

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

**Desenvolvimento de um Protótipo de um Torno CNC
Utilizando Realidade Virtual**

**Antonio Valerio Netto
Maria Cristina Ferreira de Oliveira**

Nº 65

NOTAS



São Carlos - SP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
ISSN 0103-2577

**Desenvolvimento de um Protótipo de um Torno CNC
Utilizando Realidade Virtual**

**Antonio Valerio Netto
Maria Cristina Ferreira de Oliveira**

Nº 65

NOTAS

Série Computação



**São Carlos – SP
Mai./2002**

Desenvolvimento de um protótipo de um torno CNC utilizando Realidade Virtual

Antonio Valerio Netto¹

Maria Cristina Ferreira de Oliveira²

Departamento de Ciências da Computação e Estatística
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC
Universidade de São Paulo - USP - Campus São Carlos
Caixa Postal 668 - CEP 13560-970 - São Carlos, SP

Resumo: Apresentamos um procedimento para a implementação do protótipo de um torno CNC (Comando Numérico Computadorizado) virtual, utilizando um *software* para desenvolvimento de ambientes virtuais. O protótipo focaliza o sistema de intertravamento (funcionalidade) e o modelo geométrico (*design* físico) do torno. O projeto do torno virtual permitiu identificar potencialidades e limitações da tecnologia de Realidade Virtual na prototipação virtual de máquinas-ferramenta, bem como avaliar a real complexidade associada à prototipação de um produto de manufatura ou montagem.

Abstract: : We outline a procedure for implementing a virtual CNC lathe prototype using *software* for creating virtual environments. The prototype constructed focus on the lathe's interlocking system (its functionality) and on its geometric model (its physical *design*). This project allowed us to identify the possibilities and limitations of applying current Virtual Reality technology for virtual prototyping of manufacturing machines, and evaluate the complexity associated to product prototyping in manufacturing or assembly.

^{1,2} Os autores agradecem o apoio do CNPq (Processo 521931/97-5) e da FAPESP (Processo 00/04779-2).

1 Introdução

No atual contexto mundial globalizado, as empresas são pressionadas a buscar maiores níveis de competitividade para enfrentar os novos concorrentes, o que vem motivando uma total remodelação dos sistemas produtivos. Tal remodelação envolve desde a substituição de equipamentos obsoletos e de baixa produtividade por outros mais modernos e produtivos, como a reestruturação dos *layouts* das fábricas e de fluxos de transporte existentes no chão de fábrica, planejamento e controle da produção, até a melhor qualificação da mão-de-obra, de forma a melhorar a qualidade do produto, bem como reduzir o *lead time* de produção e os desperdícios com refugos [1]. Na busca por formas alternativas e eficientes de viabilizar essa melhoria organizacional e propiciar a modernização do sistema produtivo, ambientes de realidade virtual começam a ser usados para a simulação de equipamentos, treinamento de funcionários, validação de planejamento de produção, visualização de *layout* de fábricas e de protótipos de produtos [2].

Vários autores relatam aplicações de realidade virtual em ensino e treinamento nesse contexto, comprovando a eficiência desta tecnologia para tal fim [3]. Outros pesquisadores [4][5] apresentam estudos nos quais os resultados de treinamento obtidos com o uso de realidade virtual são claramente superiores àqueles obtidos utilizando sistemas convencionais. Alguns pesquisadores consideram a prototipação virtual uma das aplicações mais importantes da automação de projetos utilizando recursos de realidade virtual [6], e vários justificam o seu uso, principalmente, na área automobilística [7]. Existem, também, trabalhos que relatam as perspectivas da prototipação virtual no mercado [16], técnicas avançadas de modelagem de produto utilizando este novo recurso [17], e alguns exemplos de aplicações industriais [8].

Ainda que a área de entretenimento seja a 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. Um *software* de desenvolvimento de ambientes de realidade virtual sofisticado permite modelar maquinários, veículos e dispositivos, e simular o comportamento real do equipamento. Isso pode reduzir custos e ciclos de desenvolvimento, e permite sessões de treinamento e validação com o produto virtual [9]. O avanço das pesquisas na área tem produzido ferramentas de *hardware*, como capacetes, luvas e óculos, cada vez mais poderosas, mais leves e ergonômicas, e com mais recursos. Isso, por sua vez, estimula um maior interesse por parte dos vários segmentos da indústria e um número crescente de usuários e de aplicações no mundo todo.

A prototipação virtual é um passo importante para o desenvolvimento eficiente do produto final. A partir de informações sobre a geometria e a topologia do projeto, de resultados da simulação obtidos por ferramentas de modelagem combinadas com cálculos de cinemática, de dados sobre o material, a tolerância, e outras informações disponíveis sobre o produto, é possível gerar protótipos no computador para apresentações realistas. Esses protótipos virtuais podem diminuir os custos com protótipos reais e com o tempo de disponibilização para testes, além de permitir interações com o produto mesmo nos estágios iniciais de desenvolvimento [8]. Entre as principais vantagens da prototipação virtual para os processos industriais, pode-se citar:

Redução de Tempo: o parâmetro tempo é, atualmente, um dos fatores mais importantes para a indústria. O *time-to-market* (tempo que um produto leva para ser projetado até os seus primeiros protótipos serem produzidos) é a chave do *marketing* que diferencia os competidores.

Diminuição de Custos: os protótipos virtuais podem reduzir a necessidade de construir um grande número de protótipos físicos, com a conseqüente diminuição do tempo de

desenvolvimento e do esforço humano dispendidos no projeto. Também diminui a quantidade de ferramentas e de materiais utilizados para a confecção do protótipo físico. É mais rápido obter resultados do protótipo virtual o que garante um *feedback* sobre o projeto antes que os custos da produção sejam fixados.

Melhoria da Qualidade: a possibilidade de investigar diferentes alternativas para um projeto é viabilizada mais rapidamente e a um menor custo, permitindo validar as diferentes soluções apropriadas que satisfaçam os parâmetros especificados pelo cliente.

O artigo visa verificar as potencialidades e as limitações desta nova tecnologia diante da complexidade dos dados que um protótipo virtual pode gerar, bem como, suas aplicações práticas na área de *marketing* (vendas) e principalmente na área de treinamento de usuários. No caso, o torno CNC aqui apresentado busca servir como um exemplo ilustrativo de como esta abordagem adotada pode ser generalizada para outros equipamentos industriais como: fresadoras, furadeiras, centros de usinagens, etc.

Este artigo, apresenta na Seção 2 uma visão geral do projeto prático; na Seção 3 é relatado o procedimento que foi adotado para a implementação do Torno CNC virtual seguindo todas as etapas que foram sugeridas neste procedimento. Na Seção 4, são apresentados alguns aspectos relevantes do projeto, como por exemplo, entrada e execução do programa CN (Comando Numérico), gerador de falhas, etc. Na Seção 5 são expostas as conclusões e considerações finais do projeto e nas Seções 6 e 7 estão os agradecimentos e a bibliografias referenciadas.

2 Visão geral do projeto protótipo virtual

O projeto consiste no desenvolvimento de um procedimento para a implementação de um protótipo virtual de um torno³ CNC (Comando Numérico Computadorizado) com ênfase no sistema de intertravamento (funcionalidade) e no modelo geométrico (*design* físico). Foi criado um modelo geométrico que representa precisamente as componentes de um torno e suas interconexões, e sobre este modelo é simulado o sistema de intertravamento do torno real. O sistema de intertravamento de um torno CNC detecta condições fora da área de trabalho preestabelecida, ou seqüências impróprias e, ou aborta a ação em andamento, ou dá início às ações corretivas necessárias [10].

Como no torno real, no protótipo virtual o sistema de intertravamento é acionado à medida que o equipamento é utilizado, por exemplo, ao abrir a porta do torno CNC durante uma usinagem, ou quando ocorre um erro ocasionado pela programação CN (Comando Numérico). Com isso, o usuário pode verificar qual o procedimento adotado pela máquina, de acordo com a falha que ocasionou o erro. Como muitos intertravamentos são acionados enquanto uma peça está sendo torneada, o protótipo permite, também, a visualização do (e interação com o) 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. No torno real, também ocorrem intertravamentos devido a falhas de *hardware*. Esse é o caso de falhas no freio do eixo-árvore, no sistema de alimentação de energia elétrica, e nos sistemas hidráulico e

³ Torno é um equipamento destinado a realização da operação de torneamento que é um processo mecânico destinado a obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Para tanto, a peça (tarugo) gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo [18].

pneumático do torno. Para simular tais situações no torno virtual foi proposto um gerador de falhas de intertravamento.

O projeto utilizou como dispositivo de navegação e interação com o ambiente virtual um *mouse*, e como dispositivo de visualização um monitor de vídeo de 17' (*Cathode Ray Tube*) com placa gráfica aceleradora para a síntese de imagens poligonais. Quanto ao sentimento de presença, o ambiente virtual pode ser classificado como não imersivo. O ambiente permite, entretanto, uma sessão de realidade virtual interativa, isto é, proporciona uma exploração do ambiente 3D dirigida pelo usuário, e as entidades virtuais do ambiente respondem e reagem de acordo com as ações do participante. Na figura 1 é apresentada uma visão do torno CNC virtual.

Para a implementação do intertravamento do torno CNC foi adotado o modelo proposto por Lobão [11], pelo qual os módulos de intertravamento são simulados e validados por diagramas lógicos e Redes de Petri. Além de auxiliar no desenvolvimento de um protótipo do equipamento em questão, o protótipo permite o treinamento de operadores para a sua manipulação sem incorrer nos gastos com ferramentas e matéria-prima, sem os riscos de acidentes de trabalho e, ainda, com a possibilidade de treinar ao mesmo tempo vários operadores sem aumentar os custos finais.

3 Procedimento para a implementação do torno CNC virtual

O procedimento de implementação do torno envolveu duas etapas, inicialmente distintas, mas que se complementam na implementação das características funcionais do processo de intertravamento. A primeira etapa agrupa as atividades de definição do modelo gráfico/geométrico do torno virtual, detalhadas ao longo desta Seção. A segunda etapa agrupa as atividades de validação e simulação da funcionalidade do sistema, utilizando Redes de Petri como ferramenta de modelagem e a obtenção da lógica para a implementação dentro do ambiente virtual. Uma vez realizadas a maioria das atividades da primeira etapa é possível executar a segunda etapa, referente à implementação das características funcionais do torno. Por características funcionais, entende-se a abertura e fechamento da porta de alimentação, a movimentação dos eixos X e Z do carro porta-ferramentas, da torre revólver, e do eixo-árvore; e dos eixos X e Z do carro porta-ferramentas, da torre revólver, do eixo-árvore, e do contraponto. A funcionalidade abrange, também, a animação do líquido refrigerante, do extrator de cavacos, dos botões e *displays* do painel de controle do torno, etc.

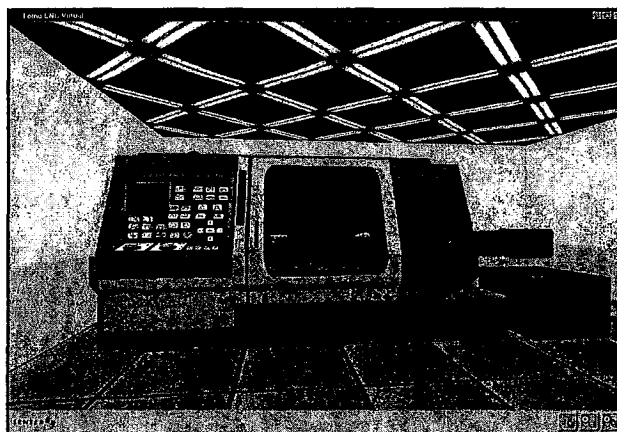


Figura 1. Visão do Torno CNC Virtual

O procedimento proposto para a elaboração do torno num ambiente virtual é exibido na figura 2. Cada passo mostrado na figura é descrito nos itens subsequentes da Seção 3. As principais ferramentas de *software* utilizadas no projeto foram o 3DStudio Max [14] e World Up [15].

3.1 Definição do modelo gráfico

O modelo geométrico que define a aparência, o formato e a configuração do torno foi concebido de acordo com sua finalidade. No caso, não era uma exigência de projeto que o protótipo permitisse ao usuário explorar o interior da máquina-ferramenta, o que tornou desnecessária a modelagem de peças internas que não são visíveis. Muitos detalhes, como parafusos, junções e detalhes externos sem funcionalidade, foram suprimidos de modo a limitar o número de faces poligonais do modelo e melhorar a eficiência de *rendering* no ambiente virtual. O modelo escolhido para o torno virtual é uma combinação de dois modelos de torno da empresa Traub, o TND 360 e o TNA 480 [12]. Criou-se um híbrido de ambos aproveitando a aparência externa do TND 360 e o sistema de usinagem do TNA 480, no qual o carro porta-ferramentas se desloca nos eixos X e Y, não obstruindo assim a visualização do processo de usinagem.

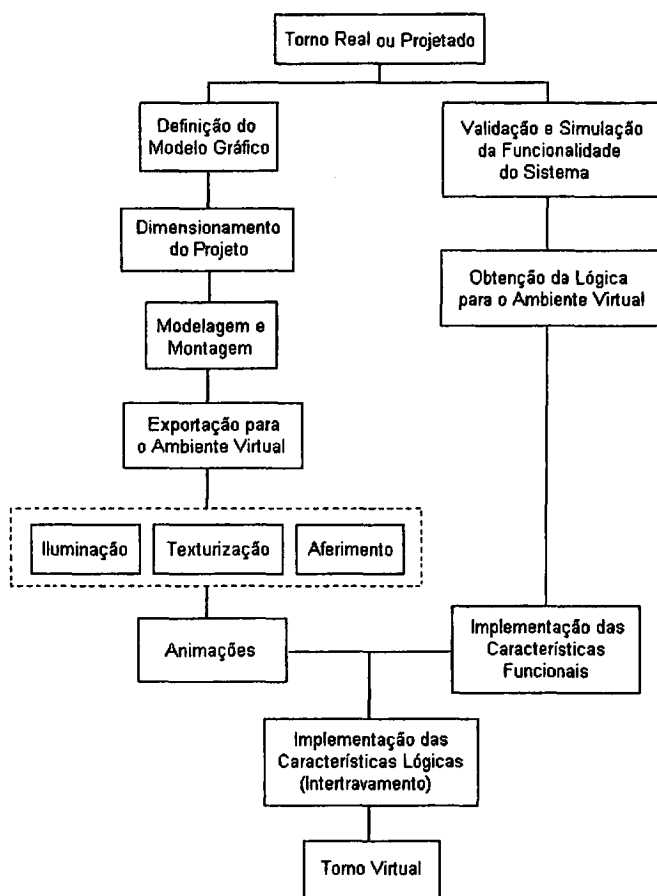


Figura 2. Procedimento adotado para a elaboração do torno [15]

3.2 Dimensionamento do projeto

Foi adotada uma escala de 1:1 na construção do modelo virtual, sendo que a unidade no ambiente de modelagem equivale a um milímetro, evitando assim a necessidade de calcular as dimensões do modelo em escala. O número de casas decimais pode ser configurado no *software* 3DStudio Max, sendo que foi adotada uma precisão de 4 casas decimais.

Foi feito um croqui do torno, tanto para definir a sua forma física como para possibilitar a manipulação independente de suas componentes funcionais no ambiente virtual, pois no momento do projeto já eram conhecidas as funções a serem desempenhadas por cada elemento no sistema virtual. Dessa forma, foi possível identificar quais componentes da máquina deveriam ser modeladas separadamente. No caso, foram modelados separadamente a torre revólver, o carro porta-ferramentas, a porta de acesso, todos os botões, o eixo-árvore, as castanhas e o contraponto. Todos os demais componentes foram fundidos em um 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.

3.3 Modelagem e montagem

A modelagem foi iniciada criando um modelo geométrico bidimensional do corte lateral do torno, a partir do qual foram geradas, por extrusão, a carcaça, a porta e o módulo do painel. Posteriormente, foram adicionados ao modelo resultante os botões, as chaves e o *display*. Este processo garante que todos os objetos criados a partir do mesmo entorno se encaixam perfeitamente e sempre possuem o centro coincidente na vista lateral, já que o processo de extrusão, realizado sobre o eixo X, partiu do mesmo modelo para todos os objetos citados.

Em seguida, os objetos criados foram montados usando a ferramenta de alinhamento disponível no *software* 3Dstudio MAX [14], que permite alinhar os objetos em qualquer um dos eixos (X, Y, Z) utilizando como referência o ponto máximo (ou mínimo) do objeto no vetor escolhido, ou o pivot, ou o centro geométrico do mesmo. A partir do corte da figura geométrica (Figura 3), que definiu a abertura da janela de visão do torno, foi gerada, por extrusão, uma elipse que formou a borracha de vedação do vidro da porta. Como o vidro deveria possuir transparência total, a fim de permitir a visualização da usinagem, este foi suprimido na modelagem.

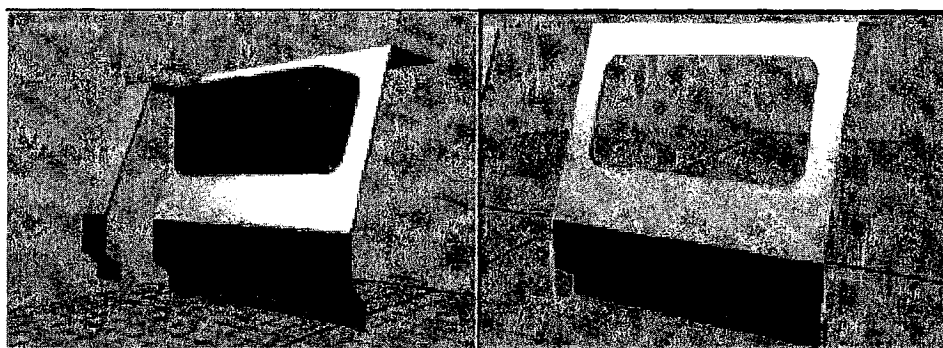


Figura 3. Detalhe do processo de criação da janela de visão do torno[15]

Em seguida foram criados o eixo-árvore e o contraponto, que são compostos basicamente por cilindros. Uma vez criados estes cilindros, também por extrusão de uma vista lateral, eles foram alinhados nos eixos X e Y usando a ferramenta de alinhamento. O carro que movimenta o contraponto foi criado a partir de um modelo do seu corte lateral pelo mesmo processo de extrusão, e o eixo do contraponto foi criado a partir de um sólido. Este processo de definição do modelo geométrico por etapas possibilitou que muitos objetos, como o carro do contraponto e seu eixo, fossem criados exatamente no lugar que iriam ocupar, facilitando assim, a montagem do modelo do torno quando na transferência do mesmo para o ambiente virtual.

Nesse estágio, o modelo do torno tornou-se razoavelmente complexo, dificultando a modelagem nos passos seguintes. Para suplantar esta dificuldade, foram utilizadas as ferramentas de visualização do *3DStudio MAX*, que permitem esconder (*hide*) ou congelar (*freeze*) os objetos gráficos. Isto facilitou a criação do carro porta-ferramentas e do revólver. Este último foi criado pelo mesmo processo que o carro do contraponto. Já a torre revólver foi criada, inicialmente, a partir de um cilindro.

O *3DStudio MAX* permite que objetos sejam associados (*linked*) em uma hierarquia, o que permitiu validar a estrutura geométrica do torno antes que o mesmo fosse exportado para o 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 movimentam-se de acordo. Quando somente o carro do eixo y era movimentado, só a torre revólver seguia o seu movimento, o mesmo teste foi aplicado ao eixo-árvore e à porta do torno, pois ambos possuem outros objetos que seguem sua movimentação. Finalmente, foram modeladas as ferramentas de corte, as pastilhas e os suportes, os quais foram posteriormente montados sobre o revólver utilizando a ferramenta de alinhamento.

3.4 Exportação para o ambiente virtual

O *resource browser* é um recurso do *software* World Up[®] [13] para importar geometria criada em outros programas, e permitiu importar todos os modelos de objetos de uma só vez, mantendo cada um como uma peça independente. Na importação, é possível alterar a escala dos objetos por um fator de multiplicação. No caso, todos os objetos foram escalonados por um fator 4, mudando assim a escala de 1:1 para 4:1. Isto foi necessário porque o modelo original do torno havia ficado muito pequeno no ambiente virtual, prejudicando a navegação.

O World Up[®] também permite definir uma hierarquia de objetos, montada no *scene graph browser*. Trata-se de uma lista em cascata com múltiplos níveis, na qual objetos podem ser colocados “dentro” de outros. Deste modo, um objeto responde às operações de escala e translação que são aplicadas sobre seu pai (o objeto ‘dentro’ do qual este se encontra, na lista).

3.5 Iluminação, Texturização e Aferimento

Em um ambiente virtual os elementos precisam estar iluminados para serem visíveis. O torno possui partes “internas”, como a câmara onde é realizada a usinagem, e uma única fonte de luz não seria suficiente para que todas as partes fossem iluminadas. Assim, além da luz ambiente, que é uma luz padrão do universo virtual, foram criadas mais três fontes de luz direcionais: uma sobre a carcaça do torno (iluminando toda parte externa, inclusive o painel), outra no interior da

câmara de usinagem (iluminando a peça, o contraponto, o porta ferramentas e o eixo-árvore), e outra iluminando a parte traseira do torno.

Texturização é o processo de aplicação de ‘materiais’, descritos como *bitmaps*, sobre a superfície dos objetos para dar aos mesmos uma aparência mais realística, evitando a aparência artificial gerada pela aplicação de modelos simples de tonalização [19]. O mapeamento de texturas sobre os objetos permite a incorporação de padrões e efeitos de rugosidade e brilho. Todos os objetos gráficos foram transferidos para o World Up® MODELER para receber o mapeamento de 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*. O MODELER oferece um editor de materiais bastante simples, mas que permite escolher a cor básica do material, a cor que reage à luz direcional e a cor do brilho. Também é possível definir o nível de transparência do material e escolher um *bitmap* a ser mapeado sobre a superfície do objeto. O mapeamento pode ser feito sobre faces, superfícies planas, cilíndricas ou esféricas. Também é possível ajustar o posicionamento e a escala do *bitmap* sobre o objeto. Os objetos que receberam texturas 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.

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

3.6 Animações

As animações no World Up® são realizadas por programação, que deve definir a mudança das propriedades dos objetos gráficos no vetor tempo. No projeto do torno virtual alguns objetos foram criados para 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 a possibilitar a representação do movimento desses elementos habilitando e desabilitando estes grupos, seqüencialmente.

3.7 Validação, simulação e obtenção da lógica de funcionalidade do torno CNC

Para validar e simular o intertravamento do torno CNC, foi utilizado modelos em Redes de Petri do sistema proposto, bem como os diagramas lógicos destes modelo [11][15]. Posteriormente para a obtenção das rotinas utilizadas para o desenvolvimento do ambiente virtual, seguiu-se os passos apresentados no esquema da Figura 4.

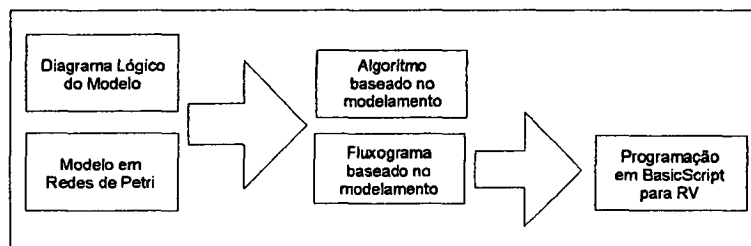


Figura 4. Detalhe dos cubos responsáveis pelo torneamento virtual [15]

4 Aspectos relevantes do projeto do torno CNC

Um primeiro protótipo do torno para foi criado para permitir uma familiarização inicial com as técnicas de programação do *trigger*, — a técnica que permite a manipulação de botões e acionadores no ambiente virtual —, do avatar, e do torneamento virtual, de modo a facilitar o desenvolvimento do ambiente virtual.

Quando se está navegando no ambiente virtual criado pelo *software* World Up[®], é possível passar através de todos os objetos sólidos que compõem este ambiente. Ao navegar em um ambiente virtual usando o *mouse*, o que acontece é que existe uma câmera virtual que segue todos os movimentos do *mouse*. O “motion-link” é a classe de objetos do *World Up*[®] responsável por esta ligação. No caso, o avatar impede que isto ocorra, desabilitando o “motion-link” da câmera com o *mouse*. Assim, é possível detectar a colisão do mesmo com os objetos da cena quando se está navegando no ambiente virtual. Por meio de programação em BasicScript, o avatar é sempre expelido para a posição imediatamente anterior àquela em que ocorreu a colisão, impedindo que se atravesse os sólidos que compõem o ambiente virtual. Esses *scripts* também impedem que aconteçam rotações no eixo da câmera (rolamento), mantendo o horizonte virtual sempre na horizontal.

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 surge uma peça totalmente distinta da peça inicial. Tornar visível este processo no ambiente virtual em tempo real, e ainda concordante com a programação CN do torno, apresentou uma dificuldade acentuada. Isso porque toda a geometria virtual é definida por modelos poliedrais (descritos por malhas de polígonos, em geral triângulos [19]) que incluem três elementos básicos, vértices, segmentos de reta e polígonos, e a alteração de alguma característica de um objeto virtual requer que todos estes elementos de sua descrição sejam manipulados simultaneamente.

Para simular o processo de torneamento e permitir a manipulação do corpo do tarugo foram criados vários cilindros consecutivos lado a lado, de modo que o conjunto todo se apresentasse visualmente como um único cilindro. Diante deste modelo, percebeu-se que seria muito mais simples alterar apenas os raios de cada um dos cilindros, ao invés de modificá-los vértice a vértice, pois a usinagem de uma peça pelo torno configura apenas alterações simétricas ao longo do eixo longitudinal da mesma.

Utilizando pequenos cubos justapostos à superfície das ferramentas (Figura 5), foi possível simular o processo de torneamento nos moldes do processo real. Por meio de programação em *BasicScript* é feita a verificação de colisão entre os cubos de uma determinada ferramenta com alguns dos cilindros que compõem o tarugo. Em caso positivo, o raio do cilindro tocado diminui a medida que a ferramenta avança em direção a seu eixo longitudinal. A espessura dos cilindros define a resolução do torneamento e também a espessura dos cubos responsáveis pela detecção de colisão.

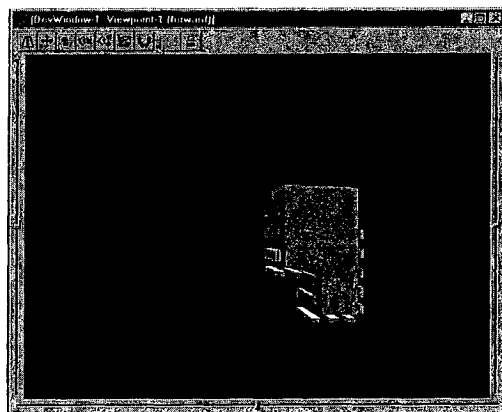


Figura 5. Detalhe dos cubos responsáveis pelo torneamento virtual.

4.1 Programação CN no ambiente virtual

Para introduzir o programa CN no ambiente virtual foi utilizada uma planilha eletrônica no EXCEL[®]. O EXCEL, pelo sistema de compartilhamento de dados da Microsoft[®] denominado ODBC 32 bits, troca informações com o editor de ambientes virtuais. O procedimento é simples, o usuário acessa uma planilha do EXCEL[®] contendo uma tabela pré-definida com várias colunas, cada qual especificada para um comando da programação CN, seguindo as mesmas características do procedimento padrão para este tipo de programação de máquinas-ferramenta.

Existe um compilador interno para o reconhecimento dos comandos CN, permitindo assim, que dentro dos comandos estabelecidos inicialmente (foi programado apenas um conjunto dos comandos CN existentes) o usuário tem liberdade em programar o procedimento que deseja.

4.2 Sistema de referenciamento virtual

O modelo geométrico do torno CNC foi confeccionado a partir de um ponto origem (0,0,0) definido no próprio ambiente virtual e 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. Referenciamento da peça (ou tarugo) é um procedimento do processo de torneamento onde é detectado os limites físicos da peça que foi colocada para ser trabalhada.

Utilizando uma interpolação de pontos foram obtidas 2 equações (1) e (2) que, posteriormente, foram utilizadas na programação do compilador CN do torno virtual. Isto é fundamental no momento que a peça será torneada, seja por meio do programa CN. São estas equações que regem toda a movimentação parametrizada da ferramenta que irá torneir o tarugo.

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

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

4.3 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 ele nunca falha. Em um torno real, falhas ocorrem devido à influência do meio exterior, como picos de energia elétrica, ar altamente deteriorado, erros humanos, e também devido a falhas internas, como fadiga das peças e das ferramentas, término de fluidos, etc..

Para simular o funcionamento do Sistema de Intertravamento frente a este tipo de mau funcionamento da máquina-ferramenta, foi incorporado um gerador de falhas ao ambiente virtual. Este gerador é acionado pela ativação de botões alocados externamente à tela de *rendering* do ambiente virtual, como ilustrado na figura 6. Os botões permitem alterar o valor das variáveis de inicialização na programação do protótipo virtual, gerando uma falha ao executar a simulação do torno.

5 Conclusões

A maior dificuldade na implementação do sistema de intertravamento do torno foi derivar os algoritmos e fluxogramas para a programação do mesmo a partir do seu modelo comportamental baseado em Redes de Petri. Isto porque o modelo em Redes de Petri trata os dados de forma paralela, aproximando-se bastante da linguagem Ladder utilizada na programação de CLP's (Controlador Lógico Programável) industriais [15], enquanto os algoritmos a serem programados na linguagem *BasicScript* seguem um padrão de lógica sequencial. Um ponto positivo do *software* de desenvolvimento de ambientes virtuais adotado é que a sua forma de execução das rotinas funcionais suporta muito bem o paralelismo necessário para descrever um intertravamento de uma máquina-ferramenta. O ambiente permite a execução simultânea de vários procedimentos, inclusive com a verificação contínua de diversas condições da máquina para posterior tomada de decisão.

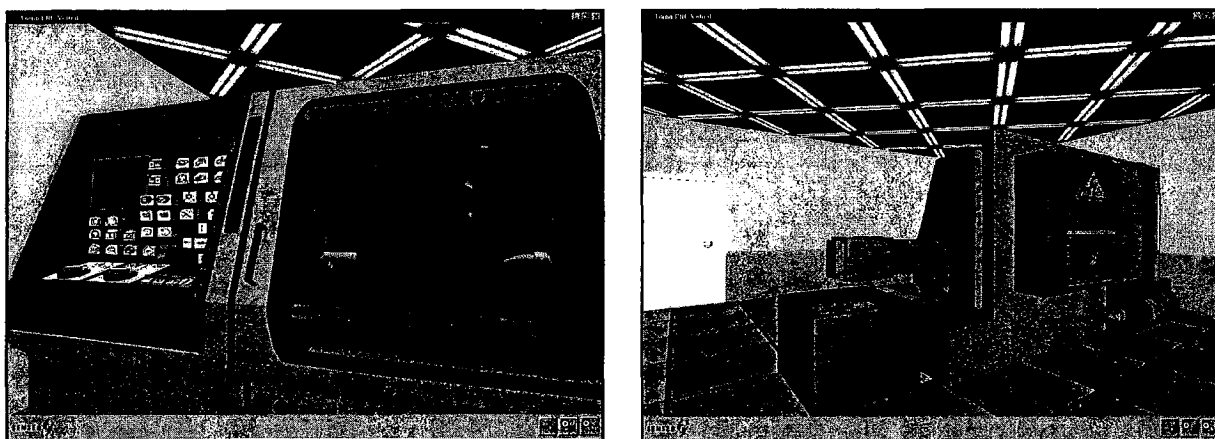


Figura 6. Vistas gerais do torno CNC (frente e atrás) com os botões do gerador de falha (canto direito inferior)

Do ponto de vista do resultado obtido, uma dificuldade de natureza prática é a velocidade de *rendering* do ambiente virtual, que torna-se lenta devido à complexidade da geometria do ambiente virtual. No caso do torno, isto é claramente observado quando o eixo-árvore está ligado,

cuja velocidade visual de rotação é muito mais lenta do que a desejada. Esta lentidão prejudica a navegação interativa do usuário e o deslocamento de objetos móveis (porta, contraponto, etc.) no ambiente virtual. Assim, é recomendável que ambientes complexos, com um número elevado de objetos, contem com uma placa aceleradora gráfica para melhor desempenho.

Outro ponto negativo observado, relativo à interação do usuário com o torno, é a ausência de uma "segunda mão", pois trabalhar em uma máquina-ferramenta tendo apenas o *mouse* para manipular os botões e o tarugo é uma condição limitante. Na solução proposta existem situações em que é necessário apertar dois botões ao mesmo tempo, como é o caso do acionador de velocidade do carro porta-ferramentas, que exige que sejam pressionados simultaneamente os botões de velocidade e de direção; bem como situações que requerem duas mãos para executar um procedimento, como deslocar a peça usinada para fora do seu nicho. Assim, o torno virtual se beneficiaria da utilização de *data gloves* para uma simulação mais próxima da realidade [15].

Este projeto tem potenciais aplicações em três áreas distintas. O torno virtual pode ser utilizado para treinamento de operadores nas indústrias, ou para aprendizagem de alunos nas escolas. Também é útil para o *marketing* do produto, já que o torno virtual pode ser manuseado por potenciais clientes, possibilitando uma maior interação e conhecimento do produto pelo comprador antes de adquirí-lo. Por fim, o torno virtual pode efetivamente auxiliar no desenvolvimento de produtos, a chamada prototipação virtual que, na área de engenharia mecânica, seria o enfoque mais relevante.

A versão atual está bem avançada para ser utilizada nestas aplicações citadas acima, porém com o intuito de um aperfeiçoamento do projeto como um todo, é interessante o desenvolvimento de um compilador de programa CN 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, seria interessante acrescentar no ambiente virtual um editor de programas no painel virtual 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 CN no ambiente virtual.

Outro ponto interessante, seria a continuidade do 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 fluido, o que ocasionaria por exemplo: problemas com a abertura/fechamento da porta, com o freio do eixo-àrvore, 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.

6 Referências Bibliográficas

- [1] Valerio Netto, A. et al. (1998). Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento e desenvolvimento de produto, Revista GESTÃO & PRODUÇÃO, v. 5, n. 2, pp. 104-116, São Carlos - SP, Agosto.
- [2] 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).

- [3] Roseblum, L. J. (1995). Mission visualization for planning and training, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 12-14, September.
- [4] Wittemberg, G. (1995). Training with virtual reality, *Assembly Automation*, pp. 12-14, v.15, n. 3.
- [5] 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, Outubro.
- [6] Leston, J. (1996). Virtual reality: the it perspective, *Computer Bulletin*, pp. 12-13, June.
- [7] Dvorak, P. (1997). Engineering puts virtual reality to work, *Machine Design*, pp. 69-73, February.
- [8] Rix, J. et al. (1995). Virtual prototyping - virtual environments and the product *design* process, IFIP Chapman & Hall, 348 Pp.
- [9] Valerio Netto, A. et al. (1999). As novas perspectivas da engenharia com a utilização de ambientes em realidade virtual, *Revista MÁQUINAS & METAIS*, n. 397, pp. 72- 85, Ed. Aranda,- São Paulo – SP, Fevereiro.
- [10] Dombrowski, R. et al. (1991). "Separation of interlocking and regulatory control in programmable electronic systems", *ISA Transactions*, pp. 19-25, vol.30, n.4.
- [11] Lobão, E. C. (1995). Intertravamento de máquinas-ferramenta: proposta de roteiro para projeto em ambiente de manufatura flexível, Dissertação (mestrado), EESC-USP, São Carlos-SP, 175 Pp., Fev.
- [12] Traubomatic. (1993). Manual de programação e operação de tornos automáticos, Traubomatic indústria e comércio Ltda., 240 Pp.
- [13] Sense8 (1996). Customer applications: information management and analysis, Sense8 corporation, <http://www.sense8.com/> (Setembro).
- [14] Elliott, S. D. & Miller, P. L. (1995). 3D Studio 4.0 técnicas avançadas, Ed. Berkeley, São Paulo.
- [15] Valerio Netto, A. (1998). Prototipação de um torno CNC utilizando realidade virtual. São Carlos, 1998. 131p. Dissertação (Mestrado) – EESC, Universidade de São Paulo.
- [16] Teresko, J. (1995). Customers transform virtual prototyping, *IW Electronics & Technology*, pp. 35-37, May.
- [17] Ribarsky, W. et al. (1994). Visualization and analysis using virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 10-12, January.
- [18] Gonçalves Filho, E. V. (1994). Comando numérico de máquinas ferramentas, Notas de aula da disciplina de graduação do SEM-EESC/USP, 43 Pp., abril.
- [19] Hearn D. & Baker, M. P. (1994). *Computer Graphics*, Prentice-Hall international, INC.

NOTAS DO ICMC

SÉRIE COMPUTAÇÃO

- 064/2002 MARQUES, F.P.; ARENALES, M.N. - O problema da mochila compartimentada e aplicações.
- 063/2001 TOMÉ, M F; MANGIAVACHI, N; CUMINATO, J A; CASTELO, A – A marker-and-cell technique for simulating unsteady viscoelastic free surface flows.
- 062/2001 VARGAS, A J C; NONATO, L G. – \square -conexão: uma família de objetos tridimensionais reconstruídos a partir de seções planares.
- 061/2001 OLIVEIRA JR., O N; MARTINS, R T; RINO, L H M ; NUNES, M G V – O uso de interlínguas para comunicação via internet: o projeto UNL/Brasil.
- 060/2001 SILVA, E Q ; MOREIRA, D A – Use of software agents to the management of distance education courses over the internet.
- 059/2001 OLIVEIRA, M C F; LEVKOWITZ, H – Visual data exploration and mining: a survey.
- 058/2001 SOARES, M D; FORTES, R P M; MOREIRA, D A – Version-web : a tool for helping web pages version control.
- 057/2001 LIANG, Z; MACAU, E E N; OMAR, N - Scene Segmentation of the Chaotic Oscillator Network.
- 056/2000 BATISTA, G E A P A; CARVALHO, A C P L F; MONARD, M C – Applying one-sided selection to unbalanced datasets.
- 055/2000 NONATO, L G; MINGHIM, R.; OLIVEIRA, M C F; TAVARES, G – A novel approach for delaunay 3D reconstruction with a comparative analysis in the light of applications.