

Design Virtual de Produtos através de um Aplicativo de Banco de Dados

D.R. Carniel^{a,b} e J.L.F. Aymone^c

^a denizecarniel@yahoo.com.br

^cPrograma de Pós-Graduação em Design, Departamento de Design e Exp. Gráfica,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Resumo

Este artigo apresenta uma metodologia de desenvolvimento virtual de produtos por meio da criação de um aplicativo de banco de dados com componentes individuais e utilizando a tecnologia da realidade virtual (VRML). Para o desenvolvimento do trabalho foram investigados: o processo de desenvolvimento de produtos e suas etapas; o design virtual e os recursos computacionais utilizados atualmente e a tecnologia da realidade virtual. A metodologia de montagem é constituída de duas fases: na primeira, são definidos os pontos de inserção dos componentes (onde ocorre a conexão) e obtidas as suas coordenadas em um software CAD, a partir do seu modelo tridimensional. Na segunda fase, modela-se o banco de dados, registrando todas as informações necessárias dos componentes. A metodologia de montagem virtual de produtos está implementada no aplicativo chamado "dvPro", desenvolvido na plataforma de banco de dados Microsoft Access. O aplicativo possui interface amigável, possibilitando o cadastro de componentes, a montagem de produtos e a reutilização de componentes e produtos para a montagem de novos produtos. Apresenta-se um exemplo de montagem de produtos, no qual é possível verificar a viabilidade e a eficiência da metodologia proposta.

Palavras-chave: Design Virtual de Produtos, Realidade Virtual.

Virtual Product Design using a Database Application

Abstract

This article presents a methodology for virtual product development through the creation of a database with individual components and the use of virtual reality technology (VRML). For work development, the following subjects were investigated: the process of product development and its stages; the virtual design and the computing resources currently use and the virtual reality technology. The assembly methodology has two steps: in the first, insertion points of components (where connections take place) are defined and its coordinates are obtained using a CAD software, based on the 3D model. In the second step, the database is modeled, recording all the information from the components. The methodology for virtual assembly of products is implemented in an application named "dvPro", developed on Microsoft Access database system. The application has a friendly interface, allowing component registration, product assembly and reuse of components and products to assembly new products. One example of assembly methodology is presented, where the feasibility and efficiency of the proposed methodology can be verified.

Keywords: Virtual Product Design, Virtual Reality.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho insere-se em um contexto de globalização econômica que vem trazendo transformações no processo produtivo, sendo impulsionadas, em grande parte, pela utilização de recursos computacionais advindos com a difusão das tecnologias de informação e comunicação (TICs).

Novos desafios são impostos às indústrias frente à globalização aliada à competitividade. Nas empresas, constata-se a busca pela incorporação de inovações através da modernização do sistema produtivo com o emprego de equipamentos modernos e mão-de-obra especializada e a utilização de ferramentas computacionais que auxiliam o processo produtivo [20].

A crescente competitividade e demanda por produtos variados, aliada à redução do ciclo de vida dos produtos, exige um ciclo de projeto mais curto e uma redução do tempo de industrialização. Estes fatores têm incentivado as empresas a adotarem metodologias de desenvolvimento de

produtos que auxiliem as equipes de projeto a atingir os objetivos propostos de uma maneira rápida e eficiente [14].

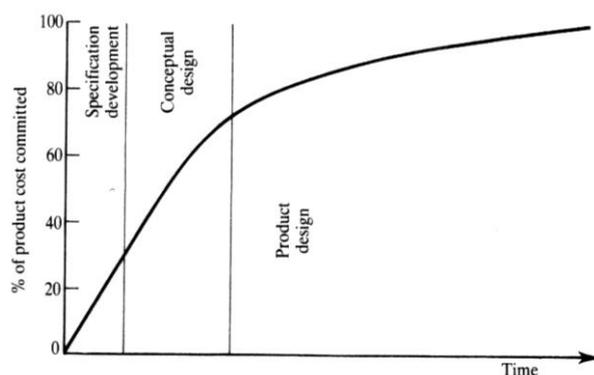


Figura 1: Influência do projeto no custo de fabricação.

Já de acordo com Rozenfeld *et al.* [15], as escolhas de alternativas ocorridas nas fases iniciais de desenvolvimento de produtos (planejamento e projeto conceitual; projeto preliminar; projeto detalhado) são responsáveis por cerca de 85 % do custo do produto final. Ou seja, todas as outras etapas (produção, construção, avaliação, uso, apoio logístico), definições e decisões a serem tomadas ao longo do ciclo de desenvolvimentos, após as fases iniciais, determinam apenas 15% do custo.

Estima-se que o atraso na detecção e correção de problemas, à medida que se avança do projeto para a produção e para o consumo, representa um aumento no custo de alteração (resolução de problemas) que cresce em progressão geométrica de razão 10 a cada fase [15]. De acordo com os autores, é considerável salientar que mudanças no desenvolvimento de produtos sempre acontecem, dada à natureza do processo. Contudo, o importante é fazer com que elas ocorram no início do desenvolvimento, quando o custo das alterações é menor.

Dessa maneira, reduzir o prazo para o desenvolvimento dos produtos tornou-se tão importante quanto reduzir os custos do projeto. Atualmente, as pesquisas sobre metodologias de projetos têm diversas orientações, muitas dirigidas ao desenvolvimento de ferramentas computacionais para as fases iniciais do processo de projeto, principalmente para melhorar as atividades dos projetistas, além de garantir qualidade e rapidez no processo de desenvolvimento do produto.

A aplicação de ferramentas computacionais como recursos para o desenvolvimento virtual de produtos apresenta significativas vantagens. Pode-se citar: acompanhamento do processo de concepção, desenvolvimento e produção pelos diferentes profissionais envolvidos no processo; a avaliação da viabilidade de um projeto de produto; a validação de um plano de produção e a otimização dos processos, no intuito de prevenção de riscos e falhas; o suporte à administração na tomada de decisões e no gerenciamento das estratégias de uma empresa e uma redução no ciclo de desenvolvimento e de lançamento de novos produtos no mercado.

Assim, esta pesquisa está inserida no contexto do “Design Virtual de Produtos” apoiado pela utilização de recursos computacionais e tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia de desenvolvimento virtual de produtos a partir da utilização de banco de dados com componentes individuais e da tecnologia da realidade virtual para a visualização do produto final. Além disso, busca também: propor um diferencial na utilização do banco de dados com a reutilização dos componentes individuais para a criação de novos produtos; integrar softwares de modelagem tridimensional, um sistema de banco de dados e a realidade virtual e desenvolver uma ferramenta virtual de apoio na concepção de produtos, auxiliando os profissionais envolvidos nas decisões de conceito e na tomada de decisões de projeto na fase conceitual do processo de desenvolvimento de produtos.

Nesse trabalho, em função da utilização da linguagem para a realidade virtual VRML, é possível, ainda, a manipulação e a exploração dos dados do protótipo virtual pelo usuário em tempo real e com grande acessibilidade, uma vez que essa linguagem é visualizada gratuitamente através de um browser de internet, proporcionando maior compreensão e interatividade no processo produtivo [12].

O próximo item desse artigo explana sobre o processo de desenvolvimento de produtos e suas etapas, verificando,

assim, a importância da utilização dos recursos computacionais nesse processo.

2. O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS – PDP

A vantagem competitiva de uma empresa, diante do atual cenário econômico globalizado, está diretamente relacionada à capacidade de inserir no mercado novos produtos e serviços, com conteúdo tecnológico e características de qualidade, desempenho, custo e distribuição que satisfaçam as exigências dos consumidores [6].

Na literatura, diversos autores conceituam o Processo de Desenvolvimento de Produtos. Clark e Fujimoto [4] sugerem a seguinte definição: “[...] é o processo pelo qual uma organização transforma dados sobre oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em informações de valor para a produção comercial”. Krishman e Ulrich [9] definem desenvolvimento de produto como a transformação de uma oportunidade de mercado e de um conjunto de considerações, como a tecnologia, em um produto disponível para o mercado.

Esta pesquisa adota como referencial a definição de PDP proposta por Rozenfeld [15], na qual um processo é um conjunto de atividades realizadas em uma seqüência lógica com o objetivo de produzir um bem ou um serviço que tem valor para um grupo específico de clientes. Segundo estes autores,

[...] o Processo Desenvolvimento de Produtos pode ser definido como um conjunto de atividades por meio das quais se busca, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo [...].

Rozenfeld *et al.* [15] citam algumas características desse processo: grande grau de incertezas e riscos nas atividades e resultados; as decisões importantes devem ser tomadas no início do processo, quando as incertezas são ainda maiores; as atividades básicas seguem um ciclo determinado por: projetar – construir – testar – otimizar; grande volume de informações geradas e manipuladas; múltiplos requisitos a serem atendidos pelo processo, considerando todas as fases do ciclo de vida do produto e seus clientes.

É notória a importância da atividade de desenvolvimento de produtos no setor industrial. De acordo com Rozenfeld *et al.* [15], é por meio de metodologias eficientes no PDP que as empresas podem criar novos produtos mais competitivos e com mais rapidez para atender a constante evolução do mercado, da tecnologia e dos requisitos do ambiente institucional, além de clientes cada vez mais exigentes e com maiores possibilidade de escolhas.

2.1 Etapas do PDP

O desenvolvimento de produtos envolve muitas atividades a serem executadas por diversos profissionais e de diferentes áreas da empresa, cada setor analisando o produto por uma perspectiva diferente, mas complementares. Tal particularidade exige que essas atividades, e suas decisões relacionadas, sejam realizadas em conjunto e de forma integrada [7].

Na literatura, vários autores sugerem modelos com as etapas do PDP. Cada modelo é representado pela estruturação das etapas e atividades operacionais do

desenvolvimento de projeto, adequando-se às necessidades de cada empresa, orientando a estruturação e gestão desse processo [10]. O modelo de Cooper [5], por exemplo, é composto de sete estágios, que inicia com a geração de idéias, avaliação técnica das idéias, identificação, geração teste e avaliação do conceito; desenvolvimento do projeto de engenharia e protótipo, teste interno do protótipo e com clientes, finalização do projeto e prova de produção, finalização do plano de marketing, prova de mercado e análise de negócio pré-comercial e, finalmente, produção total, lançamento no mercado, avaliação e controle pós-lançamento, como representado na Figura 2.



Figura 2: Diagrama de estágios do desenvolvimento de produtos.

O modelo desenvolvido por Rozenfeld *et al.* [15] é denominado de Modelo Unificado de PDP. Tal modelo pode ser considerado uma referência única e genérica, estando embasado em diferentes autores, tais como: Clark, Fujimoto, Wheelwright, Ulrich, Eppinger, Pahl, Beitz, entre outros [10]. A divisão das atividades do PDP para Rozenfeld *et al.* [15] é em três etapas, visualizadas na Figura 3 e descritas a seguir.

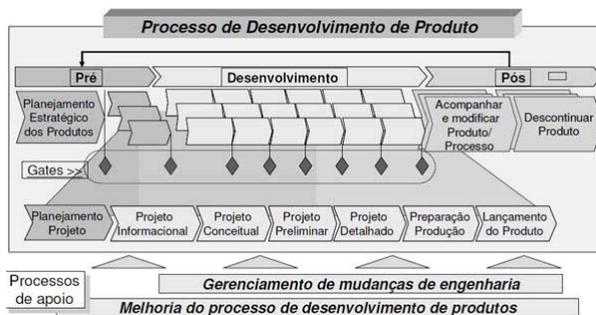


Figura 3: O processo de desenvolvimento de produtos.

Pré-desenvolvimento: é a fase do planejamento e definição do produto a ser desenvolvido; avaliação econômica do projeto; definição de indicadores para monitoramento do projeto e definição de planos de negócio. Antes dessa fase existe, ainda, o planejamento estratégico do produto, no qual são definidos os produtos que podem alcançar os objetivos propostos pela empresa.

Desenvolvimento: trata-se da fase de projeto de um produto e é dividida em quatro etapas. No Projeto Informacional é feita a aquisição de informações junto ao cliente (necessidades e desejos) sobre o projeto em questão e sua posterior interpretação. Na fase de Projeto Conceitual, com base nas informações obtidas na fase anterior, é proposto o conceito a ser adotado pelo produto. Na fase de Projeto Preliminar, conhecendo-se o conceito e a estrutura funcional do produto, pode-se dimensioná-lo, selecionando-se materiais, formas, componentes, processos de fabricação e montagem, etc. Ao final desta fase, os produtos estão totalmente estruturados. No Projeto Detalhado, fase final de projeto, a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias dos componentes são finalmente fixadas. Com todos os recursos em mãos, realiza-se então o lançamento oficial do produto.

Pós-desenvolvimento: nessa fase ocorre inicialmente um planejamento de como o produto será acompanhado e retirado do mercado. Definem-se as equipes e os recursos necessários para as alterações de engenharia, visando

correções de potenciais falhas e/ou adição de melhorias requisitadas pelos clientes. Definem-se também metas de quando o produto deverá ser retirado do mercado, bem como as providências em relação ao descarte do material para o meio ambiente.

Assim, com base no modelo unificado de desenvolvimento de produtos de Rozenfeld *et al.* [15], pode-se afirmar que a metodologia proposta neste trabalho trata-se de um recurso importante no processo produtivo. Em virtude do atual cenário competitivo entre as empresas, sua utilização pode estar presente em todas as etapas de PDP, destacando-se a sua grande importância nas etapas iniciais de projeto, pois estas são as mais onerosas no custo final dos produtos.

3. DESIGN VIRTUAL DE PRODUTOS

A utilização de ferramentas computacionais de apoio à concepção e ao desenvolvimento de produtos é uma constante no setor industrial em função do atual contexto econômico de globalização e de competitividade. Atualmente, as tecnologias de informação e comunicação e as tecnologias digitais estão presentes em praticamente todas as etapas de desenvolvimento de produtos.

A modelagem geométrica em duas e três dimensões, a realidade virtual, as simulações computacionais e a prototipagem virtual são exemplos de processos de Design Virtual (DV) de Produtos, que se caracteriza por integrar uma base teórica e tecnológica que exige uma metodologia adequada, constituindo-se como ciência aplicada [17]. Essas tecnologias auxiliam, de modo integrado, as equipes de projeto no planejamento, na implementação e na gestão de todas as etapas do desenvolvimento de produtos.

O conceito de Design Virtual pode ser compreendido como um processo interativo de desenvolvimento do produto, através de sucessivas virtualizações e atualizações, buscando otimização e feito em todas as suas fases, através de meios digitais, utilizando tecnologias e metodologias que garantam a integração sistêmica e gestão do projeto em todos os níveis [17].

No setor industrial, os recursos tecnológicos são utilizados com a finalidade de melhorar o processo de desenvolvimento por meio da virtualização dos produtos. Os ambientes virtuais originaram-se da convergência dos avanços da tecnologia de eletrônica digital dos computadores com os avanços na tecnologia de apresentação visual [8].

A virtualização do projeto consiste em considerar diversos requisitos e restrições no processo de desenvolvimento do produto, tais como: atributos legais, parâmetros de comparação com outros produtos similares e de desempenho, assim como aspectos relacionados à fabricação, montagem, manutenção, disponibilidade de máquinas e de ferramentas. A partir da virtualização é possível lançar idéias diferentes e alternativas na fase de concepção de um produto.

Atualmente, a maioria das empresas utiliza algum tipo de ferramenta virtual no desenvolvimento de seus produtos. Contudo, na maioria dos casos, são atividades isoladas, como parte de um processo convencional. A falta de aplicação de metodologias adequadas no PDP é um dos motivos que contribuem para o DV não ser um padrão no processo produtivo [17].

A utilização dos recursos do DV no desenvolvimento de produtos traz benefícios, como assegurar a competitividade e a permanência das empresas no mercado. Além disso, os processos de DV auxiliam as equipes envolvidas no projeto a desenvolverem produtos com redução de tempo, de custos e

melhoria da qualidade, otimizando o processo de desenvolvimento dos produtos. Outra consequência importante é a satisfação do cliente, devido à redução do tempo de desenvolvimento e o aumento da diversificação de produtos no mercado.

Um exemplo do avanço tecnológico e da utilização de ferramentas computacionais no processo de desenvolvimento de produtos é o caso da empresa de automóveis General Motors Corporation, também conhecida apenas pela sigla GM.

No início da indústria automobilística, os designers utilizavam quadros-negros em grandes paredes para representar um veículo em tamanho real (Figura 4). A partir desses esboços, os engenheiros desenvolviam seções em madeira para definir as superfícies do produto [18].



Figura 2: Desenho de um veículo na década de 1930.

Posteriormente, eram criados modelos em argila em escala natural (Figura 5) para representar seus produtos e confirmar se as formas desenhadas realmente ficariam conforme o desejado.



Figura 3: Protótipo em argila no final da década de 1950.

Atualmente, a GM possui um centro de Design, no qual os profissionais utilizam um software para esboçar o conceito de um novo veículo. Através de recursos em realidade virtual é possível analisar o interior e o exterior do produto, avaliar o design e os conceitos, podendo modificar facilmente o protótipo virtual. Além disso, esses protótipos virtuais são também objetos matemáticos, nos quais os engenheiros podem utilizar para medir o desempenho funcional, ergonômico do veículo, reduzindo a necessidade de testes físicos (Figura 6).



Figura 4: Sistema em realidade virtual da GM.

4. REALIDADE VIRTUAL

O termo Realidade Virtual (RV) pode ser interpretado como uma forma avançada de interface do usuário com o computador [1], o qual tem aplicação na maioria das áreas do conhecimento.

As aplicações pioneiras da realidade virtual surgiram na área militar, estendendo-se para a área médica. Atualmente, os ambientes virtuais são mais comumente utilizados nas seguintes bases: industrial, militar, médica, entretenimento, marketing, educação, treinamento e pesquisa. Contudo, para Netto [12], a realidade virtual pode ser aplicada a cinco áreas específicas: jogos e entretenimento, comunicação a distância, simulação e treinamento, tele presença e visualização.

Do ponto de vista do usuário, a realidade virtual é uma poderosa ferramenta de análise, ensino, interpretação e tomada de decisão [21], podendo ser classificada em três áreas:

Missão crítica: trata da utilização da realidade virtual na simulação de situações de risco ao patrimônio material e humano, como por exemplo, os simuladores de voo, cirúrgicos, aeroespaciais.

Universos paralelos: envolve a simulação de universos inacessíveis, como a simulação do macrocosmo em astrofísica e a do microcosmo em biologia molecular.

Prototipagem digital: trata da principal aplicação comercial da realidade virtual, destacando-se a petrolífera na prototipagem de plataformas e canalizações em águas profundas; a indústria automobilística e aeronáutica na análise ergométrica e a indústria de construção civil, no desenvolvimento de maquetes digitais para análise arquitetônica e estrutural.

No setor industrial, a realidade virtual tem sido utilizada nos seguintes campos: na concepção de produtos; na automação de projetos; na venda e no marketing; no planejamento e na manutenção; no treinamento de funcionários; em simulações de utilização e na visualização de dados. No processo de montagem e de criação de um produto, por exemplo, a vantagem principal dessa tecnologia é o desenvolvimento e a análise do projeto colaborativo, habilitando grupos de profissionais de diferentes áreas da produção a visualizar e manipular, em tempo real, um objeto virtual tão facilmente como poderia ser feito com um objeto físico.

Diversas instituições de pesquisa trabalham para validar novas aplicações da RV em manufatura, produção e engenharia. A empresa Mercedes Benz, por exemplo, utiliza a realidade virtual para explorar a visualização de novos layouts de veículos com o objetivo de melhorar a comunicação e a simulação dos processos produtivos (Figura 7).



Figura 7: Simulação do automóvel S-Class 2007 da Mercedes-Benz.

A Embraer utiliza o CRV (Centro de Realidade Virtual) no desenvolvimento de aeronaves, o qual permite aos engenheiros visualizar, por meio de modelos eletrônicos, toda a estrutura da aeronave em fase de projeto (Figura 8).



Figura 8: Simulação de aeronave no Centro de Realidade Virtual da Embraer.

O item a seguir apresenta o sistema de realidade virtual denominado VRML (Linguagem para a Modelagem em Realidade Virtual) que é utilizado na metodologia de montagem virtual de produtos descrita nesse artigo.

4.1 Linguagem VRML

O desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação aliado ao surgimento da internet trouxe como consequência o fácil acesso à informação. Juntamente com esse progresso, surgiu a idéia de levar a realidade virtual para a internet, com o intuito de que essa tecnologia deixasse de ser apenas objeto de estudo dos grandes centros de pesquisa, passando a ser utilizada também por usuários comuns [11]. Esse objetivo só foi atingido com o advento da linguagem de programação VRML (Virtual Reality Modeling Language).

Através desta linguagem, é possível a criação de objetos tridimensionais baseados em polígonos e a combinação deles para a montagem de cenas de um ambiente. Além disso, possui alguns objetos pré-definidos como cubo, cone, cilindro e esfera; suporta transformações como rotação, translação e escala e permite a aplicação de texturas, luzes e sombreamentos. A interatividade ocorre através da navegação em tempo real, sensores de toque e aproximação [16]. O usuário pode navegar, visualizar e interagir com objetos por ângulos diversos [3]. Entretanto, por ser utilizada na tela do computador, não proporciona a sensação de imersão, que é característica da realidade virtual, na qual se utilizam equipamentos como capacete, luvas, óculos de realidade virtual, além de outros objetos.

A linguagem VRML é aplicada em várias áreas, como por exemplo, na indústria, na educação, na medicina, no entretenimento.

No contexto da manufatura, o VRML é um mecanismo de visualização de representações geométricas de diversas entidades relacionadas. Em conjunto com uma interface visual, dados de manufatura, layouts de fábricas, além de projetos de produtos podem ser acessados, utilizando representações tridimensionais. Na Figura 9 é possível verificar à esquerda uma célula de produção de peças mecânicas e, à direita, a mesma célula de manufatura em ambiente virtual VRML.

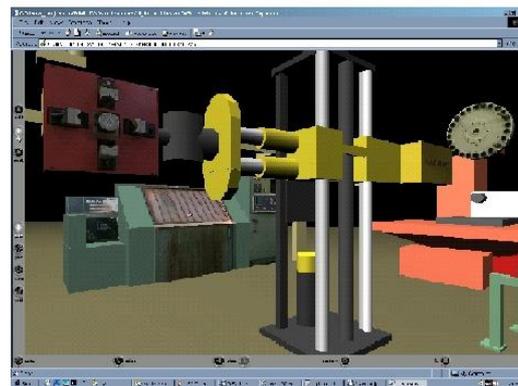


Figura 9: Célula real de fabricação de peças e o modelo em realidade virtual.

A linguagem VRML possui diversos comandos que auxiliam a criação dos ambientes virtuais. Dentre esses comandos, está o "inline", o qual permite a inclusão de arquivos externos. Um objeto ou um conjunto de objetos pode ser criado em um único arquivo VRML. Porém, unindo-se vários objetos para a criação de cenas mais complexas, o arquivo VRML pode se tornar muito grande e difícil de gerenciar. O comando "inline" consiste em uma técnica de construção de cenas que permite manter cada uma das pequenas partes de uma cena em um arquivo diferente. Para construir uma cena que utiliza vários arquivos separadamente, deve-se criar um único arquivo VRML que lista todos os arquivos externos através do comando "inline".

O Quadro 1 apresenta um trecho do código da linguagem VRML com o comando "inline" carregando três objetos externos para a montagem de uma cena.

Neste trabalho, o comando "inline" é utilizado para referenciar os arquivos dos componentes de produtos que estão armazenados em arquivos separados para a montagem do produto final. Para a visualização e manipulação de um ambiente virtual, é necessária a utilização de um software de navegação para a internet (browser) que possua um plug-in de reconhecimento dos códigos VRML, como por exemplo, o

plug-in Cortona 4.0 [13]. Esse plug-in, instalado no browser, é o encarregado de interpretar o código e gerar o ambiente descrito por ele.

```
#VRML V2.0 utf8
Inline {url["OBJETO1.WRL"]}
Inline {url["OBJETO2.WRL"]}
Inline {url["OBJETO3.WRL"]}
```

Quadro 1: Arquivo em VRML contendo o comando "inline".

Portanto, no contexto deste trabalho, o VRML é usado como interface de visualização da montagem do produto realizada no banco de dados. A seguir, apresenta-se a metodologia de montagem virtual de produtos proposta neste artigo com a utilização da linguagem de realidade virtual VRML.

5. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO VIRTUAL DE PRODUTOS

A metodologia de montagem virtual de produtos desta pesquisa foi proposta com base no trabalho realizado com a criação do Campus Virtual da UFRGS em realidade virtual. O projeto, iniciado em 2001, sob orientação do Professor José Luís Farinatti Aymone do Grupo Virtual Design, e concluído em 2003, propõe a reprodução do Campus Central da UFRGS em um ambiente de realidade virtual.

No trabalho, foi desenvolvido um protótipo em 3D do Campus Central. Os modelos estáticos dos prédios foram desenvolvidos individualmente no AutoCAD (formato dwg) e transformados em modelos interativos de realidade virtual através do 3ds Max. Cada prédio foi posicionado corretamente na planta geral de localização do Campus Central (Figura 10) e, com isso, foram obtidos diversos arquivos individuais dos edifícios em VRML. Após foi realizada a conjugação dos arquivos em VRML para a visualização na Internet [2].

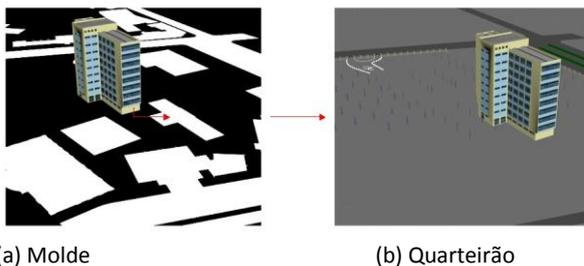


Figura 10: Posicionamento do prédio da Faculdade de Educação no quarteirão.

Os arquivos individuais em VRML são listados em um único arquivo que carrega cada um dos arquivos dos prédios. Para isso, utilizou-se o comando "inline" da linguagem VRML. Esse comando permite uma boa organização do trabalho, visto que cada prédio pode ser desenvolvido, otimizado e convertido em VRML separadamente.

Assim, criou-se um único arquivo contendo todos os demais arquivos dos prédios que, carregado no Internet Explorer através do plug-in gratuito de realidade virtual VRML

2.0 Viewer, pode-se visualizar o Campus Central em realidade virtual, conforme verificado na Figura 11.



Figura 11: Campus Central da UFRGS em realidade virtual.

Com base no trabalho realizado com o Campus Virtual da UFRGS, foi proposta então a metodologia de montagem virtual de produtos. A partir de arquivos em realidade virtual de componentes individuais de produtos armazenados em um banco de dados, é possível fazer a montagem desses componentes por meio de um aplicativo em um sistema de banco de dados. O trabalho também possuiria os recursos de conjugação de arquivos através do comando "inline" da linguagem VRML. Diante disso, pesquisas e estudos foram realizados no intuito de definir o software de banco de dados que pudesse ser utilizado para a programação do aplicativo.

Chegou-se, então, a opção de desenvolver a metodologia de montagem virtual de produtos a partir de um aplicativo criado no Microsoft Access; pois, mesmo com um custo de aquisição do software, trata-se de uma ferramenta genérica, com linguagem simples e bastante acessível para a modelagem de dados e que não necessita de acesso à internet, visto que o banco de dados é armazenado no próprio computador, não necessitando um computador-servidor para o seu funcionamento. Além disso, o Access é uma ferramenta que permite desde o uso de tabelas até a criação de uma interface gráfica para a entrada de dados e a gravação de um arquivo de saída, como por exemplo, um arquivo de texto. Por outro lado, o uso de outras tecnologias para o desenvolvimento da metodologia proposta implicaria no conhecimento prévio de um conjunto de linguagens e sistemas mais complexos que o sistema Access. Assim, as facilidades fornecidas pelo Access permitem focar o trabalho na metodologia de montagem de produtos, a qual é genérica e pode ser implementada em outras plataformas.

Portanto, como representado no esquema da Figura 12, a metodologia de montagem virtual de produtos parte de componentes 3D de produtos que estão cadastrados no banco de dados Access. Através de uma interface amigável, o usuário seleciona os componentes que deseja montar para visualizar o produto final em realidade virtual.

A fundamentação teórica apresentada orienta a metodologia de intervenção utilizada neste trabalho que, por sua vez, apresenta os procedimentos necessários para o estabelecimento das mudanças da condição do fenômeno investigado.

Assim, os materiais e o método de desenvolvimento da pesquisa estão definidos e estão descritos a seguir.

A partir de um modelo tridimensional de um componente (modelo 3D) previamente desenvolvido, obtêm-se as coordenadas dos pontos de inserção de cada componente no software AutoCAD. Essas informações são metadados, que são os dados que descrevem o produto (ponto de inserção, características físicas, critérios de montagem, entre outros), e serão cadastradas, posteriormente, no banco de dados do Microsoft Access. Após isso, o componente é exportado para o software 3ds Max, etapa intermediária necessária, uma vez que o 3ds Max permite exportar arquivos em linguagem VRML. Assim, é gerado um arquivo em realidade virtual de cada componente. O ponto de inserção, obtido no AutoCAD, é um dos metadados que será cadastrado no banco de dados do Microsoft Access.



Figura 12: Esquema de funcionamento da metodologia de montagem virtual de produtos.

De posse de todos os dados dos componentes, modela-se o banco de dados no software Microsoft Access.

O banco de dados no Access é composto dos objetos: tabelas, consultas, formulários e relatórios. Uma tabela pode ser definida como um conjunto de dados sobre um tópico específico, por exemplo, componentes de um produto. As consultas são utilizadas para exibir, alterar e analisar dados, além de poderem ser utilizadas como fonte de registros para relatórios. Os formulários servem para inserir ou exibir dados em um banco de dados. A interface gráfica do aplicativo do banco de dados, onde se realiza o cadastro dos componentes e a sua conexão, para criar os produtos é desenvolvida nos formulários. Os dados inseridos no formulário são armazenados em tabelas, as quais serão utilizadas no relatório. Um relatório é uma forma de apresentar dados em um formato impresso ou arquivo de texto. O relatório pode ser vinculado a tabelas e consultas no banco de dados.

No objeto "Relatórios" do Access podem-se criar arquivos de texto vinculados aos dados armazenados nas tabelas e consultas. Utilizando a sintaxe da linguagem VRML, gera-se o arquivo texto para visualização em VRML do produto final montado. Através do comando "inline" da linguagem VRML, os componentes de produtos que estão armazenados em arquivos separados podem ser carregados, indicando o ponto de inserção. Assim, monta-se o produto final, desenvolvido a partir da conexão dos componentes individuais armazenados no banco de dados.

Com o arquivo obtido automaticamente através do relatório do banco de dados, pode-se visualizar o produto final em linguagem VRML. A visualização é feita carregando o arquivo VRML do relatório no browser Internet Explorer com o plug-in Cortona VRML instalado. Esse arquivo gerado pode ser lido como texto, além de ser visualizado com grande acessibilidade por ser utilizado pela internet.

Assim, com a utilização do banco de dados é possível a reutilização dos componentes individuais para a criação de produtos, com troca de algumas partes ou, então, de outros produtos. Além disso, um diferencial do trabalho é a utilização de metadados para o cadastramento dos componentes individuais no banco de dados, caracterizando

cada objeto constituinte, permitindo gerar dados que possam servir para outros fins.

O quadro 2 a seguir apresenta, de maneira simplificada, as etapas do desenvolvimento do trabalho.

Etapas:

1. Modelo tridimensional do produto em CAD.
 - 1.1. Coordenadas do ponto de inserção dos componentes do produto (metadado).
 - 1.2. Conversão do modelo CAD em arquivo em formato VRML de cada componente.
2. Modelagem do banco de dados.
 - 2.1. Registro dos dados dos componentes (metadados), entre eles, pontos de inserção e critérios de montagem.
 - 2.2. Organização dos Objetos do Banco de Dados.
 - 2.2.1. Tabelas: conjunto de dados sobre um tópico específico, por exemplo, componentes de um produto.
 - 2.2.2. Consultas: são utilizadas para exibir, alterar e analisar dados, além de fonte de registros para relatórios.
 - 2.2.3. Formulários: servem para inserir ou exibir dados no banco de dados (interface gráfica do aplicativo).
 - 2.2.4. Relatórios: podem-se criar arquivos de textos vinculados os dados armazenados nas tabelas, consultas e formulários, que são lidos e manipulados para a obtenção das coordenadas dos pontos de inserção dos componentes em VRML.
3. Metodologia de montagem de produtos.
 - 3.1. Comando "inline" da linguagem VRML: os componentes individuais que formam o produto são carregados em conjunto.
 - 3.2. Montagem do produto final.
 - 3.3. Saída gráfica na linguagem VRML.
 - 3.4. Visualização do produto montado por um browser de internet com o plug-in Cortona VRML instalado.

Quadro 2: Etapas do desenvolvimento do trabalho.

6. O APLICATIVO DV PRO

Para validar a metodologia de montagem virtual de produtos proposta, foi desenvolvido um aplicativo para um sistema de banco de dados.

O aplicativo, criado no Microsoft Access, recebeu o nome de "dvPro – Design Virtual de Produtos". O propósito do dvPro é ser uma ferramenta computacional de auxílio ao processo de desenvolvimento de produtos em todas as etapas, destacando-se como ferramenta de apoio à geração de alternativas de projeto nas fases iniciais, visando a prototipagem rápida e a visualização do protótipo de modo interativo, em função do recurso da realidade virtual. Além disso, pode ser utilizada para o treinamento de funcionários no setor industrial e como ferramenta de ensino-aprendizagem no meio acadêmico.

O aplicativo pode, inclusive, ser empregado pelas empresas com foco no consumidor, sendo, por exemplo, um recurso de simulação de montagem de produtos virtual disponível para os consumidores. Assim, os usuários podem

verificar as peças comercializadas pela empresa e montar um produto virtualmente de acordo com suas expectativas e suas necessidades.

A criação do *dvPro* foi realizada da seguinte maneira: os dados dos componentes estão armazenados nas tabelas, sendo que estas estão relacionadas por um código. Através dos formulários, o banco de dados lê as informações das tabelas e, para cada registro salvo, atualiza outras tabelas.

De acordo com o esquema de funcionamento do *dvPro* visualizado na Figura 13, o usuário pode manipular o banco de dados de duas maneiras: através do formulário de cadastro de componentes ou através do formulário de montagem dos componentes, podendo, inclusive, acessar qualquer uma das tabelas existentes.

O formulário de cadastro de componentes está vinculado as seguintes tabelas do banco de dados: tabela de componentes; tabela de pontos de inserção, tabela de características físicas; tabela de critérios de conexão e tabela de propriedade intelectual.

Já o formulário de montagem carrega os dados armazenados na tabela de componentes e na tabela de

pontos de inserção, salvando os dados das montagens na tabela de produtos. Ainda no formulário de montagem é possível acessar o formulário de reutilização, no qual uma parte montada torna-se um novo componente; ou então acessar o formulário de seleção de produto, o qual está vinculado à tabela de produtos para a visualização do relatório de montagem de produto. O formulário de seleção de produto identifica, através da consulta de montagem de produto, dentre todos os produtos já montados e armazenados, aquele que o usuário deseja visualizar virtualmente.

A partir do formulário de seleção de produto é possível visualizar o relatório de montagem do produto selecionado. O relatório, que contém os dados da montagem em linguagem VRML, é salvo em extensão “*wrl*” e carregado no Internet Explorer, através de um *plug-in* de realidade virtual, para a visualização do produto virtual.

A Figura 13 apresenta o diagrama de funcionamento do aplicativo *dvPro* com o relacionamento entre suas tabelas, formulários e relatórios.

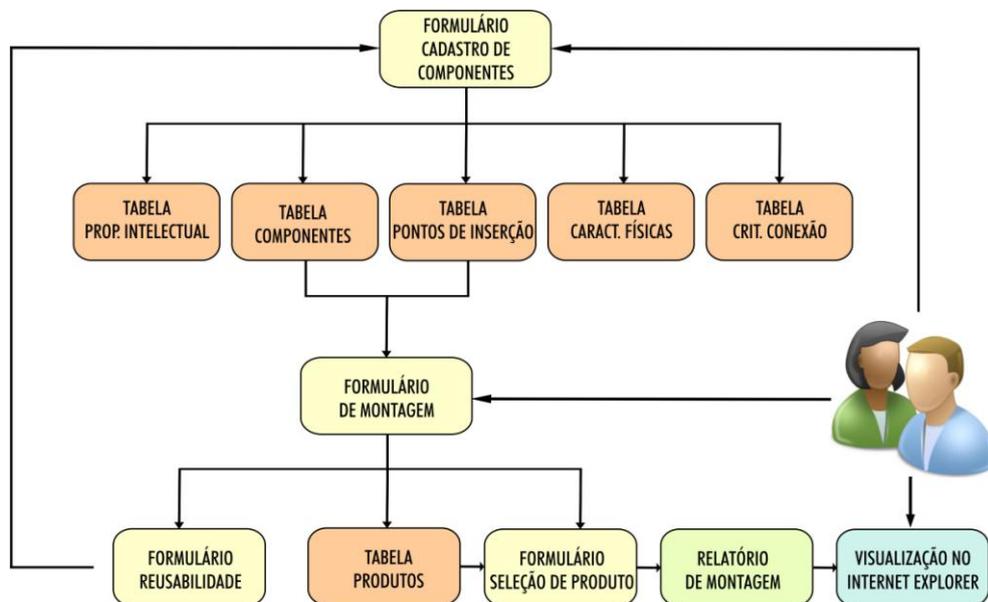


Figura 13: Diagrama de funcionamento do aplicativo *dvPro*.

7. ESTUDO DE CASO

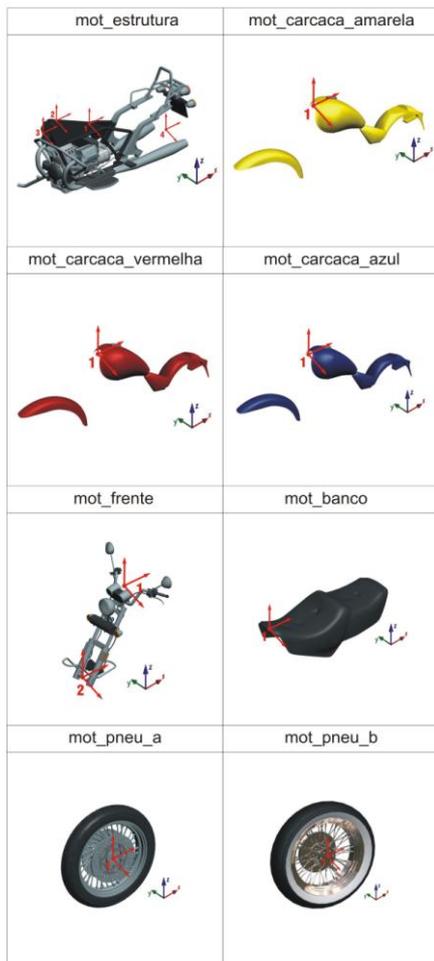
Para o entendimento da metodologia proposta, apresenta-se um exemplo de simulação de montagem virtual de componentes de uma moto através da conexão de componentes individuais armazenados em um banco de dados do Microsoft Access. A linguagem VRML de realidade virtual serve de interface para a visualização do produto final.

Para a montagem virtual de uma moto são cadastrados no banco de dados os seguintes componentes, juntamente com seus metadados: a estrutura principal da moto (com chassi, motor e demais elementos); três modelos de carcaça (que variam nas seguintes cores: amarela, vermelha e azul); a estrutura frontal (guidão, farol e sistema de freios); um modelo de banco e dois tipos diferentes de pneu e roda. A Figura 14 apresenta os oito componentes e seus respectivos pontos de inserção numerados para orientar a conexão das peças.

As informações que descrevem os componentes são armazenadas nas tabelas do banco de dados. A Figura 15 mostra os componentes da moto cadastrados na tabela denominada “componentes” com seus respectivos metadados, enquanto a Figura 16 apresenta a tabela denominada “pontos de inserção”, a qual possui os valores das coordenadas X, Y e Z de conexão dos componentes.

São criadas outras tabelas no banco de dados que não influenciam a montagem de produtos, mas sim apresentam informações gerais dos componentes, para o cadastro completo dos dados no banco de dados. São elas: tabela de características físicas; tabela de propriedade intelectual e tabela de critérios de conexão.

Para o exemplo, utilizam-se os componentes visualizados na Figura 17, que são os arquivos separados dos componentes, convertidos previamente de CAD para VRML.



A montagem das partes de um produto ocorre em um formulário no banco de dados denominado “formulário de montagem”. Nele, o usuário seleciona os componentes que deseja montar, sendo que a montagem é feita com dois componentes de cada vez e a ordem de montagem entre os componentes é aleatória, ficando a critério do usuário a seleção, bem como a ordenação do processo de montagem. No caso da moto, a montagem, no formulário de montagem, ocorreu através das seguintes etapas:

- Etapa 1: montagem do “mot_frente” com o “mot_pneu_a”, formando o “MOTO_Parte1” (novo componente a ser reutilizado);
- Etapa 2: montagem do “mot_estrutura” com a “mot_carcaca_amarela”, formando o “MOTO_Parte2” (novo componente a ser reutilizado);
- Etapa 3: montagem do “MOTO_Parte2” (mot_estrutura + mot_carcaca_amarela) com a “mot_banco”, formando o “MOTO_Parte3” (novo componente a ser reutilizado);
- Etapa 4: montagem do “MOTO_Parte3” (mot_estrutura + mot_carcaca_amarela + mot_banco) com a “mot_pneu_a”, formando o “MOTO_Parte4” (novo componente a ser reutilizado);
- Etapa 5: montagem do “MOTO_Parte4” (mot_estrutura + mot_carcaca_amarela + mot_banco + mot_pneu_a) com a “MOTO_Parte1” (mot_frente + mot_pneu_a), formando o “MOTO_Parte5” (produto final).

Na Figura 18 observa-se o formulário de montagem de produtos do banco de dados com a conexão da “parte 1”, a qual corresponde ao componente “mot_frente” e ao “mot_pneu_a” (etapa 1).

Figura 14: Imagem dos componentes da moto cadastrados no banco de dados.

COD_OBJ	ARQUIVO	NUM_PTS_INS	NOME	DESCRIÇÃO	IMAGEM	COD_NOME
250	mot_carcaca_amarela.wrl	1	mot_carcaca_amarela	carcaça amarela de moto	mot_carcaca_amarela.jpg	mot
251	mot_carcaca_vermelha.wrl	3	mot_carcaca_vermelha	carcaça vermelha de moto	mot_carcaca_vermelha.jpg	mot
252	mot_carcaca_azul.wrl	3	mot_carcaca_azul	carcaça azul de moto	mot_carcaca_azul.jpg	mot
253	mot_banco.wrl	3	mot_banco	banco de moto	mot_banco.jpg	mot
254	mot_estrutura.wrl	3	mot_estrutura	estrutura com motor de moto	mot_estrutura.jpg	mot
255	mot_frente.wrl	1	mot_frente	parte frontal moto	mot_frente.jpg	mot
256	mot_pneu_a.wrl	1	mot_pneu_a	pneu a de moto	mot_pneu_a.jpg	mot
257	mot_pneu_b.wrl	1	mot_pneu_b	pneu b de moto	mot_pneu_b.jpg	mot

Figura 15: Tabela de componentes com peças cadastradas da moto.

COD_PTS_INSERÇÃO	COD_OBJ	OBJETO DE REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO DO PONTO	CAD_PX	CAD_PY	CAD_PZ
mot_carcaca_amarela.1	254	mot_carcaca_amarela	ponto 1 de carcaça amarela	3,5010E+01	9,7312E+00	1,2195E+01
mot_carcaca_vermelha.1	254	mot_carcaca_vermelha	ponto 1 de carcaça vermelha	2,9561E+01	9,7544E+00	1,1568E+01
mot_carcaca_azul.1	254	mot_carcaca_azul	ponto 1 de carcaça azul	4,0459E+01	9,7544E+00	1,1568E+01
mot_banco.1	255	mot_banco	ponto 1 de banco de moto	-1,2202E+00	-3,0367E+00	1,0885E+01
mot_estrutura.1	256	mot_estrutura	ponto 1 de estrutura de moto	9,8815E+00	-2,8890E+00	7,0020E+00
mot_estrutura.2	257	mot_estrutura	ponto 2 de estrutura de moto	3,8716E+00	-2,8037E+00	9,6831E+00
mot_estrutura.3	258	mot_estrutura	ponto 3 de estrutura de moto	-1,3123E+00	-1,6153E+01	6,9861E+00
mot_estrutura.4	258	mot_estrutura	ponto 4 de estrutura de moto	-1,3477E+00	-1,6163E+01	5,3913E+00
mot_frente.1	259	mot_frente	ponto 1 de frente de moto	-3,0152E+01	-3,0324E+01	1,1455E+01
mot_frente.2	259	mot_frente	ponto 2 de frente de moto	-3,0239E+01	-3,0366E+01	1,0359E+01
mot_pneu_a.1	260	mot_pneu_a	ponto 1 de pneu a de moto	-1,2933E+00	-2,8997E+00	2,6528E+01
mot_pneu_b.1	260	mot_pneu_b	ponto 1 de pneu b de moto	-1,3286E+00	-2,9099E+00	2,4933E+01

Figura 16: Tabela de pontos de inserção com os metadados.



Figura 17: Componentes definidos para a montagem da moto em interface de realidade virtual.

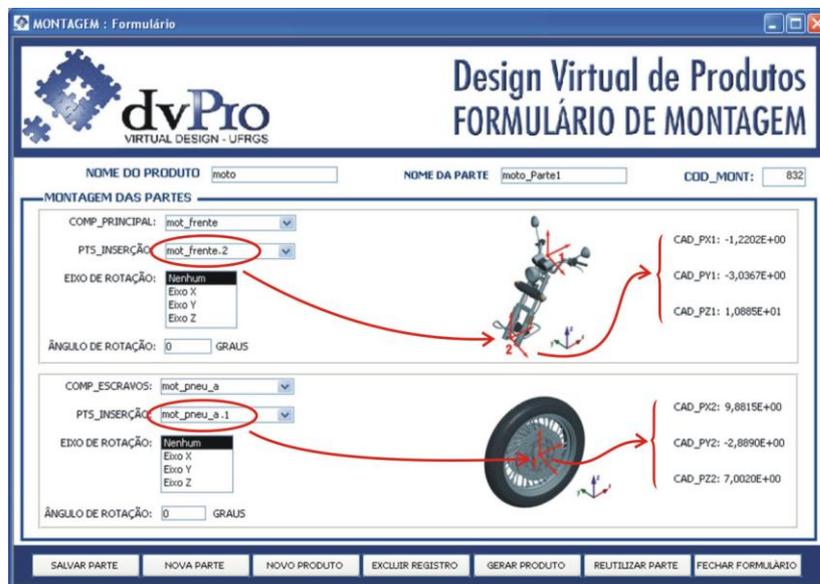


Figura 18: Formulário de montagem da “parte 1” da moto.

De cada etapa de montagem da moto, criam-se relatórios de montagem, os quais são arquivos de texto em VRML onde, através do comando “inline” da linguagem de programação VRML, são acoplados os arquivos individuais em VRML de cada componente (convertidos do CAD). Para realizar a montagem completa da moto, todas as partes montadas são reutilizadas através do cadastro em um formulário,

denominado “formulário de reutilização”, tornando-se novos componentes para as outras montagens.

Realizadas todas as etapas de montagem, gera-se o relatório final de montagem, o qual contém, em VRML, todos os dados de montagem dos componentes, resultando um arquivo com código simples e pouco extenso (Figura 19).

ETAPA 5

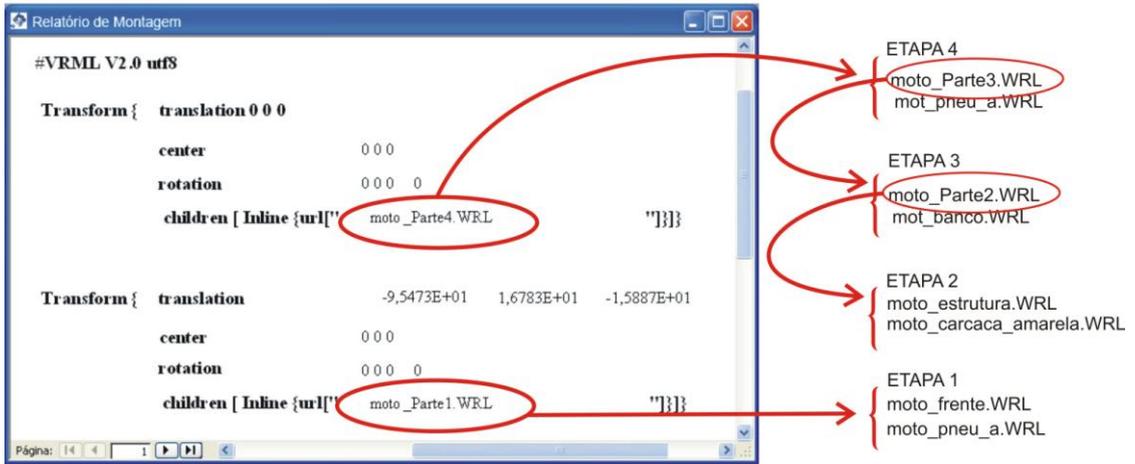


Figura 19: Relatório de montagem do produto final.

O relatório de montagem é salvo em extensão “wrl” da linguagem VRML. Ao ser carregado no Internet Explorer com o plug-in Cortona de visualização VRML instalado, pode-se verificar o produto final montado, com toda a interatividade que a realidade virtual VRML proporciona ao usuário.

A Figura 20 mostra em VRML o produto final montado, assim como os botões de navegação do Cortona.

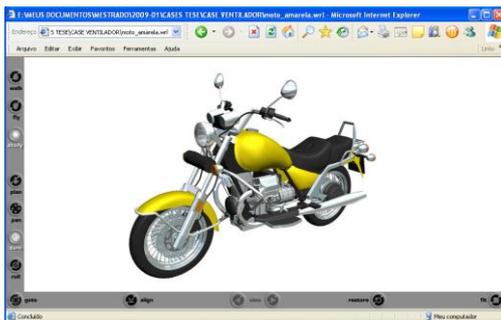


Figura 20: Produto final montado e visualizado em VRML.

8. REUTILIZAÇÃO DE COMPONENTES DA MOTO

Para o exemplo da moto, ao testar a montagem de um produto que possua um pneu diferente do utilizado anteriormente, basta reutilizar algumas partes montadas, alterando as que envolvem a montagem do pneu (nesse caso, etapa 1 e etapa 4), substituindo a seleção do pneu “a” pelo pneu “b”. Com isso, gera-se um produto diferente. Após a descrição desses dados no formulário de montagem, cria-se, novamente, o relatório de montagem para o novo produto. O resultado da montagem em VRML pode ser visto na Figura 21.

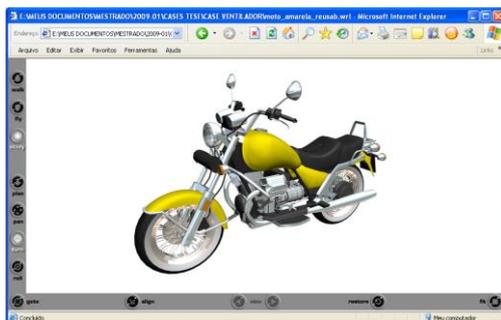


Figura 21: Produto final com partes reutilizadas e pneus e rodas diferentes.

Outra alternativa é testar cores diferentes para o produto. Nesse caso, foram cadastrados três tipos de cores para o componente carcaça. Alterando a etapa 2 de montagem e substituindo a carcaça de cor amarela por outra cor, é possível a visualização da moto em duas diferentes versões: vermelha e azul, como verificado na Figura 22.

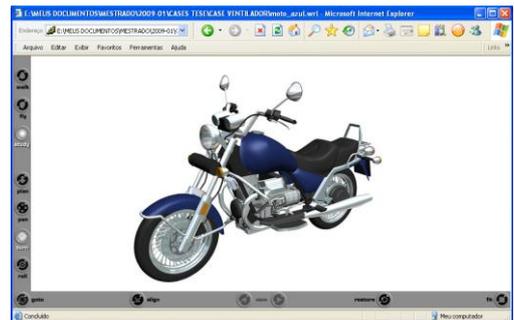
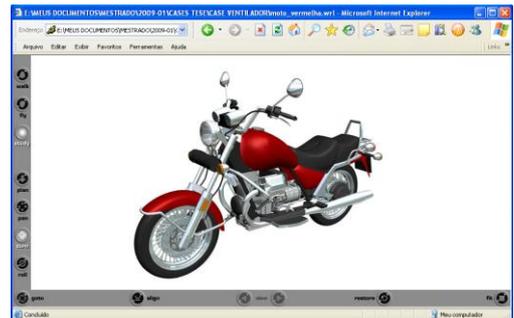


Figura 22: Produto final em duas diferentes versões de cores.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor industrial vem adotando nas últimas décadas uma série de modificações em seus processos produtivos que influenciam as atividades relacionadas ao desenvolvimento de produtos. Entre essas alterações, destaca-se aprimorar o desempenho do PDP em termos de qualidade, diminuição do ciclo de desenvolvimento, produtividade, inovação e diferenciação de produtos. O principal fator que possibilitou às empresas a implementação dessas modificações no processo produtivo foi a introdução de ferramentas computacionais no desenvolvimento de produtos.

Diante desse contexto, esse trabalho apresentou uma metodologia de desenvolvimento virtual de produtos, por

meio de um sistema integrado de banco de dados e de realidade virtual.

Investigou-se na pesquisa: o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) e suas etapas e a conceitualização de Design Virtual. Apresentou-se a importância dos recursos computacionais utilizados atualmente, tanto na concepção quanto na prototipagem de produtos; a tecnologia da realidade virtual e sua aplicação em diversas áreas, em especial, na indústria.

Apresentou-se um exemplo de aplicação da metodologia proposta por meio da simulação de montagem de uma moto no aplicativo de banco de dados dvPro. A partir da alteração e conexão automática de alguns componentes armazenados no banco de dados, realizou-se a montagem do produto final que foi, então, visualizado em uma interface de realidade virtual denominada VRML.

No processo produtivo, apresentou-se a importância da utilização de recursos computacionais em todas as etapas de desenvolvimento de produtos, destacando-se as fases iniciais que, como visto, são as mais onerosas. Assim, verificou-se o conceito de Design Virtual inserido no PDP, bem como a utilização cada vez maior da prototipagem virtual como ferramenta de apoio à concepção de produtos e também para a visualização de um projeto já em fase de finalização.

Destacam-se diversas vantagens de utilização de protótipos virtuais, principalmente com relação à possibilidade de realização de simulações, avaliação de qualidade estética, manipulação de protótipo em tempo real e pelos diversos setores dentro das empresas. Além disso, verificaram-se os benefícios do emprego da realidade virtual como recurso de prototipagem e ferramenta gráfica de simulação de manufatura. O VRML, uma linguagem de realidade virtual, mostra-se um recurso eficaz de visualização de protótipos virtuais. Isso porque é uma ferramenta acessível, por ser gratuita e utilizada através de plug-in instalado no browser do Internet Explorer, além da facilidade de manipulação dos objetos e, principalmente, com grande interatividade.

Com relação ao aplicativo de banco de dados desenvolvido dvPro, este pode ser utilizado como recurso computacional de apoio ao desenvolvimento de produtos em todas as etapas. Destaca-se a sua utilização como uma ferramenta de apoio à geração de alternativas de produto nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos. Nestas etapas, de decisão e avaliação de conceito, o emprego do aplicativo pode contribuir com a redução de tempo e de custos no processo produtivo.

O aplicativo dvPro também pode, por exemplo, ser usado para o teste de materiais e rótulos de embalagens, avaliação de cores de produtos, treinamento de funcionários no setor industrial e como ferramenta de ensino-aprendizagem no meio acadêmico.

Para a utilização do dvPro, não se necessita de conhecimentos aprofundados em banco de dados e em realidade virtual. A interatividade da interface de montagem e de cadastramento de componentes auxilia os usuários no desenvolvimento de produtos. Destaca-se, ainda, a vantagem do emprego de metadados para o cadastramento dos componentes no banco de dados, caracterizando cada objeto constituinte, gerando dados que possam servir para outros fins.

Pela forma como o banco de dados foi concebido, novos componentes podem ser cadastrados sem o descarte dos dados já registrados. Além disso, traz como principal vantagem a reutilização dos componentes individuais para a

criação de novos produtos, com troca de algumas partes ou produtos com funções diferentes.

A metodologia proposta pode ser implementada em outras plataformas, como servidores web, permitindo um acesso e montagem online dos produtos. Dessa forma, os usuários podem manipular as peças comercializadas por uma empresa e montar um produto virtualmente, de acordo com suas expectativas e suas necessidades.

REFERÊNCIAS

- [1]. ÁLVARES, A. J. *Estudo Dirigido: TeleManufatura Aplicada a Operações de Usinagem. Disciplina de Estudo Dirigido. Tema da Tese: Uma Metodologia para Integração CAD/CAPP/CAM Voltada para Manufatura Remota de Peças Rotacionais Simétricas Baseada na Internet (Web).* Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- [2]. AYMONE, J. L. F.; KOCHENBORGER, L. B.; TRINDADE, R. B.; SORIANO, B. B. A Realidade Virtual Aplicada ao Ensino de Engenharia. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, XXX, 2002. *Anais...* v. único, Piracicaba - SP, Brasil, 2002.
- [3]. AMES, A. L.; Nadeau, D. R.; Moreland, J. L. VRML 2.0 Sourcebook. 2ª. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [4]. CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. *Product development performance: strategy, organization, and management in the world auto industry.* Boston: Massachusetts: Harvard Business School Press, 1991. 409 p.
- [5]. COOPER, R. G. *Winning at new products: accelerating the process from idea to launch.* Cambridge, MA: Perseus Books, 1993.
- [6]. FARIA, A.F.; PINTO, A.C.A.; RIBEIRO, M. N.; CARDOSO, T. S.; RIBEIRO, J. P. Processo de desenvolvimento de novos produtos: uma experiência didática. In: Enegep - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXVIII, 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.
- [7]. FERREIRA, A. G. G. *A influência dos processos de desenvolvimento de produto no desempenho inovador das empresas.* 2007. 169p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade de São Paulo, 2007.
- [8]. JONS, O. P. *Preservation and restoration of historic vessels in virtual environments.* San Francisco: San Francisco National Maritime Park Association. Disponível em: <http://www.maritime.org/conf/confj_ons.htm>. Acesso em: 15 fev. 2008.
- [9]. KRISHMAN, V. Ulrich, K., Product development decisions: a review of the literature. In: *Management Science*, v. 47, n. 1, p. 1-21, jan. 2001.
- [10]. MELLO, E. B. *Processo de desenvolvimento do produto em empresas de uma cadeia automotiva: um estudo comparativo.* 2008. 123p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2008.
- [11]. MERGULHÃO, L. C.; MOKONUMA, S. L.; CRUZ, T. A. S. *Ambiente Virtual em Situações Críticas: Análise de Estudo de Caso com Base na Estrutura e Modelagem de Sistemas de Realidade Virtual.* Monografia (Conclusão de

- Curso Ciência da Computação), UNAMA – Universidade da Amazônia, Belém, 2003.
- [12]. NETTO, A. V.; TAHARA, C. S.; PORTO, A. J. V.; FILHO, E. V. Realidade virtual e suas aplicações na área de manufatura, treinamento e desenvolvimento de produto. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos - SP, v. 5, n. 2, p. 104-116, 1998.
- [13]. Parallel Graphics, 2008. Cortona VRML Client 4.1. Disponível em:
< <http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/>>.
Acesso em: 11 abr. 2008.
- [14]. PAUPITZ, A. *Sistematização do Planejamento da Seqüência de Montagem de Produtos Industriais*. 2000. 120p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- [15]. ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.
- [16]. STANEK, W. R. *HTML, Java, CGI, VRML, SGML. Web Publishing*. Sams.net Publishing, 1996.
- [17]. TEIXEIRA, F. G.; SILVA, T. L. K.; SILVA, R. P. AYMONE, J. L. F. *Virtual Design: Concepts*. *SAE Technical Papers*, v. 2008, p. 2008-36-0332, 2008.
- [18]. TERREO, M. *O uso de protótipos virtuais na validação de projetos mecânicos complexos: um estudo de caso no setor automobilístico*. 2007. 151 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- [19]. ULLMAN, D. *The Mechanical Design Process*. New York : McGraw-Hill, 1992.
- [20]. WALTON, R. *Tecnologia da informação: o uso da TI pelas empresas que obtêm vantagem competitiva*. São Paulo: Atlas, 1993.
- [21]. ZUFFO, M. K. *A Convergência da Realidade Virtual e Internet Avançada em Novos Paradigmas de TV Digital Interativa*. 2001. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São, São Paulo. Julho, 2001.