



REALIDADE VIRTUAL E SUAS APLICAÇÕES NA ÁREA DE MANUFATURA, TREINAMENTO, SIMULAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Antonio Valerio Netto

Creusa Sayuri Tahara

Arthur J. Vieira Porto

Eduardo Vila Gonçalves Filho

Departamento de Engenharia Mecânica – SEM
Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465 Vila Pureza 13560-250
São Carlos SP – Brasil

emails: avnetto@sc.usp.br, tahara@sc.usp.br
ajvporto@sc.usp.br, evila@sc.usp.br

Resumo

A realidade virtual é um ambiente gerado pelo computador em que o usuário tem disponibilidade de controles tridimensionais de maneira altamente interativa, podendo manipular e explorar dados em tempo real. A realidade virtual pode ser aplicada em diversos setores da indústria, desde o planejamento de fábricas, simulação da produção, auxílio na divulgação de produtos, treinamento de funcionários, validação de protótipos. Este artigo visa mostrar a flexibilidade da utilização da realidade virtual dentro das indústrias e dos centros de pesquisas, focando principalmente as áreas relacionadas a manufatura, desenvolvimento de produto e treinamento.

Palavras-chave: *realidade virtual, simulação, manufatura virtual, prototipação virtual.*

1. Introdução

As empresas, dentro de um contexto econômico globalizado, necessitam se tornar mais competitivas para enfrentar os novos concorrentes, provocando uma total remodelação dos sistemas produtivos, desde a substituição de equipamentos obsoletos e de baixa produtividade por

outros mais modernos e produtivos; a reestruturação dos *layouts* das fábricas e do fluxo de transporte existentes no chão de fábrica; o planejamento e controle da produção, até a necessidade de mão-de-obra mais qualificada, integrados para melhorar a qualidade do produto, reduzir o *lead time* de produção, reduzir custos, aumentar a flexibilidade, etc. (LOBÃO & PORTO, 1997).

Visando buscar novas formas de obter uma melhoria organizacional e propiciar uma modernização do sistema produtivo da empresa, a simulação de equipamentos, treinamento de funcionários, validação do planejamento da produção, visualização de *layouts* de fábricas e protótipos de produtos estão sendo utilizados com o auxílio da realidade virtual.

Existem várias definições aceitas para realidade virtual. Isto é devido, em parte, à natureza interdisciplinar da área e também ao seu processo de evolução. De uma maneira simplificada, podemos dizer que realidade virtual (RV) é a forma mais avançada de interface entre o usuário e o computador até agora disponível (HANCOCK, 1995). Trata-se de uma interface homem-máquina que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo (LATTA & OBERG, 1994).

Agrupando-se algumas outras definições de realidade virtual (BURDEA & COIFFET, 1994; JACOBSON, 1991; KRUEGER, 1991), pode-se dizer que RV é uma interface, em que 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 tempo-espaço 4D, a animação do ponto de observação apresentada em um contexto interativo em tempo real (ADAMS, 1994).

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), que mostra a capacidade do *software* definir e a capacidade do *hardware* reconhecer seis tipos de movimentos: 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 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 essas condições, chegando ao ponto em que o usuário pode "tocar" os objetos em um mundo virtual e

fazer com que eles mudem de acordo com suas ações (Von SCHWEBER & Von SCHWEBER, 1995).

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. 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. Para apoiar esse tipo de interação, o usuário utiliza dispositivos não convencionais como capacete de visualização e controle, luvas e outros. Estes dispositivos dão ao usuário a impressão de que a aplicação está funcionando no ambiente tridimensional real, permitindo sua exploração a movimentação natural dos objetos com o uso das mãos (KIRNER, 1996).

Neste artigo, vamos apresentar uma revisão parcial de aplicações da realidade virtual nas áreas de manufatura, treinamento, simulação e desenvolvimento de produto, que está estruturada nas seguintes seções: na seção 2 apresentamos uma visão geral das aplicações de RV; na seção 3 discutimos as aplicações da RV na indústria; na seção 4 são apresentados alguns ambientes especializados em RV e na seção 5 apresentamos as conclusões.

2. Visão Geral das Aplicações de Realidade Virtual

A realidade virtual, de modo geral, pode ser aplicada em cinco áreas específicas: jogos e entretenimento, comunicação à distância, simulação e treinamento, telepresença e visualização (GRIMES, 1991). Contudo, a todo momento surgem novas aplicações nas mais variadas áreas do conhecimento e de maneira bastante diversificada, em função da demanda e da capacidade criativa do homem. Em muitos casos, a RV vem revolucionando a forma de interação homem-máquina, principalmente em sistemas complexos.

Na prática, a realidade virtual possui um vasto campo de utilização, cenários e eventos

com recursos visuais que já fazem parte do presente. Um arquiteto pode montar seus próprios ambientes virtuais usando apenas microcomputadores e programas de desenvolvimento de ambientes virtuais. Por exemplo, na elaboração do projeto de um escritório é possível a visualização do ambiente sob diversos ângulos, permitindo que o usuário passeie por entre móveis e veja detalhes da construção antes mesmo que a primeira parede seja levantada (PENTEADO, 1995); ou na assessoria a venda de casas e apartamentos a clientes (DUPONT, 1994).

A arquitetura não é a única beneficiária dos novos recursos virtuais. A medicina tem sido um importante foco 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 (EUA), a realidade virtual é utilizada como ferramenta de terapia para reabilitação de pacientes e de avaliação neuropsíquica dos mesmos (SENSE8, 1996). A cirurgia laparoscopia consegue eliminar as feias cicatrizes pós-operatórias, mas é uma habilidade difícil de se adquirir. Para auxiliar médicos a refinar sua perícia, várias empresas estão desenvolvendo simuladores virtuais laparoscópicos (CHINNOCK, 1995). 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).

A computação gráfica permite aos pesquisadores entenderem a estrutura qualitativa de um fenômeno por meio 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 pelo computador (BRYSON, 1993). Dessa forma, o ambiente virtual viabiliza uma total interação com interfaces tridimensionais para exibição e controle da computação gráfica interativa (BRYSON & LEVIT, 1991).

Na área da educação e 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 de 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). A *Haywood Community College* (Waynesville, NC) utiliza RV para que os estudantes tenham uma melhor visualização e interação com os modelos feitos em 3D a partir do AutoCAD (SENSE8, 1996).

No laboratório de pesquisas da *Nippon Electric Company* (NEC) está sendo desenvolvido um sistema de RV para 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 está desenvolvendo um sistema para o controle remoto de *deep-foundation work robots*. Quando a abertura é muito pequena para a entrada de equipamentos pesados de construção, os operários trabalham arduamente escavando buracos para colocação das fundações. Isto é chamado *deep-foundation*. Robôs têm sido desenvolvidos para substituírem os operários neste tipo de trabalho. Os pesquisadores da Tokyu estão tentando controlar a construção desses robôs e posteriormente comandá-los por imagens 3D e movimentos das mãos. Esta técnica é chamada *telexistência* (KAHANER, 1993).

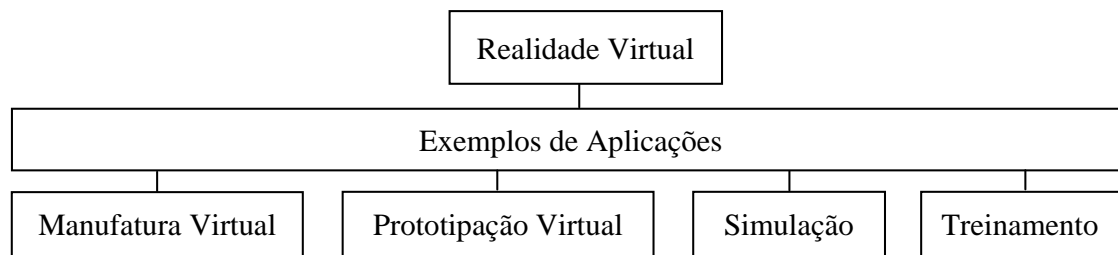


Figura 1 – Estrutura utilizada na revisão

3. Aplicações de Realidade Virtual na Indústria

Na área de jogos de entretenimento encontramos muitas aplicações da realidade virtual, mas já verificamos que empresas na área de manufatura também têm adotado os recursos de realidade virtual como uma forma mais acessível financeiramente de projetar o futuro ou uma maneira mais eficaz de vender seus produtos, mais rápida de validar seus protótipos e uma outra forma para treinar seus funcionários, ou alunos (VALERIO NETTO *et al.*, 1997). A RV tem contribuído para aprimorar o desempenho de técnicas em muitas áreas, gerando principalmente mais flexibilidade às ferramentas visuais.

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 de manufatura, por exemplo (EXHIBITORS, 1997):

- projetar máquinas que podem ter suas propriedades estruturais avaliadas e testadas;
- desenvolver uma ergonomia funcional e confiável, sem ter que construir um modelo em escala real;
- projetar produtos que possuam *design* 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;

- desenvolver e avaliar processos que assegurem a manufaturabilidade, antes de produzir o produto em escala comercial;
- desenvolver planos de produção e *schedules* e simular sua correção;
- educar funcionários em técnicas avançadas de manufatura, com ênfase em segurança no trabalho.

Alguns trabalhos tratam de aplicações das técnicas de realidade virtual em projetos de processos de manufatura e aspectos importantes no desenvolvimento de produtos mais competitivos. Outro ponto abordado é relativo à eficiência e qualidade dos projetos desenvolvidos em RV para sistemas de manufatura (KREITLER *et al.*, 1995).

Para organizar a revisão das aplicações de realidade virtual, elaboramos a estrutura apresentada na Figura 1.

3.1 Manufatura Virtual

Manufatura Virtual (*Virtual Manufacturing – VM*) é um termo muito empregado atualmente, mas muitos enfoques são encontrados. Neste trabalho, não incluímos as discussões relacionadas aos conceitos de empresa virtual (*virtual enterprise – VE*), já que tornaria a pesquisa muito mais complexa, nem suas relações com os demais itens da revisão, pois poderíamos tratar manufatura virtual como o nível mais alto na estrutura.

Manufatura virtual é definida como a integração de modelos computacionais que representam a estrutura completa e precisa dos sistemas de

manufatura e a simulação de seus comportamentos lógicos e físicos para auxiliar o projeto e a produção de produtos (IWATA *et al.*, 1995). Outra definição, trata a manufatura virtual como a integração de um ambiente artificial de manufatura capaz de realçar todos os níveis de decisão e controle do sistema (Virtual Manufacturing, 1997). Em outras palavras, manufatura virtual é uma 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) definem sistema de manufatura virtual utilizando termos e nomenclaturas que julgam mais apropriados, discutem ainda a relação desse conceito com outras concepções da manufatura e apresentam uma introdução sobre a arquitetura e requisitos para um sistema de manufatura virtual. KIMURA (1993) relata em seu artigo um conjunto de modelos apropriados para compreensão dos ambientes de manufatura virtual.

Assim, a manufatura virtual permite a simulação de alternativas de produção, avaliando muitos cenários, em vários níveis de especificação e metas, otimizando o projeto e processo do produto pela redução de custos de avaliação e pela rapidez nas decisões.

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).

BANERJEE *et al.* (1997) define um modelo de “telecolaboração” entre projetistas remotos para decisões de *layout* de fábrica. Projetos em

que são discutidos caminhos para integrar a tecnologia de realidade virtual com tecnologia de otimização de planejamento de *layout*, incorporando no sistema informações qualitativas, são encontrados em EXHIBITORS (1997). Também são apresentadas aplicações de RV para a configuração de plataforma para FMS (*Flexible Manufacture System*) em ambiente virtual (*Virtual Flexible Manufacture System – VFMS*) que incorporam a instalação de *layout*, planejamento de processos e eventos discretos.

Essa área está crescendo de tal forma que já existem projetos em andamento desenvolvidos pelo *National Institute of Standards and Technology* (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).

A realidade virtual na manufatura, a partir das aplicações e das perspectivas apresentadas, sugere ser uma importante contribuição para atingirmos a fábrica do futuro, na qual teríamos a integração de todas as áreas, auxiliando o processo de decisão, que é uma atividade sujeita a muitos imprevistos.

3.2 Prototipação Virtual

Uma outra área que recebeu um grande avanço com a utilização da realidade virtual foi a de desenvolvimento de produto e mais especificamente para a fase de prototipação. A prototipação virtual pode ser um passo importante em direção ao desenvolvimento de produtos mais competitivos. 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, é possível gerar um protótipo no computador para apresentações realistas, viabilizando interações com o produto até mesmo nos estágios iniciais de desenvolvimento do produto (RIX *et al.*, 1995).

Tabela 1 – Prototipação virtual na área automobilística

Empresa	Aplicação
Renault Design	Testar o produto antes de ser fabricado. Foi feita uma simulação da 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)
Chrysler-Jeep	Desenvolveram 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).
Ford Motors	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).
General Motors	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 <i>softwares</i> da empresa Deneb Robotics (Deneb Robotics, 1997) para prototipação e avaliação da montagem de seus veículos.
Land Rover	Utiliza a realidade virtual para projetar e validar rápidas prototipagens dos seus novos modelos de veículos e para auxiliar na ampliação de sua fábrica.
Caterpillar	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 <i>design</i> 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 <i>et al.</i> , 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.

A prototipação virtual, para LESTON (1996) é uma área importante na automação de projetos. Alguns trabalhos (TERESKO, 1995; DUPONT, 1996; DVORAK, 1997) que justificam o uso da prototipação virtual, principalmente na área automobilística (MAHONEY, 1995), foram resumidos na Tabela 1.

Outros trabalhos abordam as 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).

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).

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 melhorar a validação das soluções apropriadas que satisfaça os parâmetros especificados pelo cliente, com um menor custo, assim como uma maior interação da equipe em todos os estágios de desenvolvimento do projeto.

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.

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, LO-BÃO & PORTO (1996) afirmam que a nova tendência para simuladores de eventos discretos 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, o usuário poderá não somente interagir com os componentes do sistema durante seu “funcionamento virtual”, mas também imergir no interior do modelo dando mais realismo ao sistema e permitindo uma exploração mais detalhada do mesmo.

Karen Jones (JONES, 1993) trata em seu trabalho da maneira como a realidade virtual pode ser agregada a *softwares* comerciais de simulação de manufatura. Conclui 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 um ambiente para estudos dos vários aspectos de um modelo imersivo de exibição baseado em técnicas de modelagem de realidade virtual. Os participantes deste empreendimento estão desenvolvendo um modelo de fábrica de engrenagens 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 ser 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.

A BMW em cooperação com a universidade de Erlangen criaram 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 transferida 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 Volvo sueca 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 que permite, posteriormente, analisar seus sistemas de proteção em situação semelhante (DUPONT, 1994; VINCE, 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 feito a análise dos efeitos do resfriamento dos componentes do motor (MAHONEY, 1995).

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. Visam, com isso, propiciar conforto e facilidade de movimento a passageiros de diversos tamanhos (DIETZ, 1995). A companhia Boeing (Wichita, KS) projetou uma célula de polimento de painéis de cobertura de avião por meio de um simulador em realidade virtual desenvolvido pela empresa Silma Inc. (Cupertino, CA) (SILMA INC., 1997). Esta simulação permitiu à 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).

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 necessita a transferência de maior e mais complexa quantidade de conhecimento, de forma mais eficiente em um menor intervalo de tempo (LOBÃO & PORTO, 1997).

Na área de treinamento e simulação, temos um exemplo de aplicação militar que simula uma cabine de avião de combate, 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 (MCCARTY *et al.*, 1994). A realidade virtual também é usada para treinar operadores de radares (Sense8, 1996) e no treinamento de soldados na operação de tanques de guerra. Esse 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 atualizada a descrição deste mundo (PIMENTEL & BLAU, 1994; MOSHELL *et al.*, 1994).

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 nos quais os resultados obtidos em treinamento com o uso de realidade virtual são claramente superiores àqueles obtidos com sistemas reais.

Empresas como a Nabisco Food de alimentos (East Hanover, N.J.) utilizam 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 *trainees* no próprio local de trabalho. Isto tem permitido à 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 treinar seus funcionários a utilizarem *pagery* em sua linha de montagem. Eles chegaram a conclusão que o treinamento com o sistema virtual tem custos menores, é flexível, isto é, o sistema simulador pode ser facilmente transportado e/ou modificado, e os operadores treinados com o

sistema desempenharam suas funções melhor do que aqueles treinados no sistema real convencional (WINTTENBERG, 1995; KENT, 1997).

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, novo padrão para 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 (DENEBOBOTICS, 1997; SILMA Inc., 1997).

Na Tabela 2 apresentamos um resumo de alguns *softwares* para o desenvolvimento de aplicações em RV.

5. Conclusão

Apesar da área de entretenimento ser a alavanca do 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 realidade virtual sofisticado, pode-se modelar maquinários, veículos e dispositivos, simulando o comportamento real do equipamento. Isto economiza dinheiro, ciclos de desenvolvimento e permite que se efetuem sessões de treinamento com o produto virtual.

Tabela 2 – Softwares específicos para aplicações em RV

<i>Software</i>	<i>Aplicação</i>
CATIA/CADAM da IBM	Simular, validar e integrar células de manufatura robotizadas de soldagem e montagem, utilizadas em empresas automotivas.
ROBOCAD/Man	É especializado na projeção, otimização e programação de células de trabalho virtuais, nas quais operadores humanos trabalham junto com robôs.
Flexman Simulation	É utilizado para otimizar sistemas flexíveis de manufatura (<i>Flexible Manufacturing System – FMS</i>). Ele permite mapear operações paralelas, especificar quais interações existirão periodicamente e posteriormente armazena informações do sistema numa base de dados temporal.
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 <i>design</i> (TERESKO, 1995).
VisMockUp	Permite a equipe de projetistas montar várias peças de um conjunto e realizar testes e estudos de possíveis interferências, facilitando o processo de reprojeto do conjunto (DVORAK, 1997).
VEDAM	O VEDAM utiliza parâmetros vindo de sistemas CAD/CAM, como os fornecidos pelo <i>software</i> Pro/Engineer. O <i>software</i> consiste em quatro ambientes virtuais: de modelamento de máquina, de projeto, de montagem e de manufatura.

A realidade virtual pode ser aplicada em diversas áreas da manufatura, como: planejamento de fábricas, simulação da produção, auxílio na divulgação de produtos, treinamento de funcionários e validação de protótipos. No que se refere ao aperfeiçoamento de alunos, aplica-se ao treinamento em equipamentos de última geração como tornos CNC, fresadoras CNC e centros de usinagem, enfim, maquinários caros e de grande porte que não existam disponíveis na universidade.

O avanço das pesquisas em realidade virtual está disponibilizando ferramentas de *hardware* e *software* cada vez mais poderosas ocasionando, conseqüentemente, um elevado interesse industrial e um número crescente de usuários e aplicações.

Porém, é importante deixar claro, que apesar do grande avanço dos recursos de *software* e *hardware* disponíveis nessa área, ainda é improvável que qualquer forma de visualização em RV consiga reproduzir a realidade de modo a enganar o cérebro e o olho, ao ponto de fazê-los confundir uma projeção de computação gráfica com uma imagem do mundo real. Essas dificuldades existem por vários motivos, como por exemplo, pelas limitações tecnológicas, pela falta de entendimento de fatores humanos relacionados ao sensoramento dos ambientes, e pela carência em experiências de criação e utilização dos novos conceitos tridimensionais aplicados na RV.

Referências Bibliográficas

- ADAMS, L.:** *Visualização e realidade virtual*, Ed. Makron Books, pp. 255-259, São Paulo, 1994.
- AUGUSTO, A.:** “A realidade virtual já é uma realidade”, *Byte*, pp. 23, vol. 4, n. 1, Janeiro, 1995.
- BANERJEE, A. & BANERJEE, P.:** “Immersive display interface specification standards in virtual manufacturing: a prototype”, *Proc. IFIP WG 5.7*, pp.266-276, Seattle, September, 1995.
- BANERJEE, A. et al.:** *Factory Models using virtual reality: Immersive Display Models of factory floor*, pp. 1-2., 1997. (<http://zenith2.me.vic.edu/ivri/fmur.htm>)
- BANERJEE, A. & MEHROTRA, S.:** “A prototype architecture for manufacturing system layout design decision using virtual reality”, *Proc. NFS Des. & Manuf. Gratees Conference*, pp. 235-236, San Diego, CA, 1995.
- BEARDSLEY, D.:** “BMW enter the world of VR”, *Sense 8 Universe Journal*, pp. 3, Winter, 1997. contact: denise@sense8.com.
- BLANCHARD, C. et al.:** “Reality built for two: a virtual reality tool”, *Computer Graphics*, pp. 35-36, vol. 24, n. 2, March, 1990.
- BLANCHARD, D.:** “The reality of virtual manufacturing”, *Intelligent Manufacturing*, pp. 1-3, June, 1995. (<http://lionhrtpub.com/IM6-Reality.html>)
- BRYSON, S. & LEVIT, C.:** “The virtual windtunnel: an environment for the exploration of three-dimensional unsteady fluid flows”, *Proceedings of IEEE Visualization'91*, San Diego, CA, 1991.
- BRYSON, S.:** “Virtual reality in scientific visualization”, *Computer & Graphics*, pp. 679-685, vol. 17, n.6, 1993.
- BURDEA, G. & COIFFET, P.:** *Virtual reality technology*, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1994.
- CHINNOCK, C.:** “Realidade virtual faz bem à saúde”, *Byte*, pp. 26, v. 4, n. 6, Junho, 1995.
- CHINNOCK, C.:** “A realidade virtual vai ao trabalho”, *Byte*, pp. 16-17, v.5, n.3, Março, 1996.
- CRUZ-NEIRA, C. et al.:** “The CAVE audio visual experience automatic virtual environment”, *Communication of the ACM*, 35(6):64-72, June, 1992.
- DENEB ROBOTICS:** *The simulation and analysis tool for machine tools and machining operations*, Auburn Hill, Mi, 1997. (<http://www.deneb.com/>)
- DIETZ, D.:** “Human integrated design”, *Mechanical Engineering*, pp. 92-96, August, 1995.
- DIVISION:** *Solution softwares of virtual reality*, 1997. (<http://www.division.com/>) Email: info@division.com
- DUPONT, P.:** “Whiter virtual reality?”, *Computer Bulletin*, pp. 14-17, October, 1994.
- DUPONT, P.:** “Virtual reality today”, *Computer Bulletin*, pp. 14-15, June, 1996.
- DVORAK, P.:** “Engineering puts virtual reality to work”, *Machine Design*, pp. 69-73, February, 1997.
- ENCARNAÇÃO, J. et al.:** “European activities in virtual reality”, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 66-74, January, 1994.
- EXHIBITORS:** *Virtual reality in manufacturing research and education*, August, 1997. (http://www_ivri.me.uic.edu/symp96/preface.html)
- FOLKS:** “They’re taking h-i-t-l virtual prototyping to max”, *Published for Caterpillar*, pp. 1-3, March, 1997.
- GIMENEZ, A.M. & KIRNER, T.G.:** “Validation of real-time systems using a virtual reality simulation tool”, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Florida - USA, 1997.
- GRIMES, J.:** “Virtual reality 91 anticipates future reality”, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 81-82, November, 1991.
- HANCOCK, D.:** “Viewpoint: virtual reality in search of middle ground”, *IEEE Spectrum*, 32(1):68, Jan, 1995.
- INTELLIGENT MANUFACTURING:** *Virtual reality is for real*, vol. 1, n. 12, dec., 1995. (<http://lionhrtpub.com/IM/IM-12-95/IM-12-vr.html>)
- IWATA, K. et al.:** “A modelling and simulation architecture form virtual manufacturing systems”, *Annals of the CIRP*, pp. 399-402, vol.44, January, 1995.
- JACOBSON, L.:** *Virtual reality: A status report*, AI Expert, pp. 26-33, Aug, 1991.
- JONES, K & CYGNUS, M.W.:** “Virtual reality for manufacturnig simulation”, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, IEEE Computer Society Press, pp. 882-887, New York, 1993.

- KAHANER, D.:** "Virtual reality in Japan", *IEEE Micro*, pp. 66-73, April, 1993.
- KAHANER, D.:** "Japanese Activities in virtual reality", *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 75-78, January, 1994.
- KALAWSKY, R.S.:** *The science of virtual reality and virtual environments*, Ed. Addison-Wesley, 405 pp., 1993.
- KENT, E.:** *Summary of panel discussion on role of virtual reality in manufacturing research and education*, 1997. (http://www_ivri.me.uic.edu/symp96/panel.html)
- KIMURA, F.:** "Product and process modelling as a kernel for virtual manufacturing environment", *Annals of the CIRP*, pp. 147-150, vol. 42, January, 1993.
- KIRNER, C.:** *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, 1996.
- KREITLER, M. et al.:** "Virtual environments for design and analysis of production facilities", *IFIP WG 5.7 Working Conference on Managing Concurrent Manufacturing to Improve Industrial Performance*, Washington – USA, September, 1995. (<http://weber.u.washington.edu/~jheim/VirtualManufacturing/vrPaperIFIPS.html>)
- KOSAK, J.J. et al.:** "Transfer of training from virtual reality", *Ergonomics*, pp. 777-784, vol. 36, n. 7, 1993.
- KRUEGER, M.W.:** *Artificial reality II*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1991.
- LATTA, J.N. & OBERG, D.J.:** "A conceptual virtual reality model", *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29, Jan, 1994.
- LAW, A.M. & HIDER, S.W.:** "Selecting simulation software for manufacturing applications: practical guidelines & software survey", *Industrial Engineering*, pp. 33-46, May, 1989.
- LESTON, J.:** "Virtual reality: the it perspective", *Computer Bulletin*, pp. 12-13, June, 1996.
- LOBÃO, E.C & PORTO, A.J.V.:** "Evolução das técnicas de simulação em acordo com a tecnologia", *Anais do XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP*, Piracicaba, Out, 1996.
- LOBÃO, E.C & PORTO, A.J.V.:** "Uso da simulação no ensino de engenharia", *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM*, Bauru, Dez, 1997.
- MAHONEY, D.P.:** "Driving VR", *Computer Graphics World*, pp.22-33, May, 1995.
- MCCARTY, W.D. et al.:** "A virtual cockpit for a distributed interactive simulation", *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 49-54, January, 1994.
- MOSHELL, J.M. et al.:** "Dynamic terrain", *Simulation*, pp. 29-40, vol. 62, n. 1, January, 1994.
- NORMAN, V.B.:** "Future directions in manufacturing simulation", *Industrial Engineering*, pp. 36-37, May, 1992.
- O'NEILL, B.:** "Industry news: Virtual NC for the manufacturing environment", *Simulation Magazine*, pp. 330-331, May, 1995.
- ONOSATO, M. & IWATA, K.:** "Development of a virtual manufacturing system by integrating product models and factory models", *Annals of the CIRP*, pp. 475-478, vol. 42, January, 1993.
- OWEN, J.V.:** "Simulation: art and science", *Manufacturing Engineering*, pp. 61-63, February, 1995.
- PENTEADO, S.:** "O mundo da quinta dimensão", *Informática Exame*, pp. 55-60, n. 111, junho, 1995.
- PIMENTEL, K. & BLAU, B.:** "Teaching your system to share", *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 60-65, January, 1994.
- RESSLER, S.:** *Virtual reality for manufacturing – case studies*, National Institute of Standards and Technology, 1997. (<http://www.nist.gov/itl/div894/ovrt/projects/mfg/mfgVRcases.html>)
- RIX, J. et al.:** *Virtual prototyping – virtual environments and the product design process*, IFIP Chapman & Hall, 348 pp., 1995.
- ROSENBLUM, L.J.:** "Mission visualization for planning and training", *IEEE Computer Graphics and Application*, pp. 12-14, September, 1995.
- SEEVERS, C.:** "Simulation before automation", *Proceedings of the 4th International Conference on Simulation in Manufacturing*, pp. 217-244, November, 1988.
- SENSE 8:** *Customer applications: information management, analysis, training, simulation, research, education and development*, Sense 8 corporation, Sausalito, CA, Aug, 1996. (<http://www.sense8.com/>) Email: info@sense8.com
- SILMA INC.:** *Virtual Soft Machines*, Cupertino, CA, 1997. (<http://www.silma.com/>)

- SHANNON, R.E.:** *System simulation: the art and the science*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1975.
- SUPERSCAPE INC.:** *VRT – the most popular VR authoring suite available on the PC*, Santa Clara, CA, 1997. (<http://www.superscape.com>) Email: support@us.superscape.com
- TERESKO, J.:** “Customers transform virtual prototyping”, *IW Electronics & Technology*, pp. 35-37, May, 1995.
- THALMANN, N.M & THALMANN, D.:** *Mundos virtuais e multimídia*, Ed. LTC, pp. 141-148, Rio de Janeiro, 1993.
- VALERIO NETTO, A. et al.:** “A utilização da realidade virtual na engenharia mecânica”, *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM*, Bauru, Dez, 1997.
- VINCE, J.:** *Virtual Reality Systems*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1995.
- VIRTUAL MANUFACTURING:** *What virtual manufacturing is: three paradigms*, August, 1997. (<http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/vm/vmdesc.html>)
- VISIOLI, A.C. & BUGATTI, I.G.:** *Um ambiente de desenvolvimento de ferramentas didáticas e programas computacionais para o ensino fundamental*, Grupo de Realidade Virtual – DC/UFSCar, Jan, 1997. (<http://www.dc.ufscar.br/grv/bolsas.htm>)
- VON SCHWEBER, L. & VON SCHWEBER, E.:** “Cover story: realidade virtual”, *PC Magazine Brasil*, pp. 50- 73, v. 5, n.6, junho, 1995.
- VREAM INC.:** *Product of virtual reality*, Chicago, Ill, 1997. (<http://www.vream.com/>) Email: info@vream.com
- WITTEMBERG, G.:** “Training with virtual reality”, *Assembly Automation*, pp. 12-14, v. 15, n. 3, 1995.

VIRTUAL REALITY AND ITS APPLICATIONS IN MANUFACTURING, TRAINING, SIMULATION AND PRODUCT DEVELOPMENT

Abstract

Virtual reality is a computer-generated environment with highly interactive three-dimensional controls which allow the user to manipulate and examine data in real time. Virtual reality can be applied in a number of industry sectors, including factory planning, product simulation, product popularization, employee training and prototype validation. This article aims to show the flexibility of virtual reality in industry and in research centers, focussing mainly on areas related to manufacturing, product development and training.

Key words: *virtual reality, simulation, virtual manufacturing, virtual prototyping.*