

# Procedimento para Prototipação Virtual de um Torno CNC

ANTONIO VALERIO NETTO<sup>1</sup>

MARIA CRISTINA F. DE OLIVEIRA

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC

Universidade de São Paulo - USP

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 Vila Pureza 13560-250 São Carlos SP - Brasil

<sup>1</sup>avnetto@sc.usp.br

**Resumo:** O artigo apresenta um trabalho realizado na área de prototipação virtual. É descrito um procedimento para a implementação de um protótipo de um torno CNC utilizando um *software* para desenvolvimento em ambientes virtuais. Este procedimento enfoca principalmente o sistema de intertravamento (funcionalidade) e modelo geométrico (*design* físico) do torno. Conseqüentemente este trabalho visa verificar as potencialidades e as limitações desta ferramenta de interação gráfica diante da complexidade dos dados que a prototipação de um produto de manufatura ou montagem requer.

**Palavras-Chave:** Realidade Virtual, Prototipação Virtual, Simulação.

## 1. INTRODUÇÃO

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.

## 2. VISÃO GERAL DO PROJETO PRÁTICO

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

Por sistema de intertravamento entende-se 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).

O intertravamento proposto é 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 (Comando Numérico), por exemplo. Isto permite 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 possui

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 foi proposto um gerador de falhas de intertravamento.

Este projeto além de auxiliar no desenvolvimento de um protótipo do equipamento em questão, também permite 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 utilizou 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 síntese de imagens de polígonos.

Este trabalho pode ser classificado quanto ao sentimento de presença, como não imersivo. Pode-se afirmar também que o projeto permite uma sessão de realidade virtual interativa, isto é, proporciona 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). Este modelo teve seus módulos de intertravamento simulados e validados por diagramas lógicos e Redes de Petri.

### 3. PROCEDIMENTO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO TORNO CNC

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.

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 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 1.

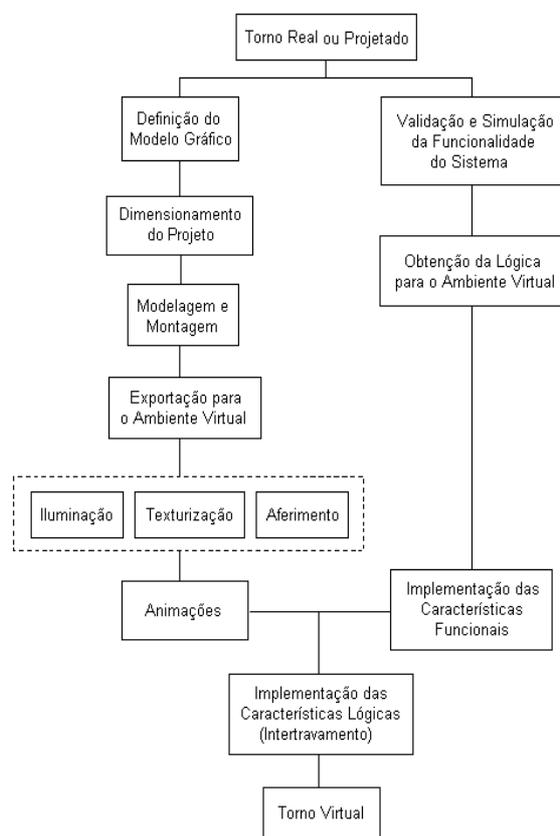


Figura 1: Procedimento adotado para a elaboração do torno

#### 3.1 Definição do modelo gráfico

O modelo, ou seja o formato e a configuração do torno, foi estabelecido de acordo com a finalidade a que se prestaria o mesmo. 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.

### 3.2 Dimensionamento do projeto

Neste projeto resolveu-se trabalhar numa escala de 1:1, sendo que a unidade no ambiente de modelagem equiivale 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 para 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.

### 3.3 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, 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.

Logo em seguida, os objetos criados foram montados usando a ferramenta de alinhamento disponível no

3Dstudio MAX que possibilita alinhar os objetos em qualquer um dos eixos (x, y, z) utilizando como referência: o ponto máximo ou mínimo do objeto no vetor escolhido, o pivot ou o centro geométrico do mesmo. 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.

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, possuisse 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.

### 3.4 Exportação para o ambiente virtual

O *software* World Up<sup>®</sup> (Sense8, 1996) 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).

### 3.5 Iluminação, Texturização e Aferimento

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.

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<sup>®</sup> MODELER para receber os materiais e depois trazidos de volta ao World Up<sup>®</sup>. 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.

Quanto ao 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.

### 3.6 Animações

As animações no World Up<sup>®</sup> 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.

## 4. IMPLEMENTAÇÕES 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.

Com relação ao avatar, quando se está navegando no ambiente virtual criado pelo *software* World Up<sup>®</sup>, é possível passar através de todos os objetos sólidos que compõe este ambiente. No caso, existe esta técnica de programação 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.

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. 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 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.

Desta forma, foram criados 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.

#### 4.1 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.

#### 4.2 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.

Utilizando-se de uma interpolação de pontos foram obtidas 2 equações [1] e [2], que posteriormente são utilizadas na programação do compilador do programa CN no torno virtual.

$x = -2.X + 410$  [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 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 *rendering* do ambiente virtual (figura 2).

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 2: Vista geral do torno CNC com os botões do gerador de falha (canto direito inferior)

## 5. CONCLUSÕES

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 (Valerio Netto, 1998).

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dombrowski, R. et al. "Separation of interlocking and regulatory control in programmable electronic systems", *ISA Transactions*, pp. 19-25, vol.30, n.4, 1991.
- Elliott, S. D. & Miller, P. L. *3D Studio 4.0 técnicas avançadas*, Ed. Berkeley, São Paulo, 1995.
- Lobão, E. C. *Intertravamento de máquinas-ferramenta: proposta de roteiro para projeto em ambiente de manufatura flexível*, Dissertação (mestrado), EESC-USP, São Carlos-SP, 175 Pp., Fev, 1995.
- Rix, J. et al. *Virtual prototyping - virtual environments and the product design process*, IFIP Chapman & Hall, 348 Pp., 1995.
- Sense8. *Customer applications: information management and analysis*, Sense8 corporation, 1996 <http://www.sense8.com/> (Setembro).
- Traubomatic. *Manual de programação e operação de tornos automáticos*, Traubomatic indústria e comércio Ltda., 240 Pp., 1993.
- Valerio Netto, A. *Prototipação de um torno CNC utilizando realidade virtual*. São Carlos, 1998. 131p. Dissertação (Mestrado) – EESC, Universidade de São Paulo, 1998.