

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Raúl Ademar Valdivia Pacheco**

**Visualização de Modelos de Engenharia  
via WEB utilizando VRML**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientador: Marcelo de Andrade Dreux

Co-Orientador: Roberto Santos Martins

Rio de Janeiro, fevereiro de 2004



**Raúl Ademar Valdivia Pacheco**

## **Visualização de Modelos de Engenharia via WEB utilizando VRML**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Marcelo de Andrade Dreux**  
Orientador  
PUC-Rio

**Roberto Santos Martins**  
Co-Orientador  
Easycae

**Carlos Alberto de Almeida**  
PUC-Rio  
Departamento de Engenharia Mecânica

**Bruno Feijó**  
PUC-Rio  
Departamento de Informática

**José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 27 de fevereiro de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Raúl Ademar Valdivia Pacheco**

Graduou-se (1998) em Engenharia de Computação e Sistemas, na Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO) em Trujillo, Perú. Contribuiu com a implementação ótima do Backbone Gigabit Ethernet da Intranet na UPAO (primeira na América do Sul). Foi o primeiro em sua turma de formatura a obter o Título Profissional (2000) de Engenheiro em Computação e Sistemas.

#### Ficha Catalográfica

Pacheco, Raúl Ademar Valdivia

Visualização de modelos de engenharia via WEB utilizando VRML / Raúl Ademar Valdívia Pacheco ; orientador: Marcelo de Andrade Dreux. Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Mecânica, 2004.

85 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica.

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Visualização científica. 3. Arquitetura de WEB. 4. VRML. 5. ANSYS. 6. Análise de elementos finitos. I. Dreux, Marcelo de Andrade. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD:621

A Deus, meus pais e minha família,  
por existirem e me brindarem com apoio incondicional,  
confiança e demonstrações de carinho para comigo.

## Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Marcelo de Andrade Dreux pelo apoio e parceria para a realização deste trabalho.

Às agências CNPq, CAPES, FAPERJ e à universidade PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não teria sido realizado.

À empresa EASYCAE pelo apoio tecnológico e a seus integrantes pelo estímulo e ajuda durante os testes realizados, e pela boa amizade.

Ao Laboratório de CAD Inteligente (ICAD) pelo apoio tecnológico.

Aos meus colegas e amigos do Laboratório ICAD por todo o apoio, compreensão, amizade e por todos os momentos compartilhados.

Aos professores integrantes da comissão examinadora.

A todos os professores do Departamento pelos ensinamentos e ajuda.

Aos funcionários da PUC-Rio pela atenção e compreensão.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam e me ajudaram a continuar por este caminho na vida.

## Resumo

Valdivia Pacheco, Raúl Ademar. **Visualização de Modelos de Engenharia via WEB utilizando VRML**. Rio de Janeiro, 2004. 85p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O crescente aumento da disponibilidade de recursos computacionais para a simulação numérica permite que cientistas e engenheiros produzam enormes quantidades de dados. A melhor compreensão destes dados mediante o uso de técnicas de computação gráfica é conhecido como visualização científica.

Este trabalho propõe a visualização científica de problemas de engenharia usando uma arquitetura distribuída via WEB. Os dados simulados são lidos diretamente de um banco de dados e são gerados arquivos com as informações necessárias para sua visualização.

Geram-se arquivos com dados de pré-processamento (como nós, elementos, linhas, áreas e elementos diferenciados por índices) e pós-processamento (como deformação, deslocamento e tensões, resultados mais importantes na análise utilizando o método de elementos finitos).

Considerando uma arquitetura distribuída, a simulação numérica pode ser feita em um computador (servidor) e a visualização pode ser feita em um outro computador (cliente), utilizando uma interface simples, porém robusta para a visualização, como é o caso da WEB. A utilização do formato VRML facilita a distribuição e compartilhamento nesta visualização, tornando-se independente da plataforma do servidor que contém o software de simulação numérica e da plataforma do cliente.

Usando como caso de estudo o software de Análise de Elementos Finitos ANSYS, os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios e melhor manipuláveis ao se comparar com resultados visualizados por aquele software. O estudo de caso pode ser estendido para outros softwares de simulação da área de mecânica dos sólidos.

## Palavras-chave

Visualização Científica; Arquitetura WEB; Análise de Elementos Finitos; VRML; ANSYS.

## Abstract

Valdivia Pacheco, Raúl Ademar. **Visualization of Engineering Models through the WEB using VRML**. Rio de Janeiro, 2004. 85p Master Dissertation – Department of Mechanical Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The growing increase in computational resources for numerical simulation allows researchers and engineers to generate huge amount of data. The understanding of those data through the use of computer graphics techniques is known as Scientific Visualization.

This work proposes a Scientific Visualization of engineering problems through the use of a distributed architecture via Web. The simulated data are obtained directly from a data base and the appropriate information is generated to their visualization.

Pre-processing data (such as nodes, elements, lines, areas etc) and post-processing data (such as deformation, stress and strain, from a finite element analysis) are generated.

A distributed architecture is considered which allows the numerical simulation to be done in a main computer (server) and the visualization to take place in another computer (client), by using a simple, but robust, interface, as is the Web. It is being used the VRML which provides a natural data distribution and sharing.

Results obtained with the Ansys software, a case study for a finite element analysis, have proven to be satisfactory and allowing for easy manipulation when compared with the results visualized through the mentioned software. The proposed architecture can be extended to cope with other solid mechanics software.

## Keywords

Scientific Visualization; WEB Architecture; Finite Elements Analysis; VRML; ANSYS.

## Sumário

1 Introdução	14
1.1. Objetivos	18
1.2. Distribuição dos capítulos	18
2 A Linguagem VRML	20
2.1. Breve história e introdução	20
2.2. Estrutura hierárquica da cena	21
2.3. O Nó Script	23
2.4. X3D ( <i>Extensible 3D</i> )	23
3 Uma Arquitetura Distribuída via WEB	24
3.1. Arquitetura do Ambiente Colaborativo	24
3.2. Localização do VRMLGer no ambiente	26
3.3. Fluxo de dados no ambiente de 3 camadas	27
4 Implementação do Gerador de arquivos VRML - VRMLGer	29
4.1. A linguagem de programação utilizada	29
4.2. A estrutura dos dados de entrada	30
4.3. A configuração do VRMLGer	36
4.4. Dados de saída em VRML das funções de geração	40
4.5. Macros na linguagem APDL do ANSYS	43
5 Resultados obtidos	44
5.1. Modelos e dados utilizados nos testes	44
5.1.1. Modelo 1	44
5.1.2. Modelo 2	54
5.1.3. Modelo 3	58
5.1.4. Modelo 4	61
5.2. Tempos de geração dos arquivos vrml	64
5.3. Tamanho dos arquivos vrml gerados	65
6 Conclusões e trabalhos futuros	66

6.1. Conclusões	66
6.2. Trabalhos futuros	67
7 Referências bibliográficas	68
8 Apêndice A – VRML	71
8.1. Estrutura hierárquica da cena VRML	71
8.2. Prototipagem e reuso em VRML	73
8.3. Tipos de parâmetros e encaminhamento de eventos em VRML	75
8.4. Sensores e interpoladores em VRML	76
8.5. O Nó Script em VRML	80
9 Apêndice B - Macros na linguagem APDL do ANSYS	83

## Lista de figuras

Figura 1 - Uma possível forma de acesso à informação compartilhada.	15
Figura 2 - Organização de equipes e de áreas de um projeto de engenharia de grande porte.	16
Figura 3 - Modelo interativo entre diferentes equipes utilizando a Internet.	17
Figura 4 - Cena VRML por meio de um plug-in de um browser WEB convencional.	21
Figura 5 - Arquitetura do ambiente colaborativo.	25
Figura 6 - Ambiente distribuído em 3 camadas.	26
Figura 7 – Abstração do fluxo de dados em um ambiente de 3 camadas.	27
Figura 8 - Fluxo de dados entre um ambiente distribuído.	28
Figura 9 - Modelo do arquivo de entrada ALLNODES.txt	30
Figura 10 - Modelo do arquivo de entrada ALLELEM.txt	31
Figura 11 - Modelo do arquivo de entrada KPLIST.txt	32
Figura 12 - Modelo do arquivo de entrada LINES.txt	33
Figura 13 - Modelo do arquivo de entrada AREAS.txt	34
Figura 14 - Modelo do arquivo de entrada ALLDOF.txt	35
Figura 15 - Modelo do arquivo de entrada RES.txt	36
Figura 16 – Paleta de Cores de 128 valores	37
Figura 17 - Modelo do arquivo de configuração da paleta de cores.	37
Figura 18 - Objeto gerado com o valor 1 (ativado) no arquivo diffuseColor.txt.	38
Figura 19 – Objeto gerado com o valor 0 (desativado) no arquivo diffuseColor.txt.	38
Figura 20 - Objeto gerado com valor de 0.5 (com suavização) no arquivo creaseAngle.txt.	39
Figura 21 – Objeto gerado com valor de 0.0 (sem suavização) no arquivo creaseAngle.txt.	39
Figura 22 – Modelo do arquivo de entrada que ativa as funções do Gerador.	40
Figura 23 - Modelo 1 utilizado nos testes de Geração	44
Figura 24 - Geração no modelo 1 usando a função 1 do VRMLGer, linhas dos elementos.	45
Figura 25 - Geração no modelo 1 usando a função 2 do VRMLGer, elementos preenchidos.	46

Figura 26 - Geração no modelo 1 usando a função 3 do VRMLGer, elementos preenchidos e traçados.	46
Figura 27 – Geração no modelo 1 usando a função 4 do VRMLGer, elementos por material.	47
Figura 28 – Geração no modelo 1 usando a função 5 do VRMLGer, elementos por tipo de elemento.	47
Figura 29 - Geração no modelo 1 usando a função 6 do VRMLGer, elementos por espessura.	48
Figura 30 – Geração no modelo 1 usando a função 7 do VRMLGer, estruturas linhas por cores.	48
Figura 31 - Geração no modelo 1 usando a função 8 do VRMLGer, estrutura areas por cores.	49
Figura 32 - Geração no modelo 1 usando a função 10 do VRMLGer, nós da estrutura.	49
Figura 33 - Geração no modelo 1 usando a função 12 do VRMLGer, estrutura deformada.	50
Figura 34 - Geração no modelo 1 usando a função 13 do VRMLGer, mixagem de estruturas deformada e não deformada.	50
Figura 35 - Geração no modelo 1 usando a função 140 do VRMLGer, deslocamentos em X.	51
Figura 36 - Geração no modelo 1 usando a função 141 do VRMLGer, deslocamentos em Y.	51
Figura 37 - Geração no modelo 1 usando a função 142 do VRMLGer, deslocamentos em Z.	52
Figura 38 - Geração no modelo 1 usando a função 143 do VRMLGer, deslocamentos nas 3 coordenadas.	52
Figura 39 - Geração no modelo 1 usando a função 150 do VRMLGer, resultados da 1ra. tensão principal.	53
Figura 40 - Geração no modelo 1 usando a função 151 do VRMLGer, resultados da 2da tensão principal.	53
Figura 41 - Geração no modelo 1 usando a função 152 do VRMLGer, resultados das tensões equivalente.	54
Figura 42 - Modelo 2 utilizado nos testes de Geração.	54
Figura 43 - Geração no modelo 2 usando a função 8 do VRMLGer.	56
Figura 44 – Geração no modelo 2 usando a função 3 do VRMLGer.	56
Figura 45 – Geração no modelo 2 usando a função 13 do VRMLGer.	57

Figura 46 - Geração no modelo 2 usando a função 143 do VRMLGer.	57
Figura 47 - Modelo 3 utilizado nos testes de Geração.	58
Figura 48 - Geração no modelo 3 usando a função 8 do VRMLGer.	59
Figura 49 - Geração no modelo 3 usando a função 141 do VRMLGer.	59
Figura 50 - Geração no modelo 3 usando a função 150 do VRMLGer.	60
Figura 51 - Geração no modelo 3 usando a função 151 do VRMLGer.	60
Figura 52 - Modelo 4 utilizado nos testes de Geração.	61
Figura 53 - Geração no modelo 4 usando a função 7 do VRMLGer.	62
Figura 54 - Geração no modelo 4 usando a função 13 do VRMLGer.	62
Figura 55 - Geração no modelo 4 usando a função 143 do VRMLGer.	63
Figura 56 - Geração no modelo 4 usando a função 152 do VRMLGer.	63
Figura 57 - Cena em VRML utilizando encapsulamento e reutilização de subgrafos.	75
Figura 58 - Encaminhamento de eventos em uma interação típica de VRML	77
Figura 59 - Cena em VRML com encaminhamento de eventos, sensores e interpoladores.	79
Figura 60 - Encaminhamento de eventos para o exemplo usando o nó Script.	82

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Tempos estimados na geração dos arquivos.	64
Tabela 2 – Tamanhos dos arquivos vrml gerados.	65