolução da tarefa)				
	Solução (0.20)	Eficiência (0.05)	Explicita (0.20)	Manutenção (0.25)	Comunicação (0.30)
IC2	Coordenação (Mensagens Estratégia de trabalho/Mensagens de trabalho/Mensagens de Interação)				
IC3	Revisão (Revisão de mensagens/Total de mensagens)				
IC4	Monitoramento (Coordenação de estratégia/Coordenação mensagens)				
IC5	Desempenho (média ponderada dos sub-indicadores)				
	Qualidade (0.30 - média ponderada dos sub-indicadores)			Tempo (0.40)	Trabalho (0.30)
	Erros (0.30)	Solução de problemas (0.30)	Interação (0.40)	Tempo decorrido	Total de mensagens

Obs.: escala de 0.00 à 1.00 para cada IC e seus sub-indicadores é aplicada segundo as ponderações entre parênteses.

Fonte: COLLAZOS *et al* (2007).

As diferenças entre os requisitos de colaboratividade de Marek *et al* (2007) e Collazos *et al* (2007) é que o primeiro faz uma análise do produto de *software* quanto a aspectos que potencializam a colaboratividade, já o segundo, faz análise dos processos e procedimentos adotados na solução de problemas. Porém, ambos contribuem para que os usuários estabeleçam objetivos comuns interdependentes, metas compartilhadas e reciprocamente negociadas.

3 AMBIENTES CORRELATOS

Foram encontrados alguns trabalhos relacionados ao desenvolvimento de Ambientes Virtuais (do Inglês *Virtual Environments* - VEs) e de Ambientes Virtuais Colaborativos (do Inglês *Collaborative Virtual Environments* - CVEs) que podem contribuir para o projeto do simulador de Telerrobótica Colaborativa (CollBot4us). Nos itens a seguir serão apresentados alguns destes sistemas em ordem cronológica de contribuição, destacando os seguintes aspectos: arquitetura do sistema; elementos simulados no ambiente virtual; abordagem utilizada para telecontrole, caso exista; tecnologias utilizadas na implementação; e, descrição das tarefas.

3.1 SIMULADOR DO ROBÔ PA-10

O simulador gráfico preditivo do robô PA-10 é um CVE desenvolvido por Chong *et al* (2001) que tem como característica principal a previsão das ações aplicadas ao robô. É um simulador do robô PA-10 da *Mitsubishi Heavy Industries Ltd.*. Este simulador permite a interação entre dois robôs que são posicionados em lados opostos de uma mesa de trabalho comum e dois usuários distantes geograficamente. Comunicam-se através da rede local (*LAN-Local Área Network*) e possuem abordagem de tele-controle (MOMR). A Figura 3 apresenta a cena gráfica deste simulador.

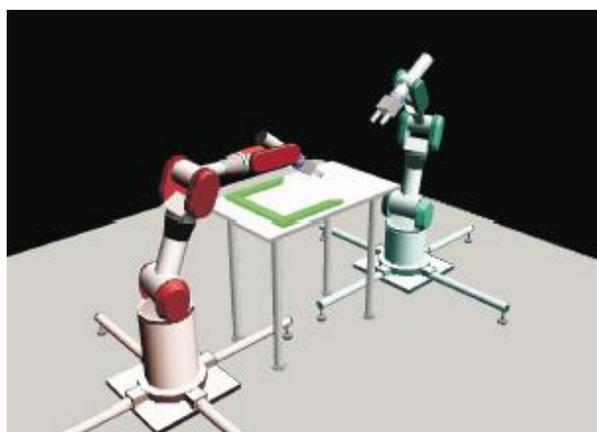


Figura 3 - Simulador Gráfico Preditivo do Robô PA-10.
Fonte: CHONG *et al*, (2001).

O simulador gráfico preditivo do robô PA-10 simula graficamente em 3D vários equipamentos como robôs, mesa e objetos. A estação de controle é composta por um dispositivo háptico de força, um teclado, mouse e dois monitores um para o controle do simulador e outro para um sistema de transmissão de vídeo contendo seis câmeras para captura das imagens reais. A estação de tarefa real é constituído por dois braços robóticos com 7 DOF, uma mesa e alguns objetos postos sobre a mesa. A Figura 4 ilustra o conjunto de equipamentos do sistema (a esquerda imagens de vídeo do robô real e a direita imagem 3D simulada do robô e ao fundo dois braços robóticos posicionados).



Figura 4 - Estação de Controle.
Fonte: CHONG *et al.*, (2001).

O sistema gráfico deste simulador foi desenvolvido com a tecnologia *OpenGL*, com objetivo de comparar operações reais, o que ajuda o operador a visualizar e verificar os movimentos do tele-robô diante de uma tarefa colaborativa, e assim, ser capaz de fazer testes experimentais de tempo de atraso (*time delay*) e testes de execução de tarefas antes de aplicar ao robô real.

A arquitetura deste CVE é exibida na Figura 5. A comunicação é feita pela rede local responsável por transmitir as informações entre a estação de controle e estação de tarefa. Na estação real de tarefa os braços robóticos são monitorados por seis câmeras de vídeo que transmitem as imagens pela rede até ao sistema de gerenciamento do *streamer*. Na estação de controle o operador utiliza um dispositivo háptico (Toshiba R&D) para manipular a simulação gráfica gerando comandos que são transmitidos para a estação real.

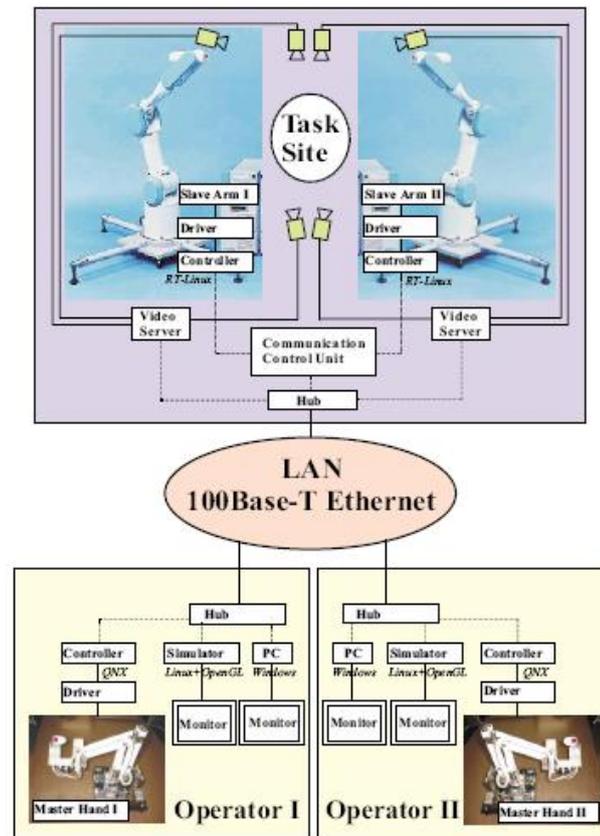


Figura 5 - Teleoperação Colaborativa Baseada na Rede Local-LAN.
Fonte: CHONG *et al*, (2001).

Chong *et al* (2001) executam uma tarefa em que são posicionados dois robôs em lados opostos e sobre uma mesa de trabalho comum são distribuídos, de forma estratégica, objetos de acrílico com formas diferentes e com cores diferentes contendo uma alça que provê a possibilidade de pega pelos robôs. Nota-se que alguns objetos estão fora do alcance de um robô, para prosseguir a tarefa, os objetos devem ser entregues dentro da área de alcance do robô colaborador.

O simulador preditivo do robô PA-10 proporciona a visualização de simulações ao operador remoto através de monitores (*desktop*) porém, depende de dispositivo háptico que não é convencional, o que torna um fator limitante do sistema.

Os aspectos importantes deste sistema são: abordagem MOMR com dois robôs telecontrolados em ambiente real e simulado; possui uma interface háptica para retorno de força e; o simulador gráfico é preditivo, ou seja, prevê, por exemplo, uma possível colisão. Alguns dos aspectos limitantes observados são: possui somente uma tarefa colaborativa; a arquitetura é baseada somente em rede local; não possui recursos de avaliação da colaboração.

3.2 SIMULADOR COM MÚLTIPLOS ROBÔS

O *Quintena* é um CVE que simula uma célula de trabalho real contendo cinco braços robóticos CRS F3 com 6-DOF. Sendo três braços robóticos montados em base fixa e dois braços robóticos montados em trilhos, o que fornece mais 1-DOF para a base somando 7-DOF. Foi desenvolvido por Wang, Moallem e Patel (2003) conforme ilustrado na Figura 6.

O sistema é baseado na Internet e possui interação MOMR com capacidade de abranger cooperação e colaboração entre os usuários que controlam a célula de trabalho.

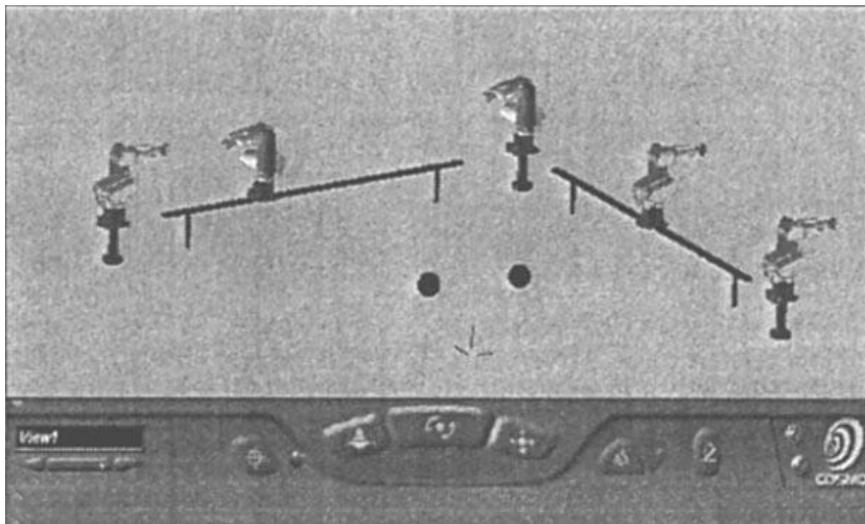


Figura 6 - *Quintena*, Simulador de Teleoperação Baseado na Internet.
Fonte: WANG; MOALLEM & PATEL, (2003).

A arquitetura do sistema de teleoperação representada na Figura 7, é composta por:

- *Uma célula de trabalho* composta por três computadores conectados em rede local utilizados para controlar os cinco robôs os quais são monitorados por três câmeras;
- *Uma camada de software HTTP Server* que contém um servidor web, um servidor robótico e servidor de vídeo;
- *Uma camada de software Browser Client* que contém a interface do operador, um visualizador de vídeos e um simulador gráfico;

Um componente Java-enabled permite que usuários remotos utilizem o sistema como operador principal (que terá pleno acesso ao robô individual e ao controle da célula) ou como participante (que terá acesso parcial a um único robô) ou como visitante (que tem acesso apenas as imagens da execução de tarefas) em cada uma dessas modalidades o usuário deve ser autenticado e autorizado pelo servidor.

Outra função do servidor http é a captura de imagens e distribuição a partir das três câmeras instaladas em pontos estratégicos as quais são utilizadas para transmissão de informações da cena que podem guiar o usuário a alcançar sua meta.

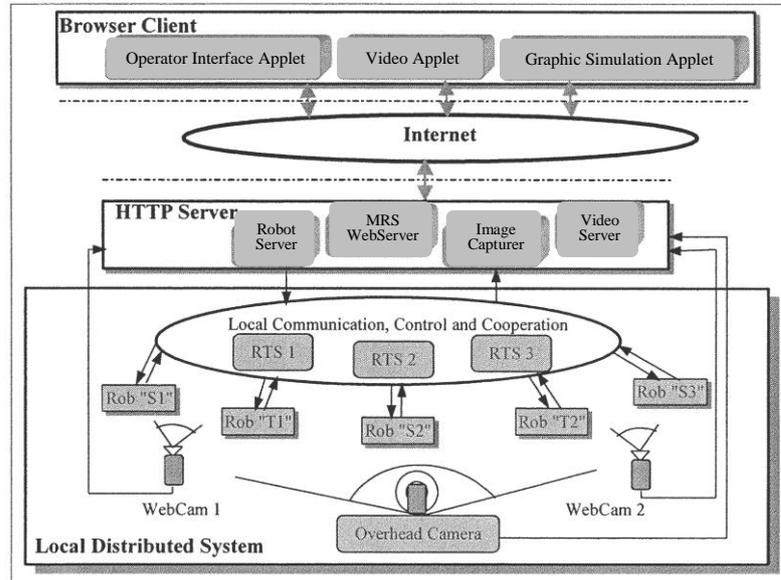


Figura 7 - Arquitetura de um Sistema de Teleoperação.
Fonte: WANG; MOALLEM & PATEL (2003).

O ambiente foi implementado em VRML, utiliza *Applets* Java para o painel de controle da interface virtual 3D e é utilizada para simular tarefas e treinar usuários virtualmente antes de executar a teleoperação sobre um sistema robótico real.

Wang, Moallem e Patel (2003) apresentam duas tarefas, uma em que apenas dois usuários interagem para resolver o jogo do cubo de *Rubick* (cubo mágico). No lado esquerdo da Figura 8(a)-(d), pode-se observar as diferentes operações que são tomadas durante a configuração da forma de operar o cubo o qual exige muita precisão na operação de rotação.

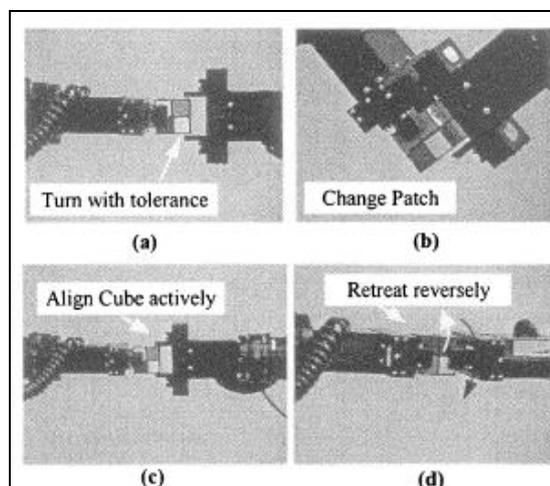


Figura 8 - Operações da Tarefa do Cubo de Rubick
Fonte: WANG; MOALLEM & PATEL, (2003).

Outra operação realizada entre os cinco robôs, é a entrega de um objeto anel em que o primeiro robô S1, Figura 9(a), inicia uma seqüência em que irá passar o anel até chegar ao robô S3 que se encontra na outra ponta da célula de trabalho.

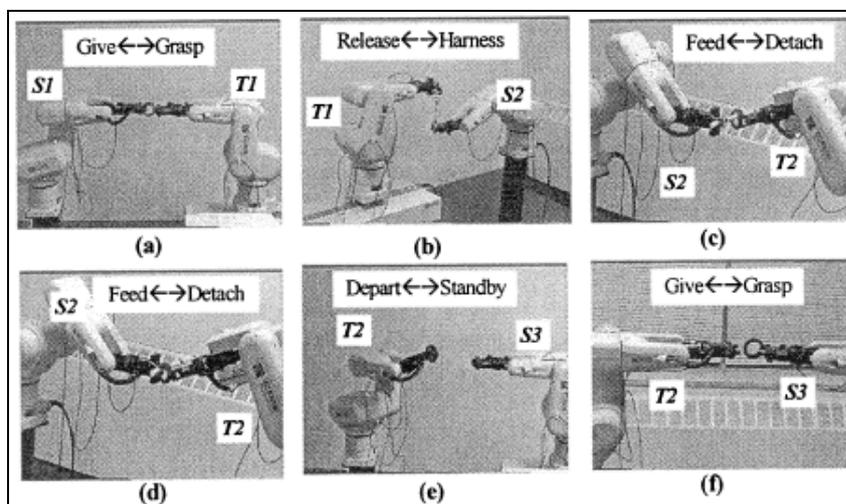


Figura 9 - Operações da Tarefa Rings
Fonte: WANG; MOALLEM & PATEL, (2003).

Os aspectos importantes deste sistema são: abordagem MOMR com cinco robôs telecontrolados em ambiente real e simulado; tarefas colaborativas com manipulação simultânea; níveis de acesso diferentes aos usuários conectados (permitindo acesso restrito, acesso parcial e acesso visitante) e; arquitetura cliente/servidor baseado na web. Alguns dos aspectos limitantes observados são: sistema desenvolvido com tecnologia descontinuada (VRML); o sistema real não possui disponibilidade permanentemente na web e; não possui recursos de avaliação da colaboração.

3.3 SIMULADOR TELERROBÓTICO HÁPTICO

Este VE foi desenvolvido por He e Chen (2008) visando abranger três fatores: aplicação do método *virtual coupling* (acoplagem virtual) a partir das coordenadas cartesianas; restrições virtuais para auxiliar o usuário na realização das tarefas e; retorno háptico na teleoperação de montagem/realização de tarefas.

O simulador foi desenvolvido com base num sistema real de teleoperação háptica, o qual contém dois computadores conectados em rede como exibido na Figura 10, sendo que do lado do operador possui um computador principal (*master computer*) que possua um dispositivo háptico (*haptic interface*) para o controle do robô. Do outro lado contém um

computador secundário (*slave computer*) responsável em receber os comandos remotos e aplicá-los ao robô real. Neste caso a monitoração é feita por câmeras e as imagens transmitidas pela rede por *streamer*.

O simulador telerrobótico háptico é um ambiente virtual telecontrolado do braço robótico *ABB Robot* de 6DOF com abordagem SOSR com base fixa. O simulador contém restrições geométricas, físicas, percepção háptica (tátil) de força, torque e gravidade. O benefício que proporciona é permitir ao operador aprender a executar tarefas perigosas, por exemplo, trabalhar com materiais radioativos ou explosivos.

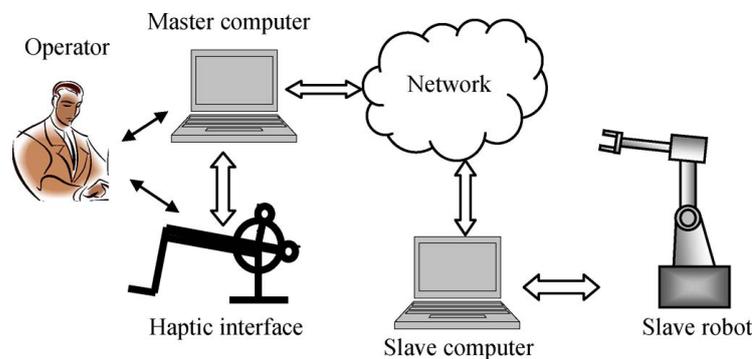


Figura 10 - Arquitetura Telerrobótica Háptica.
Fonte: HE & CHEN (2008).

A modelagem 3D e as restrições foram elaboradas no *SolidWorks*, um *software* de CAD (*Computer-Aided Design*) para modelagem assistida por computador que fornece recursos para simulação.

A tarefa aplicada no simulador tem como objetivo efetuar a montagem/encaixe de objetos primitivos sobre um bloco com cortes das respectivas formas geométricas dos objetos, exibida na Figura 11. Para a manipulação do braço robótico é utilizado um dispositivo de interface háptica.

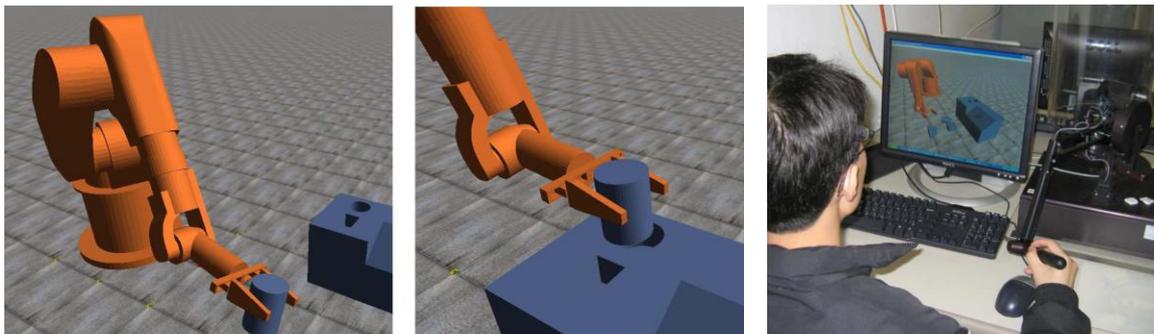


Figura 11 - Sistema Virtual Teleoperação Háptica.
Fonte: HE & CHEN (2008).

As restrições aplicadas pelo simulador na tarefa contribuem para obter um perfeito alinhamento e encaixe das geometrias, tornando um sistema de simulação em que o usuário possa interagir com vários objetos para treinar comandos antes de serem aplicados em um sistema real. Durante a manipulação ocorre o retorno háptico de força os quais, os acoplamentos virtuais dos objetos são estritamente calculados pelo ambiente, considerando o ângulo, a rigidez e a velocidade da articulação do robô.

Os aspectos importantes deste sistema são: possui uma interface háptica para retorno de força, prensão, colisão e gravidade e possui uma tarefa com objetos primitivos que exige precisão e coordenação. Alguns dos aspectos limitantes observados são: é um sistema de telecontrole com apenas um robô, possui somente uma tarefa, não possui recursos de avaliação da colaboração e a modelagem 3D do ambiente foi desenvolvida em *software* proprietário.

3.4 TAREFA COLABORATIVA ACOPLADA

García *et al* (2009) abordam conceitos relacionados ao problema da percepção do usuário nos ambientes 3D, utilizando uma abordagem denominado *closely-coupled collaboration* (colaboração fortemente acoplada) o desafio deste tipo de interação está principalmente relacionado a falta de *feedback* e sensibilização. E por se tratar de uma colaboração estreita entre os usuários, sabe-se que quanto maior a sincronização maior o desafio.

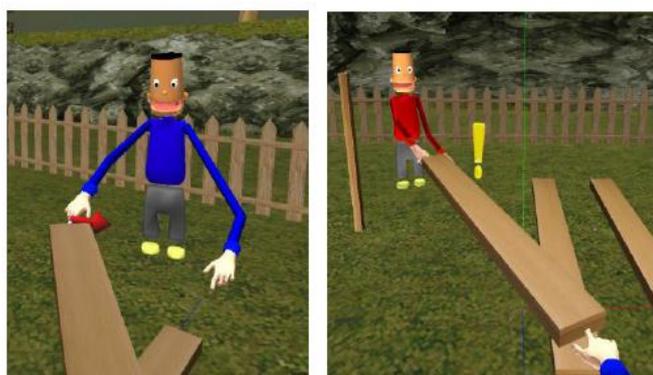


Figura 12 - Tarefa de Construção de um Gazebo.
Fonte: GARCIA *et al* (2009).

Este CVE tem como objetivo construir um *Gazebo* virtual (local de lazer construído no jardim de uma residência, parecido com um *coreto* de estruturas construídas em praças

públicas). Neste experimento o foco é expor a importância do *feedback* e da sensibilização durante a fase do trabalho colaborativo. Para isto o *status* da tarefa é crucial, veja na Figura 12, em que uma seta vermelha está indicando direção de deslocamento e uma exclamação amarela está chamando a atenção dos usuários quanto a uma possível queda do objeto.

Nesta tarefa os usuários têm que saber a seqüência de ações possíveis para evitar a fragmentação do fluxo do trabalho colaborativo, deste modo apenas um olhar na cena seria suficiente para o usuário saber qual atitude tomar na seqüência da tarefa.

A arquitetura deste sistema pode ser observada na Figura 13. Ela é formada por uma rede híbrida em que o servidor redireciona todas as mensagens trocadas pelos clientes. No entanto, durante uma manipulação colaborativa, mensagens relacionadas com a negociação da posição do objeto são apenas trocadas entre os participantes desta manipulação em particular (ponto 1 da Figura 13). Depois disso, a posição final é enviada para o servidor (ponto 2) e, em seguida transmitida para o resto dos clientes (ponto 3).

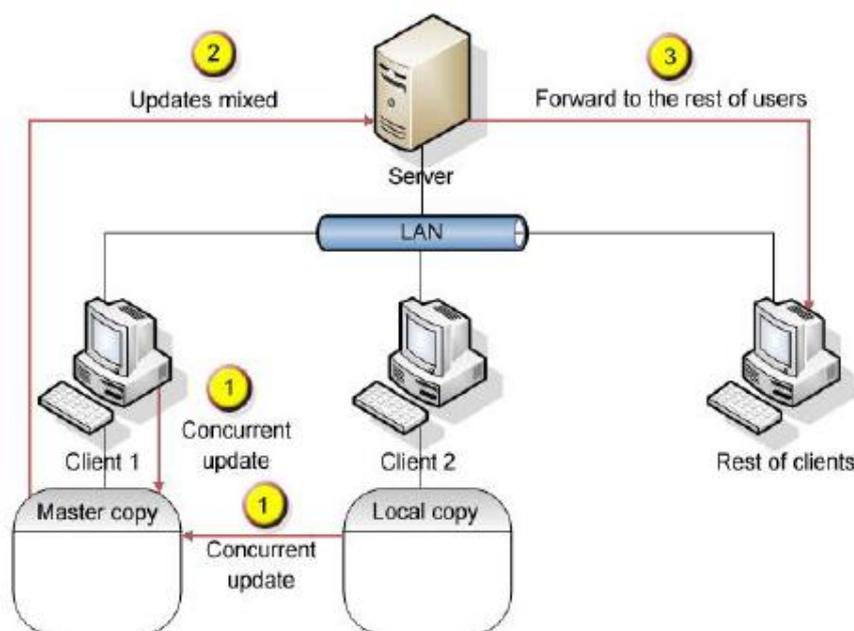


Figura 13 - Arquitetura do Simulador Gazebo.
Fonte: GARCIA *et al* (2009).

Quanto a plataforma de *software* escolhida, foram utilizados *VRJuggler* (plataforma de desenvolvimento de aplicações de realidade virtual), *OpenSG* (sistema de renderização de cenas gráficas de realidade virtual) para implementação do cenário e *RakNet* (API para desenvolvimento de sistemas distribuídos) para a transmissão de dados na rede. Em relação aos dispositivos de controle foram utilizados Luvas *Fakespace Pinch* e um HMD (*Head Mounted Display*) VR1280.

Os aspectos importantes deste sistema são: a modelagem de objetos no cenário que introduz referências espaciais visuais, melhorando o desempenho dos usuários; a forma como é tratado o *feedback* dos usuários; a importância que é dado ao *status* da tarefa e; a sincronização entre os clientes conectados ao ambiente da tarefa. Alguns dos aspectos limitantes observados são: não existem mecanismos de detecção de colisão na cena gráfica; possui somente uma tarefa; não possui recursos de avaliação da colaboração e; não é um ambiente com simulador robótico.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Os trabalhos relacionados nas subseções 3.1 à 3.4 apresentam funcionalidades e estratégias que são utilizadas no projeto do CollBot4us. Estas contribuições são listadas na Tabela 3 e em seguida serão exemplificados cada item apresentado.

Tabela 3 - Contribuições da Literatura e Características Funcionais.

Itens	Funcionalidades	Tarefa Colaborativa (Garcia et al., 2009)	Simulador Telerrobótico Háptico (He e Chen, 2008)	Simulador com Múltiplos Robôs (Wang, Moallem e Patel, 2003)	Simulador do Robô PA-10 (Chong et al., 2001)	CollBot4us
a	Arquitetura de Comunicação Telecontrolados entre dois ou mais Robôs	NR				
b	Abordagem MOMR	NR				
c	Permite Colaboração					
d	Modelos de tarefas					
e	Modelagem Gráfica 3D					
f	Freeware/Open Source	ND		ND	ND	
g	Possui Chat					
Total de Funcionalidades		3	3	5	5	7

■ - Possui funcionalidade

□ - Não possui funcionalidade

ND - Não está Documentado

NR - Não é um sistema Robótico

(a) No que se refere à Arquitetura de Comunicação, Chong *et al* (2001) apresentam uma arquitetura em rede local que inicialmente define ser a principal contribuição em comunicação para o desenvolvimento do CollBot4us. Wang, Moallem e Patel (2003) utilizam uma arquitetura cliente/servidor com possibilidade de comunicação web através de um servidor HTTP. No CollBot4us, optou-se por utilizar a Arquitetura Cliente/Servidor, em rede local;

(b) Quanto à abordagem MOMR, para que haja colaboração, o sistema deve possuir pelo menos dois operadores com dois robôs. Em Chong *et al* (2001) ocorre a teleoperação entre dois braços robóticos fixos, e em Wang, Moallem e Patel (2003) a teleoperação é aplicada entre cinco braços robóticos, sendo três fixos e dois móveis. No simulador CollBot4us há dois braços robóticos articulados.

(c) O ambiente permite colaboração, pois os operadores do CVEs precisam resolver tarefas interdependentemente, ou seja, é necessário colaborar para conquistar o objetivo comum. Chong *et al* (2001) aplicaram um experimento em que é explícita a interdependência dos usuários na resolução da tarefa. Wang, Moallem e Patel (2003) exibiram dois experimentos onde exigem intensa precisão e coordenação para resolvê-la. Em Garcia *et al* (2009) a colaboração é fortemente acoplada, ou seja, ocorre a manipulação simultânea do objeto pelos usuários. Os três autores não aplicam métricas para avaliar o grau de colaboração, já o CollBot4us foi desenvolvido para avaliar o desempenho das tarefas e analisar as características colaborativas do ambiente;

(d) Todos os autores apresentaram algum tipo de tarefa. Até o trabalho de He e Chen (2008), ainda que não possua colaboração, apresenta um modelo que contribui para análise de coordenação do braço robótico na tarefa de encaixe de objetos. Quanto ao CollBot4us, foi desenvolvido com um cenário que permite aplicar estratégias colaborativas com interação exercida remotamente pelos usuários, tendo como principal modelo de tarefa o exemplo aplicado por Chong *et al* (2001);

(e) Todos os autores apresentaram ambientes virtuais 3D o qual definem uma funcionalidade desejável para aplicações de simulação gráfica tanto para indústrias quanto para aplicações educacionais por promover maior realismo;

(f) Quanto a Licença *freeware* e código *open source*, os autores não documentaram esta funcionalidade, exceto He e Chen (2008) que utilizam tecnologia proprietárias. Estas características estão presentes no projeto do CollBot4us porque são voltadas para o meio acadêmico e abrem possibilidades de evolução e perspectivas de trabalhos futuros;

(g) Possuir *chat* é um requisito que contribui para a colaboratividade do ambiente, fornecendo ao usuário a possibilidade de se comunicar à distância para combinar estratégia de solução da tarefa. Portanto, no CollBot4us foi desenvolvida uma área para *chat*. Os demais ambientes não possuem esta funcionalidade.

As contribuições mais relevantes que os trabalhos relacionados proporcionaram para o desenvolvimento do CollBot4us foram:

- Chong *et al*(2001) apresentaram um exemplo de simulador com área de trabalho compartilhado com dois braços robóticos fixos com um tarefa colaborativa que explicitamente contemplam aspectos como estratégias, coordenação, divisão de tarefa, objetivo comum e monitoramento;
- Wang, Moallem e Patel (2003) instigaram a possibilidade de criar uma arquitetura cliente/servidor baseado na web e exemplos de tarefas colaborativas que explicitamente exigem coordenação e sincronização, desempenho, dinâmica e interdependência;
- He e Chen (2008) apresentaram um exemplo de tarefa com objetos primitivos que exige coordenação, precisão e a idéia apresentada quanto a importância dos aspectos da precisão e coordenação na apreensão e colisão;
- Garcia *et al* (2009) usaram a idéia de modelagem de objetos extras na cena para introduzir referências espaciais visuais, a importância do *feedback* e do *status* da tarefa, assim representaram aspectos quanto a dinâmica da tarefa, hierarquia, comunicação visual, monitoramento e desempenho;
- Marek *et al* (2007) e Collazos *et al* (2007) contribuíram para o desenvolvimento do CollBot4us, propondo variáveis e métricas de colaboração e desempenho os quais, são utilizadas pelo CollBot4us para medir o grau de colaboratividade.

Entretanto, o principal diferencial do CollBot4us em relação aos demais trabalhos apresentados é que o CollBot4us coleta métricas relativas ao grau de colaboração e ao desempenho dos usuários podendo ser utilizado para ensinar robótica colaborando e/ou ensinar colaboração com robótica.

4 TAREFAS COLABORATIVAS

As tarefas aplicadas no CollBot4us incentivam a colaboração entre duplas de usuários. Neste contexto, para facilitar a leitura e compreensão do texto será adotado as seguintes nomenclaturas para mencionar cada membro da dupla: para mencionar a 1ª pessoa (**operador**); para a 2ª pessoa (**colaborador**) e para a 3ª (**operadores**).

Saber trabalhar em grupo e colaborar é fundamental para o sucesso das tarefas, o que demanda percepção, coordenação e comunicação. Durante a comunicação, os operadores devem construir um entendimento comum, compartilhar idéias, discutir, negociar e tomar decisões. O sistema CollBot4us define um espaço compartilhado de trabalho onde a coordenação é essencial para evitar conflitos nas interações desenvolvidas durante a tarefa. E, para garantir que a comunicação e a coordenação sejam efetivas, cada operador deve perceber, mesmo sem se comunicar diretamente, o progresso do trabalho do colaborador: o que foi feito, como foi feito, o que falta para o término e quais são os resultados preliminares. Assim, é inerente que cada operador perceba as necessidades interdependentes da tarefa antes de direcionar suas ações (FUKS; RAPOSO & GEROSA 2002).

Nesta seção será apresentada a seqüência das tarefas projetadas e as que foram implementadas no CollBot4us. Na descrição das tarefas serão levados em consideração os passos para concluir a tarefa, possíveis soluções e quais critérios colaborativos segundo Collazos (2007) e Marek (2007) estão sendo avaliados em cada tarefa.

4.1 DESCRIÇÃO GLOBAL DAS TAREFAS

Para executar as tarefas aplicadas no simulador 3D CollBot4us são empregados dois robôs virtuais *Scorbot ER4-PC* que são posicionados sobre uma mesa de trabalho em posições opostas para efetuar tarefas que dependem um do outro para serem concluídas.

Os dois robôs são então operados por duas pessoas (um operador e um colaborador) em computadores diferentes e em locais geograficamente distintos. Assim, cada operador controla um braço robótico identificado por cores diferentes e vê uma cena que tem os dois robôs juntos. O sistema se responsabiliza por manter as duas cenas vistas pelos dois

operadores sem diferenças de posicionamentos e configurações dos robôs.

Dessa forma, cada operador (por exemplo, o vermelho) vê uma cena com os dois robôs (tanto o vermelho quanto o verde) e controla remota e localmente o seu robô (no caso, o vermelho) ao mesmo tempo em que controla o robô vermelho na cena remota visualizada pelo outro operador (no caso, o verde). O contrário ocorre para o operador do robô verde.

O ambiente é simétrico o que permite que cada operador possa inferir a estratégia de solução do colaborador, pois tem um ponto de vista semelhante de tarefa. Cada operador tem completo conhecimento do estado do trabalho do colaborador porque a simulação é em 3D e a livre navegação e visualização do ambiente permitem que ambos vejam qualquer parte do espaço virtual da tarefa.

Deve-se observar que a disposição dos dois robôs no cenário da tarefa leva a uma sobreposição dos seus espaços de trabalho nas quais ambos têm acesso, como mostrado na Figura 14.

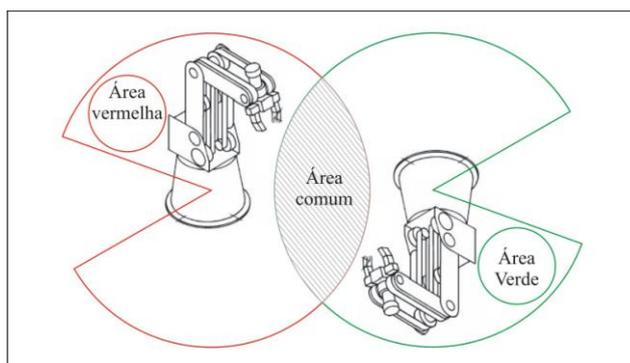


Figura 14 - Espaço de Trabalho do Ambiente CollBot4us.

A área comum permite que haja troca de objetos entre os robôs. O eixo da base do robô possui um limite de rotação, sendo no máximo 310 graus de deslocamento, surgindo uma área que se encontra fora do alcance do braço robótico.

Quanto à tarefa, objetos esféricos com cores vermelhas e verdes serão arranjados em posições pré-estabelecidas sobre a mesa de trabalho dos dois robôs. São indicadas no ambiente duas áreas circulares (vermelha e verde) que serão utilizadas para armazenamento das esferas. Nos experimentos serão selecionados usuários que provavelmente não possuem conhecimentos em robótica, para isto a **Tarefa de Coleta (Treino e Colaborativa)** foi aplicada em dois níveis, disponibilizando no primeiro nível duas tarefas simples para treinamento e no segundo nível uma tarefa principal mais completa visando a colaboratividade.

4.1.1 Descrição da Tarefa de Coleta Treino

A Tarefa de Coleta Treino visa apresentar três elementos básicos do ambiente proporcionando o aprendizado e familiarização do sistema:

- A manipulação de braços robóticos, fazendo com que o operador adquira habilidades com os comandos da Cinemática Direta (CD) que é responsável pelo controle e movimentação das juntas do robô. Esses comandos são manipulados em uma janela específica conforme exibida na Figura 15;
- A utilização da área de chat, responsável por manter uma comunicação constante entre os operadores;
- A visualização do ambiente 3D, incluído recursos de zoom, navegação e *viewpoints*.



Figura 15 - Janela da Cinemática Direta do CollBot4us.

A janela da Figura 15 possui os seguintes recursos (HOSS; HOUNSELL & LEAL, 2009):

- **Fator** – definição de um fator de incremento ou decremento (em graus) dos ângulos de uma determinada junta;

- Botão **Posição Inicial** – atribui os valores para o robô voltar para posição inicial;
- Botão **1** e botão **Q** – respectivamente, incrementa e decrementa o fator de movimento da junta da *base* do robô;
- Botão **2** e botão **W** – respectivamente, incrementa e decrementa o fator de movimento da junta do *ante-braço* do robô;
- Botão **3** e botão **E** – respectivamente, incrementa e decrementa o fator de movimento da junta do *braço* do robô;
- Botão **4** e botão **R** – respectivamente, incrementa e decrementa o fator de movimento da junta da *elevação da garra* do robô;
- Botão **5** e botão **T** – respectivamente, incrementa e decrementa o fator de movimento da junta de *rotação da garra* do robô;
- Botão **6** e botão **Y** – respectivamente, abre e fecha a *garra* do robô;
- Eixos **X, Y, Z** – Exibe as coordenadas atuais do robô;
- Abordagem – São as possíveis formas de atuação da posição da garra diante da pega de objetos: abordagem **livre** da garra; abordagem **fixa** da garra, ou seja, os ângulos são fixos, abordagem fixa pela **frente**, abordagem fixa de **traz**, abordagem fixa por **cima**.

Os comandos de manipulação das juntas do robô podem também serem acionados pelo teclado. Para isto, para os 5DOF das juntas do robô, o operador pode digitar o ângulo, positivo ou negativo, na lacuna correspondente e teclar *Enter* para levá-la diretamente ao ponto desejado, caso queira atualizar os ângulos, deve-se utilizar o botão **Atualizar Valores**.

A janela CD possui também a cronometragem do tempo de duração da tarefa, o qual é uma das medidas utilizadas para avaliação da colaboratividade. E, para facilitar a identificação de qual robô o operador está controlando, a cor da janela CD é igual ao seu respectivo robô, neste caso ou verde ou vermelho.

Durante o processo de familiarização dos comandos da CD, o operador fará duas tarefas para treino dos comandos, *Tarefa Treino (nível 1)* contendo dois objetos esféricos e *Tarefa Treino (nível 2)* com seis objetos esféricos que será iniciada após sincronização entre os operadores conforme exibido na Figura 16. Portanto, estas tarefas treino têm como objetivo também, adquirir habilidade nos recursos aplicados na garra do robô quanto à pega e solta de objetos.

Para concluir a tarefa o operador que está manipulando o robô verde terá que pegar a esfera verde e depositá-la na área circular verde, o operador que esta manipulando o robô vermelho terá que pegar a esfera vermelha e depositá-la na área circular vermelha. Somente o

robô verde alcança a área verde e vice-versa.

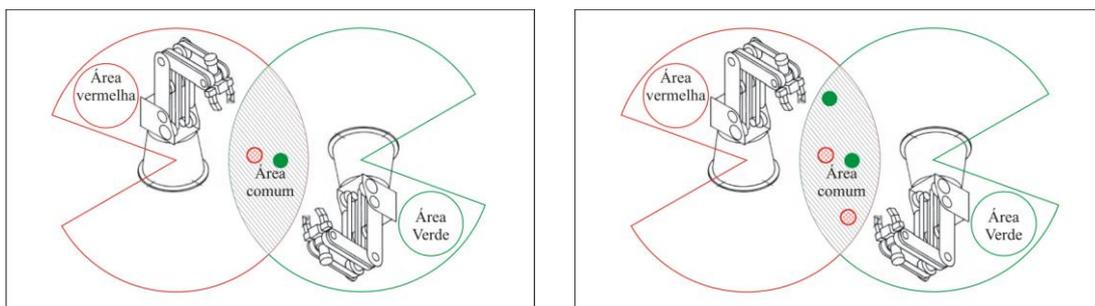


Figura 16 - Tarefas de Coleta Treino do Ambiente CollBot4us.

Nesta tarefa, os operadores conseguem capturar as esferas sem a necessidade da ajuda de colaborador, já que todas as esferas se encontram na área de alcance comum dos braços robóticos, mas, nem por isso não deixa de ser uma tarefa em grupo, pois somente estará concluída quando os dois operadores depositarem suas esferas nas áreas correspondentes, caracterizando um objetivo comum.

Outro objetivo desta tarefa é familiarizar os operadores com a comunicação. O CollBot4us possui uma área de *chat colaborativo*, o que possibilita a troca de mensagens textuais instantâneas que o operador pode utilizar para o afinamento da coordenação. Esta ferramenta, exibida na Figura 17, proporciona à dupla estabelecer comunicação constante de forma síncrona.



Figura 17 - Ferramenta de Comunicação *Chat*.

Para isto, o operador deve ir ao menu *configurações (tools* caso o idioma esteja em inglês) e clicar na opção *chat*. Quando o operador enviar uma mensagem para seu colaborador, automaticamente irá abrir a janela de chat no ambiente do colaborador com a respectiva mensagem enviada.

Além dos comandos aplicados ao robô e aos objetos do cenário o que faz com que a cena gráfica seja atualizada remotamente. A interface do simulador possui também, controles que são executados somente no simulador local, sem afetar a visualização do colaborador: Na parte inferior da janela principal, existem controles de visualização 3D que permitem nove modos de navegação (*Walk, Slide, Examine, Fly, Pan, Game Like, Jump, Geo Examine e Geo Fly*) na cena. Essas opções permitem visualizar com diferentes níveis de detalhe escolhidos

localmente pelo operador, disponibilizando diferentes formas de visualizar e analisar objetos tridimensionais, com recursos de visão espacial, zoom, deslocamento, navegação em diversos ângulos, estes comandos são nativos do *browser Xj3D* (WEB3DCONSORTION, 2009).

4.1.2 Tarefa de Ordenação de Cores

Nesta tarefa, objetos com cores verdes e vermelhas são colocadas alinhadas e intercaladas na área de alcance comum dos dois robôs, conforme Figura 18. O objetivo da tarefa é ordenar de forma seqüencial de cores partindo do vermelho para o verde sem desfazer o alinhamento e posicionamento dos objetos.

Algumas restrições são definidas:

- Os robôs somente conseguem pegar esferas que possuem suas respectivas cores, portanto somente um robô não conseguirá concluir a tarefa;
- A esfera uma vez capturada só poderá ser depositada, ou no mesmo lugar, ou no lugar de outra esfera. Para isto os operadores devem simultaneamente coletar as esferas e trocá-las de posição;

Esta tarefa representa uma exigência maior de colaboratividade que a tarefa treino, porque para concluí-la requer coordenação e interação entre os operadores.

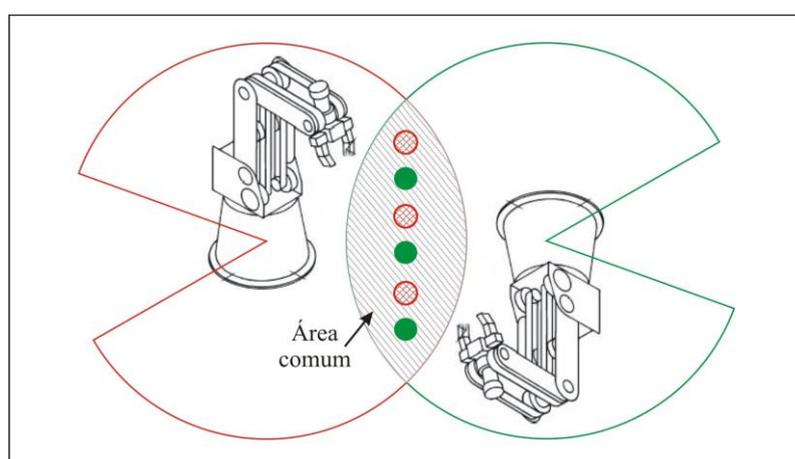


Figura 18 - Tarefa de Ordenação de Cores.

4.1.3 Tarefa de Ordenação Crescente de Números

Nesta tarefa existem 6 objetos numerados, colocados alinhados e desordenados na área de alcance comum dos dois robôs, conforme Figura 19. O objetivo da tarefa é que cada

operador controle um robô a fim de pegar as esferas com sua garra, um a um, e ordená-los de forma crescente sem desfazer o alinhamento e posicionamento dos objetos. As restrições aplicadas nesta tarefa são idênticas a Tarefa de Ordenação de Cores, exceto quanto à pega dos objetos, pois nesta tarefa os robôs podem pegar qualquer esfera.

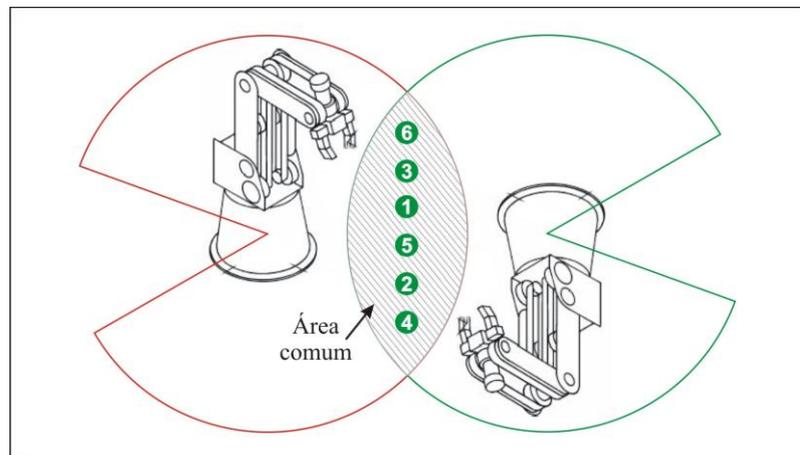


Figura 19 - Tarefa de Ordenação Crescente de Números.

4.1.4 Descrição da Tarefa de Coleta Colaborativa

Esta é a principal tarefa dentre as quatro apresentadas, pelo fato de proporcionar um número maior de Requisitos de Colaboratividade (RC). Nesta tarefa existem dezesseis objetos esféricos, oito vermelhas e oito verdes, que estão organizadas em posições pré-estabelecidas. A Seguir serão listados os objetivos, as restrições, possíveis soluções o qual serão relacionados aos RC.

- O objetivo é depositar as esferas nas respectivas áreas circulares (vermelha e verde) que serão utilizadas para armazenamento das esferas.
- Existem esferas de manipulação direta (sem ajuda do colaborador) onde o operador pode coletá-las e depositá-las, e esferas de manipulação indireta (que precisa do colaborador) onde são necessárias interações para colocá-las dentro da área comum dos braços robóticos. Os RC contemplados são: trabalho conjunto; objetivo comum da equipe.
- As esferas estão dispostas em posições simétricas. Os RC contemplados são: coordenação e dinâmica da tarefa.
- Alguns objetos estão fora do alcance de um dos robôs, como pode ser visto na Figura 20. Para prosseguir com a tarefa, os objetos devem ser depositados dentro

da área de alcance do outro robô. Os RC contemplados são: estratégia para solução da tarefa e eficiência da estratégia.

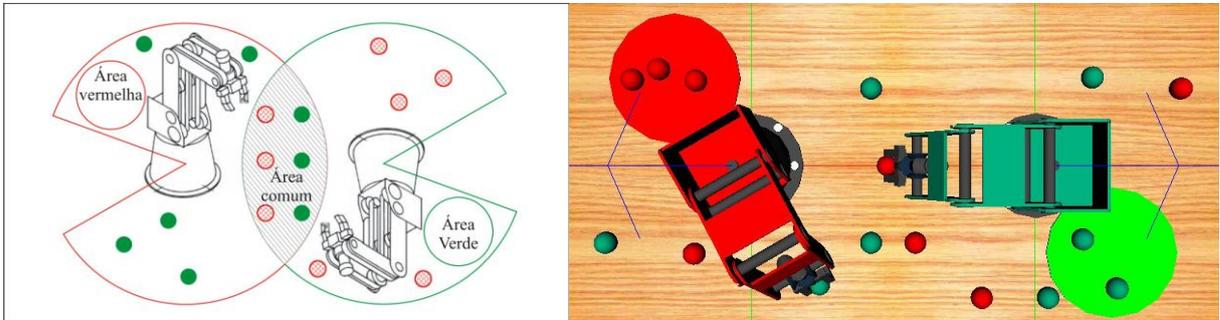


Figura 20 - Tarefa de Coleta Colaborativa do Ambiente CollBot4us.

- Os operadores podem se comunicar para definir estratégias explícitas que resolvam a tarefa com eficiência fazendo uso do recurso de chat. Os RC contemplados são: comunicação constante.

No decorrer do tempo os operadores podem rever suas estratégias de modo que as novas soluções obtidas venham otimizar o tempo e a dinâmica da tarefa sempre relacionadas ao interesse comum.

A Figura 21 mostra a cena vista de outra perspectiva e na forma como o operador a enxergar com a janela CD de um dos robôs.

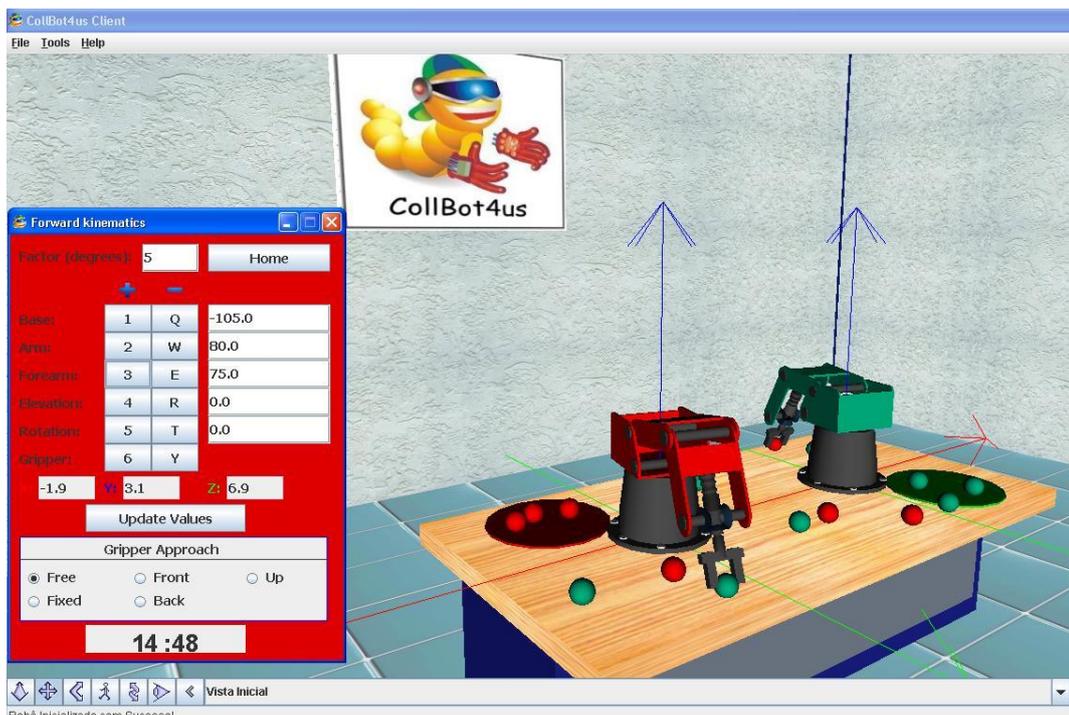


Figura 21 - Ambiente Colaborativo CollBot4us.

Nessa tarefa, os operadores são responsáveis por realizar o trabalho conjunto com estratégias e coordenação. Algumas soluções que podem ser tomadas pelos operadores estão apresentadas na Quadro 1:

Quadro 1 - Possíveis Soluções da Tarefa de Coleta Colaborativa

Solução A

1. Um operador coleta primeiro as esferas que representam sua respectiva cor e que se encontram no alcance do braço robótico;
 2. Depois coleta as esferas do seu colaborador que se encontra em sua área de alcance e as colocam na área comum aos dois robôs;
 3. Para ser eficiente, o colaborador deve perceber esta seqüência e adotar a ordem inversa simultaneamente.
-

Solução B

1. Um operador, por exemplo o verde, coleta primeiro as esferas verdes que se encontram no alcance do braço robótico;
 2. O colaborador, neste caso o vermelho, deve coletar primeiro as esferas verdes que se encontra em sua área de alcance e colocá-la na área comum aos dois robôs;
 3. Depois de finalizado a coleta de todas as esferas do operador verde, inicia-se a coleta das esferas vermelhas que se encontram no alcance do braço robótico do operador, neste caso o vermelho;
 4. Ao mesmo tempo em que o colaborador do robô verde coleta as demais esferas vermelhas e as colocam na área de alcance do braço robótico;
-

Solução C

1. O operador, por exemplo o verde, inicia a coleta de uma esfera, neste caso verde, e a coloca no depósito, e para aproveitar o movimento de rotação do braço robótico coleta uma esfera, neste caso vermelha, do seu colaborador e a desloca para dentro da área comum;
2. O processo inverso deve ser simultaneamente adotado pelo outro operador, neste caso o vermelho;
3. As etapas anteriores devem ser repetidas ao longo de toda tarefa, ou seja, os operadores devem a cada iteração de pega coletar uma esfera que será depositada e outra que será colocada na área comum;

Para avaliação dos RC da tarefa serão coletados *logs* de: Tempo para a primeira pega de objetos; Tempo para a primeira coleta depositada com sucesso; Tempo total da tarefa; Número de tentativas de prensão de objetos; Número total de comandos executados.

4.2 EXPERIMENTO

Na definição do escopo do projeto CollBot4us foram discutidas várias tarefas, porém para aplicar os testes com usuários houve a necessidade de classificar qual das tarefas abordaria o maior grau de colaboratividade e que fosse uma tarefa estimulante capaz de ser aplicado em um tempo de duração confortável ao usuário. Após análise considerou-se pertinente implementar no sistema duas tarefas a serem resolvidas na seguinte ordem:

1º Tarefa de Coleta Treino;

2º Tarefa de Coleta Colaborativa.

As tarefas de Ordenação de Cores e Ordenação Crescente de Números não foram aplicadas no experimento do CollBot4us por apresentar características colaborativas mais simples, sendo resolvidas com poucos movimentos, por exemplo na Tarefa de Ordenação de Cores, se o robô verde capturar a primeira esfera verde de cima para baixo, e o robô vermelho efetuar o mesmo procedimento porém simétrico ao do seu colaborador, ambos irão trocar de posição justamente as esfera que define o fim da tarefa. Percebe-se que a estratégia ser aplicada é simples e, o tempo para concluir pequeno.

5 O SISTEMA COLLBOT4US

Neste capítulo é apresentado o sistema CollBot4us contemplando: a arquitetura e o projeto de *software* do sistema; diagramas UML (*Unified Modeling Language*) que mostra a solução aplicada ao projeto; e a implementação das classes relacionadas a este trabalho. Em um primeiro momento, será detalhado o simulador virtual VirBot4u que foi utilizado como base para a construção do CollBot4us.

5.1 VIRBOT4U

O CollBot4us foi desenvolvido com base no simulador VirBot4u (HOSS; HOUNSELL & LEAL, 2009) um sistema que simula equipamentos como: robôs; objetos; mesa e; outros. Permite configurar um *layout* gerando objetos e especificar valores que são tratados pela implementação de cinemática direta e cinemática inversa.

O *VirBot4u* é um sistema *freeware* e *open source* (LARVA, 2007), permite que o usuário navegue pelo Ambiente Virtual. Uma perspectiva pode ser vista na Figura 22, onde é possível que o usuário visualize processos por diversos ângulos através de um monitor comum (*Desktop*). As principais vantagens deste sistema remetem à flexibilidade de utilização.

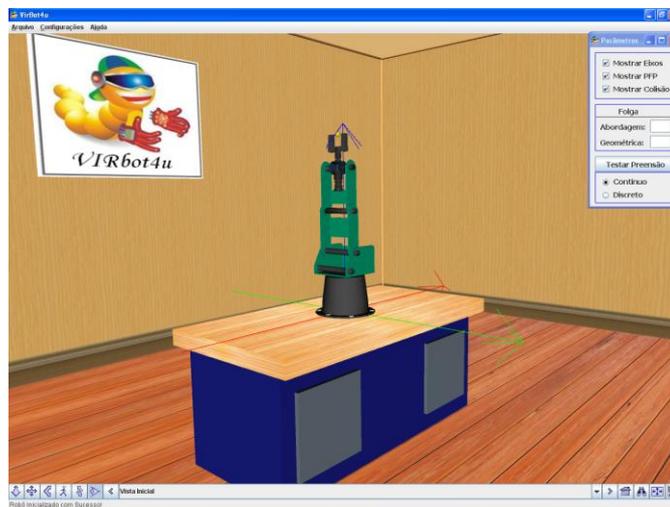


Figura 22 - Simulador VirBot4u.
Fonte: HOSS; HOUNSELL & LEAL, (2009).

É importante ressaltar que o simulador *VirBot4u* possui um único robô virtual, não possui suporte a operações telecontroladas portanto não possui *chat* e não possui tarefas colaborativas. Alguns recursos não utilizados deste simulador no CollBot4us são: cinemática inversa; salvar programação do robô; abrir programação do robô.

5.2 COLLBOT4US: COLABORAÇÃO COM TAREFAS ROBÓTICAS

O CollBot4us “*Collaborative roBot for us*” apresenta um sistema de telerrobótica com dois robôs *Scorbot ER4-PC* para execução de tarefas colaborativas. A modelagem dos objetos que compõe a cena 3D foi desenvolvida através da linguagem X3D (BRUTZMAN & DALY, 2007). Essa linguagem possibilita representar ambientes tridimensionais interativos na internet necessitando apenas de um *plugin* para que seu conteúdo seja interpretado e visualizado. Para complementar a dinâmica do sistema é utilizada a linguagem Java.

Este ambiente pode ser usado para treino em tarefas ou para o desenvolvimento de estratégias de colaboratividade. O CollBot4us é um sistema virtual 3D que possui tarefas colaborativas com comunicação remota entre os operadores de modo que seu ambiente permita interação com os objetos virtuais e também planejamento das atividades.

5.3 PROJETO DO COLLBOT4US

A comunicação do CollBot4us é implementada utilizando a plataforma de objetos distribuídos Java RMI (*Remote Method Invocation* - Invocação de Métodos Remotos) adotando como base a arquitetura cliente/servidor.

O protocolo RMI dá suporte de registro a objetos distribuídos Java definindo como devem se comportar. Para isto, ele encapsula os dados de comunicação e fornece um protocolo de transferência de dados pela camada de rede até a máquina destino, bem como define como e quando exceções podem ocorrer. O objeto remoto determina qual de seus métodos podem ser invocados pelos clientes através da interface implementada e como os parâmetros são passados e retornados aos métodos remotos (FARLEY, 1998).

Assim, o RMI abstrai toda a comunicação, apenas sendo necessário identificar os métodos remotos e acessar um objeto ativo em uma máquina virtual de modo que possa comunicar remotamente com objetos de outras máquinas virtuais Java (BORGES & FREITAS, 2008).

5.3.1 Protocolo de Comunicação

O CollBot4us faz uso do protocolo RMI o qual utiliza a camada de transporte TCP/IP, pois neste simulador é necessário que se utilize um protocolo confiável para mensagens do tipo *comandos*, porque há a necessidade de uma resposta a cada mensagem enviada, e para mensagens que representem *eventos*, que não necessitam de resposta, porém deve ser garantida a ordem de seu processamento. Na Figura 23, é apresentado o funcionamento das camadas do protocolo RMI (BORGES & FREITAS, 2008):

Aplicativo - contém o software, neste caso cliente/servidor, com seus respectivos objetos remotos declarados;

Stub/Skeleton - são responsáveis pela interação entre objetos remotos, o *stub* (para o objeto cliente) envia a chamada ao método para o objeto remoto e o *skeleton* (para o objeto servidor) envia a chamada ao objeto remoto. Na máquina virtual cada objeto deve ter um *skeleton* correspondente ao *stub*.

Referência Remota - responsável pelo empacotamento das chamadas remotas direcionando-as para transporte via camada de rede mantendo a referência entre os clientes e os objetos remotos através da semântica RMI.

Protocolo de Transporte - define a conexão física entre um subsistema e outro baseada em TCP/IP.

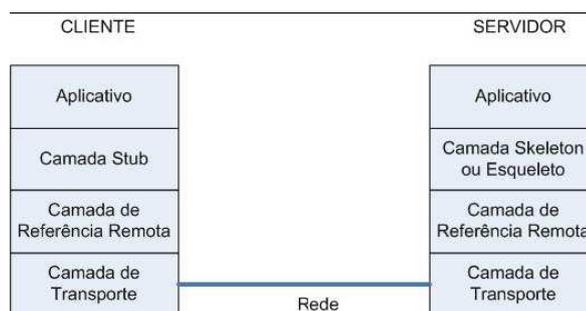


Figura 23 - Funcionamento das Camadas do Protocolo RMI.

Fonte: BORGES & FREITAS (2008)

A dinâmica da comunicação ocorre quando o servidor registra o objeto no *RMI Registry* com um nome público numa porta (por padrão 1099), através da classe estática *Naming* com o método *rebind()*, mantendo uma tabela para mapeamento dos objetos localizados na máquina, o qual os clientes conseguem acessá-los através da classe estática *Naming* com o método *lookup()* utilizado para requisitar um ou mais métodos do objeto

remoto. No CollBot4us o registro recebe o nome público *TheMediator*. Este nome sugestivo define o mediador da comunicação entre os sub-sistemas apresentados na seção 5.3.2.

5.3.2 Arquitetura do Sistema

A arquitetura do CollBot4us inclui dois módulos principais, conforme Figura 24: *Subsistema Cliente* (representado pelo Colaborador 1 e Colaborador 2) e *Subsistema Servidor* (utilizado para intermediar a comunicação).

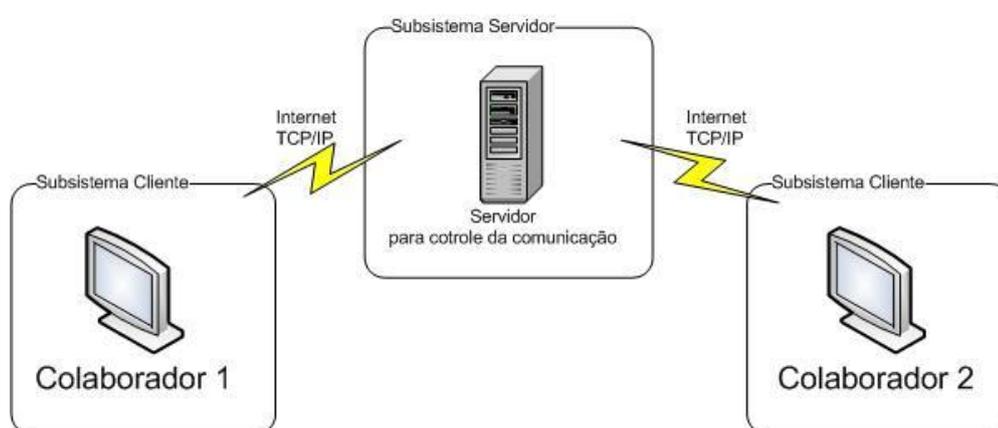


Figura 24 - Arquitetura de Comunicação CollBot4us.

O módulo do Subsistema Servidor inclui um computador que representa o servidor de controle, responsável pela intermediação com o cliente remoto via rede de computadores locais ou web (TCP/IP), e entre os comandos de controle dos robôs virtuais.

O módulo do Subsistema Cliente inclui um computador conectado em rede e que possua uma configuração mínima de vídeo que permita o processamento gráfico 3D. Este subsistema representa a interface gráfica do usuário usada para teleoperação do ambiente CollBot4us.

5.3.3 Arquitetura de Software

A arquitetura de software implementada é exibida na Figura 25. O CollBot4us é baseado em arquitetura Cliente/Servidor e constitui dos seguintes subsistemas:

Subsistema Servidor, o qual envolve os componentes:

- *Mediator* que é utilizado para fornecer acesso aos métodos de comunicação com o robô virtual, ou seja, recebe este nome porque é o mediador da comunicação entre os clientes;
- *Módulo de Comunicação Servidor/Cliente* contém a Interface de comunicação remota para estabelecer conexão com o Cliente (*Modulo de Comunicação Cliente/Servidor*), servindo como intermediário onde as mensagens são formatadas usando string ou data, em que cada pacote de dados contém comandos para atualização do ambiente virtual.

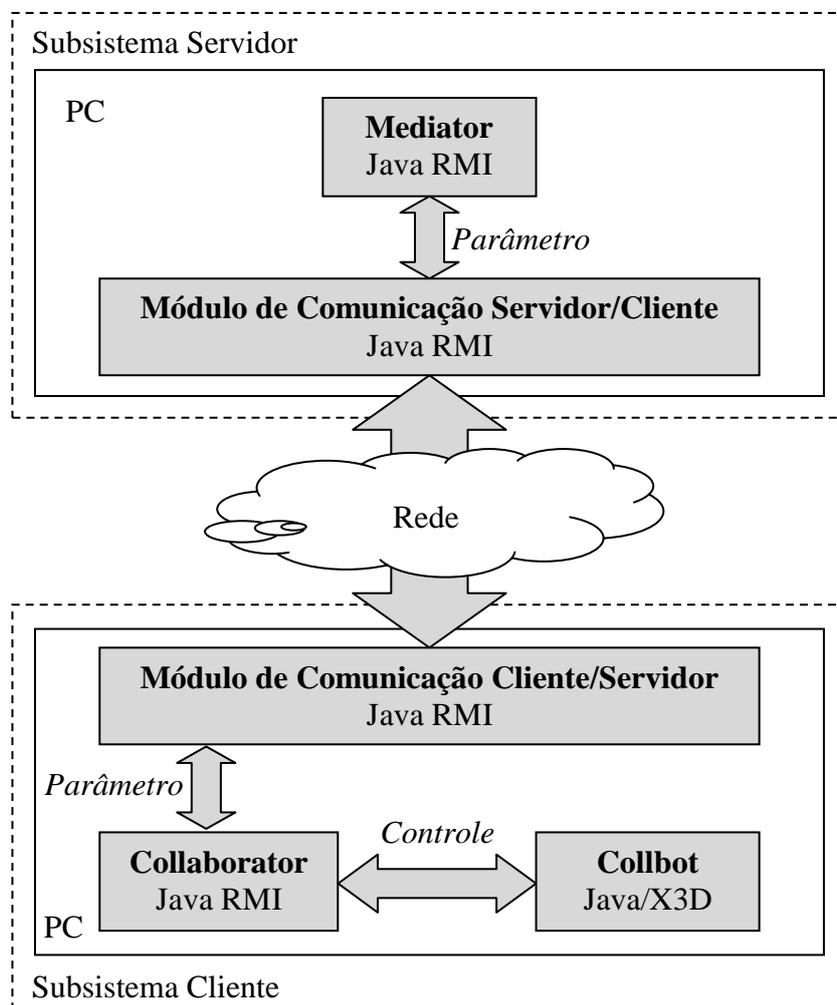


Figura 25 - Arquitetura de *software* do CollBot4us.

Subsistema Cliente, o qual envolve os componentes:

- *Módulo de Comunicação Cliente/Servidor* que contém a interface remota para estabelecer conexão com o Servidor (*Modulo de Comunicação Servidor/Cliente*);

- *Collaborator* que é utilizado para chamar os métodos remotos de comunicação entre os robôs virtuais;
- *Collbot* responsável pelo controle da cena gráfica 3D.

O software do Cliente é implementado utilizando a linguagem Java e X3D. A escolha destes softwares foi porque eles podem ser utilizados em qualquer arquitetura de computador e em qualquer tipo de sistema operacional e também porque o Virbot4u já faz uso desta mesma tecnologia.

5.3.3 Mensagens Cliente/Servidor

Para iniciar a comunicação remota entre os operadores do CollBot4us, primeiro é necessário iniciar o subsistema servidor responsável por gerenciar a comunicação entre os subsistemas clientes. Ao iniciar o subsistema cliente se faz necessário informar o nome do usuário e o endereço IP do servidor para estabelecer a conexão, neste momento inicia-se a sincronização entre um segundo usuário que venha a se conectar.

Durante o uso do CollBot4us são trocadas mensagens, do tipo *comandos* e *eventos*, que são passados remotamente pelos clientes para o controle dos braços robóticos e gerenciamento das tarefas, tais como:

- Fatores de incremento e decremento das juntas do robô;
- Abertura e fechamento da garra;
- Tipos de abordagens da garra;
- Valores de atualização do gráfico 3D;
- Contadores de desempenho: tempo, colisão, manipulação, etc;
- Comunicação via *Chat*;
- Gerenciamento de início, evolução e termino das tarefas.

Conclui-se que as soluções baseadas em Java fornecem facilidade e portabilidade, sendo que RMI é parte de seu núcleo com arquitetura de chamada a objetos distribuídos. O qual permite a intercomunicação entre objetos Java localizados em diferentes Máquinas Virtuais (JVM) sem a necessidade de criar novas classes de comunicação. O CollBot4us gera poucas mensagens, pois são utilizados para manipulação somente dispositivos de entrada *teclado/mouse* (FARLEY, 1998).

5.4 MODELAGEM

Os elementos da modelagem UML são usados para criar diagramas ou notação para especificar, visualizar e documentar modelos que representam uma determinada parte ou um ponto de vista do sistema de *software* orientado a objetos (WAZLAWICK, 2004). Para a construção do CollBot4us foram modelados dois diagramas: Diagramas de Caso de Uso e Diagramas de Máquinas de Estados.

As funcionalidades do software implementado podem ser vistas na Figura 26 em que é apresentado um diagrama de casos de uso UML que ilustra todas as possíveis interações do usuário com o CollBot4us.

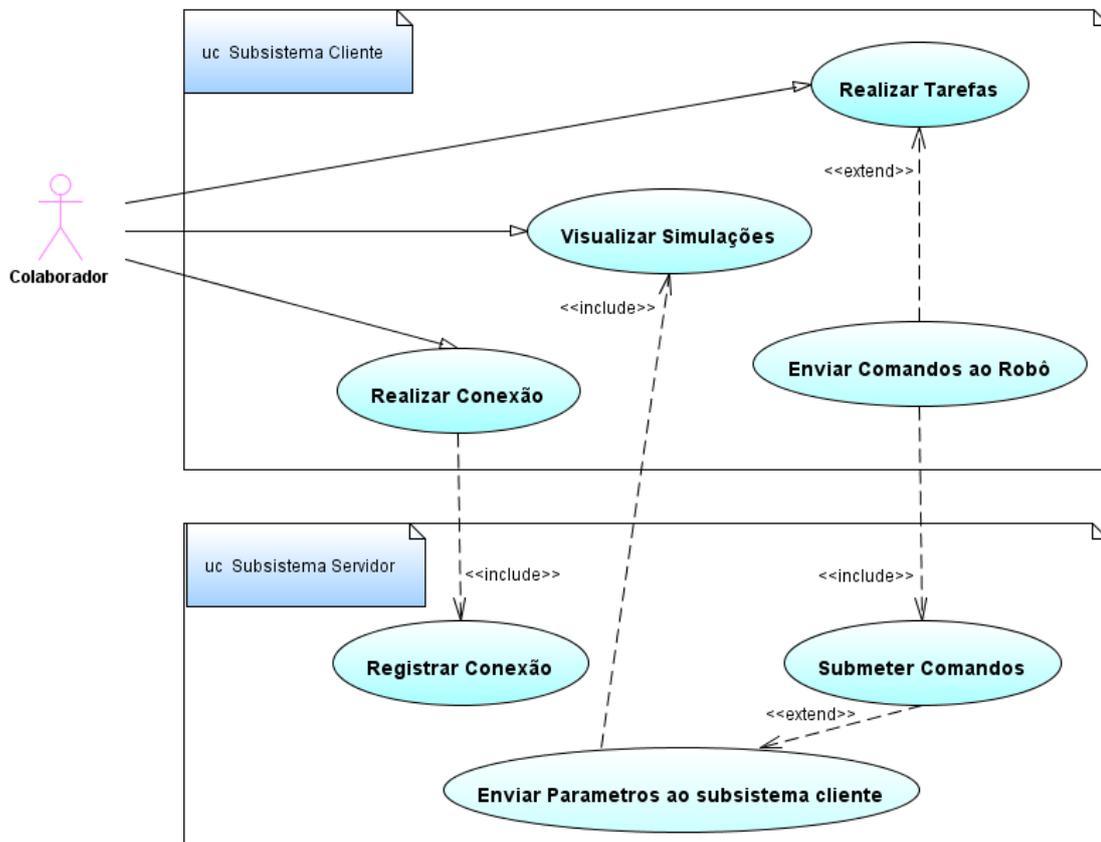


Figura 26 - Diagrama de Casos de Uso UML do Sistema CollBot4us.

Neste diagrama da Figura 26 são modelados os subsistemas *Cliente* e *Servidor* do CollBot4us proposto neste trabalho. O subsistema cliente contém os casos de uso referentes às funcionalidades de interface gráfica do usuário, tais como: *Realizar Conexão*; *Visualizar Simulações*; *Realizar Tarefas*; *Enviar Comandos ao Robô*. O subsistema servidor, por sua vez, consiste dos casos de uso referentes às funcionalidades de comunicação com o sistema robótico para ser transmitidas ao subsistema cliente, neste os casos de usos são: *Registra*

Conexão; Submeter Comandos; Enviara Parâmetros ao Subsistema Cliente.

O caso de uso *Realizar Conexão* descreve a primeira etapa que deve ser realizada logo após iniciar o sistema CollBot4us. Nesta etapa deve-se especificar o nome de usuário e o endereço IP do computador que se encontra hospedado o servidor. O caso de uso *Registra Conexão* irá validar o protocolo de comunicação e estabelecer a conexão entre cliente/servidor.

O simulador gráfico 3D será iniciado com a Tarefa de Coleta Colaborativa logo após a sincronização ente os dois usuários conectados. Essa operação é representada, pelo caso de uso *Realizar Tarefas*. Quando os usuários manipulam os braços robóticos são executados comandos da janela CD que são enviados ao servidor pelo caso de uso *Enviar Comandos ao Robô*, que é o caso de uso representado no diagrama para o envio de pacotes de dados através de um protocolo de comunicação RMI que irá *Submeter os Comandos* aos clientes conectados.

Em termos gerais, a funcionalidade do subsistema cliente e servidor podem ser descritas como segue:

- Para realizar a tarefa, o colaborador deverá realizar a conexão com o sistema servidor (caso de uso Realizar Conexão e Registrar conexão);
- O subsistema cliente envia comandos ao robô a partir da tarefa para o subsistema servidor (caso de uso Enviar Comandos ao Robô e Submeter Comandos);
- O servidor processa os comandos e envia os parâmetros aos subsistemas clientes que passa a ter a visualização atualizada do ambiente virtual (caso de uso Enviar Parâmetros ao subsistema Cliente e Visualizar Simulações);

A classe controladora *collbot* do simulador CollBot4us é responsável por toda a interação do usuário com o sistema. Assim, esta classe é composta tanto por interfaces X3D como por interfaces Java os quais são integradas. Para melhor exemplificar a interação do usuário com o sistema, a Figura 27 ilustra o diagrama de estados de navegação UML, este diagrama mostra como ocorrem as alterações nos estados de um objeto após terem sido realizadas ações.

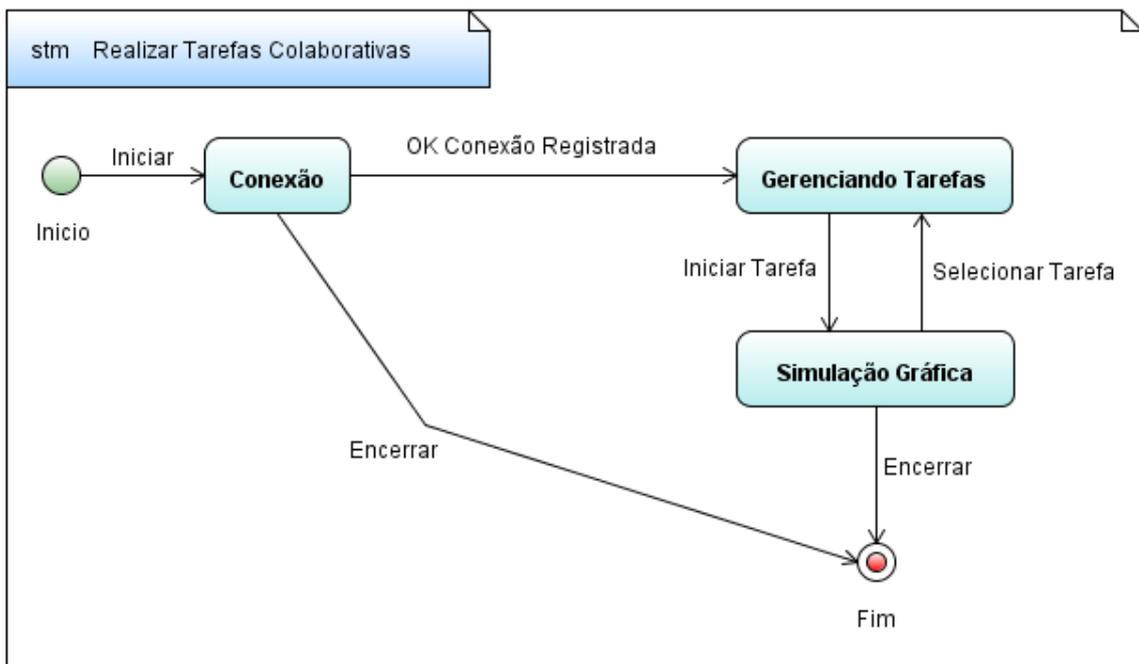


Figura 27 - Diagrama de Máquinas de Estados UML.

O relacionamento do usuário com o sistema inicia-se com a conexão, em que poderá seguir o fluxo com as tarefas existentes no sistema através da simulação gráfica 3D até que a tarefa seja concluída, para assim encerrar o sistema. Caso o usuário queira abandonar o sistema pode-se encerrar antes mesmo de concluir a tarefa.

5.5 INTERFACE

Para utilização do simulador CollBot4us, será necessário que o usuário faça *download* do módulo servidor e do módulo cliente da aplicação, o sistema está disponível no site do CollBot4us onde também irá encontrar detalhes de como efetuar a instalação e procedimentos para utilização do sistema (DIAS, 2010).

A Figura 28 representa a interface de boas vindas do CollBot4us. Como se pode observar, a tela de boas vindas apresenta apenas informações sobre o sistema e uma breve explicação das funcionalidades do simulador e das tarefas colaborativas.

Para utilizar o CollBot4us, primeiramente tem que executar a aplicação do servidor *Mediator* em um computador que possua um *IP* configurado. Em seguida são necessários dois usuários geograficamente distintos com computadores conectados na rede.

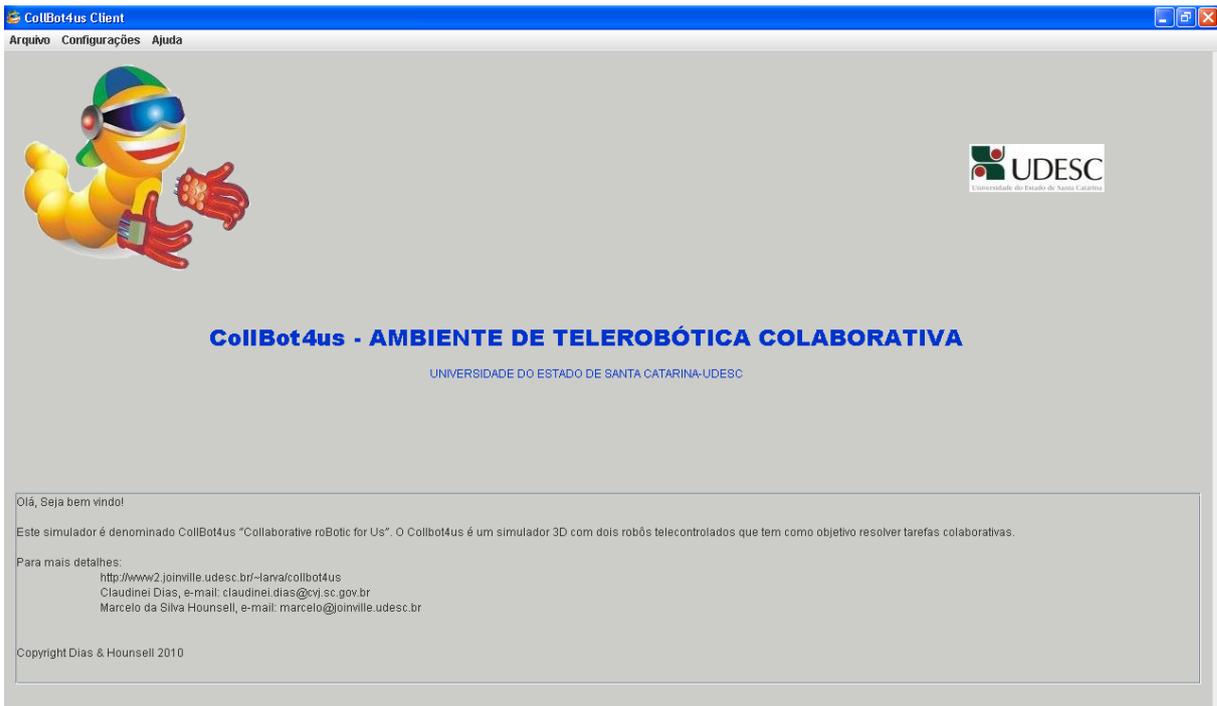


Figura 28 - Interface de Boas Vindas.

A comunicação inicia-se quando o usuário selecionar a opção “*Conectar*” no menu *Arquivo* da interface *Boas Vindas* onde será direcionado para uma interface de conexão remota do sistema, conforme ilustrada na Figura 29. A interface de conexão contém o parâmetro *Nome do Usuário* que irá controlar um dos robôs e o parâmetro *IP* que define o endereço de rede onde se encontra subsistema servidor *Mediator*. O sistema automaticamente define ao primeiro usuário que fizer a conexão, o controle do robô verde, e respectivamente, ao segundo usuário conectado, o controle do robô vermelho.

Figura 29 - Interface de Conexão.

Após o registro da conexão pelo servidor, o usuário será conduzido para a janela de sincronização da tarefa, como no exemplo da Figura 30, nesta janela é exibido um texto que cumprimenta o usuário que efetuou a conexão e descreve o cenário da tarefa com o objetivo a ser alcançado. O botão *Iniciar Tarefa* somente será habilitado quando possuir dois usuários

conectados. O *status* de quantos usuários estão conectados é exibido acima deste botão, o qual a sincronização inicia-se quando acionado por ambos os usuários.

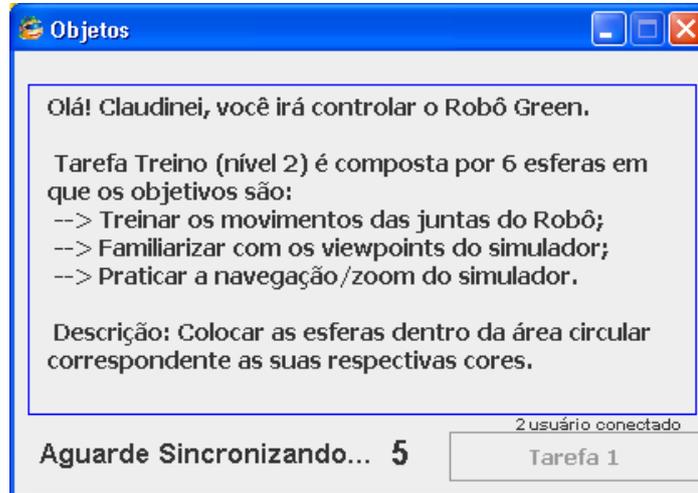


Figura 30 - Interface de Sincronização da Tarefa.

A contagem regressiva da sincronização serve para dar sincronia ao início da tarefa de modo que o cronometro comece marcar o tempo, e serve também para garantir que ambos operadores tenham a cena gráfica renderizada. E após o sincronismo o sistema gera uma tarefa colaborativa sobre a mesa de trabalho dos dois usuários conectados.

Já a interface da área de trabalho principal do simulador CollBot4us mostrada na Figura 21, contém o ambiente 3D, no qual, além dos comandos aplicados diretamente ao robô, a interface do simulador possui também, na parte inferior da janela, controles da visualização 3D com recursos de visão espacial, zoom, deslocamento e navegação em diversos ângulos.

Uma janela de controle da CD é aberta automaticamente para fornecer comandos de manipulação das juntas do robô. Para facilitar a identificação, o usuário que estiver sob o controle do robô verde terá a janela CD definida com cor verde, é o caso da Figura 21, e o usuário sob o controle do robô vermelho terá a janela CD vermelha.

O simulador possui também um recurso de chat o que contribui com a coordenação proporcionando aos colaboradores estabelecer comunicação constante durante as atividades colaborativas. Quando o usuário enviar uma mensagem para o colaborador, automaticamente irá abrir a janela de chat no ambiente do colaborador com a respectiva mensagem enviada.

Outras funcionalidades do simulador podem ser acessadas através do menu *configurações*, por exemplo: pode-se alterar o idioma do sistema do Inglês para o Português;

pode-se, caso feche acidentalmente a janela CD, abri-la novamente; pode-se modificar parâmetros de interação como o robô sendo: opções para mostrar os eixos; o PFP (ponto final da pinça); dentre outros parâmetros. O menu *Ajuda* tem apenas dois itens, um deles para acessar um manual do usuário, e outro para informações de versão e *copyright*.

5.6 IMPLEMENTAÇÃO

Na etapa de implementação as principais fases foram: definir a modelagem do simulador com dois robôs; implementar o módulo de comunicação entre os robôs; integrar a comunicação com as classes existentes no simulador; implementar as tarefas colaborativas; modificar o algoritmo de prensão para adequar as novas necessidades do simulador.

O CollBot4us foi desenvolvido com tecnologias Java e X3D. A integração destas tecnologias ocorre por intermédio de uma classe controladora *collbot*, definida como janela de controle principal, que interage com o ambiente gráfico 3D através da API de autoria externa SAI onde é possível visualizar a interface gráfica no *browser Xj3D* acoplado dentro da aplicação.

No decorrer deste capítulo é apresentado o detalhamento da implementação do CollBot4us, cada uma das novas classes desenvolvidas, das alterações das classes existentes, relacionando-as com suas respectivas funcionalidades.

5.6.1 Implementações 3D

Inicialmente foi alterada a modelagem 3D do simulador, pode-se observar o cenário antes de mudanças e depois da modelagem de novos objetos 3D. Para adequar o simulador VirBot4u às propostas deste trabalho, foi necessário criar mais um robô e posicioná-lo simetricamente ao robô existente. Neste caso houve a necessidade de aumentar o tamanho da mesa e reposicionar os dois robôs de modo que o espaço de trabalho fosse ajustado e melhor aproveitado.

A fim de estilizar o cenário, novas texturas foram criadas e aplicadas. A cor da janela CD foi definida com as cores de seus respectivos robôs. Quanto à tarefa, foi modelada uma tarefa subdivida em: “*Tarefa Treino (nível 1)*” contendo duas esferas; “*Tarefa Treino nível 2*” contendo quatro esferas e; “*Tarefa de Coleta Colaborativa*” contendo 16 esferas. Para o depósito das esferas foram modeladas duas áreas circulares, uma para cada robô. Trechos do

código podem ser visto na Quadro 2.

Quadro 2 - Trechos dos Códigos da Modelagem X3D

```

→Robôs.
...
<Transform translation="0.65 -0.48 0.0" scale="0.075 0.075 0.075" >
  <ProtoInstance name="Robo" DEF="ROBO">
  </ProtoInstance>
</Transform>

<Transform translation="-0.65 -0.48 0.0" scale="0.075 0.075 0.075" >
  <ProtoInstance name="Robo2" DEF="ROBO2">
  </ProtoInstance>
</Transform>

→ Áreas circulares para o depósito de objetos
  <Transform>
    <Transform DEF="pacoteGreen" translation="1.0 -0.48 0.4" scale="1.0 1.0 1.0">
      <Shape>
        <Appearance>
          <Material DEF="depGreen" diffuseColor="0.0 0.7 0.5"/>
        </Appearance>
        <Cylinder radius="0.3" height="0.01"/>
      </Shape>
    </Transform>
  </Transform>

```

5.6.2 Alterações de Classes Existentes

As classes existentes, os quais foram reaproveitados do simulador Virbot4u, tiveram que ser modificadas para se adequarem ao novo projeto proposto neste trabalho. A seguir são descritas quais classes sofreram alterações:

- Classe *CenaX3D*: As alterações aplicadas nesta classe foram para definir os controles para o segundo robô adicionado ao simulador, sendo que foi necessário tratar as ações de cada robô diante da cena gráfica 3D. Houveram mudanças também, nos sensores dos robôs para realizar a comunicação remota;
- Classe *JanelaPrincipal*: Nesta classe foram adicionados novos métodos afim de, capturar os parâmetros de conexão ao servidor através de mudanças aplicadas sobre os menus;
- Classe *WindowsFK*: Esta classe trata os comandos da cinemática direta dos robôs, nesta classe ocorreram várias mudanças relacionadas a comunicação remota dos braços robóticos, trechos de código para incremento da junta do robô podem ser

vistos no Quadro 3. O método *sendAllRobot*(*cor*, "VK_1", *getFatorCD*()) envia remotamente respectivamente os parâmetros que representam a cor do robô, incremento da junta, fator de incremento, para o *Servidor Mediator* notificar os *Cientes* através do método *notifyRobot*(*Object member*, *String tag*, *Object data*, *Identity src*) e assim atualizar a cena gráfica.

- Classe *PartMananger*: Gerencia a criação de objetos e manipulação de objetos no cenário 3D. Aqui foram criados novos métodos para a pega e solta de objetos.

Quadro 3 - Trechos de Códigos da Classe *WindowsFK* para Incremento da Junta do Robô.

```
try {
    // SendAll our message to the rest of the chat clients
    boolean success = sendAllRobot(cor, "VK_1", getFatorCD());
    if (success) {
        atualizaTexto(cor);
        System.out.println("Sent message FK.");
    }
    else {
        System.out.println("Failed to send message FK.");
    }
}
catch (Exception f) {
    System.out.println("Caught exception:");
    f.printStackTrace();}

public boolean notifyRobot(Object member, String tag, Object data, Identity src)
    throws IOException, RemoteException {
    if (teclaVK1.equals(tag)){
        cena.addAlfa((Float)data, member);
    }
    return true;
}
```

5.6.3 Implementação de Novas Classes Java

Durante o desenvolvimento do sistema telerrrobótico proposto neste trabalho foram criadas novas classes que interagem com as existentes de modo a constituir um novo simulador denominado CollBot4us. As novas classes são:

- Classe *CollaborativeTask*: Utilizada para gerar as tarefas colaborativa e para gerenciar o fluxo da tarefa quanto ao seu inicio, evolução e término;
- Classe *Cronometro*: Utilizado para cronometrar o andamento das tarefas;
- Classe *Welcome*: Gera a interface de boas vindas ao usuário, é utilizada apenas

para apresentar informações sobre o simulador;

- Classe *ChatClient*: Implementa um chat colaborativo entre os clientes ativos;
- Classe *Collaborator*: Define a interface que é compartilhada entre o cliente e o servidor e implementada na classe *CollaboratorImpl* na Quadro 4 pode ser visto trechos do código desta classe;
- Classe *CollaboratorImpl*: Implementa os métodos da interface *Collaborator*;
- Classe *Mediator*: Define a interface da classe *MediatorImpl*;
- Classe *MediatorImpl*: Implementa os métodos da interface *Mediator*.

Quadro 4 - Trechos de Códigos da Classe Collaborator.

```
public interface Collaborator extends Remote
{
    public Identity getIdentity() throws RemoteException;

    // Connect to a mediator - subclasses dictate properties needed
    public boolean connect(Properties p) throws RemoteException;

    // Outgoing messages/data
    public boolean send(String tag, String msg, Identity dst)
        throws IOException, RemoteException;
    public boolean send(String tag, Object data, Identity dst)
        throws IOException, RemoteException;
    public boolean sendAll(String tag, String msg)
        throws IOException, RemoteException;
    public boolean sendAllRobot(Object member, String tag, Object data)
        throws IOException, RemoteException;
    public boolean sendAllTask(String tag, Object data)
        throws IOException, RemoteException;

    // Incoming messages/data
    public boolean notify(String tag, String msg, Identity src)
        throws IOException, RemoteException;
    public boolean notify(String tag, Object data, Identity src)
        throws IOException, RemoteException;
    public boolean notifyRobot(Object member, String tag, Object data, Identity src)
        throws IOException, RemoteException;
    public boolean notifyTask(String tag, Object data, Identity src)
        throws IOException, RemoteException;
}
```

Todos os métodos da classe *collaborator* devem declarar um *RemoteException* para o tratamento de falhas. Depois de definido as interfaces, implementa-se o lado do servidor, a classe *MediatorImpl* que efetivamente executará os métodos anunciados na interface remota.

6 ESTUDO DE CASO

O CollBot4us foi implementado de forma que é possível coletar automaticamente um amplo conjunto de variáveis que podem ser usadas para a avaliação tanto do desempenho na tarefa quanto da própria colaboratividade entre operadores.

Para avaliar o uso de técnicas colaborativas para execução de tarefas no sistema CollBot4us foi modelada uma tarefa de Coleta Colaborativa subdivida em duas fases, sendo que a primeira (Tarefa Treino com dois níveis) possui foco no aprendizado da manipulação robótica (controle dos comandos da janela CD), uso da manipulação do sistema 3D (*zoom*, *viewpoints* e navegação), e na segunda fase são avaliadas as técnicas de colaboratividade entre os operadores.

Neste capítulo são apresentados os testes piloto aplicado com usuários, o protocolo de realização desses testes, o ambiente real onde foram desenvolvidos e ao final é elencado todos os resultados obtidos.

6.1 AMBIENTE REAL DOS EXPERIMENTOS

Para aplicar o Teste Piloto (TP) foram utilizados dois computadores geograficamente distantes. O sistema CollBot4us foi executado por computadores conectados entre si através da rede *Ethernet*, numa configuração de rede local, a uma velocidade de 100/1000Mbps. As configurações das máquinas quanto ao sistema operacional e ao hardware são respectivamente, Windows 7 e Intel Core2duo 2.6 GHz com 2GB Ram.

Os computadores foram preparados com a instalação da Máquina Virtual Java (Jre), de modo que as dll's do CollBot4us fossem instaladas no diretório "...\\jre\\bin", e instalado o subsistema Cliente e o subsistema Servidor.

6.2 PROTOCOLO DE REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados dentro de um protocolo que objetivou dar um tratamento uniforme a todos os usuários participantes, detalhes deste protocolo podem ser

vistos no Apêndice 1. O teste foi aplicado em 3 duplas, totalizando 6 indivíduos (5 homens e 1 mulher), não havendo repetição de indivíduos. Os instrumentos de coleta dos dados foram: preenchimento de questionários pelos usuários; *logs* de médias registradas pelo sistema; e observações anotadas pelos pesquisadores que aplicaram o teste.

As cinco etapas do protocolo, apresentadas a seguir, tem uma duração estimada em média 25 minutos:

- Na primeira etapa, uma apresentação introdutória do experimento e do sistema de realidade virtual colaborativo CollBot4us é narrada;
- A segunda etapa solicita a leitura e preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e do Questionário Demográfico o qual contém questões sobre o gênero, idade, curso, fase e algumas sobre conhecimentos prévios de computação, de ambientes virtuais 3D, colaborativos e robóticos. No Apêndice 2 pode-se observar a íntegra deste questionário;
- Na terceira etapa, os usuários iniciaram o experimento com uma tarefa utilizada para treinar os comandos de movimentação das juntas do robô e dos *viewpoints*. Essa fase dura, em média, pouco menos de cinco minutos, e encerravam-se quando os usuários depositassem as esferas em suas respectivas áreas de depósito;
- Na quarta etapa, onde se realizavam a tarefa principal, o andamento da tarefa era então cronometrado. Vale ressaltar aqui que a execução da tarefa era realizada de forma colaborativa;
- Após a conclusão da tarefa, numa quinta etapa, os usuários eram solicitados a finalizar o sistema CollBot4us e a responder a um questionário de avaliação da colaboração da tarefa. A íntegra deste questionário é apresentada no Apêndice 3.

Ao final, foi feita, uma rápida entrevista informal com alguns usuários a fim de saber se haviam sentido algum tipo de desconforto durante a execução do experimento, ou se havia algum comentário adicional que desejassem externar.

6.3 ANÁLISE DO TESTE PILOTO

Nesta seção apresenta-se a análise do Teste Piloto (TP) aplicado para avaliar os Requisitos de Colaboratividade (RC) e detectar possíveis falhas do simulador CollBot4us. Foram tabuladas para cada tarefa aplicada: as respostas obtidas dos questionários preenchidos pelos usuários; os dados coletados por *log*; e as anotações dos pesquisadores.

Consideram-se para o discernimento da análise os questionários originalmente preenchidos pelos usuários na aplicação do TP do CollBot4us, suas respectivas questões de Q1 até Q20 estão exibidas na íntegra na Quadro 5. No Apêndice 2 e 3, encontram-se as questões com as melhorias aplicadas após o TP.

Quadro 5 - Questionário Aplicado no TP.

Questionário Demográfico								
Gênero: () M () F Idade: _____ Sigla do Curso: _____ Fase: _____								
Questões (Por favor, quantifique seu grau de conhecimento numa escala de 1 a 7)	Baixo	Escala (marcar com um X)					Alto	
Q1	Nível de conhecimento/uso de aplicações 3D (jogos, simuladores, CAD, etc)?	1	2	3	4	5	6	7
Q2	Nível de conhecimento/uso em aplicações Colaborativas (MSN, Twitter, ICQ, Chat, Google docs, etc)?	1	2	3	4	5	6	7
Q3	Nível de conhecimento/uso em aplicações Robóticas (simuladores, robô real, etc)?	1	2	3	4	5	6	7
Q4	Nível de conhecimento/uso geral em computação/informática?	1	2	3	4	5	6	7
Questionário de Avaliação da Tarefa/Colaboração								
Questões (Por favor, quantifique seu grau de conhecimento numa escala de 1 a 7)	Baixo	Escala (marcar com um X)					Alto	
Q5	Como você avaliaria o desempenho do parceiro na tarefa?	1	2	3	4	5	6	7
Q6	Como você avaliaria seu próprio desempenho na tarefa?	1	2	3	4	5	6	7
Q7	Como você avaliaria o seu próprio grau de colaboração para solução da tarefa?	1	2	3	4	5	6	7
Q8	Qual o grau de facilidade que a tarefa principal apresentou?	1	2	3	4	5	6	7
Q9	Como você avaliaria o grau de colaboratividade do parceiro?	1	2	3	4	5	6	7
Q10	Qual o seu grau de atenção/preocupação com as ações do seu parceiro?	1	2	3	4	5	6	7
Q11	Qual o seu grau de satisfação no uso do CollBot4us?	1	2	3	4	5	6	7
Questões							Sim	Não
Q12	Você manteve a mesma estratégia de solução ao longo de toda a tarefa?							
Q13	Você acha que o parceiro manteve a mesma estratégia durante toda a tarefa?							
Q14	Você usou alguma estratégia para solucionar a tarefa principal? Qual?							
Q15	Você acha que o parceiro usou alguma estratégia para solucionar a tarefa? Defina:							
Q16	Você acha que poderia fazer a tarefa novamente em menos tempo? Por quê?							
Q17	Gostaria de tentar novamente? Por quê?							
Q18	Você sentiu falta de alguma informação durante a tarefa? Qual?							
Q19	Houve momentos em que as estratégias estavam conflitantes? () Nunca () Poucos momentos () Muitos momentos () Sempre							
Q20	Qual foi sua maior dificuldade no uso do CollBot4us?							

O Questionário Demográfico tem como objetivos coletar dados referentes ao usuário e seus conhecimentos para confrontar com os resultados na análise do teste, e o Questionário de Avaliação da Tarefa/Colaboração é utilizado para avaliar o quanto houve colaboração no ambiente entre os operadores.

As respostas tabuladas na Tabela 4 foram extraídas dos questionários aplicados no TP, a fim de facilitar a interpretação e análise do experimento aplicado.

Tabela 4 - Respostas do TP.

Operadores Questões	1ª Dupla		2ª Dupla		3ª Dupla	
	Operador 1	Operador 2	Operador 1	Operador 2	Operador 1	Operador 2
Q1	5	4	1	5	4	5
Q2	4	6	5	5	5	5
Q3	5	5	2	3	1	2
Q4	7	6	7	6	6	6
Q5	7	5	5	6	3	7
Q6	4	5	5	6	5	6
Q7	6	6	7	7	6	6
Q8	6	5	3	5	5	5
Q9	7	6	6	6	5	7
Q10	5	6	6	7	6	5
Q11	3	6	4	5	5	6
Q12	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Q13	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Q14	Sim (Colocar as esferas no alcance do parceiro)	Sim (Fazer o que poderia de minha parte para depois ajudar o parceiro)	(Não deixar o parceiro ficar sem bolas ao alcance. Coloquei quase metade p/ ele e fui coletar as minhas)	Sim (Passar as bolas que o meu parceiro não alcançava para algum lugar que ele possa alcançar)	Sim (Rotacionar o robô usando números, pois é bem mais rápido e, levar as bolas que eram do parceiro p/ ele)	Não
Q15	Sim (Colocar as esferas ao meu alcance)	Sim (A mesma que a minha)	(Difícil dizer)	Sim (A mesma que a minha)	Sim (Trazer para perto do meu robô minhas bolas)	Não
Q16	Sim (Familiarização com a ferramenta)	Não	Sim (Mas não faria tanta diferença, porque a estaria acostumado ao sistema)	Sim (Porque eu teria mais experiência em manipular o robô)	Sim (Usando as estratégias do início)	Sim (Melhor controle no braço, mais agilidade)
Q17	Não (O objetivo já foi conseguido na primeira)	Sim (É um bom aplicativo, quanto mais vezes fizer, melhor a técnica)	Sim (Foi divertido e desafiador)	Sim (Porque é interessante ver como o robô trabalhar, além de ser uma tarefa colaborat.)	Sim (Fazer em menos tempo)	Sim (Bem legal, não é competição, tem que ajudar o parceiro)
Q18	Não	Não	Sim (Que não pode dar uma volta completa com o robô)	Não	Não	Não
Q19	Nunca	Nunca	Poucos momentos	Poucos momentos	Nunca	
Q20	Visualização da cena	As direções	<i>Bugs</i> , bolas que desaparecia quando pegava	Somente alguns problemas gráficos, mas a interação com o robô esta boa	O entendimento de cada movimento do robô	Os controles, com o tempo foi pegando a prática, usei o mouse mais acredito que no teclado é mais fácil

Para o “Questionário Demográfico (QD)” pode-se abstrair que, somente um usuário que participou do experimento declarou possuir baixo nível de conhecimento/uso de aplicações 3D. Todos os demais afirmaram possuir experiência em aplicações colaborativas e em computação. E somente dois afirmaram ter conhecimento em robótica.

Para o “Questionário de avaliação da tarefa e Colaboração (QC)” observa-se que: em geral para questão que define o desempenho do parceiro (Q5) recebeu notas altas gerando média e mediana 5,5 como pode ser visto na Tabela 5, exceto um usuário que afirma que o desempenho foi baixo. A Q8 um usuário demonstra que a tarefa teve grau 3 de facilidade, portanto deixa claro que a tarefa aplicada foi facilmente desenvolvida pelos demais usuários.

Tabela 5 - Médias, Medianas e Desvio Padrão das Questões de 1 a 11 Aplicado no TP.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
Média	4,0	5,0	3,0	6,3	5,5	5,2	6,3	4,8	6,2	5,8	4,8
Mediana	4,5	5,0	2,5	6,0	5,5	5,0	6,0	5,0	6,0	6,0	5,0
Desvio Padrão	1,5	0,6	1,7	0,5	1,5	0,8	0,5	1,0	0,8	0,8	1,2

Dentre outras questões aplicadas, vale destacar que o grau de satisfação (Q11) no uso do CollBot4us teve média 4,8 e mediana 5,0 o que representa um bom grau de satisfação, existindo somente um usuário insatisfeito. Nota-se também na Tabela 5 que na maioria o desvio padrão foi menor que 1,0 indicando que os resultados tiveram baixa dispersão em torno da média.

Quanto às perguntas que abordavam a estratégia aplicada, à exceção de um, todos explicitaram suas estratégias de solução e demonstraram preocupação com o parceiro, afirmando que adotaram estratégias ao decorrer da tarefa o que pode ser visto na Tabela 4 (Q14 e Q15) algumas das estratégias adotadas. Estas duas questões deixam claro que a tarefa não requereu esforços colaborativos, pois o usuário ou coletou primeiro as esferas que representam suas respectivas cores e depois coletou as do seu colaborador, ou fez o contrário.

A questão sobre fazer a tarefa novamente teve resposta sim de 5 dos 6 usuários o qual afirmaram que poderiam adquirir experiência e agilidade se repetissem a tarefa. As afirmações podem ser vistas nas Q16 e Q17.

Durante a aplicação do TP foram cronometrados cada uma das 5 etapas previstas no “Protocolo de realização dos Experimentos” dos quais, os questionários foram cronometrados manualmente pelos pesquisadores, e as tarefas cronometradas pelo sistema e salvas em *log*.

As médias de tempo podem ser vistas na Tabela 6.

Tabela 6 - Tempos Médios para Conclusão Parcial e Total do TP.

QD	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	QC	Total do Tempo Médio
02:00	02:03	02:53	08:38	10:00	25:34

Obs.: os tempos são representados pelo formato 00:00 (minutos:segundos)

Foi desenvolvido no CollBot4us um recurso de *log*, com o objetivo de capturar medidas que contribuiriam para a análise de colaboratividade. A

Tabela 7 possui os dados coletados durante o experimento com os usuários.

Tabela 7 - Dados Coletados por Log.

1ª Dupla					
Tarefa	Tempo para 1ª pega	Tempo Total	Nº de prensão bem sucedida	Nº de prensão mal sucedida	Nº Total de manipulações
1	01:20	02:25	2	5	1042
2	00:22	03:34	7	14	845
3	00:26	09:43	33	16	2715
Totais		15:42	42	35	4602
2ª Dupla					
Tarefa	Tempo para 1ª pega	Tempo Total	Nº de prensão bem sucedida	Nº de prensão mal sucedida	Nº Total de manipulações
1	01:16	02:17	3	2	712
2	00:32	02:23	7	3	793
3	00:12	08:24	30	49	2373
Totais		13:04	40	54	3878
3ª Dupla					
Tarefa	Tempo para 1ª pega	Tempo Total	Nº de prensão bem sucedida	Nº de prensão mal sucedida	Nº Total de manipulações
1	01:14	01:28	5	12	381
2	00:38	02:40	6	3	521
3	00:38	07:48	27	38	1924
Totais		11:56	38	53	2826

Obs.: os tempos são representados pelo formato 00:00 (minutos:segundos)

Analisando o tempo para efetuar a pega da 1ª esfera, nota-se que na tarefa 1 as três duplas levaram mais de um minuto e nas tarefas 2 e 3 a média do tempo para pegar a primeira esfera foi 28 segundos. Esta métrica deixa evidente que a destreza aos comandos das juntas do robô foi adquirida gradativamente ao decorrer das tarefas, aqui ocorre o requisito de colaboratividade coordenação. Nota-se que o menor tempo de 1ª pega não resulta no menor tempo total das tarefa da tarefa 2 e 3.

O tempo total médio para concluir as três tarefas foi 13 minutos e 34 segundos. O qual representa que as duplas tiveram desempenhos semelhantes se for tomado como referência o tempo médio, ou seja, existe uma tolerância média de 2 minutos, respectivamente entre a primeira, segunda e terceira dupla.

Quanto ao número de preensão bem sucedida vale ressaltar que existiam respectivamente 2, 4, 16 esferas em cada uma das tarefas, totalizando 22 esferas a serem coletadas. Observa-se que pelo número de preensão bem sucedido os operadores efetuaram pegadas diretas e indiretas, ou seja, as diretas são as esferas com as respectivas cores e ao alcance do robô o qual eram coletadas e depositadas diretamente, as indiretas são as esferas do colaborador que eram coletadas e colocadas na área de alcance dos robôs. Assim, fica evidente que houve pelo menos um mínimo de colaboração entre os operadores. Já quanto ao número de preensão mal sucedida, nota-se que o menor número de erros de preensão não significa menor tempo. Portanto, tentativas de preensão não influenciou no desempenho.

O número total de manipulações remete a uma análise que envolve coordenação e eficiência, pois ficou claro que o tempo total é diretamente proporcional ao número de manipulações. Contudo, a dupla que buscar estratégias que utilizem menos manipulações conseguirá concluir a tarefa em menor tempo. Neste experimento, a “3ª Dupla” efetuou 2826 manipulações nos braços robóticos, uma média de 130 manipulações por esfera coletada com sucesso. E concluiu em menor tempo as tarefas, totalizando 11 minutos e 56 segundos. A 3ª dupla também foi instigada a usar o *chat*, porém, na monitoração dos pesquisadores foi identificado que um operador tentou estabelecer uma conversa via *chat*, mas não foi correspondido, mesmo assim a dupla teve o menor tempo total.

Em uma análise geral, pode-se dizer que os questionários avaliativos, incorporados as tarefas colaborativas com algumas questões abertas contribuíram para recolher as percepções dos usuários sobre sua experiência, e em conjunto com as informações registradas pelos indicadores de desempenho por *log*, permitiu verificar se foram capazes de construir uma compreensão comum do problema, com isso foi possível analisar que as tarefas de coleta como inicialmente proposta requeria apenas um mínimo de colaboração, principalmente na forma de comunicação, pois a tarefa era óbvia (devido às cores) e a sequência dela era percebida pelo colaborador visualmente sendo suficiente inspecionar.

Portanto o diagnóstico contribui para detectar problemas e corrigi-los, e para modificar ou incorporar novos mecanismos de acordo com as informações obtidas pela análise dos resultados coletados nas atividades colaborativas.

6.4 PROBLEMAS NO TESTE PILOTO

Analisou-se o resultado do Teste Piloto (TP) de modo a verificar a possibilidade de solucionar problemas e implementar melhorias. São apresentados a seguir os problemas levantados pelos pesquisadores que aplicaram o teste e como essas informações influenciaram no sistema CollBot4us:

- O sistema possui idioma inglês e português, porém originalmente a interface iniciava-se como padrão o idioma inglês e as avaliações foram conduzidas com usuários brasileiros;
- A tarefa deve ser modificada para que exija maior planejamento estratégico e maior colaboração entre os operadores;
- O Teste Piloto foi com o ambiente sem colisão, isto fez com que a movimentação de um robô não afetasse a do outro, prejudicando a dinâmica e a colaboração da tarefa;
- Na modelagem 3D, quando o operador faz uso do *zoom* para distanciar o foco da cena, alguns operadores saíram da sala 3D perdendo assim a referência espacial da tarefa. É importante que mantenha sempre o foco no espaço de trabalho para isso, deve ocorrer a transparência da parede que se encontra imediatamente a sua frente mantendo a visão do espaço de trabalho;
- Quando inicia o simulador, os clientes são carregados com um *viewpoint* padrão igual para ambos. Isto favorece o robô verde, mas deveria ser diferente para cada robô. Existiam somente os seguinte *viewpoints*: Topo; Direita; Frontal e SW(perspectiva Sudoeste) o que não oferecia opções simétricas em quantidades iguais para ambos;
- Na pega e largada de objetos ocorriam falhas quanto a distância mínima da garra em relação a esfera, ou seja, eram capturados objetos relativamente distantes da garra e quando eram soltos sobre a mesa essa situação também ocorria;
- Ao terminar a Tarefa de Coleta Colaborativa deve ser apresentada uma frase que fique evidente o fim da tarefa;
- Tornar a ação de pega de objetos mais evidente oferecendo *feedback* mais claro;
- Devido a cena ser simétrica e os objetos sobre a mesa serem somente esferas torna difícil a interpretação da referencia espacial;

- Foi necessária alteração nos textos do protocolo, da apresentação e questionários: Trocar a palavra “parceiro” por “colaborador” porque causou desconforto ao usuário; Reordenar as questões de forma que as perguntas sejam intercaladas uma referente ao *colaborador* e outra referente a *si próprio (operador)*;
- No depósito, os objetos ficaram sobrepostos uns sobre os outros e desordenados, pois não havia tratamento de colisão entre estes naquela posição;
- Não houve uso objetivo do *chat*. Um operador até iniciou uma conversa mas, não foi correspondido;
- O operador do *chat* tem que ser anônimo, para evitar a identificação do outro colaborador pois, usuários conhecidos podem influenciar no resultado colaborativo;
- A tarefa estava muito evidente, não requerendo navegação e fazendo com que os operadores primeiro tentassem resolver a sua parte (até porque, nos treinos anteriores isso ocorria primeiro);
- O número de manipulações dos braços robótico deveria ser limitado, fazendo com que o operador elabore estratégias antes de manipular, criando uma restrição para ser gerenciada.

Conforme apresentado, a aplicação do TP proporcionou em um conjunto significativo de melhorias não somente em elementos de interface do usuário, mas também nas funcionalidades do sistema CollBot4us e na melhoria da aplicação dos questionários. Desta forma, o TP superou as expectativas iniciais contribuindo para a melhoria do sistema.

6.5 PROPOSIÇÃO MELHORADA DA TAREFA DE COLETA COLABORATIVA

Na Tarefa de Coleta Colaborativa houve uma preocupação inicial com a manipulação, deixando a definição da estratégia em segundo plano. O objetivo para concluí-la também ficou muito evidente devido às cores que foram aplicadas nas esferas e nos depósitos. Por isso, pensou-se em alterá-la para que exija maior planejamento na resolução.

Portanto, uma nova tarefa foi projetada e modelada no CollBot4us sendo denominada “Quebra Cabeça”. Simultaneamente foram implementadas diversas melhorias que conjuntamente contribuíram para uma versão mais aperfeiçoada.

6.5.1 Melhorias aplicadas no CollBot4us

Para que o CollBot4us pudesse ser utilizado para avaliar como e quanto um pessoa colabora e ainda qual o perfil que ele adota para resolver a tarefa, foram necessárias diversas alterações, os quais são detalhadas a seguir:

- ✓ Foi modificado o padrão do idioma e, no momento, a interface inicia-se com o idioma português;
- ✓ A tarefa foi remodelada para ter só um nível sendo denominada “Quebra Cabeça” em que as posições das esferas foram rearranjadas para obter maior grau de colaboração e instigar estratégia;
- ✓ Os algoritmos de detecção de colisão foram integrados ao CollBot4us por um trabalho de pós-graduação em paralelo a este trabalho (MIGUEL, R.; HOUNSELL, M. S. & ROSSO, R., 2010);
- ✓ A modelagem da sala 3D foi ajustada para que, quando o usuário utilizar o zoom de modo que saia da sala, a parede a sua frente fique transparente mantendo renderizada somente as demais paredes do ambiente;
- ✓ Foi modificado o código da *viewpoint* de modo que as visualizações ortogonais apresentem as opções: Frontal; Traz; Direita; Esquerda e Topo. E as em perspectivas apresentem as opções: SW (sudoeste), SE (sudeste), NE (nordeste) e NW (noroeste) totalizando 9 *viewpoints* predefinidos, este recurso é exibido na Figura 32(5) na barra padrão de navegação, *zoom* e *viewpoints* do *browser Xj3D*;
- ✓ O fator que limita a distância mínima de pega e solta foi diminuído de 10cm para 1cm;
- ✓ A mensagem de fim de tarefa foi implementada para ser exibida da seguinte forma: “Parabéns, o tempo para concluir a tarefa foi 00 min. e 00 seg.”;
- ✓ Foi implementado um algoritmo que emite um sinal sonoro quando ocorre a preensão com sucesso e exibe na barra de status da Figura 32(6) a mensagem “*Preensão bem sucedida*”;
- ✓ Foi implementado um algoritmo que emite um sinal sonoro quando a esfera é depositada com sucesso e exibe na barra de status da Figura 32(6) a mensagem “*Esfera depositada com sucesso*”;
- ✓ Foram colocados novos objetos (cones e áreas circulares) na cena para ajudar nas referências espaciais;

- ✓ Nos botões da cinemática direta referentes a garra foram aplicados um ícone que facilita a identificação do comando que fecha e abre a garra, Figura 32(1);
- ✓ As mudanças na documentação dos apêndices 1, 2 e 3 foram aplicadas e foi também ajustando a formatação de modo que a leitura fosse conduzida com facilidade, isso contribuiu para evitar possíveis equívocos durante a avaliação dos testes;
- ✓ Foi reduzido o tamanho da área de depósito, e modificado o algoritmo de validação das esferas depositadas com sucesso. Quando o usuário depositar a esfera dentro da área correta ela irá desaparecer do cenário.

6.5.1 Requisitos Colaborativos da Tarefa Quebra Cabeça

Para incentivar a exploração do ambiente, da comunicação e da construção conjunta de um objetivo comum, novos Requisitos Colaborativos (RC) foram aplicados. Na sincronização da tarefa Quebra Cabeça mostrada na Figura 31, não expõe informações sobre como deve ser resolvida tarefa, deste modo os usuários terão que descobrir a solução juntos.

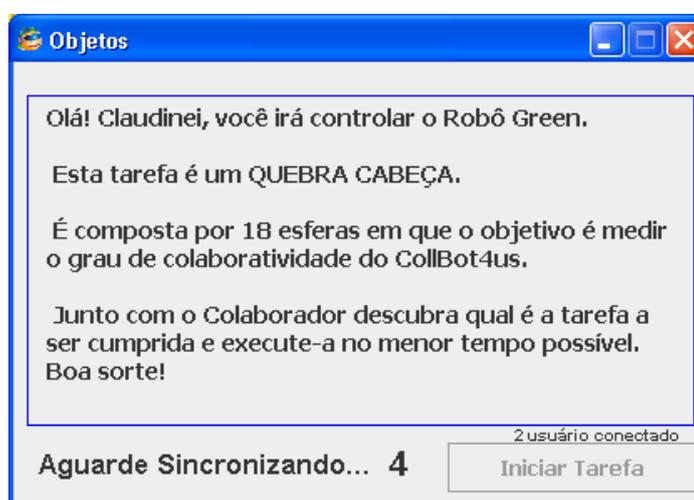


Figura 31 - Interface de Sincronização da Tarefa Quebra Cabeça.

Nesta tarefa os objetos foram distribuídos de forma a aumentar a probabilidade de colisão e, portanto as atividades requerem mais atenção entre os operadores. Alguns objetos foram colocados para parecer que estão próximos do alcance do braço robótico, porém não estão e, portanto incentiva a comunicação tanto para avisar que descobriu isso, já que o

cenário é simétrico, quanto para pedir para o colaborador trazer para dentro da área de alcance dos robôs.

Na Figura 32 é exibido em perspectiva SW o simulador CollBot4us com a nova tarefa proposta “Quebra Cabeça”, em que o objetivo passou a ser: *“Junto com o Colaborador descubra qual é a tarefa a ser cumprida e execute-a no menor tempo possível.”*

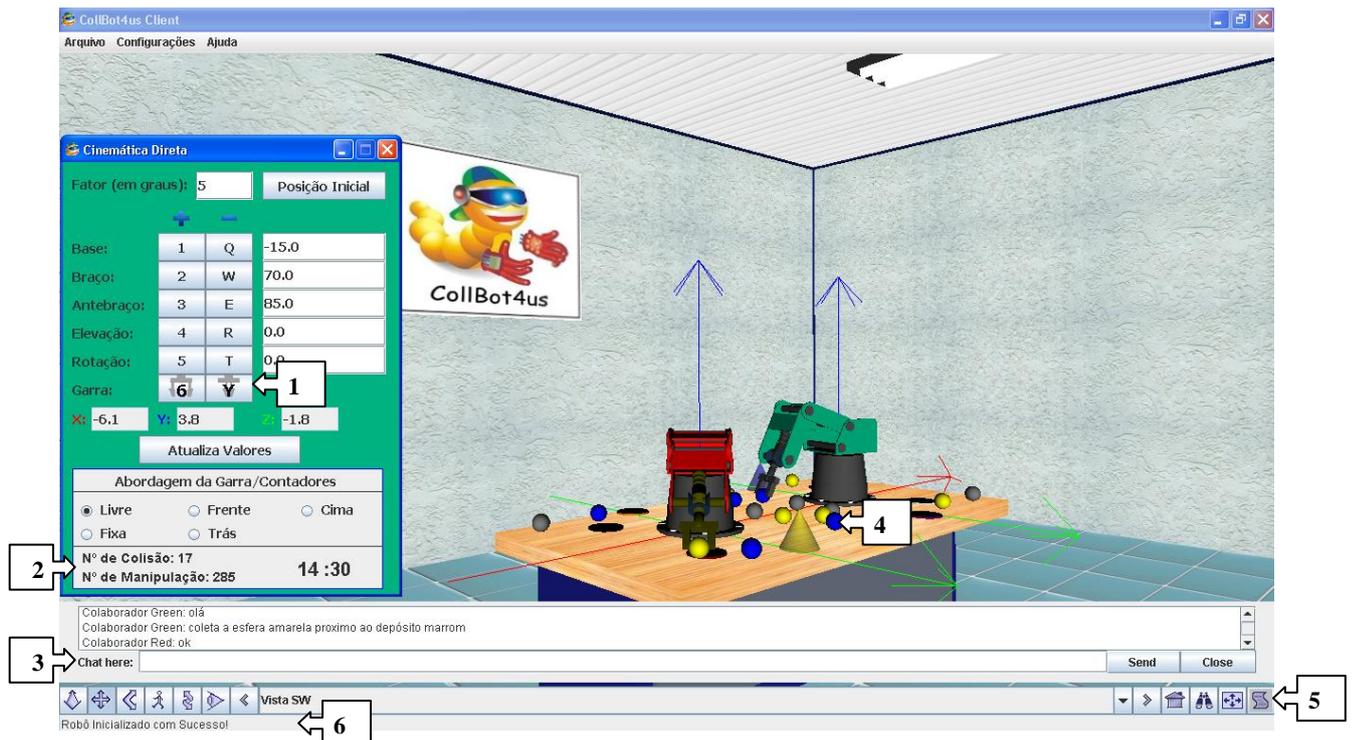


Figura 32 - Simulador CollBot4us com Tarefa Quebra Cabeça.

Para resolver esta tarefa o operador terá que descobrir uma solução para o Quebra Cabeça. A seguir são detalhadas todas as restrições, as regras e os RC:

- Existem 18 esferas divididas em partes iguais respectivamente em três cores: azul, amarelo e cinza, as quais estão dispostas simetricamente como exibidas na Figura 32(4). Os braços robóticos podem pegar quaisquer cores. O operador terá que descobrir qual a cor da sua esfera, mas também saber qual a cor da esfera do colaborador. Assim o operador terá que ficar atento às ações do colaborador para poder ajudá-lo, logo os RC contemplados são: Divisão de tarefa, Trabalho conjunto, Objetivo da equipe, Comunicação. Isto ocorre porque existem esferas de manipulação direta (sem ajuda do colaborador) e esferas de manipulação indireta (que precisa do colaborador);

- Existem 2 áreas para depósito de esferas, suas cores e as do seu respectivos depósitos de destino são diferentes, detalhes das cores, esferas e depósitos referentes a cada robô podem ser observados na Tabela 8, e visualizando na Figura 33. As demais áreas circulares são falsas (*fake*), servindo como referência espacial e para estimular que haja discussão entre os operadores sobre as cores. Nesta configuração, os RCs estão presentes nas seguintes competências: Hierarquia (liderança, quem coordena o estudo do ambiente) e Coordenação (manipulação de objetos, quem tem melhor coordenação com o robô). Neste caso, o operador que analisar e abstrair mais rapidamente uma possível solução terá que se comunicar via *chat* e passar informações e ao mesmo tempo suas ações terão que ser inspecionadas visualmente pelo colaborador;

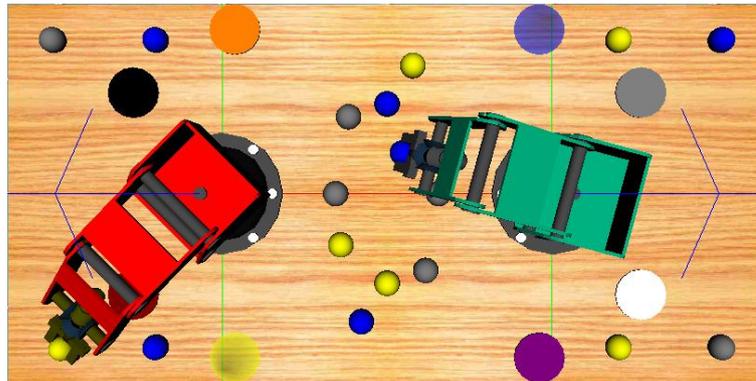


Figura 33 - Visão do Topo da Tarefa Quebra Cabeça.

- Existem dois Cones com transparência que servem como referência espacial e obstáculo. A cor do cone próximo ao robô verde, neste caso cone azul, aponta a cor da esfera do robô verde que deverá ser depositada. O contrário ocorre para o robô vermelho, detalhes sobre as cores correspondentes a cada robô podem ser vistos na Tabela 8. Neste caso, os RCs são: Solução da tarefa, Eficiência da estratégia e Comunicação. Aqui o operador pode efetuar tentativas de coleta e se caso consiga coletar terá que estudar/analisar a relação da cor da esfera coleta com o cenário;

Tabela 8 - Cores das Esferas e Depósitos Referentes a Cada Robô.

Robô	Esfera Alvo	Esfera Fake	Depósito Alvo	Depósitos Fake
Verde	Azul	Cinza	Branco	Cinza e Roxo
Vermelho	Amarelo	Cinza	Preto	Laranja e Marrom

- Somente uma cor de esfera é considerada esfera depositada com sucesso para cada robô, no experimento o usuário tem que descobri-la, caso a cor depositada é a adequada ocorre três *feedback*: a esfera desaparece do cenário, um sinal sonoro é emitido pelo sistema e na barra de status do sistema Figura 32(6) aparece uma mensagem “*Esfera depositada com sucesso*”, caso contrário a esfera depositada permanece sobre a mesa. Logo dentre as três cores uma existe somente para ser obstáculo, instigando os RC de Comunicação, Estratégia explícita, Coordenação, Monitoramento;
- Algumas esferas estão fora do alcance do braço robótico, para prosseguir com a tarefa tem que haver ação mútua entre os operadores ocorrendo a coleta de esferas e colocando-as na área comum. A questão mais intrigante aqui é que na área comum entre os robôs é onde existe a maior probabilidade de colisão. Deste modo, os operadores podem adquirir noções de movimentos espaciais, bem como aprenderem a controlar o robô evitando colisões entre os braços robóticos. Para isto os RC fundamentais são: Divisão de Tarefa, Trabalho Conjunto, Monitoramento, Desempenho do Trabalho, Qualidade e Tempo. Ou seja, um operador depende das ações do colaborador para seguir com eficácia e eficiência a tarefa. Neste caso os operadores devem evitar colisões e efetuar o mínimo de manipulações possíveis;
- Com base nos dados coletados no teste piloto, existe um limite de 3500 manipulações possíveis nos dois robôs juntos (se em média o usuário precisa de 130 manipulações por esfera coletada com sucesso, sem restrições, segundo análise do TP aplicado), um contador decrescente global na janela CD da Figura 32(2) exibe o *status* do número de manipulações, se zerar, a tarefa é finalizada com fracasso. No início da tarefa ambos têm 500 manipulações para começar. Considerando que as primeiras esferas são mais fáceis e serem coletadas, o usuário tem que economizar manipulações e ao mesmo tempo saber quanto o outro está gastando. Neste caso, os RC são: Estratégia eficiente, Desempenho eficaz, Coordenação e Comunicação Constante. Neste caso a ferramenta *chat* irá contribuir para com o desempenho da tarefa;
- A cada esfera coletada corretamente, a dupla ganha um bônus, quantidade de movimentos que são somados aos existentes conforme Tabela 9. Sendo que para cada operador é possível somar globalmente 1225 movimentos, tem-se então um

possível total de 2500 movimentos extras. Se estiver acabando, a dupla tem que avaliar quem tem condições de coletar esfera com menos movimentos e depositá-las com sucesso, para assim ganhar novos movimentos. Deste modo deve ficar mais criteriosa a coleta das últimas esferas. Isto requer RC de Comunicação, Coordenação, Monitoramento e Desempenho. Porque ações mútuas os operadores contribuem para o sucesso da tarefa;

Tabela 9 - Bônus a cada Esfera Coletada com Sucesso para cada Robô.

	1ª Esfera	2ª Esfera	3ª Esfera	4ª Esfera	5ª Esfera	6ª Esfera
Manipulações	500	250	200	150	100	50

- A cada colisão os operadores são penalizados perdendo 10 movimentos de manipulações, na janela CD da Figura 32(2) possui um contador crescente de colisões para monitoramento pelo operador. Os RC que podem evitar esta penalidade são: Desempenho no Trabalho e Coordenação. Estes requisitos ocorrem porque algumas esferas estão colocadas em áreas que aumentam a probabilidade de colisão;
- A tarefa termina com sucesso quando as seis esferas de cada robô estiverem todas corretamente depositadas. Para isto é considerado o RC Tempo;

Assim, a nova tarefa “Quebra Cabeça” envolve um número maior de requisitos de colaboratividade, isto ocorre porque a configuração adotada nesta tarefa é mais abrangente e exige troca de informações entre os operadores, principalmente na forma de comunicação pois, exige saber do colaborador quais as ações que irá tomar. Com os contadores de colisão e manipulação a dinâmica da tarefa passa a exigir melhor planejamento, forçando os operadores a monitorar o andamento da tarefa e a tomar decisões conjuntas.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram feitas inicialmente, implementações que ajustaram um simulador de um único robô (*Virbot4u*) para um simulador com dois robôs o qual passou a ser denominado *CollBot4us*. Podem-se citar algumas mudanças aplicadas: a interface recebeu novas texturas; a mesa foi redimensionada para obter espaço a um novo robô; as manipulações das juntas do robô diretamente no modelo 3D via *mouse* foi bloqueada para evitar problemas de comunicação e sincronismo; foi feita a retirada de telas que não seriam utilizadas no projeto do *CollBot4us*; dentre outras modificações. Quanto às mudanças nas classes Java existentes pode-se citar: adaptação das funcionalidades da Cinemática Direta e da *CenaX3D* (responsável pela integração da cena gráfica 3D com os objetos Java) para integrar o algoritmo desenvolvido da comunicação; adaptação da funcionalidade de prensão e solta de objetos. E, em relação às novas classes implementadas pode-se citar: o desenvolvimento de raciocínios de finalização das tarefas colaborativas; implementação de uma classe gerenciadora de tarefas; o desenvolvimento de infra-estrutura de comunicação cliente/servidor; desenvolvimento de um *chat* colaborativo; desenvolvimento e aplicação de protocolo de testes do ambiente; seleção e desenvolvimento de coleta (geração de *log*) de métricas relacionadas à desempenho e colaboratividade das tarefas; e por fim houve a integração da detecção de colisão para o novo ambiente *CollBot4us*.

A partir disto, este trabalho buscou apresentar um simulador 3D telecontrolado que pode ser usado para resolver tarefas robóticas de cunho colaborativas entre duplas de operadores que se encontram em posições distintas. Durante a solução da tarefa o simulador captura métricas colaborativas que podem ser utilizadas para avaliação da colaboratividade. Observou-se que o projeto de tarefas de ambiente colaborativo não é trivial e que a colisão para ambiente simulado e compartilhado é fundamental para a consciência do outro na cena;

O *CollBot4us* se diferencia dos outros trabalhos pois une num mesmo sistema aspectos de três grandes áreas: (i) robôs articulados virtuais de 5 DoF teleoperados; (ii) arquitetura de sincronização das operações robóticas em uma arquitetura cliente/servidor com opção de comunicação dos operadores via *chat* e; (iii) tarefas robóticas colaborativas 3D com monitoramento e captura de métricas da manipulação robótica e do processo de solução da

tarefa/problema.

O CollBot4us permite manter a integridade física do operador e do robô em um ambiente gráfico 3D simulado com uma tarefa de manipulação projetada de forma a valorizar a interdependência de ações e decisões entre os operadores. O CollBot4us representa, dentre outras coisas, uma plataforma para o estudo da colaboratividade, da robótica e das questões de comunicação/sincronização. Este estudo demonstrou que tarefas baseadas em simulações de telerrobótica apresentaram ter um potencial crescente para uma variedade de aplicações, incluindo, fabricação, operação, treinamento e educação. E que para analisar a colaboratividade foram propostas variáveis de colaboração que definem métricas qualitativas e quantitativas.

Portanto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um simulador 3D com características colaborativas para teleoperação de dois braços robóticos virtuais, fixos, articulados e com arquitetura cliente/servidor intermediados via rede de computadores. O CollBot4us proporciona uma tarefa em que os operadores resolvem colaborativamente em um espaço compartilhado e interdependente, ao mesmo tempo ocorre a captura por *log*, métricas que são utilizadas para avaliar a colaboração e o desempenho, os quais são comparados com as respostas dos questionários aplicados aos usuários no final de um experimento controlado.

Assim, como contribuições deste trabalho podem ser citadas: a arquitetura de comunicação RMI cliente/servidor integrada ao simulador de braços robóticos; o desenvolvimento de um *chat* colaborativo integrado; o desenvolvimento de um ambiente telerrobótico com características colaborativas entre dois robôs; o desenvolvimento de tarefas colaborativas e; o potencial para uso tanto como ferramenta de aprendizagem de telerrobótica pela colaboração quanto para aprendizagem da colaboração pela telerrobótica, diante de cenários em que a colaboratividade podem ser medidas e estudadas.

Os resultados obtidos ao longo deste trabalho foram publicados e apresentados no INTERTECH - *International Conference on Engineering and Technology Education* (2010) e no SBSC - VII Simpósio Brasileiro de Sistema Colaborativos (2010). Para obter maiores detalhes consulte o Apêndice 4.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Possíveis progressos do CollBot4us em trabalhos futuros são: (i) integrar ao simulador um algoritmo de avaliação da prensão com diversas abordagens para pega de objetos primitivos e complexos; (ii) utilizar um banco de dados com várias tarefas para escolha com

diversas formas de objetos primitivos ou complexos e que contemple os requisitos colaborativos desta monografia; *(iii)* melhoramento da comunicação, aplicando estudos quanto a sincronização para criar um relógio global, aprimorando o tratamento de erros, aperfeiçoando o tratamento de abandono da tarefa, etc; *(iv)* as coletas automáticas de *logs* pelo simulador poderiam ser armazenada em banco de dados. *(v)* desenvolver interfaces para dispositivos não convencionais (Hápticos, Luvas de dados, Vídeo-Capacete, etc) para fornecer maior interatividade aos usuários; *(vi)* modelar e integrar novos robôs manipuladores com outros graus de liberdade, com a intenção de ampliar a possibilidade de ensino de robótica; *(vii)* utilizar a detecção de colisões existente no simulador como base para o desenvolvimento de sensores virtuais que impeçam a colisão; *(viii)* desenvolver múltiplos canais de comunicação entre cliente e o servidor para que se possa transmitir dados paralelo.

Outros trabalhos futuros incluem o uso do CollBot4us para pesquisar e identificar relações das métricas colaborativas com o perfil dos operadores. Por exemplo: duplas de operadores mulheres usam mais a comunicação que as de homens? Qual faixa etária de duplas de operadores tem o melhor desempenho geral? Há relação entre o maior desempenho e o maior uso da comunicação?

Pode-se pensar também em desenvolver uma versão do CollBot4us com quatro robôs, o qual possa ter duas duplas de operadores, assim pode ser criada uma tarefa com características colaborativa entre cada dupla e ao mesmo tempo com características competitivas contra outra dupla, gerando competição em um ambiente colaborativo.

Outro trabalho futuro pertinente é disponibilizar o CollBot4us para qualquer quantidade de duplas simultaneamente e permanentemente disponível, permitindo a criação de um laboratório virtual na web de ensino e pesquisa, direcionado à pesquisa científica e tecnológica. Isso permite, por exemplo, a realização de experiências e ensino à distância, executando tarefas colaborativas sincronizadas. Neste caso, é necessário o desenvolvimento e integração de um “Banco de Dados” no CollBot4us para que seja possível por exemplo: cadastrar usuários; armazenar desempenho; registrar questionários *on-line*; armazenar histórico de última tarefa executada, data, tempo total para resolvê-la, melhor desempenho dentre as últimas tarefas feitas; e gerar relatórios de *ranking* pessoal e global em relação ao melhor tempo de resolução da tarefa.

REFERÊNCIAS

BORGES, F. S. & FREITAS, A. L. C. **Estudo de Caso Sobre Programação Orientada a Aspectos Utilizando Protocolo RMI**. XIII Simpósio de Informática-VIII Mostra de Software Acadêmico, Revistas Eletrônicas PUCRS Hífen, Uruguaiana, ISSN 1983-6511, vol. 32, n. 62, 2008, p. 41-50.

BRUTZMAN, D. & DALY, L. **X3D Extensible 3D Graphics for Web Authors**. Elsevier Inc. ISBN-13: 978-0-12-088500-8. 2007.

BURDEA, G. E & COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. Nova York: John Wiley & Sons. 400 p. ISBN 0-471-08632-0. 1994.

CHONG, N.; KOTOKU, T.; OHBA, K. & TANIE, K. **Virtual Repulsive Force Field Guided Coordination for Multi-telerobot Collaboration**. In: Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation Seoul, Korea. 2001, p. 21-26.

CHURCHILL, E. & SNOWDON, D. **Collaborative virtual environments: an introductory review of issues and systems**. Virtual Reality, California, vol. 3, 1998, p. 3-15.

CIOI, D.; VATAU, S. & MANIU, I. **Virtual Reality Laboratory for Robotic Systems**. SACI Romanian-Hungarian Joint Symposium on Applied Computational Intelligence. Timisoara, 2006, p. 1-8.

COLLAZOS, C. A.; GUERRERO, L. A.; PINO, J. A.; RENZI, S.; KLOBAS, J.; ORTEGA, M.; REDONDO, M. A. & BRAVO, C. **Evaluating Collaborative Learning Processes using System-based Measurement**. Educational Technology & Society. vol. 10, n. 3, 2007, p. 257-274.

DIAS, C. **CollBot4us: Simulador de Telerrótica Colaborativa**. Disponível em: <<http://www2.joinville.udesc.br/~larva/collbot4us>> Acessado em: 26 ago. 2010.

DIEHL, D. C. **Ambiente Virtual para Manipulação de uma Célula Robotizada**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2004, 61p.

ESHED ROBOTEC. **Scorbot ER-4PC User's Manual**, Rosh Ha'ayin. Israel, A. 1982.

FARLEY, J., **Distributed Computing in Java**. 2nd ed., vol. 1. O’Rally & Associates, ISBN 1-56592-206-9E. 1998.

FILIPPO, D.; RAPOSO, A.; ENDLER, M. & FUKS, H. **Ambientes Colaborativos de Realidade Virtual e Aumentada**. in: Realidade Virtual e Aumentada, Editora SBC - Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre, ISBN 85-7669-108-6, cap. 9, 2007, p. 169-192.

FUKS, H.; RAPOSO, A. B. & GEROSA, M. A. **Engenharia de Groupware: Desenvolvimento de Aplicações Colaborativas**. XXI Jornada de Atualização em Informática, Anais do XXII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, vol. 2, cap. 3, ISBN 85-88442-24-8, 2002, p. 89-128.

GARCÍA, A. S.; MOLINA, J. P.; MARTÍNEZ, D. & GONZÁLEZ, P. **Enhancing Collaborative Manipulation Through the Use of Feedback and Awareness in CVEs**. The International Journal of Virtual Reality, vol. 8 n.2, 2009, p. 45-50.

GOLDBERG, K. & CHEN, B. **Collaborative control of robot motion: Robustness to error**. In International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2001, 6p.

GUTWIN, C. & GREENBERG S. **A Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware**. Computer Supported Cooperative Work, Kluwer Academic Press. 2001, p. 1-47.

HAMID, N. A.; HARON, H.; JAMBAK, M. I. & SUKIMIN, Z. **An Overview of Robotic Simulation E-Learning**. In: IEEE Third Asia International Conference on Modelling & Simulation, 2009, p. 566-571.

HE, X. & CHEN, Y. **Six-Degree-of-Freedom Haptic Rendering in Virtual Teleoperation**. In: IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, vol. 57, n. 9, 2008, p. 1866-1875.

HOSS, A.; HOUNSELL, M. S. & LEAL, A. B. **Virbot4u: Um Simulador De Robô Usando X3D**. In: I Simpósio de Computação Aplicada, Passo Fundo - Rs. I Sca. Porto Alegre-Rs, SBC, 2009, p. 1-15.

HU, H.; YU, L.; TSUI, P. & ZHOU, Q. **Internet-based robotic systems for teleoperation**. In: Journal: Assembly Automation. ISSN: 0144-5154.v. 21, n. 2, 2001, p. 143-152.

LARVA (2007). **Laboratory for Research on Visual Applications**. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/larva>> Acessado em: 28 mar. 2009.

MAREK, J.; KEMCZINSKI, A.; HOUNSELL, M. & GASPARINI, I. **Colaboração e Cooperação: Pertinência, Concorrência ou Complementaridade.** Revista Produção On-Line UFSC-ABEPRO Florianópolis, SC, Brasil, disponível em: www.producaoonline.ufsc.br. ISSN 1676 – 1901, v. 7, n. 3, 2007, p. 396-401.

NETTO, A. V.; MACHADO, L. & OLIVEIRA, M. C. F. **Realidade Virtual: Fundamentos e Aplicações.** Florianópolis: Visual Books, 2002, 94p.

REDEL, R & HOUNSELL, M. S. **Implementação de Simuladores de Robôs com o Uso da Tecnologia de Realidade Virtual.** In: IV Congresso Brasileiro de Computação, Itajaí- SC. IV CBCOMP, v. 1, 2004, p. 398-401.

MIGUEL, R.; HOUNSELL, M. S. & ROSSO, R. **Análise da Detecção de Colisão com Coerência Semântica em Ambientes Robóticos Simulados.** 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications. In press, 2010.

SHHEIBIA, T. A. A. **Controle de um Braço Robótico Utilizando uma Abordagem Agente Inteligente.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Paraíba. 2001.

SILVA, J. C. S.; LINDER, M.; IRMÃO, M. A. S. & SILVA, R. P. **Modelagem Cinemática De um Robô Manipulador.** Anais do XXXIV COBENGE. ISBN: 85-7515-371-4. Passo Fundo, Setembro de 2006, p. 1.111-1.119.

X3DGRAPHICS, **Extensible 3d Graphics For Web Authors.** Disponível Em: <[Http://www.X3dgraphics.Com](http://www.X3dgraphics.Com)> Acessado em: 22 nov. 2009.

YANG, X. & CHEN, Q. **Virtual reality tools for internet-based robotic teleoperation.** In: IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications, 2004, 4p.

WANG, X.; MOALLEM, M. & PATEL, R. **An Internet-Based Distributed Multiple-Telerobot System.** In: IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics-Part A: Systems And Humans, v. 33, n. 5, 2003, p. 627-633.

WAZLAWICK, R. S. **Análise e Projeto de Sistemas de Informação Orientados a Objetos.** Ed. ELSEVIER. 2004, 298p.

WEB3DCONSORTION. **Open Standards for Real-Time 3D Communication.** Disponível em: <www.web3d.org/x3d> Acessado em: 10 out. 2009.

APÊNDICE 1 - PROTOCOLO DE TESTES

MATERIAIS:

- Dois computadores geograficamente distintos conectados em rede;
- Instalar Máquina Virtual Java, se já não estiver instalado;
- Instalar o subsistema Cliente do CollBot4us;
- Instalar o subsistema Servidor do CollBot4us, se o computador for utilizado como servidor;
- Testar permissões dos usuários logado.

MÉTODOS:

- Será medida a Colaboratividade do sistema CollBot4us, tendo as seguinte variáveis coletadas automaticamente pelo sistema:
 - ✓ Tempo para cada pega de objetos;
 - ✓ Tempo para cada coleta depositada;
 - ✓ Tempo para cada sub-tarefa completada;
 - ✓ Tempo total da tarefa;
 - ✓ Número de preensão bem sucedida e mal sucedida;
 - ✓ Número de colisões com as esferas;
 - ✓ Número de colisões com o outro robô;
 - ✓ Número total de comandos executados;
 - ✓ Número de mensagens enviadas pelo chat;
 - ✓ Número de ajustes na visualização/viewpoint/restore.

❖ PROCEDIMENTOS A SEREM SEGUIDOS PELOS PESQUISADORES:

Serão aplicados testes em duplas de usuários onde farão uma tarefa telerrobótica colaborativa com uso da ferramenta de *chat*.

Etapa 1:

- Perguntar ao usuário se está disposto a participar de um experimento;
- Se sim, Indicar o local onde o usuário deve se sentar;
- Realizar uma apresentação geral sobre o sistema CollBot4us e narrar a *Apresentação do Experimento*.

Etapa 2:

- Dar a ele a folha de com o *Descritivo do Experimento* o *Termo de Consentimento* e *Formulário Demográfico*;
- Pedir para os usuário lerem e assinarem o Temo de Consentimento e solicitar que preencha o Questionário Demográfico;
- Colocar folhas de lado.

Etapa 3:

- Perguntar ao usuário se ele está confortável e se pode começar, iniciar o experimento;
- Inicia-se o experimento com a Tarefa de Coleta Colaborativa (nível 1) utilizada para treinar os comandos de movimentação das juntas do robô e para treinar os comando de visualização.
- Abrir o sistema “Collbot4us Client” localizado na área de trabalho;
- Quando sistema estiver carregado irá aparecer a tela de boas vindas, para conectar clicar no menu “Arquivo” em seguida no comando “conectar”.

Etapa 4:

- Inicia-se a Tarefa de Coleta Colaborativa (nível 2) a execução da tarefa será então cronometrada. Vale ressaltar aqui que a execução da tarefa era realizada de forma colaborativa,
- Realizar a tarefa de nível 2;
- Ao término do experimento, uma mensagem aparece: “Parabéns, o tempo para concluir a tarefa foi 00 min. e 00 seg.”;
- Fechar a aplicação.

Etapa 5:

- Instruir o usuário para que preencha o Questionário de Avaliação da Tarefa/Colaboração;
- Após o usuário finalizar o questionário, recolher todos os questionários completos e agradecer ao usuário pela sua participação.

Observações dos Participantes: (colocar nome do participante e ao lado a observação sobre ele)

APÊNDICE 2 - DESCRITIVO DO EXPERIMENTO

Muito obrigado por concordar em participar. Neste experimento você irá interagir em um ambiente tridimensional onde você e um colaborador pode pegar e mover objetos virtuais. Neste experimento, estaremos avaliando a colaboratividade do ambiente e do participante.

Através deste experimento você estará nos ajudando a medir e avaliar o potencial colaborativo do CollBot4us. Durante o experimento você irá controlar um robô, o qual terá que pegar os objetos que estão espalhados e depositá-los na área circular.

Os riscos associados ao uso do software são mínimos por envolver o uso corriqueiro de um aplicativo qualquer. O CollBot4us poderá apresentar falhas aleatórias mas, solicitamos que tente dar continuidade ao experimento se possível. Os pesquisadores que estarão acompanhando o experimento e terão acesso aos dados são: o Marcelo da Silva Hounsell, professor responsável, Claudinei Dias, Maurício Aronne Pillon e Carla Diacui Medeiros Berkenbrock. Solicitamos entretanto, a vossa autorização para o uso dos dados coletados na forma de questionários e log de uso do sistema para a produção de textos científicos e garantimos a sua privacidade que será mantida através da não-identificação do seu nome em nenhum momento.

A execução destas tarefas está estimada em 25 minutos. O(a) senhor(a) poderá se retirar do estudo a qualquer momento sem necessitar justificar. Ao final do experimento solicitaremos que responda a algumas questões a respeito de sua experiência no CollBot4us. Mais uma vez muito obrigado por participar!

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto e, que todos os dados a meu respeito serão sigilosos. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos de tratamento serão feitas sobre as minhas ações.

Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso _____.

Assinatura _____ Joinville, ____/____/____.

Questionário Demográfico

Gênero: () M () F Idade: _____ Sigla do Curso: _____ Fase: _____

Questões (Por favor, quantifique seu grau de conhecimento numa escala de 1 a 7)	Baixo	Escala (marcar com um X)					Alto
Nível de conhecimento/uso geral em computação/informática?	1	2	3	4	5	6	7
Nível de conhecimento/uso de aplicações 3D (jogos, simuladores, CAD, etc)?	1	2	3	4	5	6	7
Nível de conhecimento/uso em aplicações Colaborativas (MSN, Twitter, ICQ, Chat, Google docs, etc)?	1	2	3	4	5	6	7
Nível de conhecimento/uso em aplicações Robóticas (simuladores, robô real, etc)?	1	2	3	4	5	6	7

APÊNDICE 3 - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA TAREFA/COLABORAÇÃO

Questões (Por favor, quantifique seu grau de conhecimento numa escala de 1 a 7)	Baixo	Escala (marcar com um X)					Alto
Como você avaliaria seu próprio desempenho na tarefa?	1	2	3	4	5	6	7
Como você avaliaria o desempenho do ^(a) colaborador ^(a) na tarefa?	1	2	3	4	5	6	7
Como você avaliaria o seu próprio grau de colaboração para solução da tarefa?	1	2	3	4	5	6	7
Como você avaliaria o grau de colaboratividade do ^(a) colaborador ^(a) ?	1	2	3	4	5	6	7
Qual o seu grau de atenção/preocupação com as ações do ^(a) colaborador ^(a) ?	1	2	3	4	5	6	7
Qual o grau de facilidade que a tarefa principal apresentou?	1	2	3	4	5	6	7
Qual o seu grau de satisfação no uso do CollBot4us?	1	2	3	4	5	6	7

Questões (Por favor, preencha o círculo ● sim/não e use o espaço abaixo da pergunta para detalhamento)	Sim	Não
Você manteve a mesma estratégia de solução ao longo de toda a tarefa?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Você acha que o ^(a) colaborador ^(a) manteve a mesma estratégia durante toda a tarefa?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Você usou alguma estratégia para solucionar a tarefa principal? Qual?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Você acha que o ^(a) colaborador ^(a) usou alguma estratégia para solucionar a tarefa? Qual?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Você acha que poderia fazer a tarefa novamente em menos tempo? Por quê? Como?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Você gostaria de tentar novamente ? Por quê?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Você sentiu falta de alguma informação durante a tarefa? Qual?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Houve momentos em que as estratégias estavam conflitantes? () Nunca () Poucos momentos () Muitos momentos () Sempre Quais?		
Qual foi sua maior dificuldade no uso do CollBot4us?		

APÊNDICE 4 - ARTIGOS PUBLICADOS

DIAS, C., HOUNSELL, M. S. E ROSSO, R. S. U. “**Análise de Colaboratividade Usando Telerrobótica**”. In: INTERTECH-International Conference on Engineering and Technology Education, Ilhéus-BA, março de 2010, p. 543-547.

DIAS, C., HOUNSELL, M. S., PILLON, M. A. E BERKENBROCK, C. D. M. “**CollBot4us: Colaboração com Tarefas Robóticas**”. In: SBSC- VII Simpósio Brasileiro de Sistema Colaborativos, Belo Horizonte-MG, outubro de 2010, 4p.