

UM SISTEMA DE TELEANUFATURA BASEADO NA WEB ORIENTADO AO PROCESSO DE OXICORTE

Alberto José Álvares

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, GRACO, 70910-300, Brasília, DF, e-mail: alvares@AlvaresTech.com

João Carlos Espíndola Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, GRIMA/GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Tel: (0xx48) 331-9387, e-mail: jcarlos@emc.ufsc.br

Leonardo Shimabukuro

Universidade de Brasília, Dep. de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, GRACO, 70910-300, Brasília, DF.

Carlos Augusto Fernandes

Universidade de Brasília, Dep. de Engenharia Mecânica e Mecatrônica, GRACO, 70910-300, Brasília, DF.

Abstract. *This work describes the implementation of a Graphical User Interface (GUI) for the teleoperation of an industrial oxy-cutting machine from White Martins (AutoCut 2.5L) with Computer Numerical Control (CNC) from MCS Engenharia (MCS-520), using Internet Protocol (TCP/IP) through the Web (<http://weboxicorte.graco.unb.br>). The GUI presents functions for controlling the machine to a remote user. The system is based on the client-server architecture, using the browser as client and a personal computer with Linux operating system as server. The GUI is based on HTML and Java, and its server is composed of programs developed in C for controlling the machine. The communication between the server and the machine is carried out through the communication protocol DNC (Distributed Numerical Control) of the CNC. The GUI consists of a HTML page that calls a Java applet (for machine control) and video images captured for a Webcam. Through this “virtual CNC”, the user is capable of sending and executing programs, as well as executing basic machine operations. The developed interface is significantly versatile, enabling the operator to be away from the machine, and he/she may actually be anywhere, provided he/she has access to the Internet.*

Keywords. *Telemanufacturing, Teleoperation, Internet.*

1. INTRODUÇÃO

A globalização tem afetado diretamente as empresas, os consumidores e as economias dos países. Componentes e produtos variados e de boa qualidade, fabricados em diferentes países, têm sido disponibilizados a pessoas em qualquer parte do mundo, muitas vezes a preços iguais ou inferiores aos produtos nacionais.

A Internet tem contribuído significativamente para a globalização, pois ela permite uma comunicação mais rápida entre pessoas e também empresas. Uma prova disto é a quantidade de recursos que têm sido gastos no comércio eletrônico. Analistas estimam que em 1999 o *business to customer* (B2C) girou em torno de US\$ 17 bilhões, e o *business to business* (B2B) em US\$ 68 bilhões (Pombo, 1999).

Além da venda de itens como carros, jóias e livros através da Internet, esta tecnologia tem sido utilizada com sucesso em outras atividades importantes, como a manutenção remota de equipamentos (Rockwell, 2002) e a cirurgia do cérebro efetuada por um robô comandado remotamente por um cirurgião localizado a centenas de quilômetros de distância (Scientific American, 2000).

Tendo em vista a importância e popularidade da Internet, os autores desenvolveram um sistema para a teleoperação de uma máquina de oxicorte CNC, visando a aplicação e domínio de ferramentas relacionadas à Internet, bem como a disponibilização das funções

de controle para qualquer usuário que quisesse manipular remotamente a máquina.

Neste artigo é feita uma descrição da Interface Gráfica do Usuário (GUI), através da qual efetua-se a entrada dos dados referentes à peça (produto) a ser fabricado. Descreve-se também outros módulos utilizados que permitem a teleoperação desta máquina.

Como outras vantagens do desenvolvimento deste sistema, pode-se citar: (i) o usuário não necessita adquirir a máquina para fabricar a peça desejada; (ii) o sistema pode ser utilizado como uma plataforma educativa sobre assuntos como Internet, Telemanufatura, Teleoperação, Comando Numérico e Oxicorte.

2.2. Telemanufatura

Segundo Malek et. al (1998) Telemanufatura pode ser definida como uma atividade onde uma empresa (cliente) utiliza serviços oferecidos por Centros Especializados (servidores) disponibilizados via rede de comunicação através das supervias da informação (Internet) para executar, em tempo real, operações e processos necessários para o projeto e a produção de bens. Desta forma, atividades relativas à Telemanufatura estão presentes em todo o ciclo de desenvolvimento do produto, desde a concepção do produto até a sua fabricação e distribuição. Atualmente já existem empresas que oferecem serviços num ambiente voltado para Telemanufatura. Estes centros especializados detêm o estado da arte na Tecnologia de Software (p.ex. sistemas CAD/CAPP/CAM/ERP entre outros), a fim de auxiliar seus clientes no desenvolvimento de novos produtos e processos (Ahn et al., 1999 e Malek et al., 1998).

Sistemas como o CyberCut da Universidade de Berkeley possibilitam a concepção de uma peça que será usinada utilizando-se de um sistema CAD/CAM desenvolvido em Java (Wang e Wright, 1998) num contexto de Laboratório Remoto.

O ambiente de Telemanufatura baseia-se normalmente numa arquitetura cliente/servidor, trabalhando de forma interativa e cooperativa, solicitando e provendo serviços, bem como compartilhando recursos de forma distribuída (Pradhan e Huang, 1998 e Adamczyk e Kociolet, 2001).

Sistemas de teleoperação voltados para aplicações em robôs industriais e robôs móveis são descritos em Álvares e Tourino (2000). Em Álvares e Romariz (1999) é apresentada uma metodologia para desenvolvimento de Sistemas Teleoperados via Internet.

2.3. Teleoperação

A teleoperação é definida como o controle contínuo e direto de uma máquina remota (Álvares e Tourino, 2000). Inicialmente desenvolvida para a manipulação de materiais radioativos, a teleoperação permite que um operador exerça força e realize movimentos através de dados visuais, sonoros ou táteis. Com a introdução da teleoperação, foi possível o desenvolvimento de interfaces capazes de prover uma interação satisfatória entre homem e máquina, permitindo que serviços de grande destreza fossem realizados.

A teleoperação requer a sinergia entre homem e máquina, pois o operador está envolvido no controle e na supervisão do sistema através da interface homem-máquina. Esta interface integra todas as informações necessárias à operação do sistema e relevantes ao operador, incluindo a exibição de imagens de vídeo, modelos virtuais e páginas gráficas de controle. Esta característica torna a interface homem-máquina uma peça fundamental do sistema.

A interface homem-máquina tem como objetivo principal proporcionar um controle supervisionado realista e intuitivo que permita:

- monitorar continuamente a operação via *displays* baseados em vídeo ou ambientes virtuais;
- intervir interativamente e modificar os objetos pela aplicação de comandos de controle usando o *mouse*.

2.4. Teleoperação Via Internet de Laboratórios Remotos

Existe uma grande facilidade de criação de ambientes gráficos voltados para a Internet, e isto facilita o desenvolvimento de uma interface amigável com o usuário. Através da rede de comunicação é possível enviar e receber informações, que podem ser comandos a serem executados em algum dispositivo conectado à rede. Como exemplos de dispositivos tem-se um robô ou uma máquina CNC.

Uma das características mais importantes do funcionamento de uma rede é a taxa de transmissão. Como normalmente os comandos transmitidos não exigem uma grande taxa de transmissão, isto não é um empecilho à implementação de sistemas telerobóticos operados via Internet. Outro aspecto importante da teleoperação é a execução da operação a partir de qualquer local conectado à Internet a um custo insignificante (Álvares e Tourino, 2000).

A teleoperação de laboratórios remotos baseada na Internet pode ser realizada através de várias metodologias a partir de uma arquitetura cliente/servidor, dentre as quais destacam-se:

- Acesso Remoto via "Telnet" (Eckel e Hare, 1995);
- Programação CGI ("Common Gateway Interface") com páginas simples HTML (Weinman, 1997);
- Cliente Java utilizando servidores genéricos HTTPD (Apache) e servidores específicos via Sockets (Arnett et al., 1994).

A linguagem de programação Java, através de aplicativos "*applets*", são atualmente a forma mais popular de programação para a Internet (Pradhan e Huang, 1999). Suas vantagens incluem a interatividade com o usuário, a fácil programação e a sua natureza voltada para a Internet. Sua desvantagem principal é a velocidade de operação, além do tempo para inicialização dos *applets*. O sistema de teleoperação do lado do servidor pode ser baseado integralmente numa solução através do servidor *httpd*, permitindo ao cliente ações de comando via CGI ou mesmo de *servlets*.

Esta é a abordagem implementada no sistema de Teleoperação do Robô Móvel Nomad e da máquina de oxicorte CNC desenvolvidos no GRACO (UnB), podendo o mesmo ser classificado como sendo do tipo "controle supervisão com predomínio do controle realizado pelo operador humano".

3. SISTEMA DE TELEMANUFATURA WEBBOXICORTE

Este item descreve a implementação de uma interface gráfica GUI (Graphical User Interface) para teleoperação de uma máquina de oxicorte industrial da White Martins (AutoCut 2.5L) com CNC da MCS Engenharia (MCS-520). Foi também desenvolvido um ambiente CAD/CAM para programação da máquina de oxicorte, utilizando os Protocolos Internet (TCP/IP) via Web.

A GUI disponibiliza ao usuário remoto funções para o controle da máquina, bem como de um ambiente CAD/CAM para geração do código "G" baseado no padrão RS 274. Utiliza-se a arquitetura cliente-servidor, sendo o cliente um *browser*, e o servidor um computador pessoal com sistema operacional Linux. A GUI é baseada na linguagem de programação Java e HTML, e tem como servidores programas desenvolvidos na linguagem C para controle da máquina.

A comunicação entre o servidor e a máquina é realizada através do protocolo de comunicação DNC do próprio CNC. A GUI para teleoperação consiste numa página HTML contendo *applets* Java (para o controle da máquina) e imagens capturadas por uma Webcam. Desta forma o usuário, através de um "CNC virtual", é capaz de enviar e executar programas, assim como as operações básicas da máquina.

Uma outra interface gráfica é orientada à máquina de oxicorte, onde o projeto é baseado em *features*, que são elementos geométricos adicionados ao projeto da peça

(linhas e arcos de circunferência) definindo o perfil final da peças a ser cortada.

A interface desenvolvida mostrou-se bastante versátil, permitindo a programação e a teleoperação da máquina de qualquer lugar provido de computador e Internet.

4. AMBIENTE CAD/CAM

Neste ambiente são utilizadas basicamente duas *features* de forma para permitir a modelagem da peça 2D a ser fabricada pelo processo de oxicorte NC: linhas e arcos.

O *applet* permite a modelagem de uma peça utilizando coordenadas cartesianas, bem como efetua a geração do código “G”. O *applet* também permite a inserção de dados referentes ao planejamento do processo, sendo estes: tempo de pré-aquecimento, velocidade de corte e tamanho da chapa bruta. Desta forma, tem-se simultaneamente as visões de projeto e manufatura durante a fase de desenvolvimento do produto.

4.1 Implementação da GUI do Ambiente CAD/CAM

A implementação da interface CAD foi feita de forma parametrizada usando-se a linguagem *Java* através da função *canvas*, que cria uma área retangular, permitindo o desenho de formas geométricas utilizando-se da API padrão AWT.

Implementou-se na GUI quatro comandos de máquina para o corte:

- Avanço Rápido associado ao código G00;
- Corte linear associado ao código G01 (interpolação linear);
- Corte circular no sentido horário associado ao código G02;
- Corte circular no sentido anti-horário associado ao código G03.

Além dos comandos acima, são incluídas algumas funções miscelâneas (M), e ciclos fixos para controlar o tempo de pré-aquecimento (p.ex. 83) e ligar o controle de altura automático da tocha (M42).

Para cada função G utilizou-se uma cor diferente, de forma a tornar possível identificar visualmente os diferentes passos que foram feitos na modelagem da peça. Para a implementação da *feature* linha, utilizou-se uma função do Java denominada *drawline*, que tem a função de desenhar uma reta no *canvas*. Para isso deve-se passar quatro parâmetros (x0, y0, x1, y1) que são as ordenadas e abscissas do ponto inicial e do ponto final.

Para a implementação da *feature* arco de circunferência, utilizou-se a função *drawarc*, que desenha um arco na área delimitada pelo *canvas*. Os parâmetros passados à função são os seguintes:

- Abscissa do canto superior do retângulo (x);
- Ordenada do canto superior do retângulo (y);
- Largura do retângulo;
- Altura do retângulo;
- Ângulo inicial do arco;
- Ângulo que o arco percorre.

A figura 1 apresenta a GUI desenvolvida. O programa gerado (código “G”) é apresentado numa moldura ao lado do perfil da peça.

5. ARQUITETURA DO SISTEMA DE TELEOPERAÇÃO WEBOXICORTE

O sistema de Teleoperação da máquina oxicorte CNC da White Martins, denominado WebOxicorte, é baseado numa arquitetura cliente/servidor, e a figura 2 apresenta os principais módulos do sistema de teleoperação via Internet (TCP/IP).

5.1 Servidores do Sistema de Teleoperação WebOxiCorte

O servidor de Teleoperação WebOxiCorte (figura 2) é constituído pelo servidor de vídeo e servidores de teleoperação da máquina que disponibilizam serviços de comando,

execução de programas, *download* e *upload* de programas, tratamento de erros e funções associadas ao protocolo DNC da MCS. O servidor de vídeo é responsável pela captura de vídeo e sua distribuição através do protocolo TCP/IP. Os demais servidores, associados aos serviços de teleoperação propriamente ditos, trabalham de modo bidirecional, recebendo comandos através da Internet e enviando dados de status da máquina.

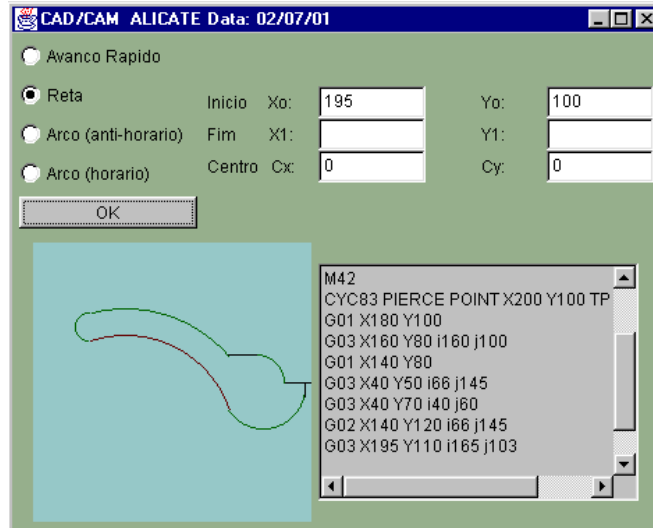


Figura 1. GUI CAD/CAM (*applet* Java).

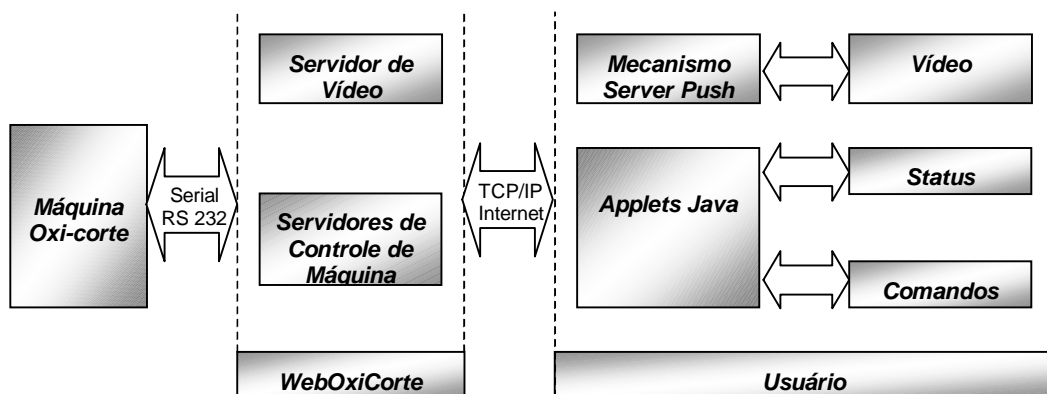


Figura 2. Arquitetura detalhada: módulos do sistema WebOxiCorte.

A conexão Internet é implementada através de canais de comunicação denominados de *sockets* (Arnett et al., 1994) entre os módulos WebOxiCorte e o módulo Usuário. Neste trabalho usou-se o servidor *inetd* para estabelecer a conexão a fim de facilitar o desenvolvimento dos servidores. Esta abordagem é utilizada por serviços de *telnet*, *ftp* e *finger*, entre outros, em ambiente Unix.

A utilização do *inetd* é vantajosa em relação à programação convencional utilizando diretamente os *sockets*, pois reduz a carga sobre o sistema operacional e facilita o desenvolvimento de programas que realizam a comunicação via Internet.

5.1.1 Servidor de Vídeo

O servidor de vídeo é responsável pela captura de imagens de vídeo e o envio de dados via Internet. As imagens são captadas por uma WebCam e enviadas via TCP/IP. Foi utilizado o mecanismo de animação de vídeo do Netscape denominado *Server push* que dispensa a utilização de *plug-ins* (Álvares e Romariz, 1999). Através deste mecanismo faz-se o envio contínuo de dados do servidor WebCam para o *browser* (Netscape), mantendo a conexão entre os dois aberta, e o próprio *browser* faz a animação em função da quantidade de frames enviados por segundo (Weinman, 1997). O servidor foi implementado numa

estação de trabalho Solaris Sparc20 utilizando a placa de captura de imagens SunVideo.

5.1.2 Servidor WebOxiCorte

Este servidor aceita conexões via TCP/IP através do programa/servidor *inetd* (*daemon*) configurado para aceitar conexões através da porta 8088. Uma vez estabelecida a conexão o servidor WebOxicorte aguarda por comandos enviados pelo cliente (via *browser*), executando-os caso a sintaxe esteja correta (figura 3).

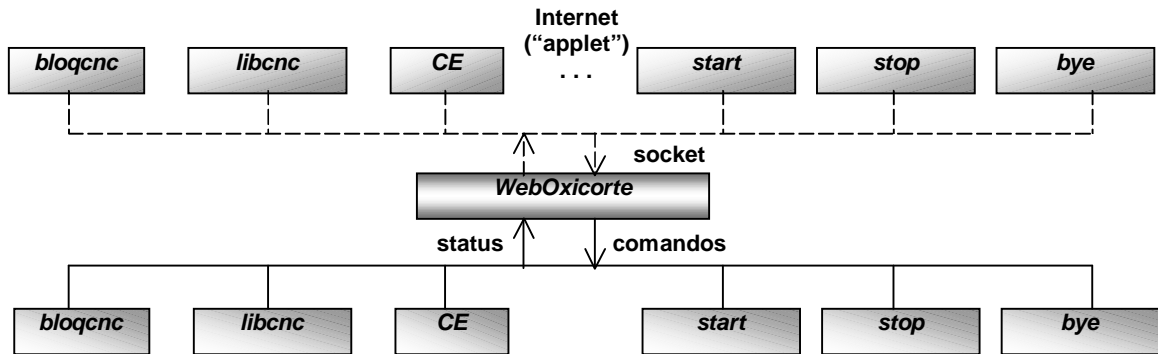


Figura 3 - Comandos aceitos pelo servidor WebOxiCorte

Alguns comandos aceitos pelo servidor WebOxicorte são:

- *bloqcnc*: bloqueia a operação local do CNC, bem como o potenciômetro de avanço;
- *manual*: seleciona o modo de funcionamento manual;
- *program*: seleciona o modo de programação;
- *execcon*: seleciona o modo de execução contínua;
- *start*: inicializa o processo de oxicorte;
- *bye*: finaliza a conexão entre o servidor e o cliente.

5.1.3 Servidor de Posicionamento da Tocha de Oxicorte (Controle)

Este servidor aceita conexões via TCP/IP através do programa *inetd* pela porta 8089. Alguns comandos aceitos por este servidor são:

- *left*: movimento incremental de 50 mm para esquerda;
- *front*: movimento incremental de 50 mm para frente;
- *down*: movimento incremental de 50 mm para baixo;
- *bye*: finaliza a conexão entre o servidor e o cliente.

5.1.4 Servidor de Seleção de Programas

Este servidor foi configurado no *inetd* pela porta 8091. Sua finalidade é enviar programas para a máquina, colocando a máquina em modo de comunicação externa e enviando para a máquina o programa em código "G".

5.2 Interface com o Usuário em Java (Cliente)

A GUI *front-end* do usuário consiste de dois *applets*: na figura 4(a) é apresentado o *applet* de controle do CNC, e na figura 4(b) o *applet* de posicionamento da tocha. A animação da recepção das imagens em formato JPEG é realizada pelo próprio *browser*.

6. Resultados e Discussão

A GUI implementada para a teleoperação da máquina de oxicorte CNC é apresentada na figura 5. O sistema pode ser acessado através do site <http://weboxicorte.graco.unb.br>, sendo que somente usuários cadastrados (*login & password*) podem utilizar o sistema.

Os testes de integração consistiram no envio de um programa em código "G" para a máquina CNC, seguido da sua execução para cortar a peça, e isto foi feito com sucesso.

START	CE	STOP
BloqCNC	Modo Manual	LibCNC
Zerar X	Referenciar	Zerar Y
Enviar Programa	Exec. Continua	Selecionar Programa
Status	Backup	EMERGENCIA !!!
Conectado ao servidor.		



(a) *Applet* de controle do CNC (b) *Applet* para o posicionamento da tocha

Figura 4. *Applets* do sistema de teleoperação.



Figura 5. Interface gráfica com o usuário (usou-se a linguagem Java)

Devido às limitações de recursos da máquina, que poderão ser sanadas com a atualização da *eprom*, não foi possível implementar um sistema de status de memória da máquina. Outra limitação da máquina diz respeito à regulagem da chama, que só pode ser realizada através de operação manual.

Outra restrição em sistemas de teleoperação via Internet refere-se à largura de banda e aos atrasos inerentes ao próprio protocolo TCP/IP. Para resolver este problema é necessário dotar o sistema de teleoperação no servidor de mecanismos que possibilitem a tomada de decisão em situações críticas sem depender do lado do cliente.

Os comandos transmitidos para o servidor são transferidos de forma rápida, por necessitarem de uma pequena largura de banda. Por outro lado, para a realimentação em

vídeo é necessária uma largura de banda da ordem de 6 kbytes/s em função da quantidade de imagens utilizada na animação.

A GUI baseada em Java possibilita a obtenção de um ótimo resultado visual, bem como independência de plataforma.

6. CONCLUSÕES

Com relação às funções para o controle da máquina de oxicorte através do seu protocolo de comunicação (DNC), o sistema apresentou bons resultados, porque neste caso as mensagens transmitidas possuem poucos bytes de tamanho. Entretanto, a realimentação através de vídeo exige maior largura de banda para aplicações em tempo real. O sistema comprovou sua operacionalidade, conectando o cliente ao servidor WWW e este ao processo de oxicorte, permitindo o envio e o recebimento de informações.

Uma resposta da máquina CNC ao servidor pode ser degradada em função de atrasos de comunicação entre o servidor e o cliente. Assim, os aspectos de tempo real têm grande importância de acordo com o nível de segurança exigido. A tecnologia de Telemanufatura e em especial de Teleoperação via Internet encontra-se em estágio embrionário de desenvolvimento, tendo sua aplicabilidade ainda reduzida devido à baixa largura de banda disponível para transmissão de dados.

A interface desenvolvida foi testada mostrando-se adequada para aplicação de teleoperação da máquina de oxicorte. A evolução da Internet, disponibilizando uma maior largura de banda para transmissão de dados, certamente motivará novos desenvolvimentos na área.

7. REFERÊNCIAS

- Adamczyk, Z. e Kociolek, K., 2001, "CAD/CAM Technological Environment Creation as an Interactive Application on the Web", *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 109, págs 222-228
- Ahn, S., Sequin C. e Wright. P., 1999, "Internet-Based Design an Manufacturing", Final Report 1988-99 for Micro Project 98-136, TRW
- Álvares, A. J. e Romariz, L. J., 1999, "TeleRobótica: Metodologia Para o Desenvolvimento de Sistemas Robóticos Teleoperados Via Internet", XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, SP, 22-26 de Novembro
- Álvares, A. J. e Tourino, S. R., 2000, "Desenvolvimento de um Robô Móvel Autônomo Teleoperado Via Internet", Congresso Nacional de Engenharia Mecânica 2000, Natal, RN, 7-12 de Agosto
- Arnett, M.F., Dulaney, E. e Harper, E., 1994, "Inside TCP/IP". New Riders Publishing. Indianapolis, EUA
- Eckel, G. e Hare, C., 1995, "Building a Linux Internet Server", New Riders Publishing, Indianapolis, EUA, 1995
- Malek, L. A., Wolf, C. e Guyot, P. D., 1998, "Telemufacturing: A Flexible Manufacturing Solution", *Int. J. Production Economics*, Vol. 56-57, págs 1-12
- Pombo, A. R., 1999, "Entrevista", *Revista E-Commerce*, Dezembro.
- Pradhan, S. S. e Huang, W. V., 1998, "Virtual Manufacturing Information System Using Java and JDBC", *Computers Ind. Engineering*, Vol. 35, No. 1-2, págs 255-258
- Rockwell Automation, 2002, "Making Sense of e-Manufacturing: A Roadmap for Manufacturers", Industry White Paper
- Scientific American Frontiers, 2000, "21st Century Medicine: Cybersurgery", http://www.pbs.org/safarchive/4_class/45_pguides/pguide_605/4565_cyber.html
- Wang, F. C. e Wright, P. K., 1998, "Web-Based CAD Tools for a Networked Manufacturing Service", Proceedings of DET'98 ASME Design Engineering Technical Conference, Atlanta, Georgia, CIE-5517
- Weinman, W., 1997, "Manual de CGI", Makron Books, São Paulo.