Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Mecânica

**Prototipação de um torno CNC
utilizando
realidade virtual**

ANTONIO VALERIO NETTO
Bacharel em Ciência da Computação

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

São Carlos
Estado de São Paulo, Brasil
1998

Existe um antigo provérbio chinês que diz:

Eu escuto, Eu esqueço...

Eu vejo, Eu lembro...

Eu manipulo, eu entendo.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	III
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE TERMOS E SIGLAS.....	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO	3
1.2 DESCRIÇÃO DO TRABALHO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 O QUE É REALIDADE VIRTUAL	5
2.1.1 <i>NOÇÕES BÁSICAS SOBRE REALIDADE VIRTUAL.....</i>	<i>8</i>
2.1.1.1 Dispositivos de visualização.....	10
2.1.1.2 Conceitos de Imersão, Interação e Envolvimento.....	11
2.1.1.3 RV Passiva, Exploratória ou interativa.....	12
2.1.1.4 Realidade Aumentada e Realidade Melhorada.....	13
2.1.2 <i>VISÃO GERAL SOBRE O EMPREGO DA REALIDADE VIRTUAL.....</i>	<i>14</i>
2.1.3 <i>APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL NA INDÚSTRIA.....</i>	<i>18</i>
2.1.3.1 Manufatura Virtual	20
2.1.3.2 Prototipação Virtual.....	21
2.1.3.3 Simulação	24
2.1.3.4 Treinamento.....	27
2.1.4 <i>AMBIENTES ESPECIALIZADOS DE REALIDADE VIRTUAL.....</i>	<i>28</i>
2.2 SISTEMAS DE INTERTRAVAMENTO	31
2.2.1 <i>CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INTERTRAVAMENTO</i>	<i>33</i>
2.2.2 <i>CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE INTERTRAVAMENTO.....</i>	<i>35</i>
2.2.3 <i>REQUISITOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE</i>	
<i>INTERTRAVAMENTO.....</i>	<i>36</i>

3. FERRAMENTA DE CONSTRUÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS	39
3.1 WORLD UP : VISÃO GERAL	39
3.1.1 JUSTIFICATIVAS DO USO.....	39
3.2 ESTRUTURA DO SOFTWARE.....	40
3.2.1 CLASSES PADRÕES DO APLICATIVO.....	44
3.3 PARECERES INICIAIS SOBRE A PARTE GRÁFICA.....	46
4. PROTOTIPAÇÃO DE UM TORNO CNC.....	49
4.1 VISÃO GERAL DO PROJETO PRÁTICO	49
4.1.1 ESPECIFICAÇÕES DO TORNO CNC VIRTUAL.....	50
4.2 ESPECIFICAÇÕES DO INTERTRAVAMENTO PROPOSTO.....	54
4.2.1 ACIONAMENTO DO FREIO DO EIXO-ÁRVORE.....	54
4.2.2 TROCA DE FERRAMENTA	55
4.2.3 PORTA DE ALIMENTAÇÃO DO TORNO.....	56
4.2.4 ACIONAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO DOS EIXOS X E Z.....	57
4.2.5 EIXO-ÁRVORE	57
4.2.6 LÍQUIDO REFRIGERANTE.....	59
4.2.7 ACIONAMENTO DO TRANSPORTADOR DE CAVACOS.....	59
4.2.8 PLACA DO EIXO-ÁRVORE E CONTRAPONTO.....	60
4.2.9 MÓDULO DE EMERGÊNCIA.....	61
4.3 OBTENÇÃO DA LÓGICA DE INTERTRAVAMENTO PARA O AMBIENTE VIRTUAL	64
5. PROCEDIMENTO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO TORNO	73
5.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO GRÁFICO	74
5.1.1 DEFINIÇÃO DO MODELO GRÁFICO.....	76
5.1.2 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO.....	76
5.1.3 MODELAGEM E MONTAGEM.....	77
5.1.4 EXPORTAÇÃO PARA O AMBIENTE VIRTUAL	80
5.1.5 ILUMINAÇÃO	80
5.1.6 TEXTURIZAÇÃO	80
5.1.7 AFERIMENTO.....	81
5.1.8 ANIMAÇÕES.....	81
5.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MODELO	82
5.2.1 AVATAR.....	82
5.2.2 TORNEAMENTO VIRTUAL	84
5.2.3 PROGRAMAÇÃO G NO AMBIENTE VIRTUAL.....	85

5.2.4	REFERENCIAMENTO DA PEÇA VIRTUAL.....	88
5.2.5	GERADOR DE FALHAS.....	90
6.	UTILIZANDO A PROTOTIPAÇÃO VIRTUAL.....	94
6.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROTOTIPAÇÃO VIRTUAL	98
7.	CONCLUSÃO.....	101
7.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	101
7.2	CONCLUSÕES SOBRE O PROJETO	102
7.2.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	103
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	ANEXO 01 - PAINEL DO TORNO VIRTUAL.....	121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - WINDTUNNEL DESENVOLVIDO PELA NASA (RESSLER, 1997).....	17
FIGURA 2.2 - ESTRUTURA UTILIZADA PARA REVISÃO DA RV NA INDÚSTRIA.....	19
FIGURA 2.3 - TEST DRIVE DOS NOVOS PROJETOS DE TRATORES (BLANCHARD, 1995).	24
FIGURA 2.4 - VISTAS DA FÁBRICA DE ENGRENAGENS VIRTUAL (BANERJEE ET AL., 1997).	26
FIGURA 2.5 - SOFTWARE PARA DESENVOLVIMENTO DE AMBIENTES VIRTUAIS (EXHIBITORS, 1997).....	30
FIGURA 3.1 - JANELA DO PROPERTIES BROWSER.	42
FIGURA 3.2 - JANELA DO SCENE GRAPH BROWSER.....	42
FIGURA 3.3 - JANELA DO VIEWPOINT.....	43
FIGURA 3.4 - VISÃO DO TYPE BROWSER COM SUAS CLASSES PRÉ-DEFINIDAS.....	44
FIGURA 3.5 - RAMIFICAÇÃO PRINCIPAL PARA CRIAÇÃO DE OBJETOS.....	45
FIGURA 3.6 - SISTEMA DE COORDENADAS GLOBAIS (SENSE8, 1996).	48
FIGURA 4.1 - O SISTEMA CNC COMPLETO.	52
FIGURA 4.2 - ESQUEMA DE OBTENÇÃO DAS ROTINAS PARA O AMBIENTE VIRTUAL.	64
FIGURA 4.3 - DIAGRAMA LÓGICO DA PORTA DE ALIMENTAÇÃO DO TORNO (LOBÃO, 1995).....	66
FIGURA 4.4- MODELO EM REDES DE PETRI DO COMANDO DA PORTA (LOBÃO, 1995).	67
FIGURA 5.1 - PROCEDIMENTO ADOTADO PARA A ELABORAÇÃO DO TORNO.	74
FIGURA 5.2 - VISTA DAS COORDENADAS LOCAIS E .GLOBAL DO SISTEMA.....	75
FIGURA 5.3 - CORTE LATERAL DO TORNO E POSTERIOR EXTRUSÃO.....	77
FIGURA 5.4 - FERRAMENTA DE ALINHAMENTO DO 3DSTUDIO MAX.....	78
FIGURA 5.5 - OPERAÇÃO BOOLEANA DO SOFTWARE DE MODELAGEM.....	78
FIGURA 5.6 - VISTA DO TORNO UTILIZADO PARA VALIDAR A PROGRAMAÇÃO VIRTUAL.	82
FIGURA 5.7 - DETALHES DAS FERRAMENTAS DE CORTE DO PROTÓTIPO VIRTUAL.	85
FIGURA 5.8 - VISTA DA PEÇA-EXEMPLO TORNEADA NO AMBIENTE VIRTUAL.	86
FIGURA 5.9 - REFERENCIAMENTO DA PEÇA NO ESPAÇO VIRTUAL.....	88
FIGURA 5.10 - ESPAÇO INTERNO DO TORNO VIRTUAL.....	90
FIGURA 5.11 - BOTÕES DO GERADOR DE FALHAS.....	91
FIGURA 5.12 - VISTA DA PARTE DE TRÁS DO TORNO VIRTUAL.	92
FIGURA 6.1 - DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO UTILIZANDO PROTOTIPAÇÃO VIRTUAL.	96

FIGURA 6.2 - DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA-FERRAMENTA UTILIZANDO RV. .	97
FIGURA AN.01 - PAINEL DO TORNO CNC.....	121

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 - TABELA DOS COMANDOS NUMÉRICOS PROPOSTOS.....	53
TABELA 5.1 - TABELA DO PROGRAMA G EXEMPLO.	87
TABELA 5.2 - TABELA PARA O REFERENCIAMENTO DA PEÇA.	89
TABELA AN.01 - CONJUNTO DE TABELAS DE BOTÕES E LEDS DO PAINEL.....	126

LISTA DE TERMOS E SIGLAS

BOOM	Binocular Omni-Oriented Monitor
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CRT	Cathode Ray Tube
HMD	Head Mounted Display
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
RA	Realidade Aumentada
RM	Realidade Melhorada
RV	Realidade Virtual
SCG	Sistema de Coordenadas Global
SCL	Sistema de Coordenadas Local
WU	World Up

RESUMO

VALERIO NETTO, A. (1998). *Prototipação de um torno CNC utilizando realidade virtual*. São Carlos, 1998. 131p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um procedimento para a implementação de um protótipo de um torno CNC utilizando realidade virtual. Enfocando principalmente, seu sistema de intertravamento (funcionalidade) e seu modelo geométrico (*design* físico). Este trabalho se inicia com uma revisão sobre o emprego da realidade virtual em várias áreas inclusive na indústria, e posteriormente discorre sucintamente sobre a estrutura de programação e a justificativa da utilização da ferramenta de construção de ambientes virtuais utilizada no projeto. Em seguida enfoca as especificações do torno CNC virtual e do intertravamento proposto, inclusive com explicações dos passos utilizados para a obtenção da lógica funcional do torno. Adiante é exposto o procedimento adotado para a implementação do protótipo do torno virtual e quais foram os passos utilizados para o desenvolvimento do modelo gráfico incluindo as soluções encontradas para implementação das características deste modelo interativo. Por fim o trabalho apresenta um breve relato sobre a possibilidade do projeto ser empregado nas áreas de prototipação virtual, treinamento e *marketing* de produtos, e também sugere um roteiro para desenvolvimento de uma máquina-ferramenta utilizando a prototipação virtual.

Palavras-Chave: Realidade Virtual, Prototipação Virtual, Manufatura Virtual, Intertravamento e Simulação.

ABSTRACT

VALERIO NETTO, A. *Prototyping of a lathe CNC using virtual reality.* São Carlos, 1998. 131p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The aim of this work is the developing of a procedure for the implementation of a CNC lathe prototype using virtual reality, focusing mainly in its interlocking system (functionality) and its geometrical model (physical design). This work starts with a revision about the using of VR in many areas including industry, and afterwards refers briefly on the programming structure and the justificative for the use of the virtual-environment-building tool used in this project. Thereafter it focus the virtual CNC lathing machine's specifications and the proposed interlocking, with explanations for the steps used in the obtaining of the machine's functional logic. Later on, are exposed the chosen procedure for the implementation of the virtual machine prototype and which were the steps used for the developing of the graphical model including the found solutions for the implementation of this interactive model. Finally, the work presents a brief report about the possibility of using this project in the virtual prototyping, training and product marketing areas, and also suggests a procedure for the development of a machine tool using virtual prototyping.

Keywords: Virtual Reality, Virtual Prototyping, Virtual Manufacturing, Interlocking and Simulation.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao acelerado desenvolvimento tecnológico observado a partir do final da década de 80, houve uma série de modificações nas relações entre as nações, seja do ponto de vista político, social ou econômico. Dentre estas modificações, talvez a mais importante seja a globalização da economia em escala mundial, com a queda das barreiras comerciais entre as nações, que visa permitir o fácil acesso das empresas de qualquer parte do globo aos mercados nacionais. Isto implicou num drástico aumento do nível de competição dentro destes mercados, que até recentemente eram cativos das “empresas nacionais”.

Desta forma, há a necessidade das empresas adquirirem maior capacidade de competitividade, para enfrentar os novos concorrentes que vêm disputar a sua fatia do mercado. Isto implica em uma total remodelagem dos sistemas produtivos, desde a substituição de equipamentos obsoletos e de baixa produtividade por outros mais modernos e produtivos, até a necessidade de maior qualificação da mão de obra utilizada (Lobão & Porto, 1997). Esta remodelação passa também, pela reestruturação dos *layouts* das fábricas e do fluxo de peças existentes no chão de fábrica, para com isto melhorar a qualidade do produto, abaixar seu tempo de fabricação e diminuir os gastos com matéria prima.

Hoje em dia, para se obter alguma vantagem competitiva ante seus concorrentes, se faz necessário uma modernização do sistema produtivo, empregando equipamentos mais modernos e sofisticados, os quais exigem a utilização de mão de obra com maior grau de especialização. Esta maior especialização coloca em cheque os métodos tradicionais de ensino e treinamento, já que há necessidade de transferência de uma quantidade maior e mais complexa de conhecimento e de uma forma mais eficiente em um intervalo de tempo menor (Lobão & Porto, 1997).

Visando buscar novas formas de obter essa melhoria organizacional das empresas e propiciar uma modernização do seu sistema produtivo, empregando equipamentos mais modernos e mão-de-obra mais especializada; alguns pesquisadores estão propondo a utilização de *softwares* baseados em realidade virtual para simulação de equipamentos, treinamento de funcionários, validação de planejamento de produção, visualização de *layouts* de fábricas e prototipação de produtos (McCarty *et al.*, 1994; Moshell *et al.*, 1994; Owen, 1995; Ressler, 1997).

É importante salientar que vários autores relatam o uso da realidade virtual para o ensino e treinamento comprovando a eficiência de se utilizar esta tecnologia para tal fim (Jacobson, 1993; Loftin & Kenney, 1995; Rosenblum, 1995). Outros pesquisadores (Kosak *et al.*, 1993; Wittenberg, 1995) apresentam estudos realizados onde os resultados de treinamento obtidos com o uso de realidade virtual são claramente superiores aqueles obtidos utilizando-se sistemas convencionais.

Para alguns pesquisadores, uma das áreas mais importantes da automação de projetos utilizando recursos de realidade virtual é a prototipação virtual (Leston, 1996). Vários deles expõem em seus trabalhos as justificativas do uso da prototipação virtual, principalmente na área automobilística (Teresko, 1995; Mahoney, 1995; Dupont, 1996; Dvorak, 1997). Existem também trabalhos que relatam as perspectivas da prototipação virtual no mercado, técnicas avançadas de modelagem de produto utilizando este novo recurso e alguns exemplos de aplicações industriais (Rix *et al.*, 1995).

Mesmo tendo a área de entretenimento como alavanca para o interesse do grande público pela realidade virtual, a maior parte das tecnologias inovadoras ainda vem de setores comprometidos com o uso profissional. Com um *software* de desenvolvimento de ambientes de realidade virtual sofisticado permite-se modelar maquinários, veículos e dispositivos, visando simular o comportamento real do equipamento. Isto economizará dinheiro e ciclos de desenvolvimento, e permitirá que se realizem sessões de treinamento e validação com o produto virtual.

Por fim, o avanço das pesquisas na área de realidade virtual está proporcionando ferramentas de *hardware* e *software* cada vez mais poderosas como: capacetes, luvas e óculos mais leves e com mais recursos. Isto está ocasionando um maior interesse por parte dos vários segmentos da indústria e um número crescente de usuários e de aplicações no mundo todo.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

Esta dissertação tem como objetivo o desenvolvimento de um procedimento para a implementação de um protótipo de um torno CNC utilizando realidade virtual. Enfocando principalmente, seu sistema de intertravamento (funcionalidade) e seu modelo geométrico (*design* físico).

Consequentemente este trabalho visa verificar as potencialidades e as limitações desta ferramenta diante da complexidade dos dados que a prototipação de um produto de manufatura ou montagem requer. Por fim, este trabalho deseja fornecer recursos e conhecimentos para a prototipação completa num ambiente virtual de uma máquina-ferramenta.

1.2 DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2 contém uma revisão bibliográfica que abrange o significado de vários termos pertinentes a área e as noções básicas sobre realidade virtual, como por exemplo: dispositivos de visualização, conceitos de imersão, interação e envolvimento, e os conceitos de realidade virtual passiva, exploratória e interativa. Apresenta também uma visão geral sobre o emprego da realidade virtual em várias áreas inclusive na indústria. Por último, é relatado uma introdução sobre sistemas de intertravamento.

O capítulo 3 discorre sucintamente sobre a estrutura de programação e a justificativa da utilização da ferramenta de construção de ambientes virtuais utilizada no projeto.

O capítulo 4 enfoca as especificações do torno CNC virtual e do intertravamento proposto, inclusive com explicações dos passos utilizados para a obtenção da lógica funcional do torno que abrange desde os modelos em Redes de Petri até a programação virtual de cada módulo do sistema.

O capítulo 5 expõe o procedimento adotado para a implementação do protótipo do torno virtual. Apresenta também, quais foram os passos utilizados para o desenvolvimento do modelo gráfico e as soluções encontradas para implementação das características deste modelo interativo.

O capítulo 6 apresenta um breve relato sobre a possibilidade do projeto ser empregado na área de prototipação virtual. Neste capítulo, também é sugerido um roteiro para desenvolvimento de uma máquina-ferramenta utilizando a prototipação virtual.

Finalmente, no capítulo 7 são apresentadas as considerações finais, as conclusões pertinentes ao projeto e sugestões de trabalhos futuros para a área.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O QUE É REALIDADE VIRTUAL

Embora os termos *cyberspace*¹ e realidade virtual tenham sido utilizados já há alguns anos, para boa parte da indústria eles são quase que desconhecidos (Machover & Tice, 1994).

O termo realidade virtual é creditado a Jaron Lanier, fundador da VPL Research Inc., que cunhou este termo no início dos anos 80 para que fosse possível diferenciar as simulações tradicionais feitas por computador das simulações envolvendo múltiplos usuários em um ambiente compartilhado (Araújo, 1996). Pesquisas como a de Myron Krueger em meados da década de 70, já utilizavam frases com o termo realidade artificial e William Gibson utilizou o termo *cyberspace* em 1984 no seu romance de ficção científica chamado *Neuromancer* (Machover & Tice, 1994).

Porém, os primeiros trabalhos científicos nesta área surgiram em 1958 quando a Philco desenvolveu um par de câmeras remotas e um protótipo de um capacete com monitores que permitiam ao usuário um sentimento de presença quando dentro de um ambiente (Comeau & Bryan, 1961). Posteriormente este equipamento passou a se chamar *head-mounted display* ou simplesmente HMD (Ellis, 1994). E em 1965 com a criação do primeiro sistema *head-mounted transparent 3D display*, desenvolvido na Universidade de Harvard pelo pesquisador Ivan Sutherland (Fisher & Tazelaar, 1990; Machover & Tice, 1994), conhecido posteriormente como o precursor da realidade virtual (Hand, 1994).

Existem diversas definições na literatura em relação a realidade virtual (RV). De uma maneira simplificada, pode-se dizer que é a forma mais avançada de interface de usuário de computador até agora disponível (Hancock, 1995). Trata-se de uma

¹ Trata-se de uma metáfora relacionada a um espaço não físico onde o usuário pode realizar ações (interações com o meio) com este ambiente não real (Josefsson, 1998).

interface homem-computador que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo (Latta & Oberg, 1994). A RV é uma forma das pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com computadores e dados extremamente complexos (Aukstakalnis & Blatner, 1992). Ela é um paradigma no qual usa-se um computador para interagir com alguma coisa que não é real, mas que pode ser considerada real enquanto está sendo usado (Hand, 1994).

A realidade virtual também pode ser definida como o uso de computadores e interfaces homem-máquina, para criar o efeito de mundos tridimensionais que possuam objetos interativos com uma forte sensação de presença tridimensional (Bryson, 1996). Além disso, pode-se dizer que realidade virtual significa um conjunto de técnicas e ferramentas gráficas 3D que permite aos usuários interagir dentro de um ambiente gerado por computador em tempo real, com uma pequena ou nenhuma consciência de que se está usando uma interface homem-computador (Leston, 1996).

Agrupando-se algumas outras definições de realidade virtual (Burdea & Coiffet, 1994; Jacobson, 1991; Krueger, 1991), pode-se dizer que RV é uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multi-sensoriais.

Uma outra definição propõe que realidade virtual seja a simulação do *espaço-tempo 4D*, isto é, animação de pontos de observação apresentada em um contexto interativo e em tempo real. A realidade virtual proporciona uma maneira do participante interagir com um ambiente simulado 3D. É uma interface homem-computador, proporcionando controles para o usuário manipular e interagir com uma base de dados. A base de dados é o *espaço-tempo 4D*, incluindo a realidade artificial (espaço virtual) e as entidades (objetos virtuais) que ele contém (Adams, 1994). O termo *espaço-tempo 4D*, é geralmente usado para se referir a imagens computadorizadas 3D animadas onde foi acrescentada às imagens a quarta dimensão, que é o tempo. Usualmente representada pela notação (x,y,z,t).

Na prática a realidade virtual permite que o usuário navegue e veja, em tempo real, um mundo de três dimensões, com seis graus de liberdade (6GDL). Isto mostra a capacidade do *software* de definir, e a capacidade do *hardware* de reconhecer, seis tipos de movimento: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita,

inclinação para cima/para baixo, angulação à esquerda/à direita e rotação à esquerda/à direita. Na essência, a realidade virtual é um "espelho" da realidade física. Na realidade física, o indivíduo existe em três dimensões, tem a sensação do tempo real e a capacidade de interagir com o mundo ao seu redor. Os equipamentos de RV simulam estas condições, chegando ao ponto em que o usuário pode "tocar" os objetos num mundo virtual e fazer com que eles respondam, ou mudem, de acordo com suas ações (Von Schweber & Von Schweber, 1995).

A interface em realidade virtual envolve um controle tridimensional altamente interativo de processos computacionais. O usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo. A grande vantagem desse tipo de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser transferido para manipular o mundo virtual. Para suportar esse tipo de interação, o usuário utiliza dispositivos não convencionais como capacetes de visualização e controle, e luvas de dados, os chamados *datagloves* (Earnshaw, *et al.*, 1995). Um *dataglove* permite que o usuário possua seis graus de liberdade de movimento, tenha interação e navegação no ambiente virtual e suporte ainda gestos como apontar, pegar ou manipular objetos (Sturman & Zeltzer, 1994).

Todos estes dispositivos dão ao usuário a impressão de que a aplicação está funcionando no ambiente tridimensional real, permitindo a exploração do ambiente e a manipulação natural dos objetos com o uso das mãos, por exemplo, para apontar, pegar, e realizar outras ações (Kirner, 1996).

A realidade virtual é freqüentemente confundida com animação, CAD ou multimídia, apesar de existirem algumas características diferentes entre estes termos. Em comparação com estas tecnologias alternativas, a RV é (Leston, 1996):

- Orientada a usuário;
- Faz *rendering* (atualização da textura e da geometria do objeto) das imagens em tempo real, isto é, atualiza as imagens assim que sofrem qualquer tipo de modificação;
- Mais imersiva, existe uma grande sensação de presença dentro do mundo virtual;
- Mais interativa, existe uma grande faixa de modificações sobre o comportamento dos objetos que o usuário pode influenciar;

- Mais intuitiva, existe pouca ou nenhuma dificuldade em manipular as interface computacionais existentes entre o usuário e a máquina.
- Descrição topológica funcional dos objetos, ao contrário da descrição elementar do CAD.

Um sistema de RV envolve estudos e recursos ligados com percepção, *hardware*, *software*, interface do usuário, fatores humanos e aplicações (Bishop *et al.*, 1992). Para a elaboração de sistemas de realidade virtual é necessário ter algum domínio sobre: dispositivos não convencionais de E/S, computadores de alto desempenho e boa capacidade gráfica, sistemas paralelos e distribuídos, modelagem geométrica tridimensional, simulação em tempo real, navegação, detecção de colisão, avaliação, impacto social, projeto de interfaces, e aplicações simples e distribuídas em diversas áreas (Kirner, 1996).

2.1.1 NOÇÕES BÁSICAS SOBRE REALIDADE VIRTUAL

Existem vários artigos e livros que abordam os conceitos e definições sobre realidade virtual ou ambiente virtual (Kalawsky, 1993; Wexelblat, 1993; Latta & Oberg, 1994; Ellis, 1994; Machover & Tice, 1994; Earnshaw *et al.*, 1995; Vince 1995), porém como foi visto anteriormente, há várias definições aceitas para o assunto. Isto é devido, em parte, à natureza interdisciplinar da área e também à sua evolução, pois de uma maneira ou de outra, os sistemas de realidade virtual acabaram vindo de sistemas computacionais de mesa, simuladores, sistemas de teleoperação, etc (Kirner, 1996).

Uma outra definição que ainda não está clara é a forma de classificação dos sistemas de RV. Por exemplo, Shepherd (1993) classifica os sistemas de realidade virtual em duas grandes classes: telepresença, onde um ambiente sintético comum é compartilhado entre várias pessoas como uma extensão ao conceito de trabalho cooperativo suportado por computador, e teleoperação, onde robôs agem sobre um elemento, seja ele um corpo humano ou um produto sendo manufaturado.

Os termos acima, entretanto, sofreram vários desdobramentos, inclusive inversões. Desta forma, as aplicações de RV, no geral são classificadas da seguinte

forma: telecolaboração, telepresença, visualização científica, visualização de dados 3D e outros (Araújo, 1996).

Na telecolaboração, usuários remotos compartilham um ambiente virtual para realizar uma tarefa em comum. Estes sistemas são na verdade, extensões do conceito de trabalho cooperativo apoiado por computador (*Computer Supported Cooperative Work - CSCW*). Protótipos de sistemas de telecolaboração implementados permitem aos usuários compartilhar um mesmo espaço e manipularem objetos, sentindo o peso dos mesmos por meio de dispositivos de *feedback* de força (Araújo, 1996).

Um sistema de telepresença ou telexistência estende a capacidade motora e sensora de um operador humano, bem como a suas habilidades de solução de problemas, para um ambiente remoto. Na telepresença, também referenciada como teleoperação ou telerobótica, o robô que executa as tarefas está fisicamente separado de seu operador humano. As ações executadas pelo operador são traduzidas em ações executadas pelo robô em seu ambiente remoto, ao mesmo tempo em que são emitidos *feedback* de sensações ao operador humano de tal forma que este se sinta como se estivesse realmente presente no ambiente remoto (Araújo, 1996). A telepresença pode ser mais claramente vista como uma técnica de visão que realça a função intermediária entre o participante e o ambiente (Latta & Oberg, 1994).

A visualização científica permite que enormes quantidades de dados gerados por meio de simulações por computadores possam ser mapeados de forma significativa em gráficos 3D, onde estes dados são representados como pontos, linhas, curvas, superfícies, volumes, cores diferentes e até mesmo como sons. Também são manipulados, visualizados em vários ângulos e posições, seccionados, etc, permitindo assim, uma ampla exploração das propriedades globais de soluções numéricas.

Outras aplicações de RV, que apesar de envolverem sistemas complexos e grande quantidade de dados, não se encaixam perfeitamente na classificação de visualização científica, são denominadas de visualização de dados 3D. É o caso da visualização de *software*, cujo objetivo é o de facilitar o desenvolvimento de sistemas altamente complexos e de grande porte, como por exemplo, gerenciamento de redes de telecomunicações, controle de tráfego aéreo, gerenciamento de linhas metroviárias e ferroviárias.

Outros denominam aplicações com características que não se encaixam em apenas um dos perfis citados acima.

2.1.1.1 Dispositivos de visualização

As pesquisas sobre realidade virtual podem ser divididas de acordo com os dispositivos de visualização empregados (Cruz-Neira *et al.*, 1992).

- Cathode Ray Tube (CRT): trata-se do monitor de vídeo comum; é o dispositivo básico para as visualizações de ambientes em realidade virtual.
- Head-Mounted Display (HMD): este é um dos mais populares dispositivos de interface para RV. Consiste de um par estéreo de pequenos visores que cobrem os olhos dos usuário. Um dispositivo de *head-tracking* (localizador da cabeça) fornece a localização e a orientação do observador para simular a vista correta (Gradescki, 1994; Delaney, 1996).
- Binocular Omni-Oriented Monitor (BOOM): o BOOM que ao contrário do *head-mounted display*, que precisa ser “vestido”, suporta monitores, sensores e a óptica necessária através de um “pau-de-carga” com um contrapeso que elimina o problema de peso e o tamanho dos monitores. O BOOM pode ser comparado a um par de binóculos suspensos por um cabo, que permite ao usuário andar ao redor dos objetos sem ter que suportar o peso dos dispositivos sobre a cabeça (Bolas, 1994; Araújo, 1996).
- Audio-Visual Experience Automatic Virtual Environment (CAVE -*Cave Automatic Virtual Environment*): é um ambiente do tamanho de uma sala que utiliza quatro telas de projeção (três para as paredes e uma para o piso), sobre as quais gráficos tridimensionais são projetados em estéreo e visualizados através de óculos com LCD *shutters*. Com este sistema, 1280x512 *pixels* são apresentados para ambos os olhos em cada uma das telas. Vários usuários podem estar presentes no CAVE num mesmo momento, mas apenas os movimentos de um usuário é rastreado e as imagens projetadas referem-se ao ponto de vista deste usuário rastreado (Boman, 1995; Araújo, 1996).

2.1.1.2 *Conceitos de Imersão, Interação e Envolvimento*

A realidade virtual também pode ser considerada como a junção de três idéias básicas: imersão, interação e envolvimento (Morie, 1994). Isoladamente, essas idéias não são exclusivas de realidade virtual, mas aqui elas coexistem.

A idéia de imersão está ligada com o sentimento de se estar dentro do ambiente. Normalmente, um sistema imersivo é obtido com o uso de capacete de visualização, mas existem também sistemas imersivos baseados em salas com projeções das visões nas paredes, teto, e piso (Cruz-Neira *et al.*, 1992). Além do fator visual, os dispositivos ligados com os outros sentidos também são importantes para o sentimento de imersão, como: som (Begault, 1994; Gradecki, 1994), posicionamento automático da pessoa e dos movimentos da cabeça, controles reativos, etc. A visualização tridimensional através de monitor é considerada não imersiva. Dessa forma tem-se a conceituação de realidade virtual imersiva e não imersiva (Leston, 1996).

Do ponto de vista da visualização, a realidade virtual imersiva é baseada no uso de capacete ou salas de projeção nas paredes, enquanto a realidade virtual não imersiva baseia-se no uso de monitores. De qualquer maneira, os dispositivos baseados nos outros sentidos acabam dando algum grau de imersão à realidade virtual com o uso de monitores, mantendo sua caracterização e importância (Robertson *et al.*, 1993). Embora a realidade virtual com uso de capacetes tenha evoluído e seja típica, a realidade virtual com monitor apresenta ainda alguns pontos positivos como: utilizar plenamente todas as vantagens da evolução da indústria de computadores; evitar as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso do capacete, baixo custo e facilidade de uso. Porém é importante frisar que a tendência poderá ser a utilização da realidade virtual imersiva para a grande maioria das aplicações futuras.

Com relação à idéia de interação, ela está ligada com a capacidade do computador detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa). As pessoas gostam de ficar cativadas por uma boa simulação e ver as cenas mudarem em respostas aos seus comandos. Esta é característica mais marcante nos *vídeo-games*.

Para que um sistema de realidade virtual pareça mais realista, objetos simulados são inseridos no ambiente virtual. Outros artifícios para aumentar o realismo são empregados, como por exemplo, a texturização dos objetos do ambiente e a inserção de sons tanto ambientais quanto sons associados a objetos 3D específicos (Araújo, 1996).

A idéia de envolvimento, por sua vez, está ligada com o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir televisão, ou ativo, ao participar de um jogo com algum parceiro. A realidade virtual tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e ao propiciar a interação do usuário com o mundo virtual dinâmico.

2.1.1.3 RV Passiva, Exploratória ou Interativa

Quanto à utilização do aplicativo de realidade virtual, ele pode fornecer uma sessão em três formas diferentes: Passiva, Exploratória e interativa (Adams, 1994).

Uma sessão de realidade virtual passiva proporciona ao usuário exploração automática e sem interferência através do ambiente 3D. A rota e as vistas são explícitas e exclusivamente controladas pelo *software*. O usuário não tem controle algum, exceto talvez, para sair da sessão.

Uma sessão de realidade virtual exploratória proporciona uma exploração dirigida pelo usuário através do ambiente 3D. O participante pode escolher a rota e as vistas, mas não pode de outra forma interagir com entidades contidas na cena 3D.

Uma sessão de realidade virtual interativa proporciona uma exploração dirigida pelo usuário através do ambiente 3D. Além disso, as entidades virtuais no ambiente 3D respondem e reagem às ações do participante. Por exemplo, se o usuário move o ponto de observação em direção à porta, a porta pode parecer abrir-se, permitindo ao participante passar através dela. Os sensores do *gerenciador de simulação* detectam quando o nó do ponto de observação se move dentro de um volume especificado do espaço-3D. O *gerenciador de simulação* então chama uma função para animar a abertura da porta no espaço cibernético (*cyberspace*). O *gerenciador de simulação* em questão é um instrumento de animação modificado para rodar no modo passo a passo para uso em sessão de realidade virtual. Ele executa

funções *run-time* como atualizar, impor, detectar e mover, isto é, ele atualiza a imagem na tela, impõe as regras de realidade virtual, detecta interatividade e move entidades.

Este espaço cibernético citado é definido como o *espaço-tempo 4D* simulado, controlado pela interface de realidade virtual. O espaço cibernético existe somente dentro do computador, isto é, trata-se de um espaço imaginário. A realidade virtual, por outro lado, é a interface homem-computador que permite ao usuário interagir com o espaço cibernético. Talvez possa ser mais conveniente se pensar no espaço cibernético como sendo a imaginação do computador (Adams, 1994).

2.1.1.4 Realidade Aumentada e Realidade Melhorada

Existem pelo menos dois subconjuntos da área de realidade virtual que se utilizam de tecnologias diferentes para proporcionar um aumento do desempenho humano, trata-se da realidade aumentada - RA (*Aumented Reality*) e realidade melhorada - RM (*Enhanced Reality*).

A realidade virtual aumentada combina imagens geradas no mundo virtual com imagens do mundo real, por meio do uso de um capacete parcialmente transparente provido de sensores. O objetivo destes sistemas é suplementar a informação obtida no mundo real com informações geradas pelo computador. Segundo Bajura & Neumann (1995) os sistemas de RA têm que registrar as imagens com precisão de forma a levar o usuário a crer que o mundo real e o mundo virtual ocupam o mesmo espaço tridimensional (Araújo, 1996).

A realidade virtual melhorada explora a convergência das tecnologias de visão de máquina com computação gráfica, como uma forma intermediária entre o mundo real e o mundo da ficção. Segundo Bowskill & Downie (1995) a RM é uma alternativa mais a curto prazo em termos tecnológicos, de se oferecer aos usuários um ambiente virtual próximo do real, gerado através de técnicas de processamento de imagens e de visão de máquina. A chave para esta tecnologia, segundo os autores, é a idéia da anotação visual, onde a imagem em vídeo do ambiente que envolve o usuário é melhorada por gráficos gerados pelo computador. Neste caso, imagens ao vivo são sobrepostas por imagens anotadas, produzidas por técnicas de

processamento de imagens e apresentadas visualmente ao usuário, em tempo real (Araújo, 1996).

Basicamente, a diferença entre realidade aumentada e realidade melhorada é que na primeira, a realidade é suplementada por ambientes sintetizados pelo computador enquanto que na segunda, a realidade é suplementada por ambientes gerados através de uma combinação de vídeo e computação gráfica (Araújo, 1996).

2.1.2 VISÃO GERAL SOBRE O EMPREGO DA REALIDADE VIRTUAL

Basicamente, a realidade virtual pode ser aplicada a cinco áreas específicas: "jogos e entretenimento", comunicação à distância, "simulação e treinamento", telepresença e visualização (Grimes, 1991). Para Jean Leston (Leston, 1996) as empresas têm utilizado a RV nos seguintes campos: automação de projetos, venda e *marketing*, planejamento e manutenção, treinamento e simulação, e concepção e visualização de dados. Embora a todo momento, surjam novas aplicações nas mais variadas áreas do conhecimento e de maneira bastante diversificada, em função da demanda e da capacidade criativa das pessoas. Em muitos casos, a RV vem revolucionando a forma de interação das pessoas com sistemas complexos tratados com o uso de computadores, propiciando maior desempenho e economizando custos.

Na prática, isso significa que a realidade virtual possui um vasto campo de utilização, por exemplo, na elaboração e na visualização de projetos arquitetônicos. Cenários e eventos com recursos visuais não fazem mais parte do futuro (Informática Exame, 1995). Hoje um arquiteto pode montar seus próprios ambientes virtuais usando apenas micros de mesa e programas de desenvolvimento de ambientes virtuais. Por exemplo, na elaboração do projeto de um escritório, possibilitando a visualização do ambiente sob diversos pontos de vista, permitindo que o usuário passeie por entre móveis e detalhes da construção antes mesmo que a primeira parede seja levantada (Penteado, 1995), ou para venda de casas e apartamentos à clientes interessados (Dupont, 1994). Outro exemplo, é o *software* desenvolvido pela Matsushita no Japão, trata-se de um aplicativo que auxilia as pessoas a trocarem utensílios e mobília das cozinhas relativamente pequenas existentes neste país (Kahaner, 1994; Ellis, 1994; Ressler, 1997).

A arquitetura não é, no entanto, a única beneficiária dos novos recursos virtuais. A medicina tem sido um dos principais focos de atenção dos desenvolvedores dessa tecnologia. Os estudantes de medicina estão treinando suas primeiras cirurgias em ambientes virtuais (Penteado, 1995). No National Rehabilitation Hospital em Washington nos EUA, a realidade virtual é utilizada como ferramenta de terapia para reabilitação de pacientes e de avaliação neuropsíquica dos mesmos (Sense8, 1996). Ainda no campo da terapia, a realidade virtual é utilizada no tratamento de pessoas que possuem algum tipo de fobia (Vince, 1995), como por exemplo, o medo de voar em aviões (VRAIS'96, 1996) e o medo de altura.

A cirurgia laparoscopia consegue eliminar as feias cicatrizes pós-operatórias, mas é uma habilidade difícil de se adquirir. Para ajudar os médicos a afiar sua perícia, várias empresas estão desenvolvendo simuladores virtuais laparoscópicos (Chinnock, 1995; Vince, 1995).

Outro exemplo de aplicação na medicina inclui a consulta médica remota, onde um médico localizado remotamente, recomenda a um outro médico que está ao lado do paciente, como proceder com o diagnóstico (Araújo, 1996). A RV também está sendo empregada nas neurocirurgias para guiar com precisão as ferramentas cirúrgicas através do tecido cerebral até o local de um tumor (Chinnock, 1995); para o desenvolvimento rápido de novas drogas medicinais (Dupont, 1994); para amostragens de imagens de exames de ressonância magnética (Kalawsky, 1993) e para a visualização e manipulação de imagens médicas detalhadas com ênfase em técnicas de interação (Poston & Serra, 1996).

Também, foi desenvolvido um equipamento de ultra-som que permite visualizar dentro do paciente, imagens de órgãos internos em três dimensões. Este aparelho faz a composição de imagens sintéticas virtuais com imagens reais obtidas através do ultra-som convencional (Bajura. *et al.*, 1992; Hand, 1994).

Na área militar, um exemplo típico de utilização é a simulação de uma cabine de avião de combate, que foi desenvolvida pela British Aerospace Real para treinamento dos cadetes britânicos (Kalawsky, 1993). Outro trabalho na área de simulação e treinamento em aviões de combate é citado por McCarty *et al.* (1994). A realidade virtual também é usada para treinar operadores de radares que rastreiam trajetórias de aeronaves (Sense8, 1996), no treinamento de marinheiros para a prática de navegação em submarinos (VRAIS'96, 1996) e na simulação de um tanque

de guerra para treinamento. Este trabalho é vinculado ao projeto SIMNET desenvolvido pelo DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency - USA*) que viabiliza um ambiente virtual distribuído onde vários simuladores virtuais remotos ficam interligados entre si, trocando informações e mantendo atualizados a descrição deste mundo (Pimentel & Blau, 1994; Moshell *et al.*, 1994; Ellis, 1994).

A realidade virtual também está sendo empregada em projetos relacionados ao programa espacial de vários países, por exemplo a European Space Agency (ESA) utiliza esta tecnologia para projetar e desenvolver sistemas de simulação para treinamento e aprendizagem dos astronautas, em diversos equipamentos utilizados no projeto espacial (Bagiana, 1993; Encarnação *et al.*, 1994). A NASA utilizou a RV para criação de um ambiente virtual para treinamento do grupo encarregado de dar manutenção e fazer os reparos necessários no telescópio espacial *Hubble* (Loftin & Kenney, 1995) e para o desenvolvimento de técnicas de programação de robôs por meio da simulação de ambientes de tarefa remotos (Ellis, 1994). Mais recentemente, a RV foi utilizada pela NASA no projeto de exploração ao planeta Marte (Sense8, 1997).

Exemplos do uso de ambientes virtuais na visualização científica são apresentados com mais frequência (Ribarsky *et al.*, 1994; Taubes *et al.*, 1994; Encarnação *et al.*, 1994; Earnshaw *et al.*, 1995; Bryson, 1996; VRAIS'96, 1996). A visualização científica é o uso da computação gráfica na investigação de fenômenos científicos. A computação gráfica permite aos pesquisadores entender a estrutura qualitativa de um fenômeno, através de gráficos e desenhos detalhados, que não poderiam ser conseguidos de outra forma. A computação gráfica interativa permite um controle em tempo real sobre como os gráficos são gerados, favorecendo o aumento da habilidade dos pesquisadores de explorarem o fenômeno através do computador (Bryson, 1993). Os ambientes virtuais viabilizam uma total interação com interfaces tridimensionais para exibição e controle da computação gráfica interativa (Bryson & Levit, 1991).

A aplicação pioneira nesta área, foi o projeto WINDTUNNEL (figura 2.1) desenvolvido pela NASA Ames Research Center (Ressler, 1997; Machover, 1994). Esta aplicação foi projetada para permitir a visualização e a simulação tridimensional de fluxos de fluidos instáveis que são baseados nos valores

calculados sobre a velocidade, a energia e os dados de pressão destes fluídos (Bryson, 1993).

Figura 2.1 - WINDTUNNEL desenvolvido pela NASA (Ressler, 1997).

Na área da educação e do aperfeiçoamento, o Departamento de Computação da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos - SP) está desenvolvendo um trabalho que enfoca o uso conjugado de RV e visualização científica, visando a criação de ferramentas e programas computacionais aplicados ao ensino fundamental do primeiro grau (Visioli & Bugatti, 1997). O Ministério da Educação do Egito também possui um projeto de quatro diferentes mundos virtuais (corpo humano, modelagem de moléculas, geografia mundial e civilizações antigas) que são utilizados para a orientação e ensino dos estudantes (Sense8, 1996). Bayarri *et al.* (1996) propõe em seu artigo um simulador em ambiente virtual, para aprendizagem e aperfeiçoamento de direção urbana (dirigir um carro na cidade) em tempo real, para uso comercial.

A Haywood Community College (Waynesville, NC) utiliza RV para que seus estudantes tenham uma melhor visualização e interação com seus modelos, feitos em 3D a partir do AutoCAD (Sense8, 1996). O laboratório de pesquisas da Nippon Electric Company (NEC) desenvolveu um sistema de RV para permitir que os operadores usem os movimentos de suas mãos (*datagloves*) para manipular modelos tridimensionais de CAD (Kahaner, 1994).

A empresa Fujita (Tsukuba, Japão) está aplicando tecnologia de realidade virtual na construção e controle de robôs. A meta é desenvolver sistemas remotos de controle, que permitam a manipulação dos robôs por cursores ou ponteiros de exibição com interfaces gráficas. Outra empresa que trabalha neste ramo é a Tokyu Construction, que desenvolve sistemas para possibilitar o controle remoto de *deep-foundation work robots*, isto é, quando a abertura é muito pequena para permitir a entrada de equipamentos pesados de construção, os operários trabalham arduamente para escavar os buracos e colocar as fundações no lugar, isto é chamado *deep-foundation*. E robôs têm sido desenvolvidos para substituir os humanos neste tipo de trabalho. Os pesquisadores da Tokyu estão buscando controlar a construção desses robôs e posteriormente comandá-los por imagens 3D e com movimentos das mãos. Esta técnica é chamada telexistência (Kahaner, 1993).

2.1.3 APLICAÇÕES DE REALIDADE VIRTUAL NA INDÚSTRIA

Embora muitas pessoas acreditem que a realidade virtual resultará principalmente em melhores jogos de entretenimento, muitas empresas a adotaram como uma forma mais acessível financeiramente de projetar o futuro, uma maneira mais eficaz de vender seus produtos, mais rápida de validar seus protótipos e uma outra forma para treinar seus funcionários, ou no caso de uma universidade, seus alunos (Valerio Netto *et al.*, 1997).

Alguns artigos (Intelligent Manufacturing, 1995; Kreitler *et al.*, 1995; Simulation Based Design, 1997) citam as vantagens e facilidades de se utilizar a realidade virtual na indústria, principalmente na área da manufatura, inclusive com uma sinopse de todos os campos envolvidos. Por exemplo, a RV pode ser utilizada para (Exhibitors, 1997):

- projetar máquinas que podem ter suas propriedades estruturais e funcionais avaliadas e testadas;
- desenvolver uma ergonomia funcional e confiável, sem ter que construir um modelo em escala real;
- projetar produtos que possuam *design* estético de acordo com a preferência de cada cliente;

- garantir que os equipamentos fabricados estejam dentro das normas estabelecidas pelos órgãos governamentais;
- facilitar operações remotas e controle de equipamentos (teleanufatura e telerobótica);
- desenvolver e avaliar processos que assegurem a manufaturabilidade, sem ter que de fato produzir o produto em escala comercial;
- desenvolver planos de produção e itinerários, e simular se esses estão corretos;
- educar empregados em técnicas avançadas de manufatura, principalmente com ênfase em segurança no trabalho.

Alguns artigos também abordam sugestões de aplicações das técnicas de realidade virtual em projetos de processos de manufatura e aspectos importantes no desenvolvimento de produtos competitivos. Outro ponto abordado é relativo a eficiência e qualidade dos projetos desenvolvidos em RV para sistemas de manufatura (Kreitler *et al.*,1995).

Essa área está crescendo de tal forma que já existem projetos em andamento desenvolvidos pelo *National Institute of Standards and Techology* (NIST) para padronizar as interfaces e os protocolos de manufatura, com o intuito de permitir a comunicação entre as diversas ferramentas de *software*, bancos de dados e sistemas de produção que empregam aplicações de manufatura virtual e distribuída (Kent, 1997).

Para organizar a revisão das aplicações de realidade virtual na indústria, elaborou-se a estrutura apresentada na figura 2.2.

Figura 2.2 - Estrutura utilizada para revisão da RV na indústria.

2.1.3.1 *Manufatura Virtual*

Manufatura Virtual (*Virtual Manufacturing - VM*) é um termo muito empregado hoje em dia, porém é necessário atentar para o enfoque em que ele está sendo aplicado e estudado, para que se possa ter um bom entendimento de onde a realidade virtual pode ser utilizado na manufatura virtual. Dessa forma, nesta revisão não estão incluídas as discussões e pareceres relacionados aos conceitos de empresa virtual (*virtual enterprise - VE*), nem suas relações com os demais itens desta revisão, por se tratar de assuntos relacionados a um outro enfoque, diferente deste trabalho (Valerio Netto *et al.*, 1998).

Manufatura virtual é definida como uma integração de modelos computacionais que representam a estrutura completa e precisa dos sistemas de manufatura e a simulação de seus comportamentos lógicos e físicos referentes a uma determinada operação (Iwata *et al.*, 1995). Outra definição, trata a manufatura virtual como a integração de um ambiente sintético de manufatura capaz de realçar todos os níveis de decisão e controle do sistema (Virtual Manufacturing, 1997).

Em outras palavras, manufatura virtual é a concepção da execução de processos de manufatura no computador simulando o que acontece no mundo real, porém não necessariamente utilizando-se de técnicas ou *softwares* de realidade virtual para produzir seus resultados.

Onosato & Iwata (1993) apresenta uma introdução sobre a definição de sistemas de manufatura virtual e as corretas utilizações de nomenclatura de determinados termos, discute ainda a relação desse conceito com outras concepções da manufatura e apresenta uma introdução sobre a arquitetura e requisitos para um sistema de manufatura virtual. Kimura (1993) relata um conjunto de modelos apropriados para compreensão dos ambientes de manufatura virtual.

Algumas instituições de pesquisas trabalham no sentido de validar novas formas de utilização da realidade virtual no campo da manufatura, produção e engenharia mecânica, é o caso do Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation (IPA) que aplica a RV para automação da produção flexível. A meta é aumentar o uso de robôs industriais e o índice de fábricas automatizadas. Dessa forma, o sistema desenvolvido é aplicado para o planejamento de células industriais robotizadas, simulação da programação *off-line*

das mesmas e a teleoperação dos robôs das células desenvolvidas (Encarnação *et al.*, 1994).

Também está sendo pesquisado um modelo de “telecolaboração” entre projetistas remotos para decisões de *layout* de fábrica (Banerjee *et al.*, 1997). Outro projeto em andamento discute um caminho para integrar tecnologia de realidade virtual com tecnologia de otimização de planejamento de *layout*, incorporando neste sistema informações qualitativas (Exhibitors, 1997). Também está sendo desenvolvido uma configuração de plataforma para FMS (*Flexible Manufacture System*) em ambiente virtual (*Virtual Flexible Manufacture System* - VFMS) que incorpora instalação de *layout*, planejamento de processos e eventos discretos (Exhibitors, 1997).

2.1.3.2 Prototipação Virtual

Prototipação virtual é um passo importante em direção ao desenvolvimento eficiente do produto final. Baseados nas informações de geometria e topologia do projeto, nos resultados da simulação obtidos por ferramentas de modelagem combinados com os cálculos de cinemática, o material, a tolerância e outras informações disponíveis sobre o produto, será possível gerar protótipos no computador para apresentações realistas, diminuindo os custos com protótipos reais e com o tempo de disponibilização para testes, permitindo ainda interações com o produto até mesmo nos estágios iniciais de desenvolvimento (Rix *et al.*, 1995).

As principais vantagens da prototipação virtual para os processos industriais são:

- Redução de Tempo: o parâmetro tempo nos dias de hoje é um dos mais importantes fatores para a indústria. O *time-to-market* é a chave do *marketing* que diferencia os competidores.
- Diminuição de Custos: os protótipos virtuais podem reduzir a necessidade de se fazer um grande número de protótipos físicos, isto possibilita uma diminuição no tempo de desenvolvimento e do trabalho humano empregado no projeto. Também há diminuição da quantidade de ferramentas e materiais utilizados para a confecção do protótipo físico. Os resultados do protótipo virtual são obtidos mais rapidamente e por isto possibilitam um *feedback* para o projeto, antes dos custos da produção estarem fixados.

- Melhoria da Qualidade: a aplicação de diferentes alternativas para um projeto pode ser realizada mais rapidamente, permitindo uma melhoria da validação das soluções apropriadas que satisfaça os parâmetros especificados pelo cliente, com um menor custo.

Para Leston (1996), uma das áreas mais importantes da automação de projetos utilizando recursos de realidade virtual é a prototipação virtual. Alguns artigos (Teresko, 1995; Dupont, 1996; Dvorak, 1997) expõem as justificativas do uso da prototipação virtual, principalmente na área automobilística (Mahoney, 1995), outros trabalhos discutem sobre: perspectivas da prototipação virtual no mercado, técnicas avançadas de modelagem de produto utilizando este novo recurso e exemplos de aplicações industriais (Rix *et al.*, 1995).

A Volvo sueca por exemplo, reconstruiu em laboratório, um trecho de sete quilômetros de uma estrada local onde, antes do lançamento de qualquer veículo no mercado, um *test driver* recolhe informações sobre o comportamento do novo automóvel em situações reais (Penteado, 1995). A Volvo também possui um ambiente virtual para simular colisões dos seus veículos com diversas barreiras e obstáculos, para posteriormente fazer uma análise do seus sistemas de proteção contra este tipo de situação (Dupont, 1994; Vince, 1995). Seguindo a mesma idéia de testar o produto antes de ser fabricado, a Renault Design simulou a *performance* do protótipo de um de seus carros, o Racoon, utilizando uma técnica de filmagem que mistura ambientes reais com objetos virtuais (Thalmann & Thalmann, 1993; Augusto, 1995). Os engenheiros da Chrysler-Jeep utilizam a RV para desenvolver modelos dinâmicos de seus veículos. Esses modelos passam por uma rigorosa análise dos possíveis problemas que podem ocorrer e que só poderiam ser gerados e duplicados em grandes terrenos ao ar livre com vários protótipos dos veículos a serem testados (Dvorak, 1997).

A fábrica da Ford Motors em Dearborn, Michigan, criou um dos mais sofisticados ambientes tecnológicos virtuais para projeto e engenharia de automóveis, trata-se da divisão CAVSE (*Core & Advanced Vehicle System Engineering*) que utiliza a RV para simulação e prototipação virtual, tomando como principais pontos de pesquisa, a aerodinâmica, a ergonomia e a modelagem de superfície do protótipo do veículo a ser construído (Blanchard, 1995). A Ford Motors também

tem utilizado simuladores em RV para avaliar novos arranjos do painel de instrumentos de seus automóveis (Chinnock, 1996) e para fazer uma análise do fluxo de ar existente sobre o pára-choque do veículo e dentro do compartimento do motor, isto auxilia os engenheiros, no momento que é feita a análise dos efeitos do resfriamento dos componentes do motor (Mahoney, 1995).

A General Motors possui também um projeto que utiliza um sistema CAVE, denominado VirtualEye, para facilitar o desenvolvimento de novos modelos de veículos (Mahoney, 1995; Exhibitors, 1997) e sua unidade de montagem de caminhões (Detroit, Michigan) utiliza *softwares* da empresa Deneb Robotics (Deneb Robotics, 1997) para prototipação e avaliação da montagem de seus veículos. Acredita-se que a prototipação virtual e as técnicas de manufatura virtual reduzem os custos de desenvolvimento do ferramental empregado, otimizam as operações de manufatura envolvidas e diminuem o *time-to-market*, isto é, o tempo que um produto leva desde o seu desenvolvimento até a colocação do mesmo no mercado consumidor (Intelligent Manufacturing, 1995).

A fábrica de automóveis da Land Rover (Solihull, West Midlands) utiliza a realidade virtual para projetar e validar rápidas prototipagens dos seus novos modelos de veículos e para auxiliar na ampliação de sua fábrica. O supervisor do projeto enfatiza que no momento, eles são capazes de evitar erros de custos na criação dos processos de fabricação e que podem comunicar com mais facilidade todos os estágios de desenvolvimento do projeto, seu *layout* e o seu funcionamento para todos os funcionários, fornecedores e administradores envolvidos (Templeman, 1996).

A Caterpillar (Peoria, Ill.), fabricante de tratores, juntamente com a Universidade de Illinois, desenvolveram um ambiente virtual para testes de novos projetos e melhoria dos processos de montagem de equipamentos pesados (Mahoney, 1995; Folks, 1997). Esses testes são para avaliar o *design* do veículo e determinar a visibilidade proveniente da cabine de comando do trator (Blanchard, 1995). Neste projeto, o operador senta-se numa plataforma equipada com os mesmos controles, de uma cabine real de um trator, esta plataforma está localizada num CAVE (Banerjee & Banerjee, 1995; Cruz-Neira *et al.*, 1992), que é um sistema baseado em RV que possui o formato de um cubo e tem suas paredes forradas com telas, onde são exibidas as animações gráficas (figura 2.3).

Figura 2.3 - Test drive dos novos projetos de tratores (Blanchard, 1995).

Os pesquisadores são capazes de realizar uma avaliação dos novos projetos muito mais rápida. Eles podem operar o equipamento e avaliar a montagem e as obstruções sem ter que construir um protótipo físico. Isto representa um custo menor, já que não há gastos com peças e horas de montagem dos protótipos mecânicos. O sistema também permite diminuir o tempo de análise da concepção do novo projeto e incorporá-lo no processo de produção num tempo menor (Ressler, 1997).

No campo da indústria de aviões, a realidade virtual é utilizada na pré-produção de uma linha de montagem digital de aeronaves. Este trabalho de pré-produção está sendo realizado pela empresa Northrop (Hawthorne, CA) que espera com isto, reduzir os custos de produção e melhorar os prazos de entrega dos projetos aos clientes (Blanchard, 1995).

Dessa forma, a realidade virtual vem em auxílio ao desenvolvimento de novos projetos ou a modificação dos já existentes no mercado. Os projetistas podem interagir, manipular e validar suas peças ou produtos com as facilidades que a ferramenta proporciona.

2.1.3.3 Simulação

O objetivo principal do estudo da simulação é melhorar a qualidade das decisões administrativas (Shannon, 1975), e uma característica desejável da simulação é a animação gráfica, especialmente para modelagem de processos de manufatura (Law & Haider, 1989). A animação permite um excelente meio de

estabelecer a credibilidade para o modelo simulado (Seevers, 1988). De acordo com Van Norman (Norman, 1992), a realidade virtual é apontada como uma das principais ferramentas gráficas visuais a serem utilizadas no futuro, para simulação de manufatura.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, Lobão & Porto (1996) afirmam em seu artigo que a nova tendência para simuladores de eventos discreto, aponta para sistemas interativos e inteligentes, nos quais serão largamente empregadas técnicas de realidade virtual, inteligência artificial e sistemas especialistas. A realidade virtual, seria utilizada inicialmente no módulo de animação, que é a parte do *software* que mostra ao mesmo tempo, a interação entre os diversos componentes do modelo, durante a execução de uma corrida de simulação. Dessa forma, se permitirá ao usuário não somente interagir com os componentes do sistema durante seu “funcionamento virtual”, bem como muitas vezes, imergir no interior do modelo permitindo mais realismo ao sistema e permitindo uma exploração mais rica do mesmo.

Karen Jones (Jones, 1993) expõe como a realidade virtual pode ser agregada a *softwares* comerciais de simulação de manufatura. Concluindo que a implementação de uma interface em RV é viável comercialmente, fornecendo um suporte maior para o apoio à decisão e aprofundando o entendimento do modelo de simulação.

Na área de simulação de chão de fábrica está havendo um grande esforço de empresas de simulação e universidades para desenvolver ambientes para estudos dos vários aspectos de um modelo imersivo de exibição baseado em técnicas de modelagem em realidade virtual. Os participantes deste empreendimento estão desenvolvendo um modelo de fábrica de engrenagens (figura 2.4) baseados em *softwares* avançados de RV e plataformas CAVE - *Cave Automatic Virtual Environment* - (Banerjee & Mehrotra, 1995). Esta nova tecnologia permitirá que as informações de uma modelagem em 3D possam também serem exibidas numa interface que suporte apenas exibições em 2D (Exhibitors, 1997). O objetivo é permitir que um engenheiro de produção manipule objetos 3D em ambientes 3D, proporcionando assim uma análise mais intuitiva de processos complexos existentes num ambiente de fabricação. As pesquisas incluem o desenvolvimento de modelagem de movimentos e modelagem da área de imagens da fábrica virtual.

Figura 2.4 - Vistas da fábrica de engrenagens virtual (Banerjee et al., 1997).

A BMW em cooperação com a universidade de Erlangen criou em Munique, Alemanha, um centro de simulação em realidade virtual para testes de colisão, performance do equipamento, adequação do *design* e análise dos processos de engenharia de construção de seus veículos (Beardsley, 1997). Na Ford Alpha Simultaneous Engineering está em avaliação um projeto que utiliza RV na montagem automotiva. As peças do veículo são representadas em um sistema CAD e posteriormente transferidas para o sistema de RV. O usuário manipula as peças na tentativa de montagem do veículo virtual enquanto o sistema monitora a interferência e a colisão entre as peças que estão sendo inseridas e o veículo. O sistema também faz uma avaliação ergonômica das várias operações de montagem (Ressler, 1997).

A companhia de aviação McDonnell Douglas utiliza um sistema de simulação virtual para determinar com facilidade o tamanho da cabine de passageiros de vôos comerciais, para que elas possam comportar com maior conforto, passageiros de diversos tamanhos e facilitar seus movimentos dentro da mesma (Deitz, 1995). A companhia Boeing (Wichita, KS) projetou uma célula de polimento de painéis de cobertura de avião através de um simulador em realidade virtual desenvolvido pela empresa Silma Inc. (Cupertino, CA) (Silma Inc., 1997), esta simulação permitiu a empresa descobrir que seu antigo sistema de polimento não alcançava toda área dos 777 painéis que a cobertura do avião possui. A simulação também possibilitou gerar uma nova programação *off-line* para o controle dos robôs existentes na célula em menos de oito horas, este trabalho necessitava anteriormente de dois programadores num período de um mês (Owen, 1995).

Na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) existe um projeto de desenvolvimento de um ambiente para simulação virtual chamado *Virtual Reality Simulation* (VR-Sim) que tem como objetivo modelar e validar sistemas de tempo real. O *software* é uma ferramenta de simulação que incorpora uma biblioteca de RV e tem o propósito de suportar a validação de sistemas de tempo real (*Real-Time Systems - RTS*), incluindo a detecção de falhas no comportamento do sistema (Gimenez & Kirner, 1997).

2.1.3.4 Treinamento

Na busca por vantagens competitivas, se faz necessário uma modernização do sistema produtivo das empresas, empregando equipamentos mais modernos e sofisticados, os quais exigem a utilização de mão-de-obra com maior grau de especialização. Essa maior especialização questiona os métodos tradicionais de ensino e treinamento, já que há necessidade de transferência de uma quantidade maior e mais complexa de conhecimento e de uma forma mais eficiente em um intervalo de tempo menor (Lobão & Porto, 1997).

Diante deste contexto, é importante salientar que vários autores (Rosenblum, 1995; McCarty *et al.*, 1994; Moshell *et al.*, 1994) relatam o uso da realidade virtual para ensino e treinamento, sendo que Kozak e Wittenberg (Kosak *et al.*, 1993; Wittenberg, 1995) apresentam estudos realizados onde os resultados obtidos de treinamento com o uso de realidade virtual são claramente superiores àqueles obtidos utilizando-se sistemas reais.

Empresas como a Nabisco Food de alimentos (East Hanover, N. J.), utiliza soluções em realidade virtual, para treinar seu pessoal em manutenção e serviço para as linhas de produção. A Motorola que fabrica *chips* e outros componentes eletrônicos, tem utilizado a RV desde 1994, para treinar seus funcionários no próprio local de trabalho. Isto tem permitido a companhia economizar milhões de dólares com custos de treinamento e viagens (Blanchard, 1995).

A Motorola também desenvolveu conjuntamente com a Superscape (Superscape Inc., 1997) um sistema com recursos de RV para treinamento de seus funcionários utilizados em sua linha de montagem de *paggers*. Eles chegaram a conclusão que o treinamento utilizando-se do sistema virtual tem custos menores, é

flexível, isto é, o sistema simulador pode ser facilmente transportado e/ou modificado e, os operadores treinados por este sistema desempenham suas funções melhores do que aqueles treinados no sistema real convencional (Winttenberg, 1995; Kent, 1997).

A companhia de aviação Boeing (Wichita, KS) utiliza o conceito de realidade aumentada, que corresponde a uma combinação da visão do ambiente real com o ambiente virtual. Este sistema usa luzes para guiar o trabalhador que monta painéis manualmente, indicando quais as conexões devem ser efetuadas entre as peças e a ordem em que estas conexões devem ser feitas (Ressler, 1997). A Boeing Computer Services também tem utilizado interfaces de RV para sistemas CAD 3D, no intuito de avaliar as facilidades de acesso dos funcionários que fazem manutenção nas cabines das aeronaves fabricadas pela empresa (Blanchard, 1995).

2.1.4 AMBIENTES ESPECIALIZADOS DE REALIDADE VIRTUAL

Hoje, existem diversas empresas especializadas em *softwares* de ambientes virtuais, algumas possuem modeladores para desenvolvimento de aplicações gerais (O'Neill, 1995; Superscape Inc., 1997; Division, 1997; Vream Inc., 1997; Sense8, 1997), outras para planejamento e implementação de mundos virtuais em tempo real (Blanchard *et al.*, 1990; Encarnação *et al.*, 1994) e outras se especializaram em desenvolvimento de ambiente virtual interativo para projeto, análise e prototipação virtual. Por exemplo, existem *softwares* específicos para ferramenta de simulação e programação para solda a arco e para solda a ponto, programação de pintura robotizada, simulação de eventos discretos, ferramenta de simulação e análise para centros de usinagem e programas NC, ferramenta para simulação e análise de ergonomia e interação humana na engenharia e desenvolvimento interativo de produtos e processos (Deneb Robotics, 1997; Silma Inc., 1997).

Empresas como a Dassault Systemes (Paris, França) e DCT Inc. (Detroit, EUA) (Intelligent Manufacturing, 1995) se utilizam de sistemas CATIA/CADAM para simular, validar e integrar células de manufatura robotizadas de soldagem e montagem, utilizadas em empresas automotivas.

Existem também *softwares* especializados na projeção, otimização e programação de células de trabalho virtuais nas quais operadores humanos trabalham junto com robôs, é o caso do ROBOCAD/Man, da Tecnomatrix (Owen, 1994b). Este sistema permite a execução de diversos tipos de operações, tais como manuseio de materiais para fabricação e montagem. O sistema também é utilizado para determinar os melhores procedimentos de montagem do produto. Uma vez determinada a rotina de fabricação, o sistema pode ser empregado no treinamento dos operadores e na realização das tarefas a serem desempenhadas pelos mesmos. Este *software* gera ainda relatórios ergonômicos, permitindo a predição dos efeitos físicos sofridos por cada trabalhador na realização de tais tarefas (Dietz, 1995).

Na linha de *softwares* de realidade virtual especialistas, ainda podemos citar: o Flexman Simulation, o ADAMS/Car, VisMockUp e o VEDAM.

O *software* Flexman Simulation desenvolvido pela Lockheed P.A. Research Laboratories (Palo Alto, CA) é utilizado para otimizar sistemas flexíveis de manufatura (*Flexible Manufacturing System - FMS*). Ele permite mapear operações paralelas, especificar quais interações existirão periodicamente e posteriormente armazena informações do sistema numa base de dados temporal. Utilizando avançadas tecnologias computacionais, o *software* simula minuto a minuto as operações de um FMS realizadas sob diversas condições. O usuário tem acesso a modificação de algumas variáveis de manufatura como por exemplo: *setup* do chão de fábrica, *setup* das ferramentas e definição e seleção de tarefas (Owen, 1994a).

O *software* ADAMS/Car permite que engenheiros criem modelos computacionais de veículos com exata representação de partes envolvidas na montagem como: suspensão, motor, mecanismos de direção, tração, freios e outros sistemas de controle. Os engenheiros são capazes de testar e validar o modelo virtual em diversas condições de estradas, para poderem avaliar precisamente algumas características como: qualidade da viagem, segurança do veículo e parâmetros de performance do *design* (Teresko, 1995).

O VIsMockUp desenvolvido pela empresa Engineering Animation Inc. (Ames, Iowa) permite aos engenheiros montarem várias peças de um conjunto, por exemplo, a suspensão de um veículo e depois posicioná-las em situações extremas para fazer um estudo das possíveis interferências. É permitido identificar os lugares que apresentaram problemas, e posteriormente assinalá-los, para

acrescentar comentários que irão auxiliar num futuro reprojeto do conjunto. O *software* de prototipação virtual também permite fazer medidas e modificações nos atributos das peças (Dvorak, 1997).

O VEDAM é um sistema de desenvolvimento de ambientes virtuais para *design* e manufatura (Exhibitors, 1997). O VEDAM utiliza parâmetros vindo de sistemas CAD/CAM, como os fornecidos pelo *software* Pro/Engineer. O *software* consiste de quatro ambientes virtuais: de modelamento de máquina, de projeto, de montagem e de manufatura. As interfaces do VEDAM com os sistemas CAD são feitos por meio de um integrador de dados que permite um fluxo bidirecional de dados entre ambos.

O *modelamento de máquina* é um ambiente não imersivo utilizado para criação de máquinas-ferramenta encontradas no chão de fábrica, como por exemplo: fresadoras e furadeiras (figura 2.5). Não somente a geometria pode ser criada como também o funcionamento das máquinas podem ser simulados. O projeto virtual é utilizado para auxiliar na concepção de partes tridimensionais do ambiente. No *ambiente de montagem virtual* é feita a montagem das partes referentes ao ambiente que está sendo desenvolvido e no *ambiente de manufatura virtual* são testados programas de comando numérico nas máquinas pré-definidas pelo sistema (Angster & Jayaram, 1997).

Figura 2.5 - *Software* para desenvolvimento de ambientes virtuais (Exhibitors, 1997).

2.2 SISTEMAS DE INTERTRAVAMENTO

Equipamentos que apresentam algum tipo de risco ao usuário ou a terceiros, devem possuir dispositivos de segurança que protejam os usuários contra estes riscos. Estes tipos de dispositivos são bastante comuns no cotidiano, embora possam na maioria das vezes passar despercebidos. É o caso das portas dos automóveis que possuem travas para evitar que abram-se repentinamente; ou as armas de fogo que possuem travas para evitar que disparem acidentalmente; ou até mesmo dispositivos de controle de nível que evitam que as caixas d'água residenciais transbordem quando o nível de água atinge um certo limite.

Estes sistemas citados acima são de certa forma muito simples, onde uma única trava propõe-se a garantir a segurança desejada de maneira satisfatória, o que não ocorre em sistemas mais complexos, onde a quantidade de variáveis consideradas é bem maior, e as situações de risco não são estáticas, isto é, dependendo do estado do conjunto total das variáveis consideradas, onde uma determinada situação deverá ou não ser inabilitada de forma a garantir a segurança do conjunto. Além disso, de acordo com as mudanças que venham a ocorrer no estado do conjunto de variáveis acima mencionado, uma condição que até agora era proibitiva por razões de segurança, pode vir a tornar-se indispensável ao funcionamento ou mesmo à integridade do sistema como um todo (Lobão, 1995).

Nos sistemas mais complexos não basta a colocação de uma simples trava para habilitar ou desabilitar algumas funções no equipamento, ou seja, se faz necessário a criação de um sistema dinâmico e inteligente que realize as tarefas de habilitar ou desabilitar certas funções, levando em consideração as condições de interdependência do conjunto das variáveis presentes neste equipamento.

Estes sistemas devem fazer o monitoramento em tempo real dos diversos componentes do equipamento e computar o conjunto das informações recebidas. Se for detectada uma situação que apresente riscos para o operador, para as instalações ou para o meio ambiente, deve-se tomar medidas que eliminem, ou na pior hipótese, que atenuem estes riscos, garantindo a continuidade do processo, ou então que o mesmo seja interrompido, porém de uma forma segura (Lobão & Porto, 1995).

Estes sistemas que realizam o travamento de algumas funções de um equipamento são comumente chamados de Sistemas de Intertravamento. Dessa

forma, com o enfoque da segurança, define-se sistema de intertravamento como um sistema que detecta condições fora da área preestabelecida de trabalho ou seqüências impróprias, e aborta a ação em andamento ou então iniciar as ações corretivas necessárias (Dombrowski *et al.*, 1991).

Nestes sistemas, procura-se prever as possíveis falhas e os potenciais incidentes e acidentes decorrentes do comportamento inadequado de uma das variáveis monitoradas nas instalações, seja devido a um problema relacionado a uma das máquinas ou um dos elementos do sistema, ou ainda, devido a falta de habilidade dos operadores ou a intervenção não autorizada de pessoas estranhas ao ambiente considerado. Deve-se então, estabelecer um sistema de *software* e/ou *hardware* que habilite ou iniba o funcionamento de alguns dos componentes ou mesmo do sistema como um todo, porém de forma que a parada dos mesmos ocorra em um estado seguro (livre de riscos e danos) para as instalações, para os operadores e para o meio ambiente.

O intertravamento, nos sistemas de manufatura, são definidos como sistemas que controlam a seqüência do bom funcionamento de todos os seus integrantes funcionais (sistemas de transformação e sistemas de manuseio e transporte) dentro dos níveis de controle, preservando a integridade dos próprios sistemas e do meio ambiente, e a saúde e integridade física dos operadores. O intertravamento acompanha os níveis de controle, ou seja, está localizado nas estruturas de controle dos sistemas de manufatura fazendo parte do sistema como um todo e individualmente nos seus componentes (Kato, 1994).

Uma das razões para o desenvolvimento de projetos de intertravamento é a eliminação de problemas decorrente de falhas de natureza humana, ou quando os operadores são submetidos à condições de trabalho inadequadas, ocasionando a perda de seus reflexos e a capacidade de resposta imediata em situações de emergência (Ball & Grhun, 1991).

Os sistemas de intertravamento são utilizados em diversas áreas de aplicação industrial, tais como: elétrica, mecânica, química, materiais, nucleares, etc. Alguns exemplos podem ser citados, tais como:

- Sistema de controle integrado com *workstations* para um FMS (*Flexible Manufacturing System*). A estrutura de controle é dividida em vários estágios,

reagindo às condições locais segundo sua programação de intertravamentos (Komoda, *et al.*, 1984).

- Sistema de controle, onde o *software* de controle é baseado em regras (intertravamento) para a determinação de suas ações, usando uma lógica *If-Then* quando os eventos ocorrem. As ações de controle selecionadas são então levadas para o sistema controlador (Tashiro *et al.*, 1985).
- Controle de uma máquina-ferramenta para confecção de placas de circuito impresso (Leonov & Medvedev, 1987).
- Sistema de controle de nível de aquecimento de geradores (Kugler, 1990).
- Sistema de controle da qualidade do ar em instalações que manipulam gases tóxicos (Biswas & Morkoc, 1991).
- Sistema para tomada de decisão em tempo real usando redes neurais, simulação e algoritmos genéticos. Os controladores inteligentes baseados em redes neurais são responsáveis por intertravar as seqüências e opções de produção (Jones & Rabelo, 1992).
- Intertravamento de máquinas-ferramenta para a integração de centros de usinagem em ambiente de manufatura flexível, com ênfase na modularidade, integração e flexibilidade do sistema (Kato, 1994).
- Sistema de intertravamento para torno CNC, em ambiente de manufatura flexível integrada por computadores (Lobão, 1995).

2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE INTERTRAVAMENTO

Uma forma de classificar os sistemas de intertravamento foi apresentada por Miyagi (1993), na qual propõe-se a divisão em sete subgrupos, de acordo com a função desempenhada pelos mesmos:

- Intertravamento de partida: contém as condições que devem ser satisfeitas no instante de partida do sistema.
- Intertravamento de funcionamento: contém as condições que devem ser observadas pelo sistema durante o seu funcionamento.
- Intertravamento de seqüência: estabelece as condições de habilitação de ações entre equipamentos ligados em série. Não permite que nenhuma ação futura ocorra enquanto o estado presente não for executado.

- Intertravamentos temporizados: neste caso, determina-se um intervalo de tempo para o início do funcionamento de determinado equipamento. Por exemplo, no ato de inversão do sentido de rotação de um motor.
- Intertravamento de não simultaneidade: evita que certos estados ocorram simultaneamente.
- Intertravamento de processo: somente permitirá a execução de uma ação se todas as ações e condições das etapas anteriores forem completamente executadas e todos os preparativos para a próxima etapa estiverem satisfeitos.

Outra forma de classificação é de acordo com o processo industrial por eles controlados (Rozenfeld, 1992). Dessa forma temos:

- Sistemas de intertravamento de processos contínuos, aplicados em indústrias de processo de produção contínua. Vários trabalhos podem ser encontrados neste ramo da indústria, onde a instrumentação é predominante, o intertravamento atua no controle de plantas industriais, onde há o envolvimento do uso de válvulas, painéis, escotilhas de saída, etc. Dessa forma o intertravamento pode realizar o controle de temperatura, pressão, vazão, etc.
- Sistemas de intertravamento de processos discretos, aplicados em indústrias de processo de produção discreta. Os sistemas de manufatura discretos caracterizam-se pela produção de produtos individualizados, cuja variedade e tamanho dos lotes dependem do tipo do produto, das instalações industriais e da demanda. Em geral, o processo de manufatura consiste de diversas transformações sobre a matéria prima até a obtenção do produto final, dentro das especificações geométricas e de qualidade obedecidas (Kunzle, 1990). Dessa forma os sistemas de intertravamento aplicados nesta área começam a ter um relativo aumento com o advento de novas tecnologias de manufatura, principalmente com a necessidade de integração dos ambientes de manufatura, entre si, ou com outros departamentos (Kato, 1994).

A segurança, seja em processo contínuo ou discreto, deve estar presente no sistema como um fator de primária importância. No entanto, em processos contínuos, esta questão toma um contexto especial devido o alto risco envolvido,

principalmente em indústrias químicas ou nucleares. Dessa forma, roteiros de estudos de problemas operacionais que podem ocorrer durante a operação e funcionamento do sistema são aplicados (Freeman, 1989), bem como técnicas de análise de risco e operabilidade, o denominado HAZOP (*Hazard and Operability Analysis*) (Kletz, 1985).

2.2.2 CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE INTERTRAVAMENTO

Sistemas de intertravamento geralmente são bastante complexos e implicam em despesas adicionais na implantação de um projeto. Dessa forma, é importante que se coloque no início de seu desenvolvimento a questão da sua real necessidade de implantação, e qual o nível de profundidade exato requerido do sistema. De acordo com Chandra & Verma (1991), se a ausência de sistemas de monitoramento e proteção automáticos podem trazer grandes prejuízos a uma empresa com indenizações, manutenção, reparos e reposições; também um nível excessivo e super dimensionado de proteção podem, além de tornar o sistema mais complexo, dificultando o trabalho de manutenção e o entendimento do mesmo, diminuir a sua confiabilidade, ao contrário do que se poderia supor.

O super dimensionamento do sistema de segurança da empresa poderá também encarecer demais os seus produtos, o que implicará numa queda da competitividade da mesma frente aos seus concorrentes e a conseqüente perda de fatias de mercado (Lobão & Porto, 1995).

A despeito do aumento dos gastos na implantação de um projeto, devido ao emprego de sistemas de intertravamento, há que se considerar que as unidades industriais ou mesmo laboratórios de pesquisa trazem inseridos em suas instalações uma série de riscos, sejam estes relativos ao bom funcionamento dos equipamentos, à integridade do meio ambiente ou ainda, à saúde e integridade física dos operadores. É importante frisar também que uma forma de procurar amenizar ou mesmo eliminar estes problemas é recorrer a sistemas de intertravamento automáticos pois apresentam maior grau de confiabilidade e facilidade de reparação (Balls & Grhun, 1991). Sendo assim, deve-se procurar um ponto de equilíbrio entre o aumento dos gastos com sistemas de intertravamento e a obtenção do índice de confiabilidade e segurança da empresa.

2.2.3 REQUISITOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE INTERTRAVAMENTO

No desenvolvimento de um sistema de intertravamento um projetista pode-se valer de uma grande variedade de soluções, limitadas apenas pela própria criatividade e experiência. Cada sistema deve ser encarado como um caso inédito, visto que dificilmente serão encontrados dois sistemas idênticos, pois o número de variáveis envolvidas é muito grande e sem nenhuma relação de interdependência. Sendo assim, para cada projeto deve ser encontrada uma solução particular (Lobão *et al.*, 1995).

No entanto, um recurso muito poderoso sempre a mão dos engenheiros e projetistas de qualquer tipo de sistema, é a modularidade. Partindo-se da combinação de módulos básicos pode-se chegar a uma grande variedade de soluções para praticamente qualquer tipo de sistema. Para o desenvolvimento de projetos de sistema de intertravamento também existem alguns circuitos clássicos e básicos já bastante conhecidos e de comprovada eficiência que, quando combinados podem chegar a soluções bem complexas (Lobão, 1995).

Durante o projeto de um sistema de intertravamento destinado ao monitoramento de uma instalação ou equipamento, uma série de considerações devem ser feitas no início do processo, para garantir que o sistema alcançará a confiabilidade desejada. Algumas destas considerações, embora possam parecer muitas vezes bastante óbvias, em muitos casos escapam à percepção dos projetistas, e outras não tão óbvias só serão sentidas por projetistas mais experientes (Lobão & Porto, 1995). É importante salientar que a experiência só é alcançada depois de alguns erros, o que pode custar muito tempo e/ou dinheiro durante o desenvolvimento e implantação do projeto desejado (Porto, 1990).

Os intertravamentos podem ser implementados levando-se em conta as diversas variáveis que possam influenciar o bom funcionamento dos equipamentos, evitando-se condições que possam prejudicar ou interromper o funcionamento do sistema como um todo. A seguir são apresentados alguns procedimentos de implementação para novos sistemas de intertravamento de forma a atingir os índices desejados de confiabilidade:

- Chave geral de segurança (Paques, 1991);
- Monitoramento de falhas internas (Sikora & Jones, 1991);

- Adoção de uma lógica de segurança (Paques, 1991);
- Adaptação as condições do ambiente industrial (Maia, 1990);
- *Set* de condições iniciais seguras (Paques, 1991);
- Funções de *watch dog timer* (Lobão, 1995);
- Redundância de fontes de alimentação (Paques, 1991);
- Acesso restrito a modificações de *software* (Paques, 1991);
- Controle da documentação do sistema (Maia, 1990);
- Desenvolvimento modular da programação (Bianchi, 1989);
- Redundância de componentes críticos (Chandra & Verma, 1991);
- Separação dos sistemas de intertravamento dos outros sistemas eletrônicos (Dombrowski *et al.*, 1991).

Muitas vezes algumas destas medidas não serão estritamente necessárias na implantação de determinados projetos. O que ditará a necessidade de sua aplicação ou não, será o grau de complexidade do projeto em questão, as dimensões das conseqüências que determinadas falhas poderão trazer, a quantidade de recursos financeiros e materiais a disposição dos projetistas, e a experiência dos mesmos (Lobão & Porto, 1995).

No decorrer do processo de desenvolvimento o projetista deve ao seu entender, decidir quais destes passos deverão ser abordados ou não de acordo com alguns critérios estabelecidos, como por exemplo:

- o grau das conseqüências de uma possível falha no sistema;
- tempo disponível para finalização do projeto;
- a viabilização financeira;
- e os recursos técnicos disponíveis.

Vários autores (Leonardo, 1981; Cranmer, 1991; Natale, 1989; Maia, 1991; Sikora & Jones, 1991; Lobão *et al.*, 1995) sugerem em seus trabalhos, roteiros e métodos para o desenvolvimento de sistemas de intertravamento. Porém, é importante salientar que em sistemas discretos, os trabalhos relacionados atingem com maior intensidade, a integração do sistema flexível de manufatura como um todo, ou localizado em um certo nível de controle. Poucos trabalhos detalham a parte de

intertravamento dos equipamentos, por se tratar de uma função de responsabilidade do fabricante e sua subsequente detenção de tecnologia (Kato, 1994).

3. FERRAMENTA DE CONSTRUÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS

3.1 WORLD UP : VISÃO GERAL

World Up (WU) faz parte de uma nova geração de ferramentas 3D para simulação gráfica em tempo real. Ele combina várias tecnologia dentro de um ambiente integrado que permite ao usuário desenvolver e construir simulações complexas (World Up, 1996). Com o World Up , o usuário cria simulações visuais nos quais os objetos gráficos possuem propriedades e comportamentos reais. Uma vez criada a simulação, o usuário pode navegar dentro do universo virtual e controlar estes objetos por meio de dispositivos como o *mouse* ou *spaceball*. O usuário pode ver a simulação em um monitor comum ou usando um dispositivo de visão estéreo, tal como um *head-mounted display* (HMD).

O *software* possui uma interface gráfica que permite criar objetos geométricos por meio de caixas de diálogo ou importá-los de outros *softwares* de construção gráfica (AutoCad, 3D Studio, ProEngineer, etc). O *software* também dispõe do *BasicScript*, uma linguagem similar ao Visual Basic. Nestes *scripts* estão contidos os códigos do comportamento dos objetos, eles são anexados a cada objeto gráfico existente no universo virtual.

Com o WU o usuário pode desenvolver um protótipo em um tempo menor do que utilizando bibliotecas tradicionais de desenvolvimento. Simulações que levavam semanas para serem construídas podem ser realizadas em questões de horas (World Up, 1996).

3.1.1 JUSTIFICATIVAS DO USO

A seguir são apresentadas algumas justificativas para o uso desta ferramenta:

- O WU é um *software* com uma interface baseada em ferramentas visuais, como: Visual C e Visual Basic. Isto facilita sua manipulação, principalmente para aqueles que possuem pouca ou nenhuma experiência com ambientes virtuais.
- O WU é um *software* mais acessível economicamente em relação aos seus concorrentes, guardadas as devidas proporções com relação as características técnicas oferecidas.
- Por ele possuir tanto versões para plataformas Win 95/NT como para Silicon Graphics, Suns e outros modelos de sistemas operacionais, permite migrar o arquivo fonte entre os diversos sistemas, bastando para isto compilar o arquivo fonte usando a versão do WU desejado.
- Possui suporte para disponibilizar o universo virtual desenvolvido, na Internet e em outros microcomputadores.
- Permite uma configuração de *hardware* mais acessível financeiramente, não obrigando o usuário a utilizar *workstations* para não perder a performance dos ambientes virtuais desenvolvidos (microprocessador, aceleradora de vídeo, memória interna, etc).
- Suporta objetos gráficos criados nos formatos: VRML, 3D Studio, AutoCad, ProEngineer e MultiGen/ModelGen.
- Suporta vários dispositivos de visão, som, navegação e rastreamento existentes no mercado. Isto permite uma maior flexibilidade no momento de se fazer alguma alteração com relação ao fabricante ou ao tipo de dispositivo que se deseja empregar.

3.2 ESTRUTURA DO SOFTWARE

O World Up é um *software* “orientado” a objeto, isto é, o programa é visto como sendo uma coleção de objetos que seguem uma hierarquização com relação as suas propriedades e comportamentos. Estes objetos são coleções de estruturas e rotinas que interagem entre si. Objetos são categorizados em tipos. Cada tipo de objeto tem sua própria configuração de propriedades que definem com este se parece e como se comporta.

É importante salientar que no decorrer deste *overview*, os tipos serão chamados de classes, isto para facilitar a compreensão do conceito que o termo define, pois

estamos acostumados a nos referir a classes quando falamos em linguagens de programação orientada objeto, como por exemplo o Borland C++.

O pacote World Up é composto por três módulos diferentes:

- **World Up PLAYER:** Trata-se de apenas um programa que roda os arquivos de simulação criados no World Up , não permite que o “Universo” seja editado, portanto processa mais rápido a simulação, possibilita também a distribuição do modelo criado.
- **World Up MODELER:** É um editor de geometria tridimensional, de materiais e otimizador geométrico. Possui certas ferramentas para criação de objetos, como por exemplo:
 - ⇒ Criação e edição vértice à vértice.
 - ⇒ Criação por sólidos de revolução e extrusão.
 - ⇒ Biblioteca de geometrias primitivas contendo: Paralelepípedos, Esferas e Cilindros.
 - ⇒ Oferece também ferramenta para otimização manual da geometria a partir da diminuição do número de faces de um modelo através da união de superfícies coplanares.
 - ⇒ Criação de materiais a serem adicionados aos modelos a partir de controle de cor pelos sistemas RGB e HLS, e também importação de *bitmaps* no formato targa (.TGA) para serem utilizados como mapas de textura dos materiais.
 - ⇒ Possibilita importação de modelos nos formatos .BFF, .3DS, .WRL, .FLT, .DXF, .OBJ, .GEO, .SLP.
 - ⇒ Apesar deste módulo possuir ferramentas básicas para a criação de geometria em 3D, sua utilização para um trabalho de porte complexo se torna praticamente inviável, tanto pela limitação das ferramentas disponíveis, como principalmente pelo modo de utilização destas, que não oferece um dinamismo suficiente para o modelador trabalhar de modo eficiente.
- **World Up:** Editor gráfico de realidade virtual. É formado por quatro janelas principais.
 - ⇒ *Properties Browser*
 - ⇒ *Scene Graph Browser*
 - ⇒ *Viewpoint's*

⇒ *Type Browser*

No *PROPERTIES BROWSER* (figura 3.1) podemos visualizar, modificar e criar propriedades para as classes e os objetos, estas são do tipo: SYSTEM, CONSTRUCTION, USER, DATABASE e DYNAMIC. As propriedades criadas pelo usuário entram necessariamente na classe USER. As propriedades mostradas em vermelho não podem ser modificadas pelo usuário.

Figura 3.1 - Janela do *Properties Browser*.

O *SCENE GRAPH BROWSER* (figura 3.2) exibe a hierarquia dos elementos que compõe a cena (*Node objects*), basicamente formado por: objetos, luzes e grupos. A caixa de visualização mostra tanto a seqüência de *rendering*, como as relações de parentescos entre os elementos em questão (pais e filhos). Um ou mais objetos podem ser filhos de um outro, fazendo com que por exemplo, quando ocorrer qualquer mudança espacial no tronco do grupo, todos seus filhos acompanham esta mudança, seja ela uma translação ou rotação.

Figura 3.2 - Janela do *Scene Graph Browser*.

VIEWPOINT's (figura 3.3) são janelas de *rendering* em tempo real, por ela podemos explorar nosso universo, selecionar, mover e rotacionar os objetos.

Figura 3.3 - Janela do *Viewpoint*.

O *TYPE BROWSER* (figura 3.4) é uma interface visual onde vemos as classes e os objetos que compõe nosso universo virtual, mostrando a hierarquia em que são formados. O *Type Browser* pode ser diretamente manipulado com o intuito de se criar classes, objetos ou selecionar qualquer um desses elementos. Nesta interface gráfica as classes predispostas são representadas por bolas verdes, as criadas pelo usuário, como uma bola verde com um sinal de "+" no seu interior, e os objetos propriamente ditos são representados por bolas cor de vinho. No próximo item são descritas cada classe *default* do programa.

Uma outra janela que compõe o módulo *World Up* é a *STATUS WINDOWS*, que fornece as mensagens de linhas de comando que informam sobre uma ação ou avisam sobre um erro. Porém, esta janela só é visível quando se executa o *software* em uma máquina com monitor de 17" ou superior.

Figura 3.4 - Visão do *Type Browser* com suas classes pré-definidas.

3.2.1 CLASSES PADRÕES DO APLICATIVO

Na figura 3.4 são apresentadas as diversas classes pré-definidas pelo *software*.

- VBase - É a classe pai para todas as outras classes.
- Database - Quando se criam objetos a partir da base de dados, aparecem no *Type Browser*, esferas que representam a classe e os objetos.
- Device - É a classe para todos tipos de dispositivos de entrada e saída, convencionais ou não, como *trackballs*, *spaceballs*, *datagloves* e HMD's.
- MaterialTable - Biblioteca de materiais e cores para os objetos gráficos.
- MotionLink - Classe que permite criar links entre objetos e *viewpoints* (ou sensores).

Figura 3.5 - Ramificação principal para criação de objetos.

- Node - Esta classe é utilizada para se criar objetos gráfico, ou *links* para manipular estes objetos gráficos. O *Scene Graph* contém apenas objetos do tipo *Node*.
 - ♦ Fog - Literalmente neblina, "filho" de *Node* possui a função gráfica de obscurecer objetos segundo uma razão linear de distância através de uma cor preestabelecida.
 - ♦ Movable - É a classe que permite aos objetos serem movidos, selecionados e rotacionados.
 - ◇ Geometry - É a classe para grupos de polígonos (figura 3.5).
 - ⇒ Block - Classe para se criar objetos com forma retangular.
 - ⇒ Cylinder - Classe para se criar objetos com forma cilíndrica.
 - ⇒ Imported - Classe para se criar objetos a partir de geometria importada, aceitando os mesmos formatos que o World Up MODELER, porém os objetos importados não podem ser modificados, isto é, possuem um tamanho fixo, e não podem ter vértices adicionados, subtraídos ou movidos. Para as outras classes filhas de *geometry* estas possibilidades são verdadeiras.
 - ⇒ Sphere - Classe para se criar objetos esféricos.
 - ⇒ Text3d - Classe para a criação de texto tridimensional.
 - ◇ Group - É a classe utilizada para se criar objetos que possuam objetos filhos.
 - ⇒ Switcher - É utilizado para criar um objeto do tipo grupo que mostrará na *viewpoint* apenas um de seus objetos filhos, nenhum destes, ou todos estes.
 - ⇒ Level of Detail (LOD) - Ferramenta bem conhecida em módulos de *rendering* em tempo real. Faz com que objetos só sejam atualizados na

viewpoint quando estão a uma certa proximidade do observador, impedindo que objetos muito distantes sejam atualizados sem necessidade. Isto aumenta muito a velocidade da simulação.

◊ Light - Classe que comporta as luzes. Todas as luzes possuem pelo menos controle de intensidade e cor.

⇒ DirectedLight - Luz de raios paralelos, exemplo: Sol.

⇒ PointLight - Luz difusa, exemplo: Lâmpada incandescente.

⇒ SpotLight - Luz direcional, exemplo: Farol de carro.

◆ Root - É a classe para se criar o objeto raiz do *Scene Graph*, o primeiro nó do *Scene Graph* sempre é o objeto raiz. Pode existir apenas um objeto raiz.

- Path - São caminhos que guardam chaves temporais de posição e rotação, pode tanto ser utilizado para se "dirigir" as câmeras, chamadas aqui de *viewpoints*, como objetos gráficos.
- Query - Quando se cria um objeto, aparecem no *Type Browser* os respectivos sinalizadores, assim como é feito através da classe *Database*.
- Script - Os objetos *scripts* são programas ou rotinas que possuem a extensão ".EBS". São eles que dão comportamento aos objetos no World Up .
- Sound - Os Sons podem ser digitalizados (.WAV) ou emulados (MIDI), só se tornam tridimensionais se estiverem ligados (*link*) a algum "*node*".
- Universe - Quando se inicia o World Up , o ambiente virtual é criado automaticamente. Só existe um universo de cada vez.
- Viewpoint - Câmera, define a posição e orientação a partir das quais o universo é projetado para uma tela 2D, isto é, a tela de *rendering*.
- Window - é um espaço da tela do micro na qual podemos exibir as informações gráficas criadas no ambiente virtual.
 - ◆ DevWindow - Subclasse de *Window*, usada para definir janelas de desenvolvimento.

3.3 PARECERES INICIAIS SOBRE A PARTE GRÁFICA

Existe uma similaridade muito grande entre os *softwares* para criação de ambientes em realidade virtual e os *softwares* para animação gráfica 3D, como o 3D

Studio, SoftImage, LightWave, etc. Tanto na realidade virtual como na animação gráfica 3D, o elemento principal é o objeto e o seu comportamento no espaço-tempo.

Apesar de existir a possibilidade de se modelar por programação o comportamento dos objetos em programas como o 3D Studio 4 e Max, não se pode interagir com estes à medida que sofrem *rendering* (atualização da textura e da geometria do objeto). Os programas de animação se propõe a produzir imagens com alta qualidade e não interativas. Portanto, o *render* é feito depois de definidas as chaves temporais para os objetos. Já nos programas de realidade virtual, o objetivo é a interatividade, portanto a entrada do usuário influencia diretamente na configuração do ambiente 3D, e em tempo real, por isso, apesar dos objetos que compõe o ambiente virtual poderem já possuir *scripts* que definam o seu comportamento, estes podem ser modificados durante o processo de *rendering*.

O sistema gráfico utilizado pelo World Up é um sistema de quatro dimensões, x, y, z e o vetor tempo, que é medido a partir de sua unidade mínima, um quadro (*frame*). Cada quadro é um ciclo completo de *render*, não há um padrão de tempo para que um quadro seja atualizado, isto depende apenas da capacidade de processamento da máquina. Neste trabalho, a taxa de *rendering* variou entre 0,5 e 19 quadros por segundo (*frame per second* - fps), enquanto uma taxa razoável é em torno de 30 quadros por segundo, isto em função da capacidade do ser humano de retenção de imagem, que é de 1/24 s.

Render é o processo completo no qual os sólidos são projetados e as superfícies são texturizadas para uma tela bidimensional, neste processo são feitos também os cálculos de incidência de luz proveniente das fontes luminosas do ambiente virtual sobre esses sólidos (Elliott & Miller, 1995). O tempo de *rendering* é em função da quantidade de faces que terão de ser processadas, da quantidade e tipo das fontes luminosas, dos cálculos de reflexão, radiosidade, projeção de sombras e também da quantidade de superfícies texturizadas, e do tamanho dos mapas de textura em *bytes*.

O World Up possui dois sistemas de coordenadas, o de coordenadas locais, ou seja para cada objeto, e um sistema de coordenadas globais como está demonstrado na figura 3.6 .

Figura 3.6 - Sistema de coordenadas globais (Sense8, 1996).

Como o World Up trabalha com um ambiente virtual espaço-temporal, todos os elementos que compõem este ambiente são atualizados em tempo real, possibilitando assim criar um ambiente interativo. É importante notar que esta interatividade existe apenas para os objetos tridimensionais, não se pode simular uma tela de um computador, onde por exemplo, pode-se escrever em um editor de texto. No que se refere a parte bidimensional, em termos de estrutura do ambiente do World Up, a única forma de trabalho é por meio de *bitmaps* ou arquivos animados como os ".AVI", que podem ser utilizados como mapas de textura, porém estes *bitmaps* mesmo que sejam animados não são interativos.

Esta questão foi levantada com a finalidade de expor a limitação do *software* em relação a entrada de dados via teclado, impedindo por exemplo que se programe o torno CNC durante a simulação.

4. PROTOTIPAÇÃO DE UM TORNO CNC

4.1 VISÃO GERAL DO PROJETO PRÁTICO

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um procedimento para a implementação de um protótipo de um torno CNC utilizando realidade virtual. Enfocando principalmente, seu sistema de intertravamento (funcionalidade) e seu modelo geométrico (*design* físico).

O intertravamento proposto será acionado à medida que se for utilizando o equipamento, isto é, ao se abrir a porta do torno CNC durante uma usinagem ou quando ocorrer um erro ocasionado pela programação CN, por exemplo. Isto permitirá ao usuário verificar qual o procedimento adotado pela máquina de acordo com a falha que ocasionou o erro. Muitos intertravamentos são acionados enquanto uma peça está sendo torneada, dessa forma, o projeto deverá permitir também a visualização e interação do funcionamento deste processo, bem como a troca das ferramentas existentes no porta-ferramentas e a animação do surgimento e retirada de cavacos, e do líquido refrigerante. Porém existem intertravamentos para aquelas situações onde as falhas ocorrem devido a problemas de *hardware*, é o caso das falhas: do freio do eixo-árvore, do sistema de alimentação de energia elétrica e dos sistemas hidráulico e pneumático do torno. Para estes casos é proposto um gerador de falhas de intertravamento.

Este projeto além de auxiliar no desenvolvimento de um protótipo do equipamento em questão, também permitirá o treinamento de operadores para a manipulação desta máquina, sem os gastos com ferramentas e matéria-prima normalmente usados, sem os riscos de acidentes de trabalho e ainda com a possibilidade de treinar ao mesmo tempo vários operadores sem aumentar os custos finais.

O projeto utilizará como dispositivo de navegação e interação com o ambiente virtual um mouse, e como dispositivo de visualização um monitor de 17" (*Cathode Ray Tube*) auxiliado por uma placa gráfica que permite aceleração na construção de polígonos.

Não foi utilizado um *Head-Mounted Display* (HMD) porque estes dispositivos encontrados hoje no mercado, em sua grande maioria são criados para a área de entretenimento, por isso possuem uma baixa resolução de vídeo (640x480 - VGA) o que dificulta para o usuário, a visualização de dados alfanuméricos com clareza, dessa forma optou-se por utilizar o monitor que possui uma resolução muito maior (1024x840 - SVGA). Isto favorece o enriquecimento das imagens com detalhes da estrutura geométrica do torno e da mutação que peça sofrerá no momento da sua usinagem. É certo que existem HMD's com uma resolução bem maior do que o citado acima, porém o preço destes equipamentos no momento é inviável para o projeto.

Devido a isto, este trabalho pode ser classificado quanto ao sentimento de presença, como não imersivo. Pode-se afirmar também que o projeto permitirá uma sessão de realidade virtual interativa, isto é, proporcionará uma exploração dirigida pelo usuário através do ambiente 3D e as entidades virtuais existentes neste ambiente responderão e reagirão de acordo com às ações do participante.

Foi utilizado para implementação do intertravamento do torno CNC, o modelo desenvolvido por Lobão (1995) em sua dissertação de mestrado. Este modelo teve seus módulos de intertravamento simulados e validados por diagramas lógicos e Redes de Petri.

4.1.1 ESPECIFICAÇÕES DO TORNO CNC VIRTUAL

O torno que será desenvolvido no ambiente virtual será de dois eixos (X e Z) comandados por um CNC (Comando Numérico Computadorizado) virtual. Ele possuirá um sistema de intertravamento controlado por um controlador lógico programável (CLP) virtual, este sistema será responsável por evitar que determinadas operações sejam realizadas sem que certas pré-condições estejam satisfeitas, ou ainda, no caso de situações que tragam riscos ao operador ou ao equipamento durante a execução da operação. Se ocorrer alguma dessas situações,

o intertravamento deverá abortá-la imediatamente de forma que a parada do sistema se dê em um estado seguro (*fail safe mode*).

O torno a ser monitorado pelo sistema de intertravamento possuirá como principais características:

- Um porta-ferramentas com capacidade de armazenamento de até 4 ferramentas diferentes para usinagem das peças. Não haverá a substituição de ferramentas fora do porta-ferramentas.
- Movimento automático do contraponto comandado manualmente ou por programação.
- Porta de alimentação do torno com movimentos automáticos de abertura e fechamento comandado manualmente ou por programação.
- Transportador de cavacos comandado manualmente ou por programação.
- Acionamento do líquido refrigerante comandado manualmente ou por programação.
- O usuário não terá a capacidade de alterar o programa CN pelo painel do torno, isto devido à dificuldade que o *software* de realidade virtual possui em operar com dados alfanuméricos no momento em que está atualizando (*rendering*) os objetos gráficos.
- O torno possuirá duas velocidades específicas para o porta-ferramentas: marcha lenta para usinagem das peças e marcha rápida para aproximação da ferramenta na peça.
- O torno possuirá apenas uma velocidade de rotação do eixo-árvore.
- Existirá um gerador de falhas para aquelas situações onde as falhas ocorrem devido a problemas de funcionamento de subsistemas do torno. É o caso de falhas como os do freio do eixo-árvore, do sistema de alimentação de energia elétrica, e dos sistemas hidráulico e pneumático do torno.

Como foi colocado anteriormente, o CNC realizará o controle e monitoramento do torno. Para isto ele possuirá uma estrutura modular constituída de duas partes. Uma delas realizará as funções de um controlador lógico programável (CLP) que é responsável pelo monitoramento do programa de usinagem CN, verificando quando cada um dos comandos pode ou não ser executado de acordo com as condições de intertravamento. Monitora não somente a usinagem (controle de

posição e velocidade dos eixos, giro do eixo árvore, etc), como também ações complementares (abertura e fechamento da porta e da placa, refrigeração da peça e avanço ou recuo do contraponto, etc).

O segundo módulo é o Comando Numérico propriamente dito. Ele é responsável pela interpretação dos comandos de programação na linguagem G, padrão EIA-244A e DIN 6983, e pelo controle da velocidade e do posicionamento dos eixos do torno. Ambos os módulos trocam dados entre si e com os demais módulos do sistema (interfaces homem/máquina e máquina/ferramenta). A interface homem/máquina possibilita a interação entre o operador e a máquina-ferramenta, isto é, por meio dela o operador pode interferir em tempo real no processo de usinagem ou introduzir os programas que serão posteriormente executados.

Com relação à interface máquina/ferramenta, são os elementos que atuam sobre a peça a ser trabalhada, transformando-a em sua geometria de acordo com os dados do programa que recebe da interface homem-máquina, seja diretamente do operador ou por meio de um programa de usinagem.

Na figura 4.1 é mostrado o sistema descrito anteriormente.

Figura 4.1 - O sistema CNC completo.

Com relação aos comandos de programação propostos para serem utilizados na programação do torno virtual, as funções G (função preparatória) obedecerão o padrão estabelecido pelo fabricante de tornos CNC, Traubomatic (Traubomatic, 1993) e as funções M (função miscelânea) obedecerão o padrão segundo norma DIN 6983 (Lobão, 1995).

Uma **função G** é usada para preparar a unidade de controle para as instruções que virão a seguir. As **funções M** são utilizadas para especificar certas funções auxiliares existentes na máquina que não dizem respeito ao controle de velocidade e a posição dos eixos X e Z (Gonçalves Filho, 1994).

A lista de comandos utilizados neste projeto, com sua respectivas funções são apresentados na tabela 4.1.

Comando	Função
G00	Avanço em marcha rápida, aproximação da ferramenta com velocidade superior a utilizada no torneamento da peça-obra
G01	Interpolação linear, a ferramenta descreve uma trajetória linear entre dois pontos descritos no programa
G26	Avanço em marcha rápida para o ponto de troca de ferramenta, recuo primeiramente na vertical e depois na horizontal; para caso de desbaste
G27	Avanço em marcha rápida para o ponto de troca de ferramenta, recuo primeiramente na horizontal e depois na vertical; para faceamento
G94	Avanço de usinagem em mm
G97	Rotação constante do eixo-árvore

Comando	Função
M05	Parada da árvore principal
M06	Troca da ferramenta
M08	Ligar líquido refrigerante
M09	Desligar líquido refrigerante
M26	Avanço do contraponto
M27	Recuo do contraponto
M30	Fim do programa e retorno a primeira sentença

Comando	Função
N	Introduz o número do comando
O	Serve para introduzir o número do programa (cabeçalho)
T	Seleciona a ferramenta no carro porta-ferramentas
X	Indica o deslocamento no eixo X da posição em que se encontra até a coordenada indicada, sob as condições especificadas pela função G
Z	Indica o deslocamento no eixo Z da posição em que se encontra até a coordenada indicada, sob as condições especificadas pela função G

Tabela 4.1 - Tabela dos comandos numéricos propostos.

4.2 ESPECIFICAÇÕES DO INTERTRAVAMENTO PROPOSTO

Toda a lógica de um Sistema de Intertravamento é armazenada em um módulo que opera ciclicamente em regime de *loop* contínuo, o chamado CLP (Controlador Lógico Programável), o qual realiza varreduras das entradas (falhas, sinais do operador, etc), verifica os comandos a serem executados seguindo as instruções do programa de usinagem, e de acordo com a lógica estabelecida, permite ou não a execução dos mesmos.

Os Sistemas de Intertravamento permitem uma certa interação com operador quando atuam. Isto ocorre através da interface homem-máquina (painel do torno). É por meio desta interface que o operador pode interferir em tempo real no processo de usinagem, introduzir os programas que serão executados, ou monitorar falhas internas que venham a ocorrer devido a este processo.

Um outro dispositivo importante para o Sistema de Intertravamento é o *watch dog timer*, ele serve para evitar que o programa em execução entre em *loop* infinito, também é responsável pela monitoração da execução de tarefas de alto risco.

Este dispositivo funciona da seguinte forma: ao inicializar uma operação, o CLP ativa um temporizador cuja a resposta será em função do tempo previamente estipulado para execução desta tarefa. Durante este atraso, o CLP deve receber uma ordem para desativar este temporizador. Se algo de errado ou inesperado ocorrer, e a execução da tarefa demorar mais que o previsto, o temporizador não será desativado e haverá a paralisação de todo o sistema. Posteriormente o CLP enviará um sinal para a chave geral de segurança, ativando o MODO DE EMERGÊNCIA.

A seguir serão descritos os blocos de comandos propostos, dando-se ênfase às falhas operacionais, possíveis acidentes e as condições de intertravamento.

4.2.1 ACIONAMENTO DO FREIO DO EIXO-ÁRVORE

O acionamento do freio do eixo-árvore ocorre mediante a um comando que faz com que o sistema hidráulico do freio comprima suas castanhas contra o disco de freio no eixo do motor, fazendo com que o giro do mesmo seja interrompido.

Falhas operacionais:

O freio não deve ser ativado com o eixo motor ligado, uma vez que o mesmo pode danificar o eixo do motor, o próprio motor, a peça em trabalho e até mesmo a ferramenta. Para que isto não ocorra, o sistema de intertravamento deve garantir que o acionamento do freio siga a rotina de desligar o motor do eixo-árvore, o líquido refrigerante, os avanços dos eixos X e Z, e o transportador de cavacos. Deve-se considerar um pequeno atraso para o acionamento do freio, afim de garantir que haja tempo para diminuição da inércia do eixo.

Possíveis acidentes:

Sistema acionado inadvertidamente, devido a causas como: interferências eletromagnéticas no comando do mesmo, erro de programação ou intervenção não autorizada de pessoas estranhas ao processo, tendo como conseqüências perda da peça e/ou ferramenta ou até mesmo danos ao motor.

Sistema de Intertravamento:

O comando para acionar o freio do eixo-árvore só será atendido se a seguinte condição de intertravamento for satisfeita:

- Motor do eixo-árvore desligado.

Quanto ao comando de desativar o freio (liberar o eixo-árvore), não há nenhum tipo de pré-condição, somente será acionado um *watch dog timer* para verificar a execução do comando. É importante salientar que existe, no programa de intertravamento, uma rotina de inicialização que realiza o comando de liberação do eixo sempre que o sistema é inicializado.

4.2.2 TROCA DE FERRAMENTA

Mediante o comando que aciona o servo-motor do *magazine* do carro porta-ferramentas, é posicionada a ferramenta exigida pelo programa G.

Falhas operacionais:

A torre porta-ferramenta pode estar próxima da peça de trabalho, isto pode ocasionar choques que danificariam a ferramenta ou a peça. Por segurança, a troca de ferramentas deve ocorrer com o carro porta-ferramentas afastado da peça. Caso isto não ocorra, será ativado o alarme correspondente no painel do torno.

Possíveis acidentes:

Ferramenta mal fixada no suporte ou ferramenta errada devido a falta de habilidade do operador. Problemas de encaixe entre a ferramenta e o suporte, ou erro de programação, podendo haver perda da peça ou ferramenta.

Sistema de Intertravamento:

O comando para acionar a troca de ferramenta só será atendido se a seguinte condição de intertravamento for satisfeita:

- Carro porta-ferramentas afastado.

4.2.3 PORTA DE ALIMENTAÇÃO DO TORNO

A porta do torno pode ser aberta ou fechada mediante comandos que atuam diretamente sobre o bloco lógico da porta de alimentação do torno, permitindo a atuação do cilindro pneumático que executa o movimento da porta.

Falhas operacionais:

O torno pode funcionar com a porta aberta, o que resulta em riscos para o operador e para os equipamentos em sua proximidade.

Possíveis acidentes:

O operador pode ficar preso ao eixo-árvore através da roupa ou acessórios, ou ainda, a peça pode escapar e ser arremessada em grande velocidade para fora do torno. Também, algum equipamento ou objeto pode cair sobre o transportador de cavacos ou mesmo alguém ser atingido pelo jato do líquido refrigerante.

Sistema de Intertravamento:

O comando para abrir a porta só será atendido se as seguintes condições de intertravamento forem satisfeitas:

- O eixo-árvore deve estar desligado;
- Eixos X e Z não acionados;
- Transportador de cavaco desligado;
- Líquido refrigerante desligado.

Quanto ao fechamento da porta não há nenhum tipo de pré-condição, somente será acionado um *watch dog timer* para verificar a execução do comando.

4.2.4 ACIONAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO DOS EIXOS X E Z

O acionamento do carro porta-ferramentas (avanços dos eixos X e Z) se dá mediante os comandos que atuam diretamente sobre o bloco lógico de movimentação do carro porta-ferramentas, acionando os fusos que produzem os movimentos da ferramenta, permitindo a realização da operação de usinagem.

Falhas operacionais:

Falhas de programação ou falta de habilidade do operador podem ocasionar em avanços da ferramenta além do ponto da peça ou até mesmo contra partes da máquina, como por exemplo, contra a placa de fixação fazendo-a com que se solte e seja arremessada. Também pode ocorrer do carro porta-ferramentas estar com a ferramenta errada ou mal fixada, ocasionando danos a peça ou mesmo a ferramenta. Existe a possibilidade que os fusos sejam movimentados com eixo-árvore desligado, acarretando em perda ou danos à peça. Pode ocorrer também a perda do ponto de referência o que ocasionaria na perda da ferramenta ou da peça.

Possíveis acidentes:

Quebra da ferramenta devido às falhas operacionais descritas acima, interrupção do fluxo refrigerante devido à perfuração ou entupimento do duto refrigerante, o que ocasionaria um aquecimento excessivo da peça e da ferramenta, ocasionando a quebra da ferramenta, da peça ou de ambas.

Sistema de Intertravamento:

O comando para habilitar os eixos X e Z só serão atendidos se as seguintes condições de intertravamento forem satisfeitas:

- Eixos X e Z habilitados e referenciados;
- Eixo-árvore ligado;
- Porta do torno fechada;
- Ferramenta fixada corretamente no suporte.

4.2.5 EIXO-ÁRVORE

O acionamento do eixo-árvore habilita o funcionamento do eixo do motor ao qual ele está vinculado, possibilitando que a peça a ser usinada passe a girar em grande velocidade para que a ferramenta possa atuar sobre a mesma.

Falhas operacionais:

Rotação abaixo da requerida devido a sobrecarga do motor, queda de potência ou falhas de lubrificação ocasionando danos para a peça e para a ferramenta. Possível queima do motor. Falta de pressão no sistema pneumático devido a vazamentos no sistema ou problemas com o compressor. Isto tudo resulta na liberação da peça, causando acidentes já descritos anteriormente.

Possíveis acidentes:

A peça pode escapar devido a falta de pressão das castanhas (falha no sistema hidráulico), falha no sistema elétrico ou má fixação da peça, podendo a mesma ser lançada contra o operador ou equipamentos próximos.

Acionamento do freio com eixo-árvore habilitado, ocasionando em maior consumo de energia e possíveis danos ao motor.

Arremesso de cavacos que venham a danificar equipamentos próximos (aparelhos de precisão) ou ferir o operador .

Eixo-árvore sendo desligado com o carro porta-ferramentas ativado em posição de usinagem, podendo danificar a peça ou ferramenta.

Sistema de Intertravamento:

O comando para ligar o eixo-árvore só será atendido se as seguintes condições de intertravamento forem satisfeitas:

- Eixo-árvore habilitado;
- Freio desativado;
- Porta fechada;
- Torre de ferramentas afastada;

Para o comando de desligar o eixo, impõe-se a condição de que os avanços dos eixos X e Z devem estar desativados. No caso desta condição não estar satisfeita, será ativado o alarme correspondente na interface homem-máquina, sendo que também para este caso haverá um *watch dog timer* para verificação da execução do comando.

4.2.6 LÍQUIDO REFRIGERANTE

Quando acionada, a bomba do sistema hidráulico do líquido refrigerante passa a bombear um jato sobre a peça-obra e sobre a ferramenta atuante, de forma a evitar que ambas se aqueçam demasiadamente e se danifiquem.

Falhas operacionais:

Líquido acionado com a porta aberta podendo atingir o operador ou equipamentos próximos, causando danos aos mesmos.

Possíveis acidentes:

Falta de líquido refrigerante, devido a vazamento ou obstruções dos canais do sistema hidráulico, nível baixo de refrigerante ou problema com a bomba do mesmo, ocasionando mal funcionamento do equipamento, com aquecimento excessivo da peça usinada e da ferramenta, o que pode causar danos aos mesmos. E se o problema persistir, danos ao equipamento.

Presença de impurezas no líquido refrigerante, devido a defeito no filtro, isto pode causar danos à precisão do corte, propiciando queda da qualidade do produto.

Sistema de Intertravamento:

O comando para acionar o líquido refrigerante só será atendido se a seguinte condição de intertravamento for satisfeita:

- Porta fechada.

Para desligá-lo não há nenhuma restrição, o mesmo será atendido imediatamente após sua solicitação, sendo que também para este caso há um *watch dog timer* para verificação da execução do comando.

4.2.7 ACIONAMENTO DO TRANSPORTADOR DE CAVACOS

Quando acionado, inicia-se de forma ininterrupta a extração das sobras da operação para um depósito ao lado da máquina.

Falhas operacionais:

Desligar o transportador com torneamento em andamento provocando acúmulo de cavacos na máquina, causando possíveis danos a máquina ou perda de tempo com posterior limpeza no interior do equipamento.

Possíveis acidentes:

Acionamento do sistema com a porta aberta, podendo o operador prender-se à esteira do transportador ou até mesmo ocorrer a queda de algum equipamento ou objeto na esteira causando possíveis danos.

Sistema de Intertravamento:

O comando para ligar o transportador de cavacos só será atendido se a seguinte condição de intertravamento for satisfeita:

- Porta fechada.

Para desligar não há nenhuma restrição, sendo que para este caso também há um *watch dog timer* para verificação da execução do comando.

4.2.8 PLACA DO EIXO-ÁRVORE E CONTRAPONTO

Tanto a placa como o contraponto são controlados pelo mesmo elemento atuador (sistema pneumático), logo todas as condições de operação, falhas e acidentes são os mesmos em ambos os casos, inclusive seus intertravamentos. Porém seus sistemas de controle e blocos lógicos de acionamento são distintos.

Falhas operacionais:

Soltar a peça durante a usinagem, causando acidentes de grandes proporções, tentativa de fixação da peça com algum subsistema funcionando (avanços, transportador de cavacos ou líquido refrigerante).

Soltar a peça com contraponto avançando ou porta fechada impossibilitando sua retirada e posteriormente ocasionando sua queda na base do torno.

Carro porta-ferramentas próximo a peça dificultando sua fixação ou remoção.

Possíveis acidentes:

Falta de pressão no sistema pneumático, devido a vazamentos nos dutos do sistema ou problemas com o compressor, ocasionando um possível desprendimento da peça.

Fixação ineficaz da peça no contraponto, devido a falha do operador, tendo como consequência, o posicionamento do eixo de giro da peça não estará concêntrico com o eixo-árvore, resultando numa operação de usinagem diferente

daquele programado pelo projetista. Em casos extremos a peça pode escapar causando danos ao operador ou ao equipamento.

Sistema de Intertravamento:

O comando para soltar a peça só será atendido se as seguintes condições de intertravamento estiverem satisfeitas:

- Avanços dos eixos X e Z desligados;
- Eixo-árvore desligado;
- Líquido refrigerante desligado;
- Transportador de cavacos desligado;
- Porta do torno aberta;
- Contraponto recuado;
- Carro porta-ferramentas afastado.

O comando de afastar o contraponto só será atendido se as seguintes condições de intertravamento forem satisfeitas:

- Avanços dos eixos X e Z desligados;
- Eixo-árvore desligado;
- Líquido refrigerante desligado;
- Transportador de cavacos desligado;
- Porta do torno aberta;
- Carro porta-ferramentas afastado.

Para a fixação da peça não há nenhuma restrição (pois a porta estará aberta, logo tudo estará desligado) e para o caso de avançar o contraponto também não há nenhuma restrição, para ambos os casos há o acionamento do *watch dog timer* para verificação da execução do comando.

4.2.9 MÓDULO DE EMERGÊNCIA

O modo de emergência monitora os sinais dos módulos vitais ao funcionamento seguro do sistema. São eles:

- O sistema de lubrificação forçada;

- A alimentação de energia elétrica;
- O sistema hidráulico do líquido refrigerante;
- O sistema hidráulico de acionamentos;
- O sistema pneumático e;
- O sinal NC READY, vindo do CNC que monitora alguns sinais dos motores dos eixos, como por exemplo, a temperatura dos mesmos.

Ele também é utilizado para alertar a respeito de falhas de *hardware* e *software* do intertravamento.

Possíveis acidentes:

⇒ No caso do sistema de lubrificação forçada:

Falta de lubrificante, devido a vazamentos ou obstruções no sistema hidráulico, pouco lubrificante no reservatório ou problemas com o compressor, ocasionando mal funcionamento do equipamento com atrito entre partes móveis. Se o problema persistir pode gerar graves danos à máquina.

⇒ No caso da alimentação de energia elétrica:

Ausência de uma ou mais fases de energia devido a interrupção de um ou mais condutores, ou pela ativação do sistema de proteção, consequentemente os motores podem não ser acionados com plena potência (queda de rotação), ou parte do sistema de intertravamento pode ser desativado por falta de alimentação elétrica, comprometendo a segurança do equipamento como um todo.

Grande desbalanceamento das 3 fases de alimentação de energia elétrica devido a uma sobrecarga em um dos motores ou um curto circuito em algum módulo do sistema, consequentemente os motores acionados sob condições de sobrecarga poderão queimar rapidamente. Com o curto circuito, aumenta-se a chance de haver um incêndio.

⇒ No caso do compressor:

Falta de pressão no sistema pneumático devido a problemas com o compressor ou vazamento nos dutos do sistema, consequentemente há perda de pressão nas castanhas da placa e na fixação do contraponto, o que fará com que a peça se solte,

além de problemas menores que poderão surgir nos outros subsistemas de comandos hidráulicos ou pneumáticos.

⇒ No caso do "*Hardware*" de intertravamento:

Acionamento indevido de comandos ou não acionamento causado por influências do ambiente industrial, tais como: interferência eletromagnética, umidade relativa do ar, temperatura, vibração, etc; tendo como consequência todos os acidentes já descritos anteriormente.

⇒ No caso do "*Software*" de intertravamento:

Perda de dados ou módulos do programa, ocasionada por modificações da programação feitos por usuários não autorizados, por interferência eletromagnética ou falha de alimentação de energia elétrica, ocasionando os mesmos acidentes já citados anteriormente.

Sistema de Intertravamento:

O módulo de emergência quando acionado, executa as seguintes ações:

- Desabilita o avanço dos eixos X e Z;
- Desliga o eixo-árvore;
- Desliga o transportador de cavacos;
- Fecha a porta do torno;
- Prende a peça na placa;
- Avança o contraponto;
- Emite um alarme e aborta o programa de usinagem.

Para os casos de falhas de energia elétrica, NC READY e pressão pneumática, é emitido um alarme sonoro e o sistema é levado imediatamente ao MODO DE EMERGÊNCIA.

4.3 OBTENÇÃO DA LÓGICA DE INTERTRAVAMENTO PARA O AMBIENTE VIRTUAL

A obtenção das rotinas utilizadas para o desenvolvimento do ambiente virtual, deverá ser segundo os passos apresentados no esquema da figura 4.2.

Figura 4.2 - Esquema de obtenção das rotinas para o ambiente virtual.

O exemplo escolhido para ilustrar o modo de obtenção do algoritmo de intertravamento foi o comando: Abrir/Fechar porta de alimentação do torno.

Na figura 4.3 está ilustrado o diagrama lógico deste sistema. No início do bloco, o *watch dog timer* é disparado pelo pedido de abrir ou fechar a porta. Se o comando for executado dentro de um intervalo de tempo especificado, o *watch dog timer* será então desativado por um *flag* que indicará o estado da porta (aberta ou fechada). Caso contrário, o sistema será levado para o MODO DE EMERGÊNCIA.

De acordo com a especificação do intertravamento citada no item anterior, o comando de abrir a porta somente deverá ser atendido se algumas condições forem satisfeitas: transportador de cavacos desligado, eixo-árvore desligado, eixos X e Z não acionados e líquido refrigerante desligado.

Para o comando de fechar a porta não há nenhuma restrição. O mesmo será atendido imediatamente após sua solicitação, sendo que também para este caso há um *watch dog timer* para a verificação da execução do comando.

A figura 4.4 representa o mesmo módulo de comando, porém modelado em Rede de Petri. Este modelo leva em consideração variáveis dinâmicas que influenciam no comportamento do sistema e que permitem prever o desempenho

do mesmo em regime transitório. Para um melhor entendimento, ele foi dividido em cinco blocos, cuja as descrições são apresentadas a seguir:

- **Bloco 1 - Intertravamento inicial:** Verifica as condições iniciais para abrir a porta de alimentação do torno (avanços dos eixos X e Z desativados e eixo-árvore desligado).
- **Bloco 2 - Intertravamento para operação na presença do operador:** Verifica se estão satisfeitas as outras condições para abrir a porta de alimentação do torno (líquido refrigerante de corte e transportador de cavacos desligados). Se não estiverem satisfeitas é emitido um alarme para o operador e o sistema fica aguardando a confirmação do mesmo para execução da tarefa ou então que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- **Bloco 3 - Intertravamento para operação sem a presença do operador:** Verifica se estão satisfeitas as outras condições para abrir a porta de alimentação do torno (líquido refrigerante de corte e transportador de cavacos desligados). Se não estiverem satisfeitas é emitido um alarme para o painel e espera que as condições acima citadas sejam satisfeitas.
- **Bloco 4 - Bloco de saída:** executa o comando recebido do gerenciador do intertravamento (desde que as pré-condições de intertravamento sejam atendidas), desativa o *watch dog timer* e retorna o controle do programa ao gerenciador do intertravamento.
- **Bloco 5 - *watch dog timer*:** no caso do comando recebido não ser completado dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido, o *watch dog timer* é acionado, ativando um alarme e o sinal de emergência, de forma que o sistema tome as devidas medidas corretivas.

Figura 4.3 - Diagrama lógico da porta de alimentação do torno (Lobão, 1995).

Figura 4.4- Modelo em redes de petri do comando da porta (Lobão, 1995).

Baseado nestes dois modelos mostrados anteriormente, foi implementado um algoritmo e consequentemente um fluxograma. Posteriormente este fluxograma foi utilizado como base para o desenvolvimento em linguagem BasicScript do ambiente virtual que simulou esta parte do projeto.

```
{sinalport: sinal para a porta, 0 = fechado, 1 = aberto}
{fechaportahardware: fecha a porta, aciona mecanismos de hardware}
{abreportahardware: abre a porta, aciona mecanismos de hardware }
{abrebotao: comando de acionamento do botão para abrir a porta}
{fechabotao: comando de acionamento do botão para fechar a porta}
{presop: sinal da presença do operador, 0 = não presente, 1 = presente}
{confirma: sinal da confirmação do operador, 0 = desabilitado, 1 = habilitado - L4 e L5}
{parada: executa a rotina do bloco de emergência}
```

```
{L1: sinal do eixo-árvore, 0 = desligado, 1= ligado}
{L2: sinal do avanço X do carro porta-ferramentas, 0 = desligado, 1= ligado}
{L3: sinal do avanço Z do carro porta-ferramentas, 0 = desligado, 1= ligado}
{L4: sinal do líquido refrigerante, 0 = desligado, 1= ligado}
{L5: sinal do extrator de cavacos, 0 = desligado, 1= ligado}
```

```
{AL(1): alarme do eixo-árvore, 0 = desligado, 1= ligado}
{AL(2): alarme do avanço X do carro porta-ferramentas, 0 = desligado, 1= ligado}
{AL(3): alarme do avanço Z do carro porta-ferramentas, 0 = desligado, 1= ligado}
{AL(4): alarme do líquido refrigerante, 0 = desligado, 1= ligado}
{AL(5): alarme do extrator de cavacos, 0 = desligado, 1= ligado}
```

```
{T: contador do tempo do intertravamento}
{Tmáx: limite de tempo do Watch Dog Timer}
```

Algoritmo

```
declare L1, L2, L3, L4, L5, abrebotao, fechabotao booleano
          confirma, sinalport, presop booleano
          T, Tmax inteiro
          AL(5) vetor (booleano)
```

```
Tmax = 15
T = 0      {inicializa o tempo de intertravamento}
```

```
ler fechabotao {leitura do comando de fechamento da porta}
```

```
se fechabotao = 1 então
  ler sinalport
  se sinalport = 1 então
```

```

    {porta está aberta, necessita fechar}
    executa fechaportahardware
    enquanto sinalport = 1 faça
        T=T+1
        ler sinalport
        se T = Tmax          {acabou o tempo de espera}
            executa parada    {acionou o bloco de emergência}
            fim algoritmo
        fim se
    fim enquanto
    fim se
fim se {final do fechabotao}

T = 0          {inicializa o tempo de intertravamento}

ler abrebotao {leitura do comando de abertura da porta}

se abrebotao = 1 então
    ler sinalport
    se sinalport = 0 então
        {porta está fechada, necessita abrir}

    enquanto sinalport = 0 faça
        T = T+1    {incrementa o tempo}

    ler L1, L2, L3, L4, L5 {leitura dos sinais}

    se L1 = 1 ou L2 =1 ou L3=1 ou L4=1 ou L5 = 1 então
        {acionamento dos alarmes}
        AL(1) = L1
        AL(2) = L2
        AL(3) = L3
        AL(4) = L4
        AL(5) = L5

    ler presop
    se presop = 0 então
        {sinal do operador não presente}
        se T = Tmax          {acabou o tempo de espera}
            executa parada    {acionou o bloco de emergência}
            fim algoritmo
        fim se
    senão
        {sinal do operador presente}
        se L1 = 1 ou L2 =1 ou L3 = 1 então
            se T = Tmax          {acabou o tempo de espera}

```

```

        executa parada    {acionou o bloco de emergência}
        fim algoritmo
    fim se
senão
    {os dois sinais que são possíveis interferir}
    ler confirma
    se confirma = 1 então
        {confirmação de continuar o processo}
        executa abreportahardware {manda abrir efetivamente a porta}
        ler sinalport
        se T = Tmax          {acabou o tempo de espera}
            executa parada    {acionou o bloco de emergência}
            fim algoritmo
        fim se
    senão
        {confirmação não realizada}
        se T = Tmax          {acabou o tempo de espera}
            executa parada    {acionou o bloco de emergência}
            fim algoritmo
        fim se
    fim se {fim do confirma}
    fim se {fim do L1,L2,L3}
    fim se {fim do presop}

senão {meio do L1,L2,L3,L4,L5}

    executa abreportahardware    {manda abrir efetivamente a porta}
    ler sinalport
    se T = Tmax          {acabou o tempo de espera}
        executa parada    {acionou o bloco de emergência}
        fim algoritmo
    fim se
    fim se {fim do L1,L2,L3,L4,L5}
    fim enquanto {sinalport = 0}

    fim se {final do sinalport}
    fim se {final do abrebotao}

fim algoritmo

```

5. PROCEDIMENTO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO TORNO

O desenvolvimento de um procedimento para a implementação do torno virtual se fez necessário, devido a necessidade de se planejar, efetuar e registrar (documentação) o andamento das etapas referentes ao projeto.

A idéia é sugerir um caminho ou uma sequência de passos (etapas) para que a partir de um torno real ou projetado, se pudesse chegar ao seu similar virtual.

É importante salientar, que torno projetado significa que este já tenha passado pelas fases de especificação do projeto (conceituação) e modelamento.

Basicamente, este procedimento é dividido em dois grupos distintos que correm paralelamente no início do trabalho, mas que se unem no momento da implementação das características lógicas do projeto (intertravamento). O primeiro grupo se refere as etapas de desenvolvimento gráfico/geométrico do projeto que são detalhadas posteriormente nos itens subseqüentes. E o segundo grupo, trata da validação e simulação da funcionalidade do sistema utilizando para isto alguma ferramenta de modelagem, como por exemplo, Redes de Petri. E da obtenção desta lógica para a implementação num ambiente virtual.

Posteriormente, com a maioria das etapas do primeiro grupo realizadas é possível executar a última etapa do segundo grupo que se refere a implementação das características funcionais do projeto. Entende-se por características funcionais, no caso do torno, a abertura e fechamento da porta de alimentação, a movimentação dos eixos X e Z, do carro porta-ferramentas, da torre revolver, do eixo-árvore e do contraponto. A animação do líquido refrigerante, do extrator de cavacos, dos botões e *displays* do painel de controle do torno, etc.

Dessa forma, o procedimento proposto para a elaboração do torno num ambiente virtual pode ser observado na figura 5.1.

Figura 5.1 - Procedimento adotado para a elaboração do torno.

5.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO GRÁFICO

Os programas de modelagem tridimensionais como o 3Dstudio MAX e Autocad, assim como o World Up (editor de ambientes virtuais utilizado neste projeto), possuem dois sistemas de coordenadas espaciais distintos, o de coordenadas global e o de coordenadas local. A diferença entre eles é que o sistema global nunca se altera, isto é, os vetores (x, y, z) sempre apontarão para a mesma

direção e a abscissa dos eixos se manterá sempre na mesma posição, enquanto o sistema de coordenadas local (SCL) pode ser alterado.

O sistema de coordenadas global (SCG) serve como referência no espaço, assim quando se diz que um elemento se encontra nas coordenadas (X, Y, Z) está-se dizendo na verdade que ele se encontra nessa posição no espaço em relação ao SCG. O posicionamento de todos os objetos em um programa de modelagem tridimensional é dado em relação ao SCG.

Um objeto tridimensional possui um centro geométrico chamado *pivot*, é a partir deste centro que sua posição no espaço é determinada; é também sobre este centro que são realizadas as rotações sobre tal objeto.

Conforme o que foi salientado acima, ocorreram dificuldades com relação a torre revólver do porta-ferramentas, devido ao fato do World UP realizar as transformações de rotação e translação apenas nas coordenadas do SCG. A torre revólver possui um ângulo de inclinação de 45° no eixo z, assim quando tentou-se rotacioná-lo no eixo X para fazer a troca de ferramentas, este rotacionou sobre o eixo X do SCG, que sempre permanece inalterado, o que fez com que a torre revólver tivesse um movimento de rotação desbalanceado, isto é, o eixo x da torre revólver (SCL) diferia de 45° do eixo x do SCG sobre o qual a rotação se efetivava. Esta dificuldade foi solucionada eliminando a inclinação do revólver, fazendo com que o SCL do objeto coincidissem com o SCG.

Na figura 5.2 pode-se observar dois objetos com seus sistemas de coordenadas locais (SCL) aparentes e o sistema de coordenadas global (SCG) ao centro.

Figura 5.2 - Vista das coordenadas locais e .global do sistema.

5.1.1 DEFINIÇÃO DO MODELO GRÁFICO

O modelo, ou seja o formato e a configuração do torno, foi estabelecido baseando-se em dois conceitos: disponibilidade de referências que trouxessem informações detalhadas a respeito da forma e dimensão das peças que compõe o torno; e a facilidade de visualização dos processos externos da máquina, principalmente em relação a usinagem.

Outra especificação para modelagem surgiu devido a finalidade a que se presta o modelo. No caso, este projeto não permite que o usuário explore o interior da máquina-ferramenta, deste modo se tornou desnecessária a modelagem de peças internas que não são visíveis. Muitos detalhes, como parafusos, junções e detalhes externos sem função funcional foram suprimidos de modo a limitar o número de faces do modelo, aumentando assim a velocidade de processamento no ambiente virtual.

Foi escolhido para servir de modelo gráfico, dois modelos de torno da empresa Traub, TND 360 e o TNA 480 (Traubomatic,1993). Criou-se um híbrido entre os dois aproveitando-se a forma externa do TND 360 e o sistema de usinagem do TNA 480 onde o carro porta-ferramentas se desloca nos eixos X e Y, não obstruindo assim a visualização da usinagem.

5.1.2 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

O sistema de unidades no 3DStudio MAX (*software* utilizado para a modelagem gráfica do torno) serve apenas como referência, garantindo a proporção entre diferentes objetos que se encontram no mesmo espaço. É possível configurar o *software* de modo a chamar uma unidade de milímetro, centímetro, metro, ou de qualquer outro nome, pois o que interessa de fato é saber se os objetos que estão sendo modelados possuem a mesma proporção entre si que apresentam no mundo real.

Neste projeto resolveu-se trabalhar numa escala de 1:1, sendo que a unidade no ambiente de modelagem equivale a um milímetro, evitando assim, calcular as dimensões do modelo em escala. Em relação ao número de casas decimais, estas também podem ser configuradas no *software*. No caso, trabalhou-se com 4 casas decimais.

Um croqui do torno foi feito não apenas pra evidenciar a sua forma, mas para possibilitar a manipulação independente das partes funcionais do torno no ambiente virtual, pois no momento do projeto já eram conhecidas as funções que cada elemento iria desempenhar no sistema virtual.

Dessa forma, foi possível evidenciar quais partes da máquina deviam ser modeladas separadamente. No caso, foram: a torre revólver, o carro porta-ferramentas, a porta de acesso, todos os botões, o eixo-árvore, as castanhas e o contraponto. Com exceção dos citados acima, todas as outras peças foram fundidas em uma só.

A escala utilizada no croqui foi de 1:10 tanto na vista frontal como na vista lateral que apresentava apenas um corte da carcaça incluindo a porta do torno, estas informações foram suficientes para iniciar o processo de modelagem e montagem.

5.1.3 MODELAGEM E MONTAGEM

A modelagem foi iniciada criando-se uma figura bidimensional que representava o corte lateral do torno. A partir dela foram extrudadas a carcaça (figura 5.3), a porta e o módulo do painel, ao qual posteriormente foi adicionado os botões, as chaves e o *display*. Este processo apresenta algumas vantagens, como por exemplo: a garantia de que todos os objetos criados a partir do mesmo entorno se encaixam perfeitamente, e de sempre possuírem o centro coincidente na vista lateral, já que o processo de extrusão foi realizado sobre o eixo x partindo de uma mesma figura para todos os objetos citados anteriormente.

Figura 5.3 - Corte lateral do torno e posterior extrusão.

Logo em seguida, os objetos criados foram montados usando a ferramenta de alinhamento disponível no 3Dstudio MAX (figura 5.4) que possibilita alinhar os objetos em qualquer um dos vetores (x, y, z) utilizando como referência: o ponto máximo ou mínimo do objeto no vetor escolhido, o *pivot* ou o centro geométrico do mesmo.

Figura 5.4 - Ferramenta de alinhamento do 3DStudio MAX.

Por meio do processo de operação booleana (figura 5.5) onde é possível somar, subtrair e interseccionar sólidos, foram feitas a janela na porta e a cavidade do painel onde se encontram os botões, as chaves, os *leds* e o *display*. A partir do corte da figura geométrica, que definiu a abertura da janela, foi extrudada uma elipse que formou a borracha de vedação do vidro da porta. Como o vidro deveria possuir transparência total, afim de permitir a visualização da usinagem, este foi suprimido na modelagem.

Figura 5.5 - Operação booleana do *software* de modelagem.

Em seguida foram criados o eixo-árvore e o contraponto, que são compostos basicamente por cilindros. Depois de criados estes cilindros, por meio de uma vista lateral, foi possível alinhar estes objetos nos eixos x e y usando a ferramenta de alinhamento. O carro, que movimenta o contraponto, foi criado a partir da figura que determina o corte lateral deste pelo processo de extrusão, e o eixo do contraponto foi criado a partir de um sólido. Este processo de criação por etapas possibilitou que muitos objetos fossem criados exatamente no lugar que iriam ocupar, como por exemplo o carro do contraponto e seu eixo.

A partir deste ponto, o modelo do torno começou a apresentar uma certa complexidade, dificultando a modelagem nos passos seguintes. Afim de suplantar esta dificuldade, foram utilizadas as ferramentas de visualização do 3DStudio MAX, as quais permitem esconder (*hide*) ou congelar (*freeze*) os objetos gráficos. Isto facilitou a criação do carro porta-ferramentas e o revólver.

O carro porta-ferramentas foi criado pelo mesmo processo que o carro do contraponto, já a torre revólver foi inicialmente criada a partir de um cilindro segmentado ao meio. Isto permitiu que o raio do meio do segmento fosse maior que o raio das extremidades, possibilitando que a porção externa da torre revólver, onde se encontram as ferramentas, possuísse um raio menor que a porção que se liga ao carro porta-ferramentas.

O 3DStudio MAX permite que objetos sejam ligados (*link*) entre si por meio de uma hierarquia, dessa forma foi possível testar a funcionalidade geométrica do torno antes mesmo que este fosse enviado ao ambiente virtual. Por exemplo, a torre revólver foi ligada ao carro que se movimenta no eixo y, que posteriormente foi ligado ao carro que se movimenta no eixo x. Movimentando-se então o carro do eixo x, o carro do eixo y e a torre revólver são solidários aos seus movimentos. Quando somente o carro do eixo y era movimentado, só a torre revólver seguia o seu movimento, o mesmo teste foi aplicado com o eixo-árvore e a porta do torno, pois ambos possuem outros objetos que seguem sua movimentação.

Por último foram modeladas as ferramentas de corte, as pastilhas e os suportes, que posteriormente foram montados sobre o revólver utilizando-se a ferramenta de alinhamento.

5.1.4 EXPORTAÇÃO PARA O AMBIENTE VIRTUAL

O *software* World Up possui um recurso para importar geometria de outros programas que se chama *resource browser*. O uso deste recurso permitiu importar todos os objetos de uma só vez mantendo cada um como uma peça independente. E, no momento em que a importação é realizada, é possível alterar a escala dos objetos por meio de um fator de multiplicação. No caso deste trabalho, todos os objetos foram multiplicados por um fator de 4, mudando assim a escala de 1:1 para 4:1, isto porquê o torno havia ficado muito pequeno no ambiente virtual, prejudicando assim a navegação.

O *software* de ambiente virtual também possui uma hierarquia de objetos, esta hierarquia é montada no *scene graph browser*, trata-se de uma lista em forma de cascata com múltiplos níveis, isto é, é possível colocar um objeto “dentro” de um outro, deste modo um objeto responde as operações de escala e translação que são realizadas sobre seu pai (objeto dentro do qual se encontra na lista).

5.1.5 ILUMINAÇÃO

Em um ambiente virtual os elementos precisam estar iluminados para que apareçam. O torno possui partes “internas”, tal como a câmara onde é realizada a usinagem, e uma fonte de luz apenas não era suficiente para que todas as partes pudessem estar iluminadas. Assim, além da luz ambiente que é uma luz padrão do universo foram criadas mais três fontes de luz direcionais: uma sobre a carcaça do torno (iluminando toda parte externa inclusive o painel), uma outra luz no interior da câmara de usinagem (iluminando a peça, o contraponto, o porta ferramentas e o eixo-árvore) e outra iluminando a parte de trás do torno.

5.1.6 TEXTURIZAÇÃO

Texturização é a aplicação de materiais sobre os objetos que acabam por definir seu aspecto plástico, como cor, rugosidade e brilho, além da aplicação de texturas (*bitmaps*) que são coladas sobre os objetos (Elliott & Miller, 1995).

Todos os objetos gráficos foram transferidos ao World Up *MODELER* para receber os materiais e depois trazidos de volta ao World Up. Esta operação é

simples, bastando selecionar um objeto e escolher *Edit Geometry* sob o menu *Object*. No *MODELER* há um editor de materiais bastante simples mas que permite escolher a cor básica do material, a cor que reage a luz direcional e a cor do brilho. Também é possível definir o nível de transparência do material e escolher um *bitmap* para ser colado sobre o objeto. As opções de colagem são sobre: faces, superfícies planas, cilíndricas ou esféricas. Também é possível ajustar o posicionamento e a escala do *bitmap* sobre o objeto.

Os objetos que sofreram texturização foram os botões, os painéis do *display* e as portas. Os *bitmaps* dos botões foram criados no *Paint* do Windows 95, já os da porta e dos painéis foram criados no Photoshop 4.

5.1.7 AFERIMENTO

O aferimento foi o processo por meio do qual foi verificado, em relação a posição no espaço virtual, o limite de movimentação das partes móveis do torno. Foram determinados os valores em (x, y, z) que os objetos atingiriam em seu curso máximo e mínimo, como por exemplo a porta e o carro porta-ferramentas. Posteriormente, estes dados foram utilizados na programação do comportamento destes objetos no ambiente virtual.

5.1.8 ANIMAÇÕES

As animações no *World Up* são realizadas por meio de programação, isto é, a mudança das propriedades dos objetos gráficos no vetor tempo. No projeto, alguns objetos foram criados de modo a representar o movimento do líquido refrigerante e da saída de cavacos.

Os objetos criados são pequenos quadrados que representam as instâncias da dinâmica dos cavacos e do líquido refrigerante no espaço. Estas instâncias foram divididas em grupos, de modo que fosse possível criar a representação do movimento desses elementos, apenas habilitando e desabilitando estes grupos sequencialmente.

5.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MODELO

Com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento do ambiente virtual, foi criado um primeiro protótipo do torno para familiarizar-se com as técnicas de programação do avatar, do *trigger* e do torneamento virtual.

Trigger é uma técnica que permite a manipulação de botões e acionadores no ambiente virtual. A figura 5.6 mostra uma vista deste torno.

Figura 5.6 - Vista do torno utilizado para validar a programação virtual.

5.2.1 AVATAR

A navegação é o modo pelo qual se explora o ambiente virtual. A utilização do *mouse* permite a movimentação para frente/trás, acima/abaixo e esquerda/direita. A movimentação é realizada da seguinte maneira: com o botão direito do *mouse* acionado, o movimento para frente e para trás faz com que a vista avance ou retroceda e o movimento para os lados faz com que a vista gire para a esquerda ou para a direita. Com o botão esquerdo acionado é possível transladar nos eixos x e y, e acionando os dois botões simultaneamente é permitido rotacionar no eixo x e z.

Quando se está navegando no ambiente virtual criado pelo *software* World Up , é possível passar através de todos os objetos sólidos que compõe este ambiente. No caso, existe uma técnica chamada avatar que impede que isto possa ocorrer.

Esta técnica desabilita o “motion-link” da câmera com o *mouse*. Ao se navegar dentro de um ambiente virtual usando o *mouse*, o que acontece é que, existe uma câmera virtual que segue todos os movimentos efetuados pelo *mouse*. O “motion-link” é a classe de objetos do World Up responsável por esta ligação.

Ao invés do *mouse* controlar a câmera, é criado um “motion-link” que relaciona o *mouse* a um outro objeto (no caso um cubo), e este passa a ser controlado pelo *mouse*, da mesma maneira que é realizado com a câmera. A este objeto é criado um outro “motion-link”, pelo qual uma câmera virtual é ligada. Portanto, o que passa a acontecer é que, o *mouse* estará controlando a navegação deste cubo, e este estará controlando a navegação dessa câmera virtual.

Com isto é possível detectar a colisão deste cubo quando se está navegando entre outros objetos no ambiente virtual. Por meio da programação em BasicScript, o sólido com o qual se navega (no caso o cubo), chamado de “AvatarBody”, é sempre expelido para a posição imediatamente anterior da posição onde houver a colisão, impedindo assim que se atravesse os sólidos que compõe o ambiente virtual. Explicando de uma outra maneira, o algoritmo responsável por esta função funciona da seguinte forma:

A posição espacial do “AvatarBody” é constantemente monitorada. É importante saber que o vetor tempo num ambiente virtual não é contínuo, sua unidade básica é o *frame* (quadros que se sucedem, fornecendo a idéia de movimento). Existem duas variáveis que retornam a posição espacial do avatar, uma delas é simplesmente Pos(x,y,z) e a outra é LastPos(x,y,z) que retorna a posição do avatar no quadro anterior. Deste modo, quando é detectada a colisão do avatar com algum outro objeto o *script* retorna o valor de Lastpos(x,y,z) para Pos(x,y,z).

Outros dois *scripts* fazem com que o “AvatarBody” mantenha-se sempre no nível do solo, assim, quando ele se depara com uma escada, sempre é impelido para o próximo nível de degrau, fazendo com que se suba a escada caso se avance em direção à esta. Isto é feito de maneira semelhante ao *script* usado para impedir que o avatar atravesse os objetos, a posição no eixo y é constantemente monitorada, caso a distância do avatar em relação ao solo no eixo y seja diferente de um valor

predeterminado pelo programador, esta é imediatamente reestabelecida. Esses *scripts* também impedem que aconteçam rotações no eixo da câmera (rolamento), mantendo o horizonte virtual sempre na horizontal.

Existe também uma outra função relacionada com o uso do avatar. Dividindo-se o ambiente virtual em regiões, e possível fazer com que regiões que não sejam visíveis a partir do local onde nós nos encontramos sejam desabilitadas, aliviando assim o processamento da CPU, aumentando dessa forma a eficiência do *software*. Porém, não foi utilizada esta técnica porque o ambiente proposto se situa em apenas uma região, não havendo necessidade de se utilizar esse recurso.

5.2.2 TORNEAMENTO VIRTUAL

Quando um tarugo está sendo usinado em um torno real, este assume uma forma diferente a cada passo da usinagem, sendo que no final do processo aparece uma peça totalmente distinta da peça inicial.

Tornar este processo visível no ambiente virtual em tempo real e ainda concordante com a programação G do torno teve uma dificuldade acentuada devido ao fato de que toda geometria virtual (formas criadas sinteticamente em um ambiente digital) é composta por três elementos básicos: vértices, segmentos e polígonos. E no caso de se desejar alterar alguma característica do objeto virtual, é necessário manipular todos estes elementos simultaneamente.

A idéia inicial para viabilizar o torneamento, foi a manipulação dos vértices de um cilindro, utilizando-se de comandos específicos do World Up (`getVertexposition()` e `setVertexPosition()`). Porém, os cilindros no World Up possuem apenas vértices nas circunferências que definem sua base e topo, impedindo que alguma modificação fosse feita em outras partes do mesmo.

Utilizou-se então, vários cilindros consecutivos lado a lado, de modo que o conjunto todo se apresentasse como um único cilindro, deste modo seria possível manipular o corpo do tarugo. Diante desta nova situação visualizou-se que seria muito mais simples alterar apenas os raios de cada um dos cilindros, ao invés de modificá-los vértice à vértice, pois a usinagem de uma peça pelo torno é capaz apenas de configurar alterações simétricas no eixo longitudinal da mesma.

Utilizando-se de pequenos cubos acoplados bem próximos da superfície das ferramentas, foi possível fazer com que o processo de torneamento fosse similar ao real. Por meio da programação em BasicScript é feita a verificação da colisão ou não, entre os cubos de uma determinada ferramenta, com alguns dos cilindros que compõe o tarugo, em caso positivo, o raio do cilindro tocado diminui a medida que a ferramenta avança em direção a seu eixo longitudinal. O detalhe é que a espessura dos cilindros definem a resolução do torneamento e também a espessura dos cubos responsáveis pela detecção de colisão. Nas ilustrações da figura 5.7 são mostrados os detalhes das ferramentas de corte do torno virtual.

Figura 5.7 - Detalhes das ferramentas de corte do protótipo virtual.

5.2.3 PROGRAMAÇÃO G NO AMBIENTE VIRTUAL

Para se introduzir o programa G no ambiente virtual foi utilizado uma planilha eletrônica do EXCEL. Este *software* por meio de um sistema de compartilhamento de dados chamado ODBC 32 *bits* da Microsoft, troca informações com editor de ambientes virtuais. O procedimento é simples, o usuário tem acesso a uma planilha do EXCEL onde existe uma tabela com várias colunas, cada uma, especificada para um comando da programação G. Com o intuito de demonstrar este procedimento foi criado um programa G exemplo. Este programa pode ser visto na tabela 5.1, como também a disposição das colunas na planilha do EXCEL.

A peça que corresponde a programação G referenciada na tabela é mostrada na figura 5.8.

Figura 5.8 - Vista da peça-exemplo torneada no ambiente virtual.

Billet		O1	40	60	Número do programa e dimensões da peça.		
N	G	X	Z	M	T	Identificadores	
10	26					Avanço em marcha rápida para ponto de troca de ferramentas.	
20	97					Rotação constante.	
30	94					Avanço em milímetros.	
40				6	1	Trocar ferramenta (faceamento).	
50	0	41	0	8		Avanço em marcha rápida para posição inicial de facear.	
60	1	0	0			Facear.	
70	27			6	2	Avanço em marcha rápida para ponto de troca de ferramentas e trocar ferramenta (desbaste).	
80	0	30	0			Avanço em marcha rápida para posição inicial de desbaste.	
90	1	30	40			Desbaste.	
100	0	30	0			Avanço em marcha rápida em Z.	
110	0	20	0			Avanço em marcha rápida em X.	
120	1	20	20			Desbaste.	
130	0	20	0			Avanço em marcha rápida em Z.	
140	0	10	0			Avanço em marcha rápida em X.	
150	1	10	10			Desbaste.	
160	26			6	3	Avanço em marcha rápida para ponto de troca de ferramentas e trocar ferramenta (sangria).	
170	0	41	50			Avanço em marcha rápida para posição inicial de sangria.	
180	1	25	50			Sangria.	
190	26					Avanço em marcha rápida para ponto de troca de ferramentas.	
200				9		Desligar refrigerante.	
210				5		Parada do eixo-árvore.	
220				30		Fim do programa.	

Tabela 5.1 - Tabela do programa G exemplo.

5.2.4 REFERENCIAMENTO DA PEÇA VIRTUAL

O modelo gráfico do torno CNC foi confeccionado a partir de um ponto origem $(0,0,0)$ definido pelo próprio ambiente virtual. Este ponto origem está localizado no interior do carro porta-ferramentas. Este é o chamado **Ponto zero da máquina**, e é justamente este ponto que permite o referenciamento da peça para a execução do programa CN.

Conforme a figura 5.9, a ponta de qualquer ferramenta do carro porta-ferramentas, descreve trajetórias pertinentes a área delimitada pelos pontos A, B, C e D, orientadas segundo os eixos z e x.

Figura 5.9 - Referenciamento da peça no espaço virtual.

Atentando-se ao fato que a peça-exemplo tem as seguintes dimensões: diâmetro $\varnothing = 40\text{mm}$, e comprimento $L = 60\text{mm}$; o referenciamento da peça consiste em estabelecer uma relação entre o sistema de coordenadas da peça (Z,X) , e o sistema de coordenadas da máquina (z,x) , ou seja, efetuar uma translação e rotação de eixos para obter-se as equações que relacionam os sistemas.

Dessa forma, as equações são obtidas da seguinte forma:

Primeiramente, escolhe-se três pontos F, I, C e e suas coordenadas:

	Eixo (z, x)	eixo (Z, X)
Ponto F	F(-2895, 330)	F(0,40)
Ponto I	I(-2895, 410)	I(0,0)
Ponto C	C(-3300, 410)	C(60,0)

Tabela 5.2 - Tabela para o referenciamento da peça.

Adotando-se a relação para o eixo X e x: $x = a.X + b$;

Para o ponto F, tem-se: $330 = 40.a + b$;

E para o ponto I, tem-se: $410 = a.0 + b$;

Logo, tem-se:

$$330 = 40.a + b;$$

$$410 = 0.a + b, \text{ que tem como solução}$$

$$a = 2 \text{ e } b = 410, \text{ logo:}$$

$x = -2.X + 410$ [1], ou seja, para um valor X expresso no programa CN, a ferramenta, caminha um valor x da máquina virtual.

E, adotando-se a relação para os eixos z e Z, tem-se: $z = c.Z + d$;

Para o ponto F, tem-se: $-2895 = 0.c + d$;

E para o ponto I, tem-se: $-3300 = 60.c + d$;

Logo, tem-se:

$$-2895 = 0.c + d;$$

$$-3300 = 60.c + d, \text{ que tem como solução}$$

$$c = -6,75 \text{ e } d = -2895, \text{ logo:}$$

$z = -6,75.Z - 2895$ [2], ou seja, para um valor Z expresso no programa CN, a ferramenta, caminha um valor z na máquina virtual.

E, foram as equações [1] e [2], as utilizadas na programação do compilador do programa CN no torno virtual.

Na figura 5.10 é possível observar o espaço interno para a usinagem, evidenciando o eixo-árvore juntamente com a peça-exemplo a esquerda, no centro mais ao alto o porta-ferramentas e na direita o contraponto.

Figura 5.10 - Espaço interno do torno virtual.

5.2.5 GERADOR DE FALHAS

O torno virtual é um modelo criado em um ambiente gráfico tridimensional. Uma vez que segue à risca uma programação, ou seja, um *script*, o seu funcionamento é perfeito e nunca falha. As falhas ocorrem em um torno real devido a: influência do meio exterior, como: picos de energia elétrica, ar altamente deteriorado, erros humanos, e também devido as falhas internas (fadiga das peças e das ferramentas, término de fluídos, etc.).

De modo a verificar o funcionamento do Sistema de Intertravamento frente a este tipo de mal funcionamento da máquina-ferramenta, criou-se um gerador de falhas no ambiente virtual.

Este gerador consiste no uso de botões, alocados externamente a tela de *redering* do ambiente virtual (figura 5.11). Por meio destes botões pode-se alterar o valor das variáveis de inicialização na programação do protótipo virtual, gerando assim uma falha ao se executar a simulação deste torno virtual.

Figura 5.11 - Botões do gerador de falhas.

Como exemplo foram criados 2 botões:

- O primeiro botão (da direita para a esquerda), altera o valor da variável de inicialização BOIAR (Bóia do refrigerante), que normalmente deve ser $BOIAR = 1$ (nível no reservatório de refrigerante aceitável). Para a condição de $BOIAR = 0$ (nível no reservatório de refrigerante pequeno), isto ocasiona o acionamento do *Watch Dog Timer*, que questiona ao operador se o torneamento deve prosseguir nestas condições ou não, no caso negativo ou a máquina estando no modo automático, o equipamento é levado ao MODO SEGURO DE PARADA.

- O segundo botão, altera o valor da variável de inicialização NCREADY, que normalmente é $NCREADY = 1$ (energização completa, 3 fases de energia elétrica presentes). Para $NCREADY = 0$ (energização ineficaz, falta de fase), isto ocasiona o não funcionamento dos motores elétricos do eixo-árvore, dos avanços X e Z, do trocador de ferramentas e do extrator de cavaco. Esta falha leva o torno ao MODO DE PARADA SEGURA, não permitindo a interferência do operador nesta ação.

Figura 5.12 - Vista da parte de trás do torno virtual.

Na figura 5.12 pode-se observar a caixa de força do torno onde se encontram *leds* que indicam se houve falha elétrica, isto é, se o botão gerador de falha elétrico foi pressionado. Na mesma figura pode-se observar também o perfil de uma bomba hidráulica com um nível (retângulo amarelo sobre o cilindro superior) que marca se houve falha na bóia do líquido refrigerante, isto é, se o botão gerador de falha do líquido refrigerante foi pressionado.

Na figura 5.12 pode-se observar um terceiro botão (primeiro da esquerda para direita). Ele é responsável por restabelecer o diâmetro original do tarugo. Isto é

um artifício criado para poder repor a peça anteriormente usinada, já que não existe no ambiente virtual um tarugo sobressalente para um posterior torneamento.

6. UTILIZANDO A PROTOTIPAÇÃO VIRTUAL

O estudo realizado neste trabalho pode ser empregado em três áreas diferentes. O torno virtual pode ser utilizado para **treinamento** de operadores nas indústrias ou para aprendizagem de alunos nas escolas. Para a realização de *marketing* do produto, oferecendo o torno virtual para que os possíveis clientes possam manuseá-lo, possibilitando assim uma maior interação e conhecimento do produto por parte do comprador antes de adquirí-lo. E, por fim, para o auxílio no desenvolvimento de produtos utilizando recursos de realidade virtual, a chamada **prototipação virtual** que, no caso de estudos para a engenharia mecânica, é a área com o enfoque mais relevante.

A prototipação virtual permite gerar um protótipo no computador baseado nas informações de geometria, tolerância, material e topologia do projeto, nos resultados da simulação obtidos por meio de ferramentas de modelagem e outras informações disponíveis sobre o produto.

Isto possibilita ao projetista visualizar, interagir e manipular o produto antes de sua fabricação, disponibilizando ações difíceis de serem realizadas utilizando apenas a simulação tradicional e só possíveis até o momento, por meio da construção do protótipo real. O protótipo virtual permite que muitos problemas sejam detectados e solucionados antes que maiores avanços no desenvolvimento do produto tenham sido alcançados, reduzindo o tempo de projeto, retrabalhos desnecessários e consequentemente, os custos associados ao desenvolvimento do produto.

Como consequência disto, a prototipação virtual permite melhorar o ciclo de desenvolvimento de um produto por meio da **Redução de Tempo** de fabricação (*time-to-market*), **Diminuição de Custos** devido à redução do número de protótipos reais e do tempo de disponibilização para testes, permitindo ainda interações com o produto até mesmo nos estágios iniciais de desenvolvimento. E por último, a

Melhoria da Qualidade pois permite a verificação rápida de diferentes alternativas técnicas que podem ser utilizadas no projeto. Isto possibilita uma melhoria da validação das soluções apropriadas que satisfaça os parâmetros especificados pelo cliente, com um custo menor. A construção dos protótipos virtuais permite a antecipação de decisões, agregando maior qualidade ao produto pelo maior refinamento do projeto.

De forma geral, a disponibilidade de um maior número de protótipos, acaba por fornecer um maior envolvimento da equipe de projeto, agregando conhecimento sobre o produto e facilitando decisões financeiras, de planejamento ou técnicas sobre o mesmo.

Na figura 6.1 é possível observar onde a prototipação virtual pode ser inserida no processo de desenvolvimento de produto. Sem dúvida este processo possui muitas particularidades dependendo do produto, da empresa e de suas relações com o ambiente. Dessa forma, para este estudo foi elaborado um modelo geral e simplificado que descreve as principais etapas do PDP (processo de desenvolvimento de produto). A partir desse modelo, foi acrescentado a fase de prototipação, inserida nas fases de planejamento e projeto do produto.

Uma explicação sucinta das fases que compõe este ciclo básico do processo de desenvolvimento de produto é mostrada abaixo.

Na fase de conceito do produto são definidas as seguintes informações:

- as necessidades, a utilidade e as formas de utilização do produto pelos usuários;
- quais as principais características que os produtos dos concorrentes possuem;
- qual a tecnologia disponível e necessária para a implementação de novas idéias;
- quais os riscos associados aos novos projetos;
- como as condições ambientais definem regras e padrões para o produto.

O conceito é a fase inicial do PDP e sofrerá revisões contínuas, conforme o resultado das demais atividades.

No planejamento de produto, o conceito do produto é desmembrado em termos das especificações do projeto, fornecendo informações sobre o estilo, *layout* e características técnicas. Nesta fase, pode ser iniciada a construção de um modelo físico para a avaliação do estilo e *layout* (Clark & Fujimoto, 1991).

Na fase de engenharia e testes do produto é definido o projeto específico e detalhado do produto, com dimensões e características reais, necessitando da construção de protótipos para realização de testes.

A fase de engenharia de processo compreende a transformação das informações sobre o projeto do produto em informações referentes aos tipos de máquinas, ferramentas e outros fatores que definem o processo necessário para a produção do produto.

A produção piloto envolve a produção para testes, de forma a definir os acertos finais no processo de fabricação para a produção real do produto.

De acordo com o modelo apresentado, a necessidade de construção de um protótipo do produto surge logo após a fase de conceito.

A prototipação virtual pode ser utilizada tanto para substituição de protótipos físicos quanto funcionais e traz como principais vantagens a oportunidade dos projetistas anteciparem problemas e assim melhorarem o projeto com custos bem menores.

Figura 6.1 - Desenvolvimento de produto utilizando prototipação virtual.

No caso de ser mais específico ao trabalho realizado, a figura 6.2 sugere um roteiro para desenvolvimento de projeto de uma máquina-ferramenta incluindo a prototipação virtual.

Figura 6.2 - Desenvolvimento de uma máquina-ferramenta utilizando RV.

A etapa de especificação do projeto é o momento onde há a determinação das especificações do sistema, isto é, envolve o levantamento das especificações globais do sistema, onde será feita uma descrição da composição física e superficial do funcionamento do mesmo. Existe também o desenvolvimento de um estudo de riscos e operacionalidade onde o projetista deverá com base em sua experiência, prever todos os possíveis incidentes operacionais que poderão vir a ocorrer devido a inabilidade dos operadores, por condições de trabalho inadequadas ou mesmo pela intervenção não autorizadas de pessoas estranhas ao sistema.

No modelamento é montado um modelo modular a partir das informações levantadas no item anterior, que representa o comportamento do sistema de maneira mais próximo possível da realidade. O nível de detalhamento das informações deste modelo dependerá de alguns fatores, como por exemplo: a viabilidade técnica e econômica do nível de detalhamento e a disponibilidade de tempo de desenvolvimento de um modelo mais complexo.

Aconselha-se que esta etapa seja subdividida em duas fases (Lobão, 1995):

Em primeiro lugar desenvolver um modelo que descreva o funcionamento do sistema de maneira superficial, levando-se em consideração apenas variáveis estáticas e o fluxo de dados entre os diversos módulos que compõe o sistema. Este modelo servirá para se ter uma idéia do comportamento do sistema em regime de

repouso, e posteriormente para embasamento no desenvolvimento do diagrama lógico do processo e do modelo para simulação do sistema.

A seguir, deve-se confeccionar um modelo que considere variáveis dinâmicas, que influenciam no comportamento do sistema e que permitirão prever o desempenho do mesmo em regime transitório (quando houver mudanças na programação da produção, no processo, no produto, etc). As Redes de Petri apresentam-se como uma ferramenta bastante poderosa para esta finalidade.

Na etapa de simulação e validação é simulado o comportamento do modelo apresentado no passo anterior para a identificação de possíveis gargalos ou falhas de sincronismo entre os diversos módulos. O processo de simulação antes da implementação do sistema real é muito importante porque permite a aceleração do funcionamento do sistema no tempo, possibilitando prever os quase inevitáveis acidentes que ocorrem quando da implementação de um sistema real, gerando uma economia financeira, pois poupa a construção de protótipos para testes (Rank, 1983).

Com o mesmo intuito de diminuição de protótipos físicos (redução de custos), a prototipação virtual permite simular o comportamento do modelo validado pela etapa anterior. A prototipação virtual possibilita ao projetista visualizar, interagir e manipular o produto antes de sua fabricação. Ações difíceis de serem realizadas utilizando apenas a simulação tradicional e só possíveis até o momento, por meio da confecção do protótipo real.

A etapa de alteração, simulação e análise dos resultados é o momento onde o modelo já validado pelas etapas anteriores sofre diversas alterações (estudo de casos) para através das análises dos resultados de cada alteração, verificar a melhor opção para posterior construção do protótipo real.

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROTOTIPAÇÃO VIRTUAL

Com relação as limitações da prototipação virtual, o ponto inicial seria definir quais as funções da criação deste protótipo. Pois em alguns casos a prototipação virtual se assemelha e até mesmo supera as expectativas com relação a coleta de dados e de informações desejadas para o desenvolvimento do produto, quando comparado a um protótipo real.

Durante a prototipação geométrica (física) que ocorre tanto na fase de planejamento quanto na fase de projeto do produto, a prototipação virtual é capaz de fornecer detalhes e informações compatíveis a respeito das características do produto, comparadas com a prototipação clássica. Pois nesta fase o projetista está interessado em especificações do *design* do produto, como por exemplo: combinações de cores, formas, tamanhos, textura, ergonomia, etc.

No desenvolvimento de produtos em que a forma é um fator importante, ou é a característica que o torna diferenciado com relação aos demais concorrentes, é possível testar este produto sem a necessidade da construção do protótipo físico. Uma vez que os recursos gráficos existentes num ambiente virtual permitem a confecção da forma com todos os detalhes pertinentes, e disponibiliza esta característica para que o projetista possa manipulá-lo e verificar se está adequada ao objetivo do projeto.

É claro que para visualizar a forma, a cor, ou até mesmo o tamanho de um protótipo, existem *softwares* CAD ou de animação 3D que proporcionam praticamente os mesmos resultados que um ambiente virtual. Porém, eles não permitem que o projetista possa manipular este protótipo gráfico. Sensação esta, só disponível por meio de um protótipo físico. Muitas vezes olhar não é o suficiente, se faz necessário interagir com o protótipo para se obter informações necessárias para a melhoria e avaliação do produto.

Com isto é possível entender a função primordial da prototipação virtual. No caso é recolher informações do protótipo só então permitidas quando se criava um protótipo físico, como por exemplo com a confecção de um *mockup*.

A prototipação funcional visa verificar a funcionalidade e o desempenho do produto de acordo com as especificações definidas na fase de conceito. Ela pode se fazer necessária na fase de planejamento ou de projeto dependendo do tipo e das características do produto a ser desenvolvido.

A prototipação virtual com relação a funcionalidade permite simular movimentos pertinentes ao produto; até o presente estudo, todas as características de deslocamento e efeitos sonoros de um protótipo foram recriadas no ambiente virtual satisfatoriamente.

Com relação a função principal do produto, a prototipação virtual consegue em alguns casos reproduzir o desempenho e as características que representam a

funcionalidade total ou parcial de um produto. É o caso por exemplo da funcionalidade de um intertravamento de uma máquina-ferramenta, de um painel de carro de passeio, de um teclado de computador ou da visão que se pode ter de uma cabine de um trator.

Os *softwares* e *hardwares* de ambientes virtuais de baixo custo existentes hoje no mercado não permitem ainda obter sensações como peso de um objeto ou tratar as propriedades e a resistência dos materiais em que são feito os protótipos, isto é, se o protótipo pode resistir a ambientes com baixa ou alta temperatura ou mesmo suportar uma queda ou batida em seu casco. Outro limitante, pode ser observado com relação a simular um objeto que não possua um volume facilmente determinado. Também não é possível simular com características verosimilhantes a funcionalidade de uma lente de um microscópio, por exemplo. Ou qualquer objeto que possua funcionalidade com propriedades físicas ou químicas. Embora seja possível previamente simular imagens do que poderia vir a ser observado no microscópio.

Dessa forma, ainda não foi possível definir um modelo que forneça toda a flexibilidade e generalização que exige um ambiente real. No momento só é possível modelar partes dessa realidade com restrições e particularidades. Assim, o uso da prototipação virtual ainda é restrito para alguns tipos de prototipação funcional.

7. CONCLUSÃO

7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A realidade virtual encontrou na área de entretenimento sua principal aplicação, mas tem despertado grande interesse do setor industrial. Contudo, a indústria de manufatura e montagem ainda apresenta restrições à utilização dessa nova ferramenta devido ao seu custo inicial, pois é necessário a aquisição de equipamentos e *softwares* adequados para o modelamento e desenvolvimento de ambientes virtuais, e treinamento e contratação de mão de obra especializada para trabalhar neste campo.

A existência de poucos exemplos divulgados de aplicações práticas, associados à inexistência de uma pesquisa aprofundada que relate o desempenho em relação aos sistemas atuais, como no caso de resultados de economia de tempo e custo no processo de desenvolvimento de produto, são fatores que desmotivam os investimentos da indústria nesta área.

É importante salientar que ainda não está disponível uma forma de visualização, em realidade virtual, que consiga reproduzir exatamente as sensações geradas pelo cérebro juntamente com os olhos, a ponto de fazê-lo confundir uma projeção de computação gráfica com uma imagem do mundo real (Vince, 1995). Neste campo ainda existe uma grande lacuna entre a visão gerada no ambiente virtual e a realidade. As implementações desses ambientes virtuais são dificultadas por vários motivos, como por exemplo: pelas limitações tecnológicas, pela falta de entendimento de fatores humanos relacionados ao sensoriameto dos ambientes, e pela carência em experiências de criação e utilização dos novos conceitos tridimensionais aplicados na realidade virtual (Rosembaum *et al.*, 1995).

Porém, este quadro vêm se modificando nos últimos anos, pelo menos em relação aos investimento realizados, possibilitando o avanço das pesquisas na área

de realidade virtual proporcionando ferramentas de *hardware* e *software* cada vez mais poderosos como: roupas e plataformas inerciais, capacetes, luvas e óculos mais leves e com mais recursos.

Como consequência dos pontos citados, a utilização da realidade virtual numa escala maior está dependente da tecnologia dos equipamentos e *softwares* que permitam aproximações cada vez maiores da situação que se deseja simular com o que podemos simular. Porém, o fator de credibilidade na técnica é um dado que pesa muito na decisão de uma mudança. Está sendo proposto um novo estilo de trabalho, em que são tomadas decisões com base na realidade que não existe fisicamente, mas onde é possível ver e tocar.

É importante salientar que uma tendência para as inovações e melhorias de *softwares* que trabalham com algum tipo de CAD ou representações gráficas tridimensionais deverão necessariamente se utilizar da realidade virtual para sofisticar suas versões. É uma evolução natural para quem trabalha ou cria objetos num ambiente gráfico, primeiramente desenhá-los em duas dimensões, subsequente, dar profundidade a este desenho acrescentando mais uma dimensão (objetos tridimensionais) e posteriormente viabilizar a interação com esse objeto da forma mais simples que se conhece, com as mãos.

7.2 CONCLUSÕES SOBRE O PROJETO

A dissertação aqui apresentada permite afirmar que os objetivos propostos para este trabalho foram todos atingidos com pleno êxito. O procedimento para a implementação do protótipo do torno CNC utilizando realidade virtual foi efetuado e descrito no capítulo 5. Todas as especificações do protótipo apresentadas no capítulo 4 foram realizadas.

Com relação ao sistema de intertravamento (funcionalidade) proposto, a maior dificuldade foi a obtenção dos algoritmos e fluxogramas. Pois estas formas de representação de informações seguem um padrão de lógica sequencial enquanto que o modelo em Redes de Petri trata os dados de forma paralela, se aproximando bastante da linguagem Ladder utilizada na programação de CLP's industriais.

No caso do modelo geométrico (*design* físico) a dificuldade maior foi constatada com relação a velocidade de *rendering* do ambiente virtual. Quanto mais objetos gráficos eram colocados neste ambiente mais lento ficava a atualização do modelo gráfico. Isto pode ser notado quando o eixo-árvore está ligado, sua velocidade visual de rotação é muito mais lenta que a original desejada. Está lentidão também prejudica a navegação interativa do usuário e o deslocamento de objetos móveis (porta, contraponto, etc) no ambiente virtual. Dessa forma é importante salientar que para ambientes com um número elevado de objetos é necessário uma placa aceleradora gráfica com um maior desempenho.

Um ponto positivo com relação ao *software* de desenvolvimento de ambientes virtuais, utilizado no projeto, é que sua forma de execução das rotinas funcionais se assemelha muito ao paralelismo que um intertravamento de uma máquina-ferramenta necessita, isto é, o ambiente permite a execução de vários procedimentos ao mesmo tempo, inclusive com a verificação contínua de diversas condições da máquina para posterior tomada de decisão.

Um ponto negativo observado no projeto foi a ausência de uma "segunda mão" pois para trabalhar numa máquina-ferramenta, tendo apenas o *mouse* para manipular os botões e o tarugo, é uma condição limitante. No caso, as limitações foram desde apertar dois botões ao mesmo tempo, como é o caso do acionador de velocidade do carro porta-ferramentas que necessita apertar simultaneamente os botões de velocidade e de direção, quanto deslocar a peça usinada para fora do seu nicho, o que requer duas mãos para realizar tal procedimento. A sugestão para uma continuação do projeto seria a utilização de *datagloves* para uma simulação mais próxima da realidade desejada.

7.2.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento de um compilador de programa G de maior eficiência para o ambiente virtual. No caso, este compilador deveria reconhecer um maior número de comandos e posteriormente verificar a consistência do programa G, isto é, verificar se a semântica dos comandos digitados estão corretos antes de

executá-los. Ainda com relação a programação G, seria interessante acrescentar no ambiente virtual a opção do editor de programação G no painel do torno. Permitindo as opções de edição, alteração e troca de programas dentro do ambiente virtual. O interessante seria não depender do programa EXCEL para poder editar e introduzir o programa G no ambiente virtual.

- Continuar o detalhamento gráfico e funcional das opções do torno, como por exemplo: retirada do tarugo usinado e colocação de outro no lugar. Acrescentar mais opções no gerador de falhas, como por exemplo: falta de fluído, o que ocasionaria por exemplo: problemas com a abertura/fechamento da porta, com o freio do eixo-árvore, etc. Disponibilizar um número maior de ferramentas para o torneamento e melhorar a precisão do mesmo. Desenvolver uma opção para modelar e monitorar o desgaste e a quebra de uma determinada ferramenta e sua influência no momento em que se está torneando uma peça.
- Outra sugestão para depois da criação do editor de programação G no ambiente virtual seria colocar o torno disponível na internet e permitir que vários usuários possam acessá-lo ao mesmo tempo. Isto possibilitaria a utilização do torno para treinamento remoto ou para divulgação técnica do mesmo, numa possível compra do equipamento por algum cliente.
- Sem dúvida a sugestão principal seria a criação de um torno virtual imersivo, onde por meio de datagloves e capacetes de visualização (Head-Mounted Display - HMD), o usuário sentiria a interação num nível de detalhamento muito maior e teria seu sentido de presença elevado. Porém, é importante lembrar que esta sugestão está ligada diretamente a melhoria dos equipamentos de hardware. Pois, como foi salientado anteriormente neste trabalho, a grande dificuldade está nos dispositivos como os HMD's de baixo custo, encontrados hoje no mercado em sua grande maioria são utilizados para a área de entretenimento. Dessa forma, eles possuem uma baixa resolução de vídeo (640x480 - VGA) o que dificulta ao usuário a visualização de dados alfanuméricos e detalhes gráficos com clareza.

- Um outro trabalho poderia enfocar uma comparação e avaliação de desempenho e eficiência, de um roteiro de desenvolvimento de produto com a inclusão da prototipação virtual e outro sem. O trabalho também poderia salientar de que forma o protótipo virtual seria melhor empregado neste roteiro de desenvolvimento e que informações ele poderia dispor para auxiliar na confecção do produto final.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, L. (1994). *Visualização e realidade virtual*, Ed. Makron Books, pp. 255-259, São Paulo.
- ANGSTER, S. & JAYARAM, S. (1997). *Vedam: virtual environments for design and manufacturing*. http://www.vrcim.wsu.edu/vir_man.html (Agosto).
- ARAÚJO, R. B. (1996). *Especificação e análise de um sistema distribuído de realidade virtual*, São Paulo, Junho, 144 Pp., Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- AUGUSTO, A. (1995). A realidade virtual já é uma realidade, *Byte*, pp. 23, vol. 4, n. 1, Janeiro.
- AUKSTAKALNIS, S. & BLATNER, D. (1992). *Silicon mirage: the art and science of virtual reality*, Peatchpit Press, Berkeley, CA.
- BAGIANA, F. (1993). Tomorrow's space: journey to the virtual worlds, *Comput & Graphics*, pp. 687-690, v.17, n. 6.
- BAJURA, M. et al. (1992). Merging virtual objects with the real world, *Computer Graphics SIGGRAPH'92*, Chicago, pp. 203-210, July.
- BAJURA, M. & NEUMANN, U. (1995). Dynamic registration correction in video-based augmented reality systems, *IEEE Computer Graphics and Application*, n. 9, September.

- BALL, B. W. & GRUHN, P. (1991). Design considerations for high-risk safety systems, *Intech USA*, pp. 28-32, March.
- BANERJEE, A. & BANERJEE, P. (1995). Immersive display interface specification standards in virtual manufacturing: a prototype, *Proc. IFIP WG 5.7*, pp. 266-276, Seattle, September.
- BANERJEE, A. et al. (1997). *Factory Models using virtual reality: Immersive Display Models of factory floor*. <http://zenith2.me.vic.edu/ivri/fmur.htm> (Agosto).
- BANERJEE, A. & MEHROTRA, S. (1995). A prototype architecture for manufacturing system layout design decision using virtual reality, *Proc. NFS Des. & Manuf. Gratees Conference*, pp. 235-236, San Diego, CA.
- BAYARRI, S. et al. (1996). Virtual reality for driving simulation, *Communications of the ACM*, pp. 72-76, vol. 39, n. 5, May.
- BEARDSLEY, D. (1997). BMW enter the world of VR, *Sense 8 Universe Journal*, pp. 3, Winter.
- BEGAULT, D. R. (1994). *3-D Sound for virtual reality and multimedia*, Academic Press, Cambridge, MA.
- BIANCHI, F. C. (1989). Aplicações avançadas de controladores programáveis, *Controle e Instrumentação*, pp. 51-57, Novembro.
- BISHOP, G. et al. (1992). Research directions in VR environments, *Computer Graphics - ACM*, 26(3):153-177, Aug.
- BISWAS, D. & MARKOC, B. (1991). Safety system for gas source molecular beam epitaxy, *Journal of Cristal Growth*, v. 113, n.1-2, pp. 209-229, August.

-
- BLANCHARD, C. et al. (1990). Reality built for two: a virtual reality tool, *Computer Graphics*, pp. 35-36, vol. 24, n. 2, March.
- BLANCHARD, D. (1995). The reality of virtual manufacturing, *Intelligent manufacturing*, <http://lionhrtpub.com/IM6-Reality.html> (Junho).
- BOLAS, M. T. (1994). Human factors in the design of an immersive display, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 55-59, January.
- BOMAN, D. K. (1995). International survey: virtual-environment research, *IEEE Computer*, v. 6, June.
- BOWSKILL, J. & DOWNIE, J. (1995). Extending the capabilities of the human visual system an introduction to enhanced reality, *Computer Graphics*, pp. 61-65, v. 29, n. 2, May.
- BRYSON, S. & LEVIT, C. (1991). The virtual windtunnel: an environment for the exploration of three-dimensional unsteady fluid flows, *Proceedings of IEEE Visualization'91*, San Diego.
- BRYSON, S. (1993). Virtual reality in scientific visualization, *Computer & Graphics*, pp. 679-685, vol. 17, n. 6.
- BRYSON, S. (1996). Virtual reality in scientific visualization, *Communications of the ACM*, pp. 62-71, vol. 39, n. 5, May.
- BURDEA, G. & COIFFET, P. (1994). *Virtual reality technology*, John Wiley & Sons, New York, N.Y..
- CHANDRA, V. & VERMA, M. (1991). A fail safe interlocking system for railways, *IEEE Design and Test of Computers*, pp. 58-66, March.

-
- CHINNOCK, C. (1995). Realidade virtual faz bem à saúde, *Byte*, pp. 26, v. 4, n. 6, Junho.
- CHINNOCK, C. (1996). A realidade virtual vai ao trabalho, *Byte*, pp. 16-17, v. 5, n. 3, Março.
- CLARK, K. B. & FUJIMOTO, T. (1997). Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991 *apud* Amaral, D. C. *Colaboração cliente-fornecedor no desenvolvimento de produto: integração, escopo e qualidade do projeto do produto*. Dissertação (mestrado), UFSCar, DEP.
- COMEAU, C. P. & BRYAN, J. S. (1961). Headsight television system provides remote surveillance, *Electronics*, pp. 86-90, November.
- CRANMER, D. (1991). Implementing a PLC system, *PACE*, pp. 68-69, October.
- CRUZ-NEIRA, C. et al. (1992). The CAVE audio visual experience automatic virtual environment, *Communication of the ACM*, 35(6):64-72, June.
- DELANEY, J. (1996). Realidade virtual: Virtual i-glasses, *PC Magazine Brasil*, vol. 6, n. 7, Jul.
- DENEB ROBOTICS (1997). *The simulation and analysis tool for machine tools and machining operations*. <http://www.deneb.com/> (Agosto)
- DIETZ, D. (1995). Human integrated design, *Mechanical Engineering*, pp. 92-96, August.
- DIVISION (1997). *Solution softwares of virtual reality*. <http://www.division.com/> (Agosto).

- DOMBROWSKI, L. R. et al. (1991). Separation of interlocking and regulatory control in programmable electronic systems, *ISA Transactions*, pp. 19-25, vol. 30, n. 4.
- DUPONT, P. (1994). Whiter virtual reality ?, *Computer Bulletin*, pp. 14-17, October.
- DUPONT, P. (1996). Virtual reality today, *Computer Bulletin*, pp. 14-15, June.
- DVORAK, P. (1997). Engineering puts virtual reality to work, *Machine Design*, pp. 69-73, February.
- EARNSHAW, R. A. et al. (1995). *Virtual Reality applications*, Academic Press, 328 Pp., London.
- ELLIOTT, S. D. & MILLER, P. L. (1995). *3D Studio 4.0 técnicas avançadas*, Ed. Berkeley, São Paulo.
- ELLIS, S. R. (1994). What are virtual environments ?, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 17-22, January.
- ENCARNAÇÃO, J. et al. (1994). European activities in virtual reality, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 66-74, January.
- EXHIBITORS (1997). *Virtual reality in manufacturing research and education*. http://www_ivri.me.uic.edu/symp96/preface.html (Agosto)
- FISHER, S.S & TAZELAAR, J. M. (1990). Living in a virtual world, *Byte*, pp. 215-221, July.
- FOLKS (1997). They're taking h-i-t-l virtual prototyping to max, *Published for Caterpillar*, pp. 1 e 3, March.
- FREEMAN, R. A. (1989). What should you worry about when doing a risk assesment ?, *Chemical Engineering Progress*, pp. 29-34, November.

- GIMENEZ, A. M. & KIRNER, T. G. (1997). Validation of real-time systems using a virtual reality simulation tool, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Florida - USA.
- GONÇALVES FILHO, E. V. (1994). Comando numérico de máquinas ferramentas, *Notas de aula da disciplina de graduação do SEM-EESC/USP*, 43 Pp., Abril.
- GRADECKI, J. (1994). *The virtual reality construction kit*, John Wiley & Sons, 340 Pp..
- GRIMES, J. (1991). Virtual reality 91 anticipates future reality, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 81-82, November.
- HANCOCK, D. (1995). Viewpoint: virtual reality in search of middle ground, *IEEE Spectrum*, 32(1):68, Jan.
- HAND C. (1994). Other faces of virtual reality, *First International Conference MHVR'94 - Lecture Notes in Computer Science n.1077*, pp. 107-116, Ed. Springer, Moscow, Russia, September.
- INFORMÁTICA EXAME (1995). *A vez da realidade virtual*, pp. 14, ano 10, n. 110, Maio.
- INTELLIGENT MANUFACTURING (1995). *Virtual Reality is for real*, vol. 1, n. 12. <http://lionhrtpub.com/IM/IM-12-95/IM-12-vr.html> (Dezembro).
- IWATA, K. et al. (1995). A modelling and simulation architecture for virtual manufacturing systems, *Annals of the CIRP*, pp. 399-402, vol. 44, January.
- JACOBSON, L. (1991). *Virtual reality: A status report*, *AI Expert*, pp. 26-33, Aug.
- JACOBSON, R. (1993). After the virtual reality gold rush: the virtual world paradigm, *Comput & Graphics*, pp. 695-698, v.17, n. 6.

- JONES, A. T. & RABELO, L. C. (1992). Realtime decision making using neural nets, simulation and generic algorithms, *Proceedings of the 2nd International FAIM Conference*, Falls Church, Virginia - USA, pp. 746-757, July.
- JONES, K & CYGNUS, M. W. (1993). Virtual reality for manufacturnig simulation, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, IEEE Computer Society Press, pp. 882-887, New York.
- JOSEFSSON, D. (1998). *An interview with William Gibson*. <http://algonet.se/%7Edanj/gibson1.html> (18 Junho).
- KAHANER, D. (1993). Virtual reality in japan, *IEEE Micro*, pp. 66-73, April.
- KAHANER, D. (1994). Japanese Activities in virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 75-78, January.
- KALAWSKY, R. S. (1993). *The science of virtual reality and virtual environments*, Ed. Addison-Wesley, 405 Pp..
- KATO, E. R. (1994). *Projeto do intertravamento de centros de usinagem para ambiente de manufatura flexível*, Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos-SP, 181 Pp., Agosto.
- KENT, E. (1997). *Summary of panel discussion on role of virtual reality in manufacturing research and education*. http://www_ivri.me.uic.edu/symp96/panel.html (Agosto).
- KIMURA, F. (1993). Product and process modelling as a kernel for virtual manufacturing environment, *Annals of the CIRP*, pp. 147-150, vol. 42, January.

-
- KIRNER, C. (1996). *Apostila do ciclo de palestras de realidade virtual*, Atividade do Projeto AVVIC- CNPq (Protem - CC - fase III) - DC/UFSCar, São Carlos, pp. 1-10, Out.
- KLETZ, T. A. (1985). Eliminating pontencial process hazards, *Chemical Engineering*, pp. 48-68, April.
- KREITLER, M. et al. (1995). Virtual environments for design and analysis of production facilities, *IFIP WG 5.7 Working Conference on Managing Concurrente Manufacturing to Improve Industrial Performance*, Washington - USA. <http://weber.u.washington.edu/~jheim/VirtualManufacturing/vrPaperIFIPS.html> (Setembro).
- KOMODA, N. et al. (1984). An autonomous, decentralized control system for factory automation, *Computer*, pp. 73-83, December.
- KOSAK, J. J. et al. (1993). Transfer of training from virtual reality, *Ergonomics*, pp. 777-784, vol. 36, n. 7.
- KRUEGER, M. W. (1991). *Artificial reality II*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA.
- KUGLER, J. C. (1990). Computerized heater level controls and interlocks - a first attempt, *Proceedings of American Power Conference - USA*, v. 52, pp. 294-299.
- KUNZLE, L. A. (1990). *Controle de sistemas flexíveis de manufatura - especificação dos níveis de equipamento e estação de trabalho*, Dissertação (mestrado), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, Agosto.
- LATTA, J. N. & OBERG, D. J. (1994). A conceptual virtual reality model, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29, Jan.

-
- LAW, A. M. & HIDER, S. W. (1989). *Selecting simulation software for manufacturing applications: practical guidelines & software survey*, Industrial Engineering, pp. 33-46, May.
- LEONARDO, M. (1981). Técnica moderna para desenvolvimento de projeto de sistemas de comando em processos industriais, *Seminário de Instrumentação IPB*, Rio de Janeiro, pp. 01-24, Setembro.
- LEONOV, A. P & MEDVEDEV, V. S. (1987). Microprocessor control of the drives of machine tools for machining printed wiring boards, *Sov J Comput Syst Sci*, v. 25, n. 6, pp. 64-72, Nov-Dec.
- LESTON, J. (1996). Virtual reality: the it perspective, *Computer Bulletin*, pp. 12-13, June.
- LOBÃO, E. C. (1995). *Intertravamento de máquinas-ferramenta: proposta de roteiro para projeto e implementação, e estudo de caso em ambiente de manufatura flexível*, Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos-SP, 175 Pp., Fevereiro.
- LOBÃO, E. C. & PORTO, A. J. V. (1995). Proposta de roteiro para intertravamento de sistemas industriais, *Anais da Conferência Internacional sobre prevenção de perdas em equipamentos e sistemas industriais - PREV95*, ABCM, pp. 97-100, Agosto.
- LOBÃO, E. C. et al. (1995). Proposta de roteiro para projetos de sistemas de intertravamento, *Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção - ENEGEP 95*, ABEPRO, v. 3, pp. 1546-50, São Carlos.
- LOBÃO, E.C & PORTO, A. J. V. (1996). Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia, *Anais do XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*, Piracicaba, Out.

- LOBÃO, E.C & PORTO, A. J. V. (1997). Uso da simulação no ensino de engenharia, *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM*, Bauru, Dez.
- LOFTIN, R. B. & KENNEY, P. J. (1995). Training the hubble space telescope flight team, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 31-37, September.
- MACHOVER, C. & TICE, S. E. (1994). Virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 15-16, January.
- MACHOVER, C. (1994). Four decades of computer graphics, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 14-19, November.
- MAHONEY, D. P. (1995). Driving VR, *Computer Graphics World*, pp.22-33, May.
- MAIA, L. A. R. (1990). Técnicas de seleção de controladores lógicos programáveis, *Controle e Instrumentação*, pp. 30-35, Janeiro.
- MCCARTY, W. D. et al. (1994). A virtual cockpit for a distributed interactive simulation, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 49-54, January.
- MIYAGI, P. E. (1993). *Controle de sistemas de eventos discretos*, Tese de livre docência apresentada na Escola Politécnica - POLI/USP, 174 Pp., São Paulo.
- MORIE, J. F. (1994). Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environment, *Computer Graphics*, 28(2):135-138, May.
- MOSHELL, J. M. et al. (1994). Dynamic terrain, *Simulation*, pp. 29-40, vol. 62, n. 1, January.
- NATALE, F. (1989). *Automação Industrial*, Ed. Nobel - Siemens S.A., São Paulo, 167 Pp..

- NORMAN, V. B. (1992). Future directions in manufacturing simulation, *Industrial Engineering*, pp. 36-37, May.
- O'NEILL, B. (1995). Industry news: Virtual NC for the manufacturing environment, *Simulation Magazine*, pp. 330-331, May.
- ONOSATO, M. & IWATA, K. (1993). Development of a virtual manufacturing system by integrating product models and factory models, *Annals of the CIRP*, pp. 475-478, vol. 42, January.
- OWEN, J. V. (1994a) Enter the future factory now, *Manufacturing Engineering*, pp. 24-25, March.
- OWEN, J. V. (1994b) Making virtual manufacturing real, *Manufacturing Engineering*, pp. 33-37, November.
- OWEN, J. V. (1995). Simulation: art and science, *Manufacturing Engineering*, pp. 61-63, February.
- PAQUES, J. J. (1991). The elements of safety for using programmable controllers, *ISA Transactions*, pp. 67-70, vol. 30, n. 4.
- PENTEADO, S. (1995). O mundo da quinta dimensão, *Informática Exame*, pp. 55-60, n. 111, junho.
- PIMENTEL, K. & BLAU, B. (1994). Teaching your system to share, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 60-65, January.
- PORTO, A. J. V. (1990). *Desenvolvimento de um método de integração do planejamento do processo de fabricação e do planejamento e controle da produção, baseado na flexibilidade do processo de fabricação*, Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos - SP, 236 Pp..

- POSTON, T. & SERRA, L. (1996). Dextrous virtual work, *Communications of the ACM*, pp. 37-45, v. 39, n. 5, May.
- RANK, P. (1983). *The design and operation of FMS*, North-holland Publishing Company - U. K., 343 Pp..
- RESSLER, S. (1997). *Virtual reality for manufacturing - case studies*, National Institute of Standards and Technology. <http://www.nist.gov/itl/div894/ovrt/projects/mfg/mfgVRcases.html> (Setembro).
- RIX, J. et al. (1995). *Virtual prototyping - virtual environments and the product design process*, IFIP Chapman & Hall, 348 Pp..
- RIBARSKY, W. et al. (1994). Visualization and analysis using virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 10-12, January.
- ROBERTSON, G. G. et al. (1993). Nonimmersive virtual reality, *IEEE Computer*, pp. 81-83, Feb.
- ROSEMBLUM, L. J. (1995). Mission visualization for planning and training, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 12-14, September.
- ROSEMBLUM, L. J. et al. (1995). Virtual reality unbound, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 19-21, September.
- ROSENFELD, H. (1993). *Planejamento de processos assistido por computador*, Notas de Aula - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP, São Carlos.
- SEEVERS, C. (1988). Simulation before automation, *Proceedings of the 4th International Conference on Simulation in Manufacturing*, pp. 217-244, November.

-
- SENSE8 (1996). *Customer applications: information management, analysis, training, simulation, research, education and development*, Sense8 corporation, Sausalito, CA. <http://www.sense8.com/> (Setembro).
- SHEPHERD, B. J. (1993). Rationale and strategy for VR standards, *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'93)*, Seattle, Washington, 18-22 September, pp. 41-46.
- SIKORA, D. S. & JONES, R. L. (1991). Emergency shutdown system, *IEEE Transactions on Industry Applications*, pp. 254-256, v. 27, n. 2, Apr-Mar.
- SILMA INC. (1997). *Virtual Soft Machines*, Cupertino. <http://www.silma.com/> (Agosto).
- SIMULATION BASED DESIGN (1997). *Simulation based design & virtual reality center*. <http://www.luorc.edu/sbd-gcrmtc/sbd.html> (Março)
- SHANNON, R. E. (1975). *System simulation: the art and the science*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
- STURMAN, D. J. & ZELTZER, D. (1994). A survey of glove-based input, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 30-39, January.
- SUPERSCAPE INC. (1997). *VRT - the most popular VR authoring suite available on the PC*. <http://www.superscape.com> (Agosto)
- TASHIRO, T. et al. (1985). Advanced software for combinatorial control of discrete event system-rule-based control software for factory automation, *International Conference on Computer Aided Technologies - Proceedings ACM/IEEE*, pp. 132-137, Montreal.
- TAUBES, G. et al. (1994). Taking the data in hand - literally - with virtual reality, *Science*, pp. 884-886, v. 265, August.

-
- TEMPLEMAN, M. (1996). VR is the business for land rover, *Computer Bulletin*, pp. 16-18, June.
- TERESKO, J. (1995). Customers transform virtual prototyping, *IW Eletronics & Technology*, pp. 35-37, May.
- THALMANN, N. M & THALMANN, D. (1993). *Mundos virtuais e multimídia*, Ed. LTC, pp. 141-148, Rio de Janeiro.
- TRAUBOMATIC (1993). *Manual de programação e operação de tornos automáticos*, Traubomatic indústria e comércio Ltda., 240 Pp.
- VALERIO NETTO, A. et al. (1997). A utilização da realidade virtual na engenharia mecânica, *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM*, Bauru, Dez.
- VALERIO NETTO, A. et al. (1998). Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto, *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, Agosto.
- VINCE, J. (1995). *Virtual Reality Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA.
- VIRTUAL MANUFACTURING (1997). What virtual manufacturing is: three paradigms. <http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/vm/vmdesc.html> (Agosto)
- VISIOLI, A. C. & BUGATTI, I. G. (1997). *Um ambiente de desenvolvimento de ferramentas didáticas e programas computacionais para o ensino fundamental*, Grupo de Realidade Virtual - DC/UFSCar. <http://www.dc.ufscar.br/grv/bolsas.htm> (Janeiro).
- VON SCHWEBER, L. & VON SCHWEBER, E. (1995). Cover story: realidade virtual, *PC Magazine Brasil*, pp. 50-73, v. 5, n. 6, junho.

VRAIS'96 (1996). Abstracts of proceedings of the virtual reality annual international symposium, *Institute of Electrical and Eletronics Engineers*. <http://www.computer.org/conferen/proceed/vrais96/abstract.htm> (Julho).

VREAM INC. (1997). *Product of virtual reality*, Chicago. <http://www.vream.com/> (Agosto).

WEXELBLAT, A. (1993). *Virtual reality applications and explorations*, Academic Press Professional, 245 Pp..

WITTEMBERG, G. (1995). Training with virtual reality, *Assembly Automation*, pp. 12-14, v.15, n. 3.

WORLD UP (1996). *User's guide handbook*, Sense8 Corporation, 200 Pp., May.

ANEXO 01 - PAINEL DO TORNO VIRTUAL

A proposta do painel do torno é mostrado a seguir juntamente com uma tabela dos botões e leds existentes.

Figura AN.01 - Painel do torno CNC.

Botão / Led	Função/ Ocorrência
<p>A1</p>	<p>Energiza o motor do eixo-árvore. Led aceso (motor energizado), led apagado (motor não energizado). Enquanto o led estiver aceso, esse botão não funciona, pois como o motor já está energizado e funcionando com a rotação correta, não há necessidade que o mesmo seja novamente acionado, logo, o botão não funciona ao ser pressionado pela segunda vez.</p>
<p>A2</p>	<p>Liga o eixo-árvore no sentido horário. Led aceso (eixo girando) e led apagado (eixo parado). Esta função só funciona quando o botão A1 estiver acionado. Este botão não é comum em tornos reais, pois se trata de uma função acionada somente durante a programação G. Neste caso, ele foi criado com a finalidade de auxiliar a execução do intertravamento.</p>
<p>A3</p>	<p>Desliga o eixo-árvore no sentido horário. Este botão não é comum em tornos reais, pois se trata de uma função executada somente durante a programação G.</p>
<p>A4</p>	<p>Aciona a bomba do sistema de refrigeração. Led aceso (ligada) e led apagado (desligada). Enquanto o led estiver aceso, este botão não funciona, pois como a bomba está funcionando corretamente, não há necessidade que o mesmo seja novamente acionado, logo, o botão não funciona ao ser pressionado pela segunda vez.</p>
<p>A5</p>	<p>Liga líquido refrigerante. Led aceso (ligado) e led apagado(desligado). Somente funciona quando led do botão A4 da bomba do refrigerante estiver acionado.</p>
<p>A6</p>	<p>Desliga o líquido refrigerante.</p>
<p>A7</p>	<p>Energiza o motor do transportador de cavaco. Led aceso (motor energizado), led apagado (motor não energizado). Enquanto o led estiver aceso o botão não funciona, pois como o motor já está energizado, não há necessidade que o mesmo seja novamente acionado, logo o botão é desqualificado.</p>
<p>A8</p>	<p>Liga transportador de cavacos, essa função só é executada quando o led do motor do transportador estiver aceso. Led aceso (transportador ligado) e led apagado (transportador desligado).</p>

<p>A9</p>	<p>Desliga transportador de cavacos.</p>
<p>A10</p>	<p>Abre a Porta, Led aceso (fim de curso da porta aberta acionado). Som ou Beep Ausente.</p>
<p>A11</p>	<p>Fecha a porta, Led aceso (fim de curso da Porta fechada acionado). Som ou Beep Ausente.</p>
<p>A12</p>	<p>Botão confirma: confirma uma operação, apesar da existência de uma falha. Led aceso (a confirmar), Led apagado (confirmado).</p>
<p>A13</p>	<p>Habilita o eixo X, ativa uma rotina no painel que permite o referenciamento do carro porta-ferramentas na direção X, com condição de intertravamento que mantém o eixo-árvore parado e freado, led se acende quando eixo X referenciado.</p>
<p>A14</p>	<p>Habilita o eixo Z, ativa uma rotina no painel que permite o referenciamento do carro porta-ferramentas na direção Z, com condição de intertravamento que mantém o eixo-árvore parado e freado, led se acende quando eixo Z referenciado.</p>
<p>Z1</p>	<p>Ativa uma rotina no painel que permite a criação da zona de segurança da placa de fixação. Led aceso (zona estabelecida), led apagado (zona não estabelecida). Som ou Beep Ausente.</p>
<p>Z2</p>	<p>Ativa uma rotina no painel que permite a criação da zona de segurança do contra-ponto. Led aceso (zona estabelecida), led apagado (zona não estabelecida). Som ou Beep Ausente.</p>

<p>Z3</p>	<p>Ativa uma rotina no painel que permite o referenciamento da peça. Referenciado (led aceso), led apagado (não referenciado). Som ou Beep Ausente.</p>
<p>Z4</p>	<p>Permite o carregamento do Programa G. Led aceso (carregado) e led apagado (sem programa).</p>
<p>P1</p>	<p>Desativa o temporizador do “Watch Dog Timer”. Led aceso (WDT ativado), led apagado (WDT desativado).</p>

Somente botão	Função/ Ocorrência
<p>B1</p>	<p>Solta a peça na placa de fixação (abrir as castanhas), enquanto o botão estiver apertado a placa se abre até seu fim de curso. Som ou Beep Ausente.</p>
<p>B2</p>	<p>Fixa a peça na placa de fixação (fechar as castanhas), enquanto o botão estiver apertado a placa se fecha até seu fim de curso. Som ou Beep Ausente.</p>
<p>B3</p>	<p>Avança o contra-ponto. Enquanto o botão estiver apertado o contra-ponto se movimenta.</p>
<p>B4</p>	<p>Recua o contra-ponto. Enquanto o botão estiver apertado o contra-ponto se movimenta.</p>
<p>B5</p>	<p>Acelera o movimento do carro porta-ferramentas em qualquer direção. (trabalha com duas velocidades)</p>

<p>B6</p>	<p>Permite o movimento do carro porta-ferramentas na direção -X. Enquanto o botão estiver apertado este carro se movimenta. Som ou Beep Ausente.</p>
<p>B7</p>	<p>Permite o movimento do carro porta-ferramentas na direção +X. Enquanto o botão estiver apertado este carro se movimenta. Som ou Beep Ausente.</p>
<p>B8</p>	<p>Permite o movimento do carro porta-ferramentas na direção +Z. Enquanto o botão estiver apertado este carro se movimenta. Som ou Beep Ausente.</p>
<p>B9</p>	<p>Permite o movimento do Carro Porta-ferramentas na direção -Z. Enquanto o botão estiver apertado este carro se movimenta. Som ou Beep Ausente.</p>
<p>T+</p>	<p>Movimenta a ferramenta do carro porta-ferramentas no sentido horário.</p>
<p>T-</p>	<p>Movimenta a ferramenta do carro porta-ferramentas no sentido anti-horário.</p>
<p>S1</p>	<p>Botão Start: Inicia a execução do programa G.</p>
<p>O6</p>	<p>Interrompe o programa G (Pausa).</p>
<p>Parada</p>	<p>Botão Stop: Quando acionado paraliza todas as funções do torno.</p>

Chaves	Função/ Ocorrência
<p>C1 Chave Tipo Switch</p>	Chave que determina se o torno opera no modo manual ou no modo “unamed production” (modo automático).
<p>C2 Chave tipo Switch</p>	Chave liga/desliga do torno.

Somente Led	Função/ Ocorrência
<p>L1</p>	No caso de qualquer falha no <i>Hardware</i> (comandos acionados inadvertidamente, ou o não acionamentos dos mesmos) o led acende.
<p>L2</p>	No caso de qualquer falha no Circuito Hidráulico (problemas na bomba, ou vazamento nos dutos de pressão) o led acende.
<p>L3</p>	No caso de qualquer falha no Circuito Pneumático (problemas no compressor, ou vazamentos nos dutos de pressão) o led acende.
<p>L4</p>	No caso de qualquer falha no Sistema Elétrico (ausência de uma ou mais fases, desbalanceamento de fases,etc) o led acende.

Tabela AN.01 - Conjunto de tabelas de botões e leds do painel.