

VM3D - ANIM - UMA FERRAMENTA PARA VISUALIZAÇÃO DE MODELOS 3D  
ANIMADOS PARA TREINAMENTO DE PESSOAL EM INDÚSTRIAS

Carlos Henrique da Costa Cavalcanti

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

---

Prof. Ricardo Cordeiro Farias, Ph.D

---

Prof. Cristiana Bentes, D.Sc

---

Prof. Paulo Roma Cavalcanti, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2006

CARLOS HENRIQUE DA COSTA CAVAL-  
CANTI

VM3D - ANIM - UMA FERRAMENTA  
PARA VISUALIZAÇÃO DE MODELOS 3D  
ANIMADOS PARA TREINAMENTO DE PES-  
SOAL EM INDÚSTRIAS [Rio de Janeiro] 2006

XI, 78 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., En-  
genharia de Sistemas e Computação, 2005)

Dissertação – Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, COPPE

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contribuições . . . . .	6
1.2	Organização da Tese . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Conceitos Básicos</b>	<b>8</b>
2.1	Gestão do Conhecimento . . . . .	8
2.1.1	Dados, Informação e Conhecimento . . . . .	10
2.1.2	Capital Intelectual . . . . .	12
2.1.3	Treinamento na Indústria . . . . .	15
2.1.4	Chão-de-fábrica . . . . .	16
2.2	Computação Gráfica . . . . .	17
2.2.1	Visualização e Programas de Modelagem . . . . .	18
2.2.2	Imagem Digital . . . . .	21
2.2.3	Modelagem . . . . .	22
2.2.4	Iluminação e Texturização . . . . .	26
2.2.5	Animação . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Infra-estrutura de Gerenciamento de Equipamentos</b>	<b>35</b>
3.1	Arquitetura Básica . . . . .	35
3.1.1	Aquisição do conhecimento . . . . .	38
3.1.2	Modelagem . . . . .	39
3.1.3	Visualização do Conhecimento . . . . .	40

<b>4</b>	<b>Aquisição de Conhecimento</b>	<b>42</b>
4.1	Equipamentos . . . . .	42
4.2	Metodologia . . . . .	45
4.2.1	Aplicação de métodos de aquisição do conhecimento . . . . .	46
4.2.2	Organização das informações . . . . .	49
4.2.3	Treinamento dos profissionais de modelagem e animação . . . . .	50
4.3	Taxonomia . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Modelagem 3D</b>	<b>55</b>
5.1	Programas de modelagem 3D e edição de vídeo . . . . .	55
5.1.1	Blender . . . . .	57
5.1.2	Maya . . . . .	58
5.1.3	Programas de edição de vídeo . . . . .	59
5.2	Modelagem 3D passo-a-passo . . . . .	61
5.2.1	Padronizações . . . . .	62
5.2.2	Iluminação e texturização . . . . .	63
5.2.3	Elaboração de Roteiro de Animação . . . . .	64
5.2.4	Rendering . . . . .	65
<b>6</b>	<b>Visualização: A Ferramenta VM3D-Anim</b>	<b>68</b>
6.1	Descrição Básica . . . . .	68
6.2	Interface . . . . .	70
6.3	Base de dados . . . . .	74
6.4	Visualização e interação . . . . .	75
<b>7</b>	<b>Caso de Estudo: Treinamento em Refinarias</b>	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>83</b>

# Lista de Figuras

1.1	Infra-estrutura de gerência do conhecimento sobre equipamentos industriais	4
2.1	Relação entre dados, informação, meta-informação e conhecimento com suas formas de armazenamento . . . . .	11
2.2	Paradigma dos quatro universos - Exemplo: Visualização de terrenos . . .	18
2.3	(a) Desenho a mão livre, (b) desenho técnico e (c) desenho feito a partir de um programa gráfico 2D . . . . .	20
2.4	Imagem digital - Representação . . . . .	21
2.5	Exemplo do método de modelagem CSG - Primitivas básicas sendo usadas com operações de união, intersecção e subtração para o desenho de um objeto mais elaborado . . . . .	24
2.6	Subdivisão de malhas - Algoritmo de Catmull e Clark aplicado em um cubo	24
2.7	Modelo físico de iluminação . . . . .	27
2.8	Algoritmos fundamental de ray tracing . . . . .	29
2.9	Ambiente iluminado com métodos de radiosidade . . . . .	31
2.10	Imagens renderizadas utilizando HDR . . . . .	32
2.11	Processo de mapeamento de textura . . . . .	33
3.1	Equipamento industrial bomba vertical - fotos tiradas em area de manutenção	37
3.2	A esquerda o equipamento animado e posicionado de forma errada. A direita o equipamento atuando de forma correta . . . . .	37
4.1	Equipamentos dinâmicos . . . . .	53
4.2	Equipamentos estáticos . . . . .	54

5.1	Animação do equipamento válvula gaveta . . . . .	56
5.2	Da esquerda para a direita os programas Blender e Maya respectivamente	59
5.3	Etapas da modelagem de um equipamento . . . . .	62
5.4	Esquema de iluminação elaborado para a elaboração de animações . . . . .	64
5.5	Processo para animação dos modelos - Edição da Animação . . . . .	66
6.1	Interface Gráfica . . . . .	71
6.2	Interface detalhada da ferramenta VM3D-Anim . . . . .	72
6.3	Telas da interface gráfica com diferentes tipos de visualização . . . . .	76
6.4	Módulo interativo em VRML . . . . .	77
7.1	Resultados obtidos na avaliação da ferramenta VM3D - Anim realizada em curso da área petrolífera . . . . .	81

# Lista de Tabelas

5.1	Comparação entre os programas Maya e Blender . . . . .	60
-----	--	----

# Capítulo 1

## Introdução

Durante muito tempo a vantagem competitiva de uma organização esteve relacionada à sua capacidade de produção, ou seja, à capacidade de transformar matéria-prima em produtos. Essa visão, entretanto, está se modificando. Atualmente está se presenciando uma revolução na forma de se conduzir a produção. A obtenção e a administração do conhecimento são as fontes chaves para se reduzir custos e aumentar a produtividade [22]. Na nova era da informação, as fontes fundamentais de riqueza são o conhecimento e a comunicação, e não os recursos naturais ou o trabalho físico [58]. A idéia é que se consiga aprender com erros anteriores, evitando que eles se repitam. Segundo este ponto de vista, o capital humano passa a ser o principal foco de atenção dos investimentos.

O conhecimento organizacional representa a capacidade que uma empresa tem de criar conhecimento, disseminá-lo e incorporá-lo a produtos, serviços e sistemas [46]. O sucesso competitivo, portanto, advém da criação de conhecimento e de investimentos em capital humano. Na verdade, as organizações estão percebendo que uma grande quantidade de problemas são resultado da falta de troca e da falta de captura de conhecimento a cerca de processos e produtos.

Criar e gerenciar conhecimento, entretanto, não é uma tarefa trivial. Organizar uma grande quantidade de informações que podem estar dispersas em documentos, procedimentos, bancos de dados, bem como em pessoas através de suas habilidades e experiências, muitas vezes de difícil compreensão e transmissão é o grande desafio para se obter a efetiva qualidade da produção. Conceitualmente, a gerência do conhecimento envolve



recursos humanos, organização e cultura, além de tecnologia de informação, métodos e ferramentas para o seu apoio [42]. Ferramentas de software para gerenciamento do conhecimento têm sido adotadas como infra-estrutura eficiente para captura, disseminação e uso do capital intelectual, porque aproveitam as facilidades de processamento e armazenamento oferecidas por sistemas computacionais.

Há uma série de trabalhos relacionados a ferramentas de software para gerenciamento do conhecimento propostos na literatura, e.g. [13], [4], [62]. O trabalho de Lindvall *et al.* [34] procura classificar as ferramentas segundo dois modelos diferentes: o modelo de compartilhamento do conhecimento e o modelo de evolução do conhecimento. O modelo de compartilhamento do conhecimento classifica as ferramentas segundo todas as possibilidades de se converter conhecimento tácito (inerentes às habilidades pessoais) e explícito (possível de registrar). São elas: (i) explícito-explícito, onde o conhecimento explícito é reconfigurado; (ii) explícito-tácito, é proporcionada uma assimilação do conhecimento explícito; (iii) tácito-explícito, o conhecimento pessoal é transformado em conhecimento explícito; e (iv) tácito-tácito, o conhecimento é socializado por um grupo por experiências de compartilhamento.

Já a classificação segundo o modelo de evolução do conhecimento, segue a proposta de Wiig *et al* [61] e classifica as ferramentas segundo o seu ciclo de vida que é dividido nas seguintes fases: (i) criação/aquisição do conhecimento; (ii) organização/armazenamento do conhecimento; (iii) distribuição; e (iv) aplicação/reuso do conhecimento. A aquisição do conhecimento envolve um processo de captura e direcionamento da informação. O armazenamento do conhecimento compreende a organização e classificação das informações capturadas e seu posterior armazenamento em repositórios. A distribuição do conhecimento pode ser feita através de diferentes canais, como programas de treinamento ou sistemas de distribuição automática. Já a aplicação do conhecimento é a fase final onde se espera que os indivíduos tenham aprendido com a ferramenta proposta.

As ferramentas disponíveis utilizam abordagens bastante diferentes como ontologias [36], simulação de jogos [43], workflow [19] e tecnologias de inteligência artificial como representação e recuperação em bases do conhecimento [59, 33, 7]. Na maioria destes trabalhos, porém, os autores estão interessados somente na representação e no registro

do conhecimento. Há poucas ferramentas que abordem a geração e disseminação do conhecimento utilizando processos visuais. Existem trabalhos, como [10], que são baseado na elaboração de mapas conceituais com a utilização de materiais adicionais como imagens, diagramas, vídeos clips e outros recursos. Entretanto, mapas conceituais são representações bidimensionais do conhecimento e a utilização de tais recursos é aplicada apenas como ilustração do conhecimento que está sendo exposto.

A visualização tridimensional tem sido amplamente reconhecida como uma maneira eficiente de se explicar e proporcionar interpretação para dados, fenômenos naturais e processos físicos. Como todas as operações mentais do sistema ótico humano que agem na recepção, no armazenamento, e no processamento da informação são cognoscitivas [11] (percepção sensorial, memória, pensamento, aprendizagem), a percepção visual é o pensamento visual. Em outras palavras, o aprendizado é maior quando incentivado pela percepção visual.

No ambiente específico de uma indústria, por exemplo, a visualização tridimensional tem papel fundamental na geração e disseminação do conhecimento, dado que o funcionamento de alguns equipamentos industriais e processos físico-químicos é de difícil explicação através de palavras.

Neste trabalho, desenvolvemos uma infra-estrutura para gerenciamento do conhecimento no domínio específico de equipamentos industriais e processos a eles vinculados. A infra-estrutura desenvolvida tem como objetivo integrar informações na área de equipamentos industriais de modo a criar um ambiente em que o conhecimento possa ser organizado e disseminado eficientemente. Uma das principais características de nossa infra-estrutura está no uso de modelos tridimensionais para a confecção de imagens como principal forma de armazenamento e recuperação do conhecimento.

A infra-estrutura, apresentada na Figura 6.1, é composta de três serviços principais: Aquisição do Conhecimento; Modelagem 3D e Visualização, Os três serviços oferecidos abrangem respectivamente as três primeiras fases do ciclo de vida de Wiig para uma ferramenta de gerenciamento do conhecimento, i.e., criação/aquisição do conhecimento, organização/armazenamento do conhecimento e distribuição. A quarta fase do ciclo de vida, aplicação/reuso do conhecimento, não é considerada em nossa infra-estrutura

porque é totalmente dependente da organização em que ela é aplicada. Na implementação dos serviços foram utilizadas tecnologias relacionadas a computação gráfica, banco de dados e WEB.

O serviço de Aquisição do Conhecimento oferece uma metodologia para se capturar e criar o conhecimento sobre os equipamentos. Nesta etapa, estamos fundamentalmente transformando conhecimento tácito em conhecimento explícito. Realizamos a coleta de dados e informações a respeito dos equipamentos e processos por meio de documentos, fotos, observação da operação do equipamento e da atuação dos operadores, e entrevistas. As informações coletadas são analisadas, organizadas e classificadas de modo a criar uma taxonomia de equipamentos e unir as descrições fotográficas e textuais. Dessa forma, criamos uma base de dados de descrição de equipamentos e processos, gerando novo conhecimento explícito.

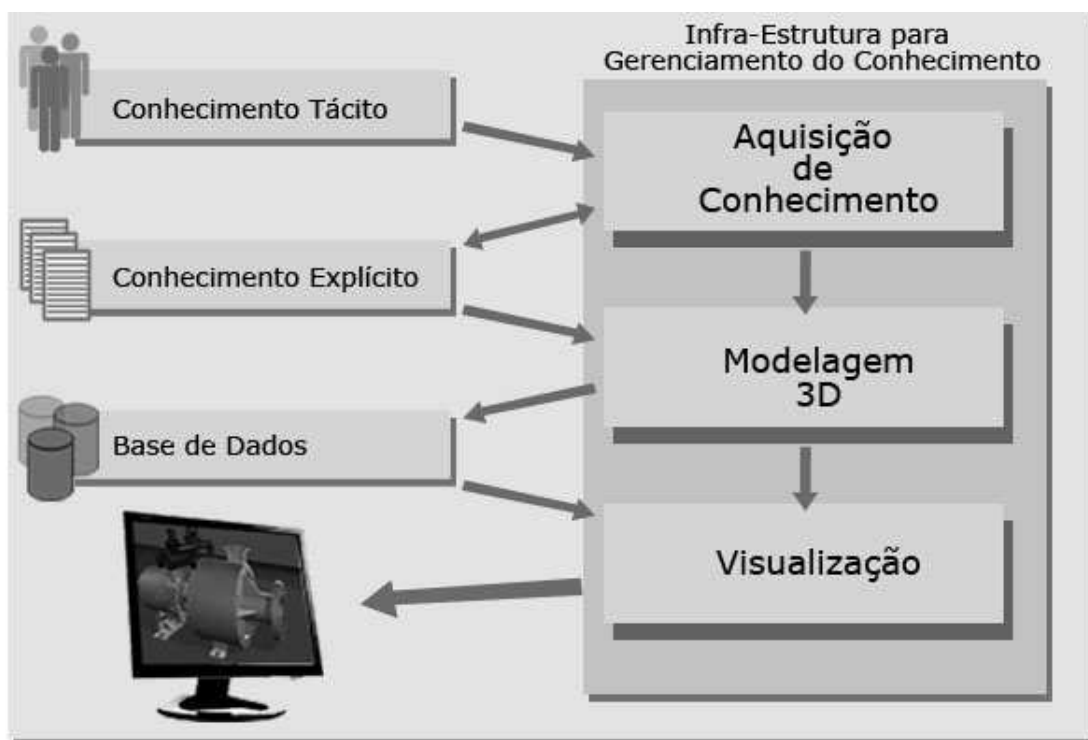


Figura 1.1: Infra-estrutura de gerência do conhecimento sobre equipamentos industriais

No serviço de Modelagem 3D, utilizamos um programa de modelagem 3D juntamente com programas de design e de edição de vídeo que permitem a geração de imagens e animações sobre os equipamentos e processos. A idéia é gerar modelos tridimensionais

a partir das descrições fotográficas e textuais. Nesta etapa, estamos criando novo conhecimento explícito através do conhecimento explícito gerado pela etapa anterior. Os modelos criados são armazenados em uma nova base de dados.

O serviço de Visualização é responsável pela disseminação do conhecimento organizado e armazenado nas etapas anteriores. Para a realização deste serviço, criamos uma ferramenta própria, chamada VM3D-Anim (Visualizador de Modelos 3D Animados), responsável pela exibição do conhecimento armazenado na forma de imagens, animações e hipertexto. A proposta do VM3D-Anim é fornecer ao usuário um sistema multimídia em que ele possa “navegar” pela base de dados de equipamentos e processos. Suas principais funcionalidades são:

- visualizar as imagens tridimensionais;
- visualizar as animações referentes ao funcionamento do equipamento;
- obter informações textuais a respeito do equipamento e de seu funcionamento;
- interagir com o equipamento, rotacionando-o, aproximando-o ou afastando-o, e recuperando informações textuais a respeito de cada peça que compõe o equipamento.

Atualmente, nossa infra-estrutura está sendo utilizada em cursos para a formação de operadores de refinarias de petróleo. Antes do desenvolvimento da infra-estrutura, os cursos de formação de operadores contavam apenas com a experiência dos operadores mais antigos e informações provenientes de apostilas e livros, onde os equipamentos era descrito textualmente, com no máximo algumas figuras bidimensionais apresentando-o sob pontos de vista restritos. Alguns equipamentos, inclusive, não possuíam nenhum conhecimento explícito, a única forma de conhecer seu funcionamento era através de visitas aos locais de trabalho, o que representava custos e problemas de segurança.

O benefício inicial da utilização de nossa infra-estrutura está sendo o de amenizar as dificuldades encontradas pelos novos funcionários. Com o conhecimento a respeito de equipamentos de refinarias organizado, disponível em imagens, através de uma ferramenta multimídia com interface amigável, esperamos reduzir drasticamente o tempo de treinamento de novos funcionários. Além disso, futuramente, pretendemos contribuir

para a formação de uma cultura própria a respeito dos equipamentos industriais e seus processos, permitindo, assim um grande salto no capital intelectual das empresas.

## **1.1 Contribuições**

As principais contribuições deste trabalho são:

- Proposta e implementação de uma infra-estrutura para gerenciamento do conhecimento a respeito de equipamentos e processos em indústrias.
- Desenvolvimento de uma metodologia para aquisição de conhecimento específico sobre os equipamentos e processos a eles vinculados, no ambiente de uma refinaria de petróleo.
- Geração de conhecimento explícito, na forma de fotos, entrevistas e documentos sobre os equipamentos e processos.
- Criação de uma base de dados de equipamentos, em que os equipamentos armazenados em imagens tri-dimensionais, classificados, vinculados às suas descrições textuais e divididos em um conjunto de peças componentes.
- Proposta e implementação de uma ferramenta multimídia de visualização dos equipamentos e processos.

## **1.2 Organização da Tese**

O restante desta dissertação está organizado da seguinte forma. No Capítulo 2 apresentamos alguns conceitos básicos na área de gerenciamento do conhecimento e computação gráfica. No Capítulo 3 apresentamos a infra-estrutura desenvolvida para gerenciamento do conhecimento em indústrias e seus serviços. Nos Capítulos 4, 5 e 6 mostramos os serviços da infra-estrutura de forma mais detalhada, sendo que no Capítulo 6, apresentamos a ferramenta multimídia de visualização dos equipamentos. O Capítulo 7 mostra a experiência de se utilizar o VM3D-Anim no âmbito de refinarias de petróleo da Petrobrás,

apresentando os resultados preliminares obtidos. O Capítulo 8 apresenta nossas conclusões e propostas de trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Conceitos Básicos

Neste Capítulo apresentamos alguns conceitos básicos utilizados no desenvolvimento da infra-estrutura de gerenciamento do conhecimento. Como se trata de um trabalho multidisciplinar, onde abordamos tanto aspectos sobre gerenciamento de conhecimento como aspectos de computação gráfica, apresentamos uma breve introdução sobre as duas áreas envolvidas.

### 2.1 Gestão do Conhecimento

Em um mundo globalizado, onde a competitividade entre empresas é intensa, o grande diferencial para obter sucesso e uma posição econômica sustentável se baseia no domínio sobre o conhecimento [46]. A capacidade de gerar, adquirir, organizar e distribuir o conhecimento se tornou vital para a sobrevivência de empresas e indústrias do mundo atual. De acordo com Wiig [61] podemos: identificar quais táticas devem ser criadas para diminuir a competitividade e elaborar novos produtos; providenciar conhecimento e transformá-lo de forma que ele seja sempre atual; verificar que recursos disponíveis do conhecimento são diligentes para alavancar o que for apropriado para a empresa; e governar processos e relacionamentos referentes a gerência do conhecimento fornecendo sustentação, infra-estrutura e liderança empresarial. Do ponto de vista prático, gestão do conhecimento é todo processo que pode ser realizado para otimizar estratégias e comunicar a informação essencial do negócio de uma empresa ou organização.

Segundo Bergeron [5], os processos para se obter uma organização estruturada do conhecimento podem ser divididos nas seguintes etapas: criação, aquisição, modificação, uso, arquivamento, transferência, transformação, acesso e disponibilidade do conhecimento. Podemos descrever cada etapa através de um exemplo: a criação de um curso para treinamento:

1. **Criação:** é o processo responsável pela criação do curso, objetivos e ementa. Por exemplo, criação de um curso para aperfeiçoamento em manutenção de equipamentos básicos industriais;
2. **Aquisição:** são os meios onde se irá adquirir referências a serem usadas para a elaboração do material do curso. Como livros, *websites*, entre outros;
3. **Modificação:** responsável por adaptar o conteúdo do curso a diferentes formatos aos mesmos grupos de interesse. O curso pode ser adaptado tanto para aplicação em sala de aula como a distância via internet;
4. **Uso:** o conhecimento desenvolvido para o curso deve ter um propósito e ser usado. Por exemplo, as aulas via internet serão dadas somente aos funcionários que estão em outras capitais do país;
5. **Arquivamento:** Todo material elaborado para o curso deve ser arquivado para ser reutilizado a qualquer momento. Podemos ter as apostilas disponibilizadas na internet;
6. **Transferência:** Todo conteúdo do curso pode ser transferido de um ponto físico a outro. As apostilas que se encontram na web podem ser enviadas por email às filiais do curso;
7. **Transformação:** O curso pode ter seu formato modificado, ao invés de apostilas, pode ser elaborados livros;
8. **Acesso:** O curso disponibilizado via internet pode ter conteúdos diferentes para alunos e professores, onde o aluno não possa ter acesso a certas partes do curso,



como provas. Senhas de acesso podem ser utilizadas quando a consulta ao material for realizada;

9. **Disponibilidade:** Equipamentos mais modernos podem ser criados tornando partes do curso desatualizadas. As apostilas devem ser substituídas por outras com conteúdo atualizado.

A partir desses processos, podemos ter um noção abrangente sobre o que é gestão do conhecimento. Bergeron [5] define Gestão do Conhecimento da seguinte maneira: "O Santo Graal da gerência de conhecimento é a habilidade de capturar, arquivar, e acessar o melhor das práticas relacionadas ao conhecimento propriamente dito e de realizar decisões por empregados e gerentes para melhorar o comportamento do indivíduo e do grupo."

### 2.1.1 Dados, Informação e Conhecimento

Para entender melhor como a criação do conhecimento se desenvolve, é preciso entender as diferenças entre dados, informação e conhecimento. Autores como Davenport [16] e Prusak [49] diferenciam tais conceitos, porém não existe um consenso quanto às suas definições. Podemos relacionar dados, informações e conhecimento pela dependência que um tem em relação ao outro. Para se obter conhecimento são necessárias informações e as informações são compostas de dados. Segundo Davenport e Prusak, **dados** são conjuntos de símbolos, parcelas quantificáveis e objetivas de um estoque de informação. Dados podem ser descritos, armazenados e manipulados por computador, e.g., temperatura da atmosfera 37°. A **informação** é uma mensagem com significado, são dados contextualizados envolvendo um emissor e um receptor, e.g., devido a temperatura e a pressão atmosférica pode chover hoje. Quando a quantidade de informação é muito extensa podemos chamá-la de *meta-informações*. Toda informação pode ser armazenada em bancos de dados ou similares. E o **conhecimento** é algo pessoal, uma mistura de experiências, valores, informação contextual e intuição. O conhecimento para Davenport e Prusak é interpretado, sendo impossível de ser totalmente estruturado e capturado. Está "na mente" do ser humano, sendo utilizado quando preciso. Devido a este fato, as pessoas

realizam ações mediante seus respectivos conhecimentos, sendo possível tomar decisões mais rápidas e precisas caso o conhecimento seja maior, e mais lentas e imprecisas no caso contrário. A figura 2.1 exibe as relações em relação ao armazenamento existentes entre dados, informações e conhecimento.

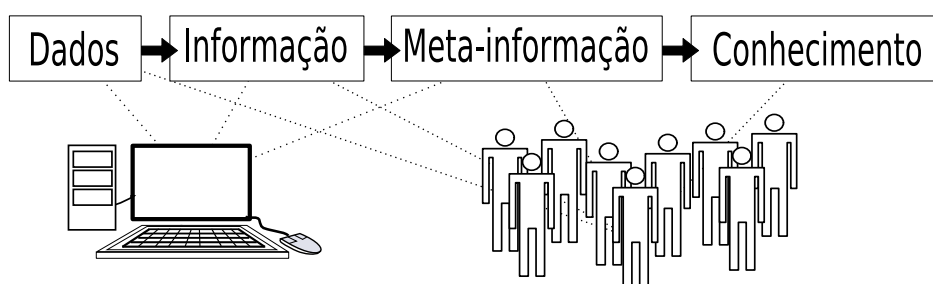


Figura 2.1: Relação entre dados, informação, meta-informação e conhecimento com suas formas de armazenamento

Nonaka [46] classifica o conhecimento em dois tipos: **conhecimento explícito** e **conhecimento tácito**. O conhecimento explícito é estruturado e armazenado em meios físicos, como livros, registros, bibliografias, fotos, imagens, entre outros, podendo ser transmitidos facilmente. O conhecimento tácito é inerentes às pessoas, ou seja, pode ser definido como as habilidades intelectuais que cada um possui, sendo difícil de ser transmitido formalmente. Bergeron [5] ainda define o **conhecimento implícito**, que está presente na heurística, ou seja, conhecimentos que proporcionam uma rápida solução para algum problema ou dificuldade, com o menor gasto de energia ou esforço. Todos os fatos que são analisados para uma conclusão podem ser equalizados. Assim uma decisão pode se tornar comum a indivíduos que não tenham necessariamente uma relação direta.

O conhecimento, em suas formas, pode ser convertido facilitando seu processo de criação. Os quatro modos de conversão existentes estão definidos segundo suas funções:

- **Socialização:** que transforma conhecimento tácito em conhecimento tácito. Ocorre no diálogo, na comunicação entre pessoas. Geralmente, acontece em palestras, *brainstorming*, ou qualquer outro meio de comunicação face-a-face.
- **Externalização:** que transforma o conhecimento tácito em conhecimento explícito.

Podemos identificar sua realização quando o indivíduo documenta seu conhecimento em algum veículo acessível e comum a um grupo.

- **Combinação:** que gera conhecimento explícito a partir de conhecimento explícito. A produção de conhecimento explícito pode ser identificado em trabalhos baseados em pesquisas documentadas.
- **Internalização:** que gera conhecimento tácito a partir de conhecimento explícito. Teorias ligadas a aprendizagem organizacional utilizam tal tipo de conversão. A leitura, a prática individual de aprendizagem e a reinterpretação são exemplos de internalização.

Com a conversão, práticas para aumentar o conhecimento podem ser estabelecidas. De acordo com Silva [15], a criação de comunidades, onde o envolvimento de pessoas de fora e dentro das organizações interagindo na troca do conhecimento, proporcionam tanto a busca por novas abordagens, como resoluções para problemas comuns. Outro ponto a ser observado é a capacidade criativa que é estimulada pela motivação do ambiente empresarial. Todos esses pontos nos remetem ao capital intelectual que uma empresa possui.

### 2.1.2 Capital Intelectual

Convertendo o conhecimento, o indivíduo passa a gerenciá-lo com mais facilidade. O ponto de partida para se conseguir tal habilidade vem do indivíduo. Segundo Mcdermott [40], a importância das redes de trabalho entre pessoas em organizações empresariais é apontada por obter bons resultados na troca de conhecimento. Dessa forma, o capital intelectual do indivíduo passa a ser a principal fonte de conhecimento das organizações.

Bergeron [5] classifica o **capital intelectual** de uma empresa em três componentes básicas: **capital humano**, **capital do cliente** e **capital de estrutura**. O capital humano é o conhecimento pessoal, as habilidades e a competência que pertence a cada indivíduo da empresa. Sem um gerência bem formulada, caso um empregado se demita, o conhecimento agregado a ele é perdido. O capital do cliente está relacionado ao valor, confiança

que os clientes tem com a empresa. E o capital de estrutura pode ser definido como a capacidade que a empresa têm de se estruturar, informar e criar um intelecto independente dos empregados que a compõem.

O processo de geração de capital intelectual agrega às empresas alguns conceitos fundamentais para o processo de gestão.

- É necessário ter **liderança**. Em um processo organizacional um indivíduo deve saber comandar, organizar e decidir de forma ágil e eficiente.
- O processo de gestão do conhecimento é **funcional**, ou seja, pode beneficiar qualquer tipo de negócio, principalmente aqueles que são relacionados à tecnologia da informação e a serviços industriais. A diminuição de custos, o acúmulo de conhecimento e o aumento de eficiência podem ser alcançados.
- A necessidade de **treinamento** é vital para a continuação do processo. Todos os grupos relacionados à empresa devem exercer o processo de gestão, dessa forma o conhecimento não é perdido.
- **Propostas** devem ser gerenciadas, as definições, regras e implementação de sistemas computacionais ajudam a criar uma base onde decisões podem ser tomadas de forma clara. Só depois de tudo estabelecido, o restante da empresa deve ter acesso às propostas.
- A gestão do conhecimento é **dependente da tecnologia**. Quais programas, sistemas e ferramentas que podem ser utilizadas no processo devem ser escolhidos para ajudar a gestão.
- Gestão do conhecimento é um **processo**, não um produto, que deve ser dinâmico, sistemático e organizado. A atualização dos processos em virtude de mudanças deve ser sempre analisada.

Tais conceitos nos remetem a **Organizações do Conhecimento**. Além do trabalho realizado para a obtenção do capital intelectual, tais empresas podem promover incentivos aos empregados objetivando a troca e o acúmulo de conhecimento. Dessa forma, cria-se a

reestruturação de processos a medida que novas práticas passam a ser mais utilizadas. O processo de reestruturação é elaborado a medida que processos existentes não funcionam bem. Entre as atividades que podem realizar tais estratégias, podemos citar:

1. Audiências: visam descobrir todo o conhecimento que uma determinada instituição possui. Podem ser realizadas a partir de entrevistas informais ou por uma análise direta dos funcionários a respeito de suas habilidades.
2. Criação de mapas de conhecimento: a criação de mapas do conhecimento objetivam tarefas, ajudam a descobrir o que cada indivíduo sabe, onde estão documentados, normas, regras de trabalho e como estão relacionadas.
3. Realização de tutorias: visam agregar conhecimentos básicos aos empregados criando um canal direto com a empresa. Assim, é possível identificar as principais dificuldades encontradas a respeito de heurísticas e técnicas no trabalho.
4. Palestras: visam comunicar valores essenciais e educar os indivíduos, assim o conhecimento pode ser massificado.
5. Análise comunicativa: é o processo que identifica como as informações estão sendo passadas entre os indivíduos e como grupos estão interagindo.
6. Treinamento: o treinamento é o método mais tradicional de ensinar conhecimento explícito. Entretanto, ele deve envolver o ensino de várias disciplinas. Dentro do treinamento, pode ser elaborado módulos profissionalizantes, que visam a especialização do funcionário em determinada área.

Essas são algumas das atividades que podem ser realizadas para agregar conhecimento a indivíduos e assim aumentar o capital intelectual de uma empresa. Entre tais atividades mencionadas, o treinamento pode ser uma ferramenta valiosa para o acréscimo de conhecimento em indústrias. A tomada de decisões em relação a um conteúdo didático, a elaboração de um material rico em informações e a utilização de recursos tecnológicos adequados são formas de estruturar e organizar bons cursos.

### 2.1.3 Treinamento na Indústria

Na maioria das empresas o fluxo de informações é passado através das organizações para seus empregados. Sendo assim, se torna importante investir em treinamentos que garantam que o conhecimento irá ser transmitido ao funcionários. O quanto irá se ganhar com tal estrutura deve ser uma responsabilidade da organização. Investir no capital intelectual é investir na produtividade e na garantia de melhorias. O treinamento é uma das formas de realizar tal investimento. Para se obter resultados em um treinamento, é necessário observar aspectos como: diferenças individuais, custos gerais, grau de conhecimento dos empregados e necessidade de atualização.

Cada aspecto mencionado pode ser analisado da seguinte maneira: existem diferenças individuais entre as pessoas em relação ao modo de aprendizagem. O treinamento deve prever que alguns alunos aprenderão mais rápidos que outros. Deve-se analisar o custo total do treinamento. Muitas vezes, o custo de mandar um empregado realizar um curso fora da empresa pode ser mais caro que realizar o mesmo curso dentro da empresa. Nivelar o grau de conhecimento é necessário para não haver perdas no capital intelectual da empresa. Em relação a necessidade de atualização, é preciso estar ciente de novas tecnologias que possam somar à empresa e se realmente é válido investir em ganhar tal conhecimento.

Pode-se esperar, pela análise de Mundim *et al.*[41], que um empregado que recebeu um bom treinamento possa:

1. Ter um escopo generalista, mas com conhecimentos específicos de uma ou mais áreas;
2. Desenvolver habilidades para trabalhar em grupo;
3. Se comunicar bem tanto com funcionários de maior escalão como de menor escalão viabilizando a troca de conhecimento;
4. Ter capacidade de resolver problemas;
5. Ter liderança quando preciso;

6. Ser criativo e dominar os conhecimentos ensinados.

Atualmente, treinamentos podem contar com tecnologias baseadas na internet, que são de baixo custo e simples aplicação. A utilização de *e-learning* (educação a distância) é um forma de aplicar tais tecnologias. Através da internet, CDROM ou qualquer outro meio de transferência de informações digital, é possível ministrar cursos e realizar treinamentos. O treinamento é fundamental para todos os funcionários de uma empresa, porém, funcionários que atuam diretamente na produção, que operam equipamentos e máquinas, são em geral as pessoas que mais necessitam de um aprendizado eficiente. Veremos a seguir onde e como o treinamento pode ser mais útil e mais atuante, no chão-de-fábrica.

#### **2.1.4 Chão-de-fábrica**

Chão-de-fábrica é a nomenclatura usada para designar conhecimento das técnicas e materiais de produção de uma fábrica. Podemos definir chão-de-fábrica como sendo a evolução das oficinas de trabalho, onde existiam artesãos e aprendizes, dando lugar as indústrias. Dentro desse ambiente aplicar gestão de conhecimento é fundamental por inúmeros motivos. De acordo com Fortulan *et al.*[21], as industriais lidam com uma quantidade de variáveis muito grande, como: qualidade, produtividade, manutenção, máquinas, materiais, e produtos. Colocar todos esses fatores em sincronia é uma tarefa que requer organização e empregados bem qualificados. Os cenários vistos hoje são de indústrias limpas, seguras e bem estruturadas devido a investimentos em infra-estrutura, tecnologia e treinamento.

O treinamento, como já mencionamos, é uma das maneiras de agregar capital intelectual à indústria. Porém, para Brent *et al.*[8], as organizações não oferecem todas as informações para a execução de bons cursos. O conhecimento operacional não vem da empresa, mas sim dos próprios empregados do chão-de-fábrica. Profissionais que dominam o saber não oficial o transmitem oralmente, durante as atividades profissionais, de maneira informal. Tal tática acarreta problemas. Empregados que queiram subir de posto em um indústria sem um política de incentivos passam a reter o conhecimento como estratégia para adquirir promoções. Mundim *et al.* [41] apontam que essa prática vem

da deficiência no ensino básico. Escolas não têm obrigação de ensinar como funcionam máquinas ou equipamentos industriais. Outro problema vem da falta de cursos profissionalizantes, que deveriam suprir a demanda de formação de profissionais para as indústria.

Dessa forma, a produtividade e outros fatores que poderiam melhorar a empresa ficam comprometidos. Viabilizar o conhecimento é necessário para se obter melhorias na produtividade como já vimos. O treinamento no chão-de-fábrica deve ser aplicado de modo a capacitar empregados melhorando a habilidade e atitude dos indivíduos. O treinamento deve partir da indústria, sendo assim, melhorar as formas de ensino e modificar padrões e heranças culturais são responsabilidades que devem ser cumpridas.

## **2.2 Computação Gráfica**

Segundo Gomes *et al.* [24], a computação gráfica pode ser definida como um conjunto de técnicas e métodos para transformas dados em imagens. Podemos entendê-la como uma ciência que tenta reproduzir o mundo real através de dispositivos gráficos. Para explicar melhor como a computação gráfica atua podemos exemplificar seus procedimentos utilizando o paradigma dos quatro universos. No paradigma dos quatro universos temos o universo real, o universo matemático, o universo representativo e o universo de implementação. A partir do mundo real, queremos representar fenômenos e poder vê-los através de imagens. Para isso ocorrer é necessário criar um modelo matemático do problema, ou seja, ter uma forma de descrever o universo real. Isso pode ser feito utilizando funções matemáticas ou métodos numéricos. Com um modelo equacionado passamos para o universo representativo, onde discretizamos o fenômeno para realizar uma implementação do modelo. O universo de representação é dado por um processo de amostragem feito a partir do universo real. É importante lembrar que, quando desejamos representar dados contínuos em um computador, é necessário realizar um processo de discretização, ou seja, uma amostragem do que se deseja representar. Computadores são máquinas capazes de armazenar bits, um valor que pode ser 0 ou 1, sendo limitado a quantidades de bits que podem ser processados. No universo de implementação obtemos nossa imagem digital ou com a utilização de programas de modelagem 3D, ou com uma



implementação através de linguagens de programação.

Na figura 2.2 vemos o paradigma dos quatro universos exemplificando a visualização tridimensional de um terreno. Temos o terreno propriamente dito no universo real. No universo matemático, vemos uma representação matemática que descreve o terreno, que pode ser um função contínua, onde, para cada dois pontos de um plano obtemos uma altura associada. No universo de representação, podemos ter somente alguns pontos representados que aproximem razoavelmente o terreno de seu formato real, sendo uma solução aproximada da função. O gráfico desenhado tridimensionalmente é o terreno no universo de implementação.

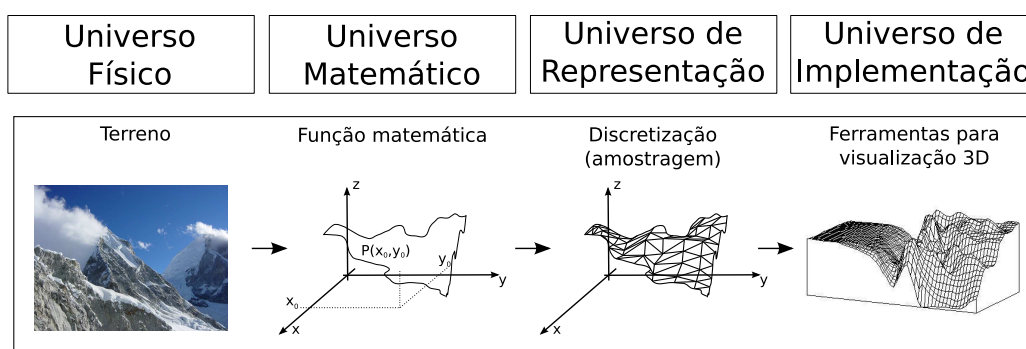


Figura 2.2: Paradigma dos quatro universos - Exemplo: Visualização de terrenos

### 2.2.1 Visualização e Programas de Modelagem

Dentro da computação gráfica temos algumas subáreas relacionadas como **processamento de imagem**, **modelagem geométrica**, **visão computacional**, **síntese de imagens** e **visualização**. Com a modelagem geométrica é possível criar imagens de difícil obtenção. Com tais imagens é possível realizar análises detalhadas do que se deseja estudar. Chamamos de visualização o processo de criação de imagens para a realização de análises específicas.

A visualização é uma poderosa ferramenta para análise de informações. De acordo com McCormick *et al.* [18], visualização é uma ferramenta utilizada na interpretação de dados complexos e multidimensionais representados computacionalmente na forma de imagens. Dentro da área de visualização, temos a visualização científica, que torna

possível a compreensão e o estudo de estruturas complexas espaciais. Segundo Bryson Bryson [9], a visualização científica é a utilização da computação gráfica para a criação de imagens de fenômenos complexos de difícil entendimento, que são formadas a partir de massas de dados numéricas.

Dentre as áreas de pesquisa existentes, podemos citar o uso da visualização científica para a análise da dinâmica de fluidos, modelagem molecular, aplicações geológicas, aplicações astronômicas, visualização de forma de modelos entre outras. Todas essas áreas de atuação utilizam fortemente dados representados tridimensionalmente, sendo assim necessário técnicas computacionais específicas para simular tais fenômenos e obter informações relevantes.

Em nosso trabalho utilizamos a modelagem geométrica para obter modelos digitais de equipamentos e máquinas industriais. A partir de tais modelos geramos imagens que servem para obtenção de informações que traduzem um conhecimento necessário para se operar e entender o funcionamento de tais equipamentos. Objetivamos a criação de imagens que possibilitassem uma análise externa e interna dos equipamentos. As imagens que criamos permitem uma visualização detalhada e ampla dos equipamentos. Animações que simulam o funcionamento interno da dinâmica do equipamento também foram geradas.

A confecção de qualquer tipo de imagem pode ser realizada de maneira tradicional, através de ilustrações. No caso de equipamentos e máquinas industriais, profissionais aprendem a desenhá-los em cursos de desenho industrial. O profissional, geralmente um artista com determinada habilidade, pode desenhar a mão livre e fazer desenhos artísticos ou técnicos. Porém, realizar tal tarefa a mão livre pode ser muito demorada e pouco prática. A utilização de programas que fazem desenhos bidimensionais possibilitam um bom trabalho, entretanto, para qualquer vista do determinado equipamento é necessário um desenho diferente. A figura 2.3 mostra um impelidor, uma peça que faz parte de equipamentos como a bomba centrífuga. Podemos ver diferentes formas de se obter um resultado semelhante. Na figura (a) vemos o impelidor desenhado a mão livre, na figura (b) temos o mesmo impelidor, mas em um desenho técnico, onde informações como tamanho podem ser anexadas. Por último, na figura (c) vemos um impelidor desenhado através de um programa de desenho 2D.

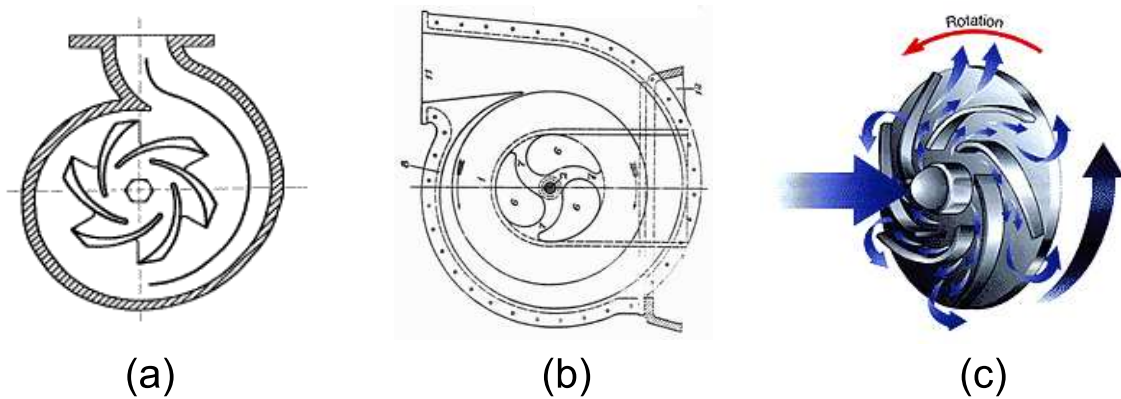


Figura 2.3: (a) Desenho a mão livre, (b) desenho técnico e (c) desenho feito a partir de um programa gráfico 2D

Na confecção de imagens através de desenhos a mão livre e programas de desenho 2D, a cada imagem nova é preciso um novo desenho. A solução encontrada para esse problema é a utilização de programas de modelagem tridimensional. Conhecidos como programas de modelagem 3D, ou programas CAD/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing*), suas características principais são viabilizar, através de uma interface gráfica, a modelagem 2D e 3D de qualquer tipo de objeto ou cena. Também é possível criar animações e em alguns programas criar módulos interativos, como jogos e pequenas aplicações que utilizem recursos tridimensionais.

Quando uma cena é modelada em 3D é possível que sejam feitas imagens de qualquer ponto de vista. É possível então ter imagens de **topo** e **perspectiva** a partir de um único modelo 3D. O processo para a obtenção de modelos tridimensionais é chamado de **modelagem**. Veremos no Capítulo 5 como tais programas atuam, suas funcionalidades e vantagens.

Atualmente existem programas de modelagem 3D gratuitos e pagos. Para saber qual melhor ou qual o programa ideal para fazer um determinado desenho é necessário conhecer os recursos existentes em cada um deles. Atualmente os preços dos programas pagos variam muito, chegando a custar mais que um computador pessoal topo de linha. Como exemplo de programas de modelagem 3D podemos citar o Blender, Maya, e o 3D Studio Max.

Outra forma de se desenhar qualquer tipo de cena é através de linguagens de programação

como C, C++ e bibliotecas gráficas como OpenGL e CGAL. Porém, a programação necessária para que seja possível ter um desenho com boa qualidade é muito trabalhosa de ser realizada.

## 2.2.2 Imagem Digital

Utilizando programas de modelagem 3D, ou programando, o resultado final do processo é uma imagem digital. Podemos definir imagem digital como a materialização de grande parte dos processo da computação gráfica.

Aplicando o paradigma dos 4 universos para uma imagem digital, temos o seguintes exemplo: no universo real temos uma fotografia, ou cena real, que é construída em nosso cérebro a partir de impulsos luminosos que associam informação de cor. O universo matemático que melhor representa uma imagem pode ser dado por equações que determinam a cor e a intensidade de luz presente em cada ponto da imagem. O modelo matemático usado é obtido com uma matriz que associa para cada ponto da imagem real uma cor e intensidade para cada *pixel* da imagem digital. Pixel é a abreviação do termo *Picture Element*, que pode ser definido como a unidade de medida de resolução de uma imagem digital. Nele está associado um valor de cor e intensidade. Temos então uma função  $f$  onde o domínio é um plano 2D contínuo referente a imagem real e o contradomínio é o espaço de cor. A implementação pode ser dada por uma matriz de cor, onde cada valor represente uma intensidade de brilho para uma determinada cor. Vemos na figura 2.4 cada etapa do paradigma dos 4 universos.

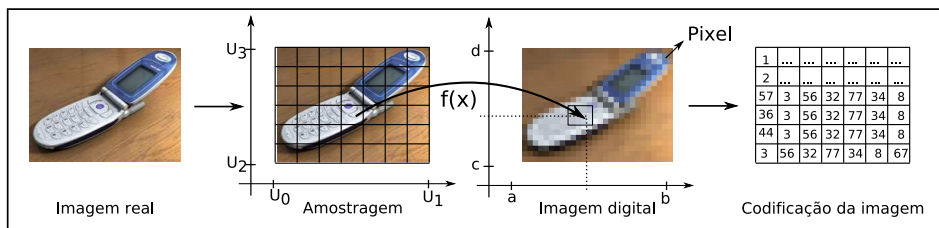


Figura 2.4: Imagem digital - Representação

Um ponto importante a respeito de imagens digitais é a forma a qual elas são compactadas para serem armazenadas no computador. Arquivos de imagem, normalmente,

são muito "pesados", gastando muito espaço nas formas de armazenamento existentes, como **discos rígidos**, ou **cds**. Dependendo da forma de utilização de uma imagem digital, se deseja que ela tenha um tamanho pequeno e uma boa qualidade. Todos esses conceitos estão relacionados com a **resolução da imagem**, que pode ser definida pela quantidade de pixels que uma imagem tem. Quanto mais pixel, melhor sua resolução. Porém, como computadores são máquinas limitadas, se faz necessário ter métodos de compactação de arquivos de imagem. Os métodos podem ser classificados como: com perda ou sem perda de qualidade [20]. Dentre os métodos existentes surgiram arquivos padronizados de imagem como o JPEG, GIF, TIFF, entre outros. Cada tipo de arquivo tem um sistema de cor e um método de compressão associado. Aplicações para web trabalham com imagens no formato JPEG, GIF e PNG, por padrão. Entretanto, caso o objetivo seja ter imagens que sejam utilizadas por muito tipos de programa o melhor formato é o TIFF, por ter muito método de compressão associados.

Muitos outros aspectos devem ser levados em consideração quando deseja-se estudar sobre imagens digitais. Trabalhos como os de Foley *et al.* [20], e Gomes *et al.* [24] trazem estudos bem elaborados sobre o tema. Veremos nas próximas seções as técnicas utilizadas para a obtenção de uma imagem digital com a utilização de programas de modelagem 3D.

### 2.2.3 Modelagem

Destacaremos aqui os processo mais importantes utilizados em programas de modelagem 3D, que são: a **modelagem**, a **texturização** e a **iluminação**.

A modelagem é o processo realizado para se obter um objeto ou cena tridimensional. A partir de elementos geométricos como vértices, arestas e faces é possível construir uma **malha**. Podemos definir malha como a casca de um objeto. Uma malha é obtida através da manipulação de elementos geométricos como pontos, curvas, superfícies e primitivas básicas. Quando estamos modelando um objeto devemos nos preocupar com dois aspectos a ele relacionados, sua **geometria** e **topologia**. A geometria de um objeto está relacionada com sua representação matemática, ou seja, quantos vértices, faces, lados e tamanho que um determinado objeto possui. A topologia esta relacionada com a forma do objeto, por exemplo, se ele é conexo, ou desconexo, ou se ele é concavo, ou convexo.

Objetos iguais podem ter mesma topologia porém geometrias diferentes.

Os programas de modelagem 3D estruturam os modelos através de representações. Uma **representação** é uma aproximação numérica do objeto real, que pode conter erros. Existem inúmeros problemas relacionados a reconstrução de objetos. De acordo com a forma do objeto, tais erros podem ser muito grosseiros. Objetos como cubos, pirâmides, cones e esferas tem a geometria bem definida, e podem ser combinados para formarem outros objetos. Entretanto existem objetos com uma geometria de difícil definição como espirais e superfícies irregulares. A modelagem geométrica e as técnicas de modelagem, que apresentaremos a seguir, são responsável por desenvolver técnicas e métodos para solucionar a modelagem de tais objetos.

Os métodos de representação podem ser classificados em três categorias básicas: representação por decomposição, representação por construção e representações híbridas. Em nosso trabalho, os modelos foram criados utilizando representação por construção. Nesta categoria, objetos complexos podem ser criados a partir de objetos simples. O método mais conhecido para se modelar por construção é o CSG (Constructive Solid Geometry - Geometria Sólida Construtiva) [50]. O método CSG se baseia em três fatores: primitivas geométricas, transformações do espaço e operações booleanas.

As primitivas geométricas são objetos como plano, esfera, cubo, pirâmide, cilindro entre outros. Tais elementos tem uma representação matemática fácil de ser representada. Por exemplo, uma esfera pode ser descrita com um centro em  $(x, y, z)$  e seu raio  $r$  pode ser representado por um vetor  $(x, y, z, r) \in \mathbb{R}^4$ . As transformações utilizadas no CSG objetivam modificar o posicionamento espacial e modificar a geometria dos objetos. Para o posicionamento são realizadas rotações e translações. Podemos citar como transformações que modificam a geometria do objeto as transformações lineares, como a modificação da escala do objeto. As operações booleanas combinam primitivas através de operações de soma, subtração e intersecção.

O CSG utiliza uma estrutura de dados que viabiliza a implementação do método. A partir de uma árvore binária, combinações são feitas construindo o objeto desejado. Cada ramo da árvore armazena uma primitiva. A medida que subimos em direção a raiz realizando as operações matemáticas estabelecidas, nosso objeto é modelado. Vemos na

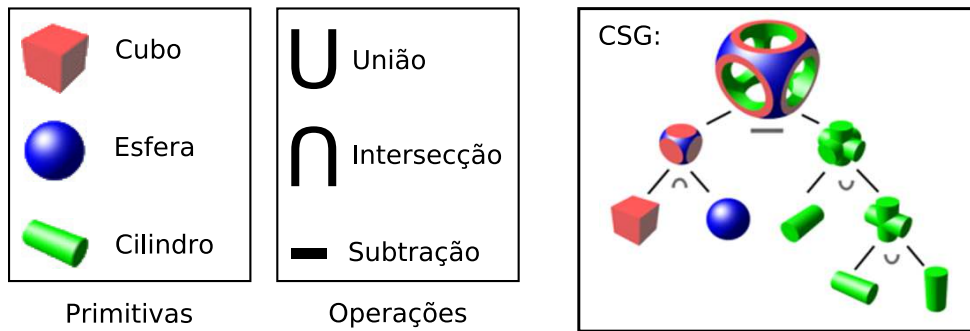


Figura 2.5: Exemplo do método de modelagem CSG - Primitivas básicas sendo usadas com operações de união, intersecção e subtração para o desenho de um objeto mais elaborado

figura 2.5 um estrutura representada.

Outro método de modelagem muito utilizado na modelagem geométrica é a subdivisão de malhas. Esse método foi desenvolvido por Catmull e Clark [12] e é muito utilizado tanto para a criação de objetos, como para suavização de malhas. As modificações que o objeto sofre alteram sua topologia. Um cubo, por exemplo, quando subdividido segundo o algoritmo de Catmull e Clark se transforma em uma esfera. Estruturas mais complexas, como uma **mão**, pode ser modelada com cubos e ter sua topologia modificada pelo algoritmo tornando a modelagem mais próxima de sua forma real. Na figura 2.6 temos um exemplo do algoritmos. A subdivisão é aplicada quatro vezes. O resultado pode ser visto na ultima imagem da figura.



Figura 2.6: Subdivisão de malhas - Algoritmo de Catmull e Clark aplicado em um cubo

Esses dois métodos são os mais empregados no processo de modelagem. Além dos métodos, a modelagem pode ser feita com a utilização de **técnicas de modelagem**. Entre elas podemos citar a técnica de superfícies de revolução [57], modelagem generativa e superfícies tubulares [24].

Com tais métodos e técnicas aqui descritos é possível modelar objetos sólidos, como peças de um equipamento industrial. Entretanto modelagem de fenômenos físicos como chuva e fogo, que são considerados objetos não regulares, não podem ser realizadas com tais métodos. Neste caso, se faz necessário a utilização de algoritmos específicos baseados em modelos físicos, como sistemas de partícula. Em nosso trabalho, a simulação de fluidos é necessária para mostrar a dinâmica interna dos equipamentos. Os programas de modelagem, em sua maioria, já trazem ferramentas que simulam de forma bem realística tais fenômenos.

Os algoritmos que viabilizam a simulação de sistemas de partícula são baseados nas equações de Navier-Stokes. Chen e Lobo [14] foram os primeiros a resolver as equações de Navier-Stokes para uso computacional através de aproximações numéricas. As Equações de Navier-Stokes são usadas para o cálculo de aproximações numéricas que traduzam o movimento de fluidos. São equações diferenciais que descrevem escoamento, onde as derivadas parciais permitem determinar campos de velocidade e de pressão. Assim, é possível modelar sistemas dinâmicos como fumaça e água. Em nosso trabalho utilizamos ferramentas existentes nos programas de modelagem para simular tais sistemas.

$$\rho \left( \frac{\partial U}{\partial t} + U \cdot \nabla U \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 U + \mathbf{F} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (2.2)$$

Nas equações de Navier-Stokes  $U$  é um campo vetorial,  $\frac{\partial U}{\partial t}$  é a derivada de  $U$  em relação ao tempo,  $p$  é a pressão do sistema,  $\rho$  é a densidade do fluido,  $\mu$  é a viscosidade cinética do fluido e  $\mathbf{F}$  é uma força externa, como a gravidade ou vento.

Com tais métodos e técnicas de modelagem torna-se possível criar modelos tridimensionais muito próximos de sua forma real. Porém, a modelagem geométrica não é suficiente para uma visualização realista de objetos e cenas. É necessário criar e aplicar iluminação e textura aos modelos.



## 2.2.4 Iluminação e Texturização

Um cena é visualizada com o auxílio de uma câmera virtual. Tal câmera é posicionada em um espaço tridimensional e apontada para parte da cena que se deseja visualizar. Com os objetos modelados na cena, a iluminação permite a visualização da cena. Com a iluminação pode-se destacar e criar realismo nas imagens. Destacar certas partes dos objetos, realçar, sombrear e outros efeitos são criados computacionalmente através de técnicas de iluminação.

Fisicamente, quando iluminamos um objeto, parte da luz é absorvida, outra é transmitida e outra é refletida através da superfície do objeto. Uma fonte de energia emite raios em todas as direções ou direções controladas. Os raios colidem em superfícies e são refletidos. Todas essas interações são calculadas quando o desenho de um imagem digital é feito. Para o cálculo ficar mais simples, é calculado um vetor normal à superfície e ângulos de incidência e refração  $\theta$  que determinam a direção da luz. Uma lei física que descreve tais fenômenos é a lei de Lambert. Ela estabelece que dada uma fonte pontual de luz e um difusor perfeito, a intensidade da luz refletida é proporcional ao cosseno do ângulo entre a normal a superfície e a direção de incidência da luz.

$$I = I_l K_d \cos\theta, \quad 0 \leq \theta \leq \Pi/2 \text{ e } 0 \leq K_d \leq 1$$

Na equação,  $I_l$  é a quantidade de luz incidente e  $K_d$  é o coeficiente de atenuação que é dependente do material da superfície.

Os modelos de iluminação reproduzem justamente a parte que é refletida, responsável pela sensação de cor nos objetos. Na figura 2.7 vemos componentes que são utilizadas no cálculo de iluminação. Nosso cérebro percebe a reflexão de acordo com a quantidade de energia que é refletida pela superfície do objeto. A quantidade de luz refletida depende da:

1. Composição, direção e geometria da fonte de luz, que segundo Woo [63] podem ser:
  - (a) ambiente: resultado da luz refletida no ambiente, é uma luz que vem de todas as direções;

- (b) difusa: luz que vem de uma direção, atinge a superfície e é refletida em todas as direções; assim, parece possuir o mesmo brilho independente de onde a câmera está posicionada;
  - (c) Especular: luz que vem de uma direção e tende a ser refletida numa única direção;
  - (d) Emissiva: simula a luz que se origina de um objeto, a cor emissiva de uma superfície adiciona intensidade ao objeto, mas não é afetada por qualquer fonte de luz, ela também não introduz luz adicional da cena.
2. Orientação da superfície do objeto em relação a fonte de luz;
  3. Propriedades da superfície do objeto - se o objeto é de metal, madeira, plástico, etc.

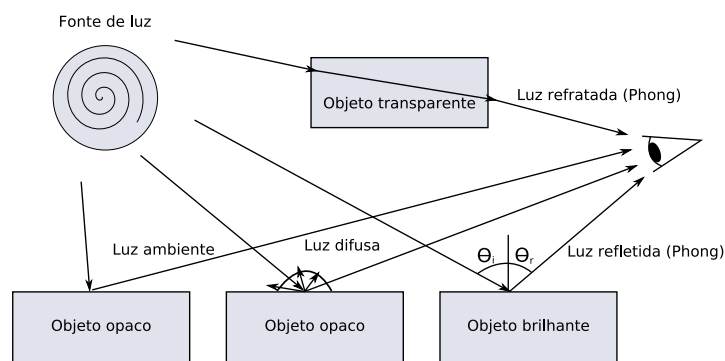


Figura 2.7: Modelo físico de iluminação

Os modelos de iluminação aproximam tais efeitos e descrevem as propriedades dos materiais de acordo com suas características. Computacionalmente, os modelos de iluminação são técnicas usadas para calcular a intensidade da cor de um ponto a ser exibido no em algum dispositivo gráfico de saída, em nosso caso monitores de computador. Também chamados de modelos de reflexão utilizam a cor do objeto, a cor da luz, a posição da luz, a posição do ponto e a posição do observador. No final do processamento calcula-se as componentes R, G e B da cor.

Existem dois processos computacionais que calculam a iluminação de uma cena: **iluminação direta ou local** e **iluminação indireta global**. A **iluminação direta** real-

iza interação simples entre luz e objetos, não havendo interação da luz refletida de objetos. Somente um cálculo é realizado para cada pixel da imagem digital. Tal modelo é suportado por aplicações OpenGL em tempo real. Como exemplo temos o modelo de iluminação de Phong [48]. O cálculo leva em consideração a quantidade de luz que o observador percebe através de uma foca luminoso. Uma quantidade de luz reflete no objeto onde são determinados a cor e a intensidade da cor. Tal informação é levada diretamente ao observador, ou no caso de uma imagem digital, em um pixel da tela correspondente a ela. A **iluminação indireta global** realiza a interação múltipla entre luz e objetos, possibilitando o cálculo de refrações, sombras e reflexões. O cálculo realizado para se obter uma imagem com iluminação global é custoso, pois essencialmente ela implica que todos os objetos da cena são fontes de energia luminosa. Ainda não é possível obter imagens em tempo real quando são utilizados modelos de iluminação global. É necessário **renderizar** a imagem para poder visualizar a cena. A **renderização** é o processo responsável pelo desenho de uma imagem digital. Em programas de modelagem, quando vemos o desenho de uma cena 3D, são realizados cálculos que possibilitam a construção, e por fim, a visualização da imagem. Os modelos de iluminação global mais utilizados são os algoritmos de *ray tracing* e de *radiosidade*.

Os algoritmos de ray tracing são os mais utilizados para a geração de imagens digitais. O trabalho realizado por Appel [3] deu origem a vários trabalhos relacionados ao *ray tracing* e renderização de imagens digitais. Na sua origem, os algoritmos de *ray tracing* eram elaborados para determinar a visibilidade dos objetos de uma cena. O algoritmo fundamental de *ray tracing* considera raios com origem no centro de projeção da cena, em que cada um dos raios passa pelo ponto correspondente a um pixel da imagem sobre o plano de projeção da cena a representar. Podemos ver como o algoritmo funciona na figura 2.8. Se um raio não intersectar nenhum objeto da cena, é atribuída a cor de fundo da cena ao pixel da imagem por onde o raio passa. Caso contrário, determinam-se as intersecções do raio com os objetos da cena e ao pixel correspondente ao raio é atribuída a cor do ponto de intersecção mais próximo da origem do raio.

Na sua forma mais simples, o algoritmo fundamental de ray tracing pode ser descrito da seguinte forma:

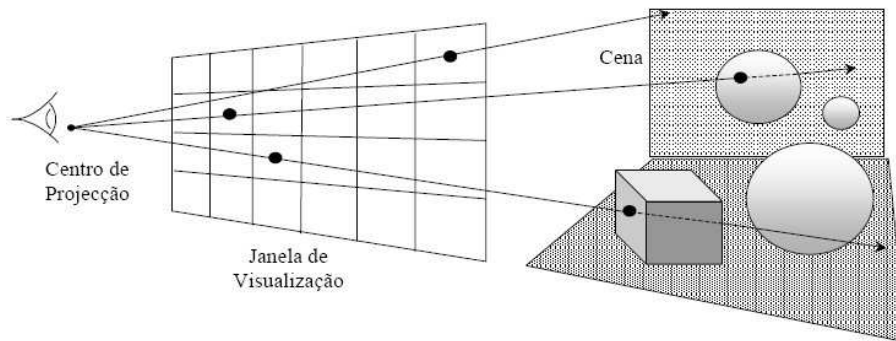


Figura 2.8: Algoritmos fundamental de ray tracing

```

Selecionar o centro de projeção e a janela de recorte sobre o plano de projeção
Para cada linha horizontal (de varrimento) da imagem{
  Para cada pixel da linha de varrimento{
    Determinar o raio que une o centro de projeção com o pixel
    Para cada objeto da cena
      { Se o raio intersecta o objeto e o ponto de intersecção encontra-se
        mais próximo do centro de projeção do que o ponto de
        intersecção até agora encontrado
        Registrar o ponto de intersecção e o objeto intersectado
      }
    Atribuir ao pixel a cor do objeto intersectado no ponto de intersecção reg-
istrado
  }
}

```

Uma vez determinada a intersecção de um raio com o objeto mais próximo, são realizados os cálculos de iluminação no ponto de intersecção para atribuir ao pixel da imagem a cor desse ponto. Estes cálculos têm por objetivo determinar a intensidade luminosa proveniente do ponto de intersecção que é propagada na direção do centro de projeção, isto é, na direção contrária à da direção do raio. Esta luz é o resultado das contribuições de várias origens que atingem o ponto de intersecção. Uma das componentes é devida à

reflexão da luz proveniente das fontes de luz existentes na cena e que iluminam diretamente o objeto no ponto de intersecção. O resultado final é uma imagem muito próxima a imagem fotográfica.

A síntese de imagens por ray tracing permite obter imagens de muito boa qualidade, entretanto, existem algumas limitações que impedem um maior grau de realismo dessas imagens. Os métodos de ray tracing, tal como o seu nome indica, baseiam-se no traçado de raios. Este procedimento está relacionado com a reflexão e a transmissão especulares da luz do que com a reflexão e transmissão difusas. Desta forma, os métodos de ray tracing permitem obter muito bons resultados em cenas bem iluminadas contendo superfícies refletoras apresentando um comportamento próximo do comportamento de superfícies refletoras especulares.

Em muitas cenas, principalmente em cenas de interiores, como salas e áreas fechadas, existem zonas que não são diretamente iluminadas pelas fontes de luz. A iluminação de tais zonas é produto da luz refletida, uma ou mais vezes, por superfícies refletoras não especulares. Para tratar estes casos, os métodos de ray tracing empregam um termo de iluminação ambiente constante cujo cálculo nem sempre é suficientemente preciso. O emprego desta técnica faz com que as superfícies indiretamente iluminadas apresentem uma iluminação uniforme em vez de uma variação de sombreamento gradual e suave, o que conduz a diferenças muito bruscas de iluminação entre zonas diretamente iluminadas e zonas que são contínuas e não diretamente iluminadas. O resultado é o cálculo incorreto da iluminação de superfícies refletoras difusas pelos métodos de ray tracing. Tal problema motiva o cálculo da iluminação por outro método chamado de radiosidade.

O método da radiosidade tem por objetivo o cálculo da iluminação e do sombreamento em cenas onde existe a predominância de superfícies refletoras difusas. O cálculo deriva das trocas de radiação térmica entre superfícies relacionado à transmissão de calor. O trabalho foi desenvolvido por Goral *et al.* [25] com contribuições de Nishita *et al.* [45]. Na figura 2.9 é possível ver como as fontes luminosas interferem no ambiente de forma diferente aos métodos de ray tracing. A iluminação é mais uniforme e contínua, não existindo mudanças bruscas de iluminação.

Além dos métodos globais de iluminação, onde o cálculo é realizado a partir de fontes



Figura 2.9: Ambiente iluminado com métodos de radiosidade

luminosas, um outro método utilizado para iluminar cenas é o baseado em HDR *High dynamic range*, o qual não se baseia na iluminação por focos luminosos. Um imagem, tipicamente, tem 256 níveis de intensidade para cada canal de cor vermelha, verde e azul. Essa faixa não permite representar adequadamente, cenas que possuam áreas com muita ou pouca exposição luminoso. Áreas pouco expostas são mapeadas para a cor preta e áreas muito expostas para branco. Uma imagem HDR (High Dynamic Range) é uma imagem cuja faixa de variação na intensidade luminosa é maior do que uma imagem comum. Essa imagem pode ser obtida a partir de várias fotografias de uma mesma cena com tempos de exposição diferentes. Para isso, o fotógrafo deve escolher qual faixa está o foco de interesse da imagem e ajustar o tempo de exposição (e/ou abertura) do diafragma da câmera de acordo.

Segundo Debevec [17], o processo de geração de uma imagem HDR começa com a obtenção da função de resposta da câmera. Essa função é obtida a partir de uma série de fotografias e seus tempos de exposição. O algoritmo usa minimização SVD (Singular Value Decomposition) [23]. Uma vez obtida a função de resposta desse sistema, o mapa de radiância pode ser obtido a partir de um somatório de todas as fotografias usando essa função. Para geração de uma imagem digital a partir do mapa de radiância ou *Tone Mapping* (mapeamento da luz por tons), deve-se estipular um tempo de exposição e então gerar essa imagem. O resultado final a  $x$  segundos, deve ser semelhante à fotografia original nesse tempo de exposição.

Uma imagem de HDR é uma vista 360° de algum lugar que tem não somente os valores usuais de um retrato, mas armazena também a informação da intensidade da luz. A figura 2.10 mostra diferentes resultados de uma imagem digital renderizada com e

sem a utilização do HDRI. O HDRI pode iluminar a cena muito realisticamente, sem a necessidade de luzes do programa 3D, mas seu uso mais indicado é quando existem objetos metálicos na cena, como por exemplo cromados ou pintura matálicas.

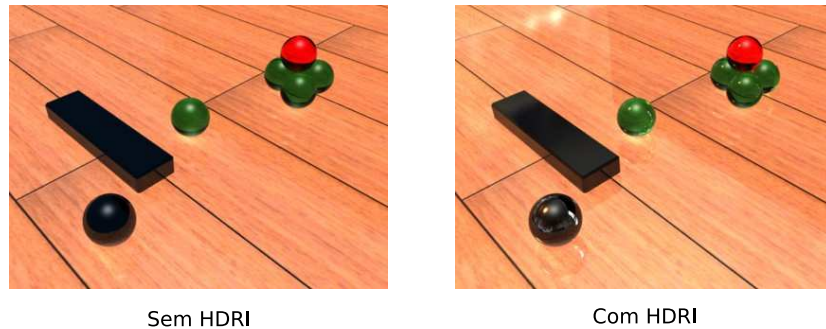


Figura 2.10: Imagens renderizadas utilizando HDR

As técnicas de iluminação e os efeitos visuais que existem atualmente viabilizam a confecção de imagens muito próximas do mundo real. Entretanto, quando se desejam certos tipos de efeitos, como rugosidade em superfícies, ou pinturas e desenhos em objetos tridimensionais, tais métodos não podem ser usados. Paredes de tijolo, ou o capô de um carro reluzente podem ser obtidos através da modelagem geométrica e iluminação adequada, porém a técnica mais utilizadas para tais tipos de efeitos é o mapeamento de textura. Os métodos de texturização são empregados para elucidar características dos objetos, como tipo de superfície e pintura.

O mapeamento de textura pode ser obtido com a modificação de características dos métodos de iluminação, ou fazendo um mapeamento de uma imagem na superfície do modelo tridimensional. Para modificações na superfície do modelo, como rugosidade por exemplo, são feitas alterações nas normais da superfície resultando em cálculos diferenciados da iluminação sobre pontos muito próximos. Tal método é chamado de *Bump Mapping*. Existem outras técnicas conhecidas, como o *Displacement Map* que perturba a superfície na direção da normal. No caso de mapeamento de uma imagem, o que é calculado é uma “colagem” da imagem sobre a superfície do objeto. Essa colagem é feita através de um mapeamento que irá realizar transformações na imagens para adequá-la a superfície da imagem. Neste caso, é preciso uma função matemática que mapeie uma imagem 2D em uma superfície 3D. Tais funções são geralmente parametrizações do espaço,

onde para cada ponto no espaço lhe é associado um ponto da imagem. As parametrizações podem ser cilíndricas, esféricas ou cúbicas [20]. É possível ainda modificar o espaço de textura, referente a imagem, com o objetivo de somente uma parte da imagem cobrir a superfície do objeto. O trabalho de Jim Blinn [6] sugere um mapeamento em duas etapas, visto a dificuldade de se realizar um mapeamento direto. Primeiro é feito um mapeamento da imagem em uma superfície simples, como uma esfera ou cilindro. Feito isso, mapeia-se a superfície simples sobre a superfície do objeto. Na figura 2.11 podemos ver como o mapeamento acontece.

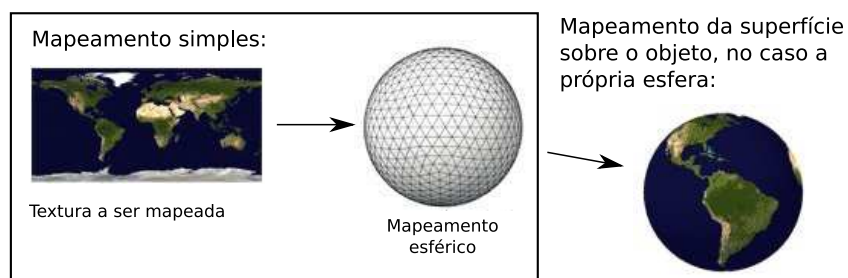


Figura 2.11: Processo de mapeamento de textura

Com todas essas técnicas, métodos e algoritmos é possível então se gerar uma imagem digital que represente o mundo real com uma qualidade muito boa. Para explicações mais detalhadas sobre o que discutimos aqui, os trabalhos de Foley [20] ou de Watt [60] trazem abordagens aprofundadas sobre o tema.

## 2.2.5 Animação

A computação gráfica tem como principal objetivo produzir imagens, como já foi dito. Essas imagens podem ser transformadas em uma animação. A ideia de animação está ligada ao movimento, mas animação também pode ser mudança de cor ou forma. De uma forma geral, animação se dá quando exibe-se uma seqüência de imagens rapidamente, onde cada imagem é um pouco diferente da anterior. Se essas imagens (quadros ou frames) forem exibidas com uma velocidade suficiente (denominada taxa de exibição ou *frame rate*), será produzida a ilusão de movimento. Porém, em geral se caracteriza a animação computadorizada de duas formas distintas: animação assistida por computador



e animação modelada por computador. No primeiro tipo (assistida), o computador é utilizado como uma ferramenta de desenho, pintura ou até mesmo para comandar a câmera de filmagem. Já no segundo tipo, popularizado recentemente pelo surgimento de vários filmes animados, o computador é empregado durante todo o processo, desde a modelagem e criação de cenários e personagens, até a geração da imagem de cada quadro individual, aplicando técnicas de realismo como iluminação, texturas e muitas outras.

Uma das técnicas mais comuns de animação é a denominada animação paramétrica, onde as propriedades de cada objeto são parametrizadas (como por exemplo, posição, rotação, escala ou cor) e são animadas, ou seja, alteradas ao longo do tempo, produzindo o efeito de animação. Geralmente utiliza-se a idéia de quadro-chave (key frame), isto é, determinados instantes de tempo onde algumas ou todas as propriedades são especificadas pelo usuário. O sistema de animação então calcula as propriedades nos demais instantes de tempo através de algum tipo de interpolação. Outro tipo usual de animação é aquela baseada em simulação, onde as propriedades dos objetos são alteradas de acordo com o resultado da simulação. Por exemplo, o lançamento de um projétil pode ser modelado através de simulação da Lei da Gravidade. As simulações físicas são atualmente muito usadas para a criação de animações de colisões e fluidos. Uma ferramenta muito utilizada para facilitar a criação de quadros intermediários é a utilização de elementos do tipo *bone* (osso). O **bone** possibilita a criação de um esqueleto que associado a uma malha ajuda na criação de deformação da malha e na criação de animações.

Com todas as informações aqui descritas, podemos ver que é possível criar imagens e animações que representem a realidade sem a necessidade de equipamentos reais, bastando ter um computador. Nos capítulos que se seguem, discutiremos, justamente, como estruturar um trabalho para se realizar a criação de imagens e animações com a utilização da gestão do conhecimento e computação gráfica.

# Capítulo 3

## Infra-estrutura de Gerenciamento de Equipamentos

Neste Capítulo apresentamos a infra-estrutura que desenvolvemos para o gerenciamento do conhecimento no domínio específico de equipamentos e processos de refinarias de petróleo. Apresentamos sua arquitetura básica e os serviços oferecidos, nos Capítulos seguintes apresentamos cada um dos serviços de forma mais detalhada.

### 3.1 Arquitetura Básica

O principal objetivo do nosso trabalho é fornecer processos para aquisição de conhecimento referente a equipamentos industriais e assim criar imagens e animações que transmitam as funcionalidades básicas de tais equipamentos de modo eficiente e eficaz a profissionais da indústria, facilitando assim o aprendizado.

Em cursos, ou nos locais de trabalho, o empregado tem que aprender o funcionamento e a montagem de equipamentos que opera e manuseia em seu dia-a-dia. O conhecimento referente a instalação, e o manuseio do equipamento é normalmente realizado em “campo”, nos locais de trabalho. O interior dos equipamentos, na maioria das vezes, só é conhecido pelos funcionários quando são realizados reparos, onde é preciso desmontar o equipamento. Existem equipamentos que são muito grandes, e outros que são muito caros para serem utilizados em aulas experimentais, por exemplo. Muitos são de difícil acesso

à visitação e caso sejam desligados ocasionam prejuízo para a empresa. Além de tais tarefas relacionadas ao aprendizado, o empregado tem de que tomar decisões importantes mediante situações de risco. Tais responsabilidades são necessárias a todos que trabalham com máquinas industriais.

Como foi dito no Capítulo 2, o chão-de-fábrica é a principal área de uma indústria. É o local onde a maior parte do conhecimento se encontra. Cada funcionário domina conhecimentos diferentes, referentes à sua área de trabalho e os armazena da melhor forma que o convém. Canalizar as informações provenientes de diversas pessoas e fontes e transformá-las em conhecimento explícito na forma de imagens e animações requer meios que viabilizem a aquisição e a disseminação do conhecimento.

Técnicas de aquisição de conhecimento recuperam informações, porém de modo desorganizado. Para se compreender determinados processos industriais é necessário, por exemplo, além de explicações e fotos, entrevistas de empregados para descrever detalhes dos equipamentos. Sendo assim, é preciso selecionar, organizar e decidir o que é importante para ser transmitido em uma animação. Estabelecer processos que organizem e expliquem de forma clara o conhecimento é vital para a produção de novo conhecimento.

Organizar as informações é importante do ponto de vista de quem realiza o trabalho de criação dos modelos digitais. O profissional que modela e desenha o equipamento digitalmente não sabe nada a respeito de mecânica ou assuntos relacionados aos equipamentos. Sendo assim, informações organizadas facilitam a produção do material a ser desenvolvido.

Finalmente, é preciso apresentar o conhecimento de forma organizada e simples. Ter em mãos um módulo que possibilite que todo o material criado, a partir das informações adquiridas, possa ser visualizado e consultado facilmente.

Um exemplo da importância de se organizar informações e saber administrá-las é vista no caso da modelagem do equipamento **Bomba Vertical**. O processo de aquisição do conhecimento deve ser cuidadoso. Caso as informações sejam adquiridas de forma incompleta ou pouco detalhadas, o modelo de um equipamento pode representá-lo de forma incorreta. A figura 3.1 mostra fotografias da bomba tiradas na área de manutenção. Com mais algumas fotos em outros ângulos e entrevistas com profissionais da área de

manutenção, é possível se gerar o modelo 3D da bomba como mostra a figura 3.2 (a). Entretanto, este modelo apresenta o funcionamento da bomba de forma errônea. A bomba vertical é um equipamento que atua na drenagem de fluidos em reservatórios, logo, sua posição deve ser na vertical, como o próprio nome indica, e a animação deve sugerir a retirada de líquido de algum lugar abaixo no nível do solo. Na animação errada o líquido passa por dentro do equipamento. A figura 3.2 (b) mostra a bomba modelada de forma correta.



Figura 3.1: Equipamento industrial bomba vertical - fotos tiradas em area de manutenção

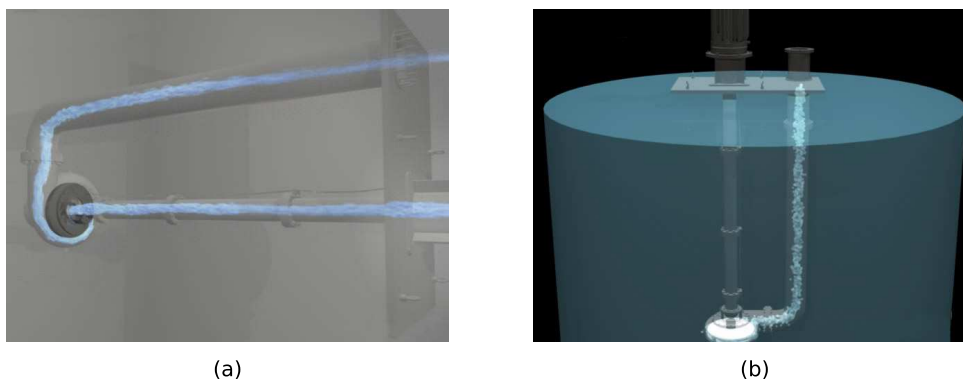


Figura 3.2: A esquerda o equipamento animado e posicionado de forma errada. A direita o equipamento atuando de forma correta

Dessa forma, processos de gestão do conhecimento nos levam a criação de uma infraestrutura de gerenciamento de informações. Tal infra-estrutura deve ser elaborada com os seguintes objetivos: possibilitar a aquisição do conhecimento; viabilizar a modelagens de equipamentos industriais; e possibilitar a implementação de uma ferramenta multimídia que integra todas as formas de visualização criadas, que são imagens, animações, módulos

tridimensionais interativos e textos. A arquitetura aqui elaborada se baseou no trabalho de Siqueira *et al* [55] e de Wild *et al.* [62], onde os autores apresentam projetos de arquitetura relacionados a ferramentas de educação a distância apoiadas em gestão do conhecimento para web. Podemos definir cada parte de nossa infra-estrutura como um serviço. O último serviço da infra-estrutura é a ferramenta criada para a visualização do conhecimento, a qual chamamos de VM3D-Anim (Visualizados de Modelos 3D Animados). A arquitetura elaborada pode se dividida da seguinte maneira: **aquisição do conhecimento, modelagem e visualização do conhecimento.**

### 3.1.1 Aquisição do conhecimento

O serviço de aquisição do conhecimento é responsável por viabilizar material para que sejam feitos os modelos tridimensionais dos equipamentos industriais. A idéia é adquirir informações que possibilitem ao usuário da ferramenta VM3D-Anim ver uma maquete virtual 3D do equipamento, possibilitando a ele entender e perceber situações que o façam raciocinar rapidamente a respeito da dinâmica de equipamentos. Tal serviço é muito importante, pois sem informações é praticamente inviável modelar de maneira correta um equipamento.

Podemos dividir a fase de aquisição de conhecimento em três grandes etapas: fase de **aplicação de métodos de aquisição do conhecimento**; fase de **organização das informações** e a fase de **treinamento dos profissionais de modelagem e animação**. Dividimos a fase de aquisição dessa forma para conseguirmos o nosso objetivo final, explicar para profissionais que nada entendem sobre equipamentos industriais, suas funções e processos.

Na fase de **aplicação de métodos de aquisição** [37] utiliza os seguintes métodos:

- **Classificação de conceitos (*card sorting*)**: Essa técnica é usada para definir termos ou conceitos. Tal técnica guia praticamente todo o trabalho relacionado à identificação de equipamentos, ou qualquer outra classe de atuação. A partir do *card sorting* a explicação de conceitos também se torna mais simples.
- **Imersão na literatura**: Neste etapa é consultada a literatura. Livros, manuais,

catálogos, são exemplos de fontes usadas em nossas pesquisas.

- **Entrevistas:** As entrevistas podem ser classificadas em **estruturadas** e **não-estruturadas**.

Entrevistas estruturadas são feitas roteiros, onde se busca informações específicas a respeito de algum tópico. A entrevistas não estruturadas são realizadas quando se deseja ter noção abrangente sobre determinado tema, sendo as perguntas feitas no momento da entrevista. A utilização do tipo de entrevista é determinada pela necessidade de informações.

- **Técnicas de observação:** As técnicas de observação utilizadas em nosso trabalho foram se referem à observação de profissionais em seus respectivos locais de trabalho. Observamos o funcionamento em campo de equipamentos, realizamos seções de fotografias em locais de manutenção e filmamos certos equipamentos quando possível.

- **Relatórios Verbais e Não Verbais:** Todo conhecimento que é identificado como parte do processo deve ser discutido e registrado. Esse método viabiliza a criação e a forma de apresentação do conhecimento. O comentário de profissionais e a análise de informações geram outras informações que estão ligadas e relacionadas entre si. Quando duas pessoas estão entrevistando, o que uma entende pode ser diferente do a outra entendeu. O amadurecimento de idéias deve ser feito com registros.

Tais técnicas podem ser aplicadas de acordo com a fonte de aquisição da informação. Nem sempre uma entrevista é melhor que uma seção de fotografias, ou vice-versa. No Capítulo ?? mostraremos como esses métodos podem ser usados para a obtenção de bons resultados.

### 3.1.2 Modelagem

O serviço de modelagem pode ser subdividido em duas etapas: A **modelagem geométrica do equipamento** e a **elaboração da animação**. Todo equipamento que se encontra em indústrias tem uma forma e uma atuação como já foi dito. A fase de modelagem tem como objetivo criar um modelo 3D do equipamento.

A modelagem geométrica segue etapas básicas, como: transformações de primitivas e métodos de modelagem; iluminação padronizada, elaborada para dar realce minimizando sombras e efeitos que prejudiquem a compreensão da forma do equipamento; texturização baseada nas fotografias e descrições; e organização dos arquivos criados por meio de relatórios (no caso arquivos do modelo tridimensional do equipamento). Com os relatórios, que devem informar o que foi feito pelo modelador, o trabalho pode ser realizado por qualquer profissional da área de modelagem, caso se encontre inacabado.

Finalizada a modelagem de um determinado equipamento, a fase de animação pode ser inicializada. A animação é dividida em: **criação do roteiro de animação; elaboração da animação; processamento da renderização em camadas; e edição do vídeo.** O roteiro de animação é o processo responsável por determinar como o equipamento deve se movimentar, como uma câmera virtual deve percorrer o equipamento, entre outras decisões. A animação é feita utilizando um programa de modelagem, em geral todos os programas de modelagem dispõem de técnicas de animação suficientes para representar movimentos.

Após a animação terminada e inicializado o processo de renderização, que gera os quadros da animação. Logo em seguida, a edição da animação deve ser feita. O processo de renderização é responsável por gerar animações de partes da animação final. Essas animações são renderizadas segundo camadas que devem ser visualizadas separadamente. No Capítulo 5 explicaremos melhor o processo, onde elaboramos animações que permitem a visualização interna de partes e peças dos equipamentos. Na última etapa da animação, é realizada uma edição de vídeo que une todas as animações intermediárias feitas separadamente viabilizando a animação final do equipamento.

Módulos interativos também foram desenvolvidos na etapa de modelagem. Criamos modelos em VRML (*Virtual Reality Markup Language*) que permitem ao usuário rotacionar, ampliar e mover o equipamento.

### **3.1.3 Visualização do Conhecimento**

No serviço de **visualização do conhecimento** implementamos uma ferramenta baseada na web para disponibilizar o conteúdo desenvolvido. A ferramenta VM3D-Anim une

todas as informações geradas de forma simples para o usuário final. A aplicação web foi criada respeitando as heurísticas de Nielsen [44], que desempenham um importante papel para orientações na criação de sistemas e interfaces. Através da interface da ferramenta apresentamos a taxonomia elaborada para os equipamentos e, em uma estrutura hierárquica referente aos equipamentos, o usuário pode visualizar as animações, imagens, módulos interativos e textos.

As etapas para a elaboração do serviço de visualização é bem simples. Primeiramente foi elaborada uma **estrutura de arquivos** em diretórios. Essa estrutura foi usada para armazenar todos os arquivos criados no serviço de modelagem criando assim uma base de dados das informações de todos os equipamentos modelados. Também implementamos uma interface que possibilita a visualização das informações de forma organizada. Tais etapas são únicas em nossa ferramenta, uma vez definidas não precisam mais ser modificadas. Tal decisão ajuda a criar documentações e facilita eventuais inserções e buscas na base de dados. Dessa forma, a cada novo equipamento modelado basta criar novos diretórios e inserir as novas informações na ferramenta. A essa última etapa é chamada de **inserção das informações**. Nos próximos capítulos seguintes iremos explicar detalhadamente cada um dos serviços da infra-estrutura.



# Capítulo 4

## Aquisição de Conhecimento

Neste Capítulo apresentamos o serviço de aquisição de conhecimento. Inicialmente, apresentamos uma breve descrição do conjunto de equipamentos que foram considerados para a nossa infra-estrutura. Em seguida, apresentamos a metodologia para a captura e o armazenamento do conhecimento sobre estes equipamentos, já que o conhecimento encontrava-se totalmente disperso e em sua maioria na forma de conhecimento tácito. Por fim, apresentamos a taxonomia dos equipamentos levantados, utilizada na geração de uma base de dados com as informações coletadas.

### 4.1 Equipamentos

Os equipamentos industriais são máquinas de grande, ou pequeno porte, que desempenham importante papel na fabricação de diversos produtos. Atualmente, diversas indústrias utilizam tais equipamentos em suas linhas de produção, como exemplo, a indústria metalúrgica, de energia, têxtil, automobilística e petrolífera.

Os equipamentos industriais são classificados em equipamentos **básicos** e **específicos**. Os equipamentos básicos são aqueles utilizados para realizarem tarefas comuns. Podem atuar em mais de uma área industrial, tendo uma produção comercial ampla. Os equipamentos específicos são elaborados para atender a necessidades exclusivas de uma determinada indústria. Geralmente são produzidos em quantidades limitadas, com exclusividade para a empresa que dele necessita. Os equipamentos que aqui descrevemos são classi-

ficados como **básicos**, onde o conhecimento referentes a eles é livre e distribuído para estudo.

Iremos fazer uma breve descrição dos equipamentos que foram modelados e animados em nosso trabalho sem entrar em detalhes. Lembramos somente que cada equipamento é composto por quantidades fixas de peças e muitas vezes por outros equipamentos menores. Em nosso trabalho nos preocupamos em realizar a modelagem de cada equipamento o mais próximo de sua forma real com as informações obtidas. As informações referentes a cada equipamento se encontram no livro de Hachbart [27] e em sites de empresas fabricantes como [29, 47, 54, 32]. São equipamentos industriais:

- **Bombas:** As bombas são máquinas acionadas que recebem energia mecânica de uma fonte motora (máquina acionadora) e a transformam em energia cinética (movimento), ou energia de pressão (força), ou ambas, e as transmitem ao líquido. O uso de bombas hidráulicas ocorre sempre que se necessita aumentar a pressão de trabalho de um líquido para transportá-lo pela tubulação de um ponto a outro da planta, obedecendo às condições de vazão e pressão requeridas pelo processo. Existem diversos tipos de bombas, como: centrífugas, rotativas, alternativas e de estágios, por exemplo. Cada uma adequada a uma determinada necessidade ou exigência de um processo.
- **Compressores:** Como as bombas, os compressores são máquinas acionadas que aumentam a pressão do fluido. Têm construção e funcionamento semelhante, sendo as diferenças entre eles decorrentes das distinções de comportamento e propriedades entre líquidos, fluidos incompressíveis, e gases, fluidos compressíveis. As diferenças são as dimensões dos equipamentos, os sistemas de vedação e as velocidades de operação, as quais decorrem da menor densidade e da compressibilidade. A compressão pode ser entendida como a ação de forçar uma determinada massa de gás confinado em um volume cada vez menor. Ela produz o aumento da pressão, acompanhado por uma elevação de temperatura (aumento da energia interna do gás).
- **Redutores:** Os redutores são equipamentos que, através de engrenagens, recebem alta velocidade de rotação de um eixo e a transformam em baixa velocidade de

rotação. Podem também mudar o plano de rotação.

- **Motores:** São destinados a gerar energia mecânica através de um outro tipo de energia. Os motores podem ser de combustão ou elétricos.
- **Turbinas:** Turbina é um equipamento construído para converter energia mecânica e térmica contida em um fluido, em trabalho de eixo.
- **Purgadores:** Separam e eliminam o condensado formado nas tubulações que transportam vapor. Alguns tipos, devido ao seu princípio de funcionamento, removem também o ar e outros gases não-condensáveis que possam existir nos canos, após a remoção do condensado. O aparecimento de condensado em tubulações de vapor pode se dar devido à perda de calor para o meio ambiente, ao arraste de gotículas, à colocação em operação de determinado trecho de tubulação fria, ou a trechos de tubulações bloqueadas.
- **Válvulas:** São dispositivos destinados a estabelecer ou interromper o fluxo em uma tubulação e também a controlá-lo se desejado. São os acessórios de tubulação mais importantes, merecendo cuidados especiais na sua localização, seleção e especificação.
- **Filtros:** Os filtros são também aparelhos separadores destinados a reter corpos estranhos, poeiras e sólidos em suspensão de correntes de líquidos ou gases.
- **Tanques:** Os tanques armazenam os diversos produtos envolvidos nas produções de substâncias líquidas.
- **Vasos:** Consistem em um casco cilíndrico fechado nas extremidades por dois tampos. Podem ser esféricos ou elipsoidais, e são utilizados para armazenamento de gases liquefeitos em alta pressão.
- **Trocadores de Calor:** Trocadores de calor são equipamentos em que dois fluidos com temperaturas diferentes trocam calor através de um interface metálica. Esta troca térmica é empregada para atender as necessidades do processo e/ou economizar a energia que seria perdida para o ambiente.

- **Fornos:** Os fornos têm a finalidade de fornecer o calor produzido pela queima de combustíveis ao fluido que circula numa serpentina de tubos no seu interior. São equipamentos de grande importância técnica nas refinarias e indústrias petroquímicas.
- **Analisadores:** Servem para verificação e análise de substâncias líquidas, sólidas e gasosas.
- **Medidores:** Medem a pressão de equipamentos como trocadores de calor e fornos.

É importante lembrar que existem outros equipamentos básicos que atuam em industriais, os quais não estão presentes neste trabalho. Conhecendo a função de cada equipamento que foi modelado em nosso trabalho, vamos mostrar como funciona o processo de aquisição do conhecimento.

## 4.2 Metodologia

Os equipamentos descritos têm características diferentes e atuam em diferentes setores de uma indústria. Uns são muito pequenos e outros muito grandes. Outros são fáceis de se ver e outros impossíveis, por se encontrarem em locais de acesso restrito ou por utilizarem produtos corrosivos e nocivos a pessoas sem roupas adequadas. Ou seja, são muitos os problemas de se capturar informações de equipamentos industriais em seus locais de atuação. A utilização de catálogos e manuais técnicos trazem informações importantes para o processo de modelagem, como o formato de peças e a montagem do equipamento. Entretanto, tal material não exhibe o funcionamento interno de um equipamento. Uma descrição referente ao caminho que um fluido passa por dentro do equipamento e como as peças internas atuam quando o equipamento está em funcionamento não se encontram em tais manuais. Porém, se encontram nas pessoas que os operam diariamente, os funcionários da indústria.

Com processos de imersão na literatura fizemos uma pesquisa por informações referentes aos equipamentos. Segundo Mastella [37] o objetivo da imersão é compreender um mínimo a respeito do trabalho que está começando o processo de aquisição, isso facilita

que análises a respeito do trabalho que se está pesquisando sejam realizados. Percebemos três conjuntos de equipamentos: equipamentos pequenos, com poucas peças, os quais informações são facilmente encontradas em documentos como catálogos, manuais e livros; equipamentos de médio porte, com quantidades altas de peças, os quais as informações também são encontradas em documentações, porém, para um entendimento mais detalhado são necessárias informações adquiridas através de profissionais, ou realizando visitas a locais de manutenção para a realização de seções de fotos e entrevistas; e equipamentos de grande porte, que contém centenas de peças sendo impossível a visualização global do equipamento, nesta modalidade, entrevistas são essenciais.

Sendo assim, nossa metodologia primeiramente busca informações básicas e objetivas para se ter um mínimo de compreensão a respeito dos equipamentos industriais. Após de nos familiarizarmos com os termos que pertencem a determinado grupo de equipamentos, analisamos se existem informações suficientes para começar a modelagem. Caso sejam suficientes é iniciada a modelagem do equipamento. Com o modelo pronto é realizada uma validação do modelo. Processo que verifica se o modelo feito esta bom. Com o modelo finalizado e validado é feita a animação, que também passa por uma validação ao seu término. Com o modelo e a animação finalizados são feitas imagens que destacam detalhes do equipamento. As animações e as imagens são então inseridas na ferramenta juntamente com o módulo interativo e textos. Para cada conjunto de equipamento, a forma de aquisição de informações é diferenciada. Como vemos a seguir.

#### **4.2.1 Aplicação de métodos de aquisição do conhecimento**

O trabalho de aquisição deve começar com uma visita as áreas industriais de produção. Podemos chamar tal prática de **técnicas de observação**. De acordo com Liou [35], tais técnicas fornecem aos profissionais responsáveis pela aquisição do conhecimento se familiarizar com termos e processos das indústrias. No caso de pessoas que não saibam nada a respeito de equipamentos industriais, é necessário ter uma visão ampla do universo a ser modelado e representado tridimensionalmente. O procedimento realizado deve ser simples. O empregado mostra sucintamente os equipamentos em seus locais de funcionamento, explicando suas funções. Anotações e fotos devem ser tiradas e armazenadas

para estudo. O registro de informações é fundamental para a criação de **relatórios não verbais**, que podem ser em formato de texto corrido, tabelas, ou gravações de voz.

A observação dos processo e da dinâmica de trabalho industrial cria um vínculo do profissional de gestão com os profissionais da indústria. Na hora do gestor realizar análises referentes aos equipamentos, ou mesmo realizar estudos terá mais facilidade de identificar e entender características do equipamento.

A segunda parte do trabalho é realizar um taxonomia dos equipamentos a serem modelados e animados. Descreveremos a taxonomia dos equipamentos de nosso trabalho na seção seguinte. Com a taxonomia a tarefa de aquisição fica simplificada. Dependendo da classificação do equipamento é possível identificar quais profissionais dominam o conhecimento necessário para entendê-lo, ou em que área da indústria o equipamento atua.

Assim, a aquisição de conhecimento pode efetivamente começar. As informações, na maioria das vezes, são adquiridas com o auxílio de profissionais que trabalham na indústria, os quais não podem realizar tais práticas muitas vezes por questões de produção. Eles normalmente dominam o conhecimento necessário para o desenvolver da produtividade, sendo necessários no trabalho. Sendo assim, o processo descrito a seguir deve tentar aquisitar o máximo de informações possíveis quando realizados.

A aquisição de conhecimento de um equipamento de pequeno porte pode ser realizada com **entrevistas estruturadas** a profissionais que tenham domínio completo sobre o equipamento em questão. As entrevistas estruturadas forçam o profissional de gestão a ser sistemático e mais participativo da entrevista [30]. A estrutura da entrevista pode ser feita referenciando questões ligadas ao funcionamento, quantidade de peças, e dinâmica interna do equipamento. Além das entrevistas, catálogos e manuais de tais equipamentos devem ser consultados, na maioria deles existem ilustrações que exemplificam a forma do equipamento.

Para equipamentos de médio porte, todas as fontes de consulta dos equipamentos de pequeno porte devem ser consultadas. Entretanto é necessário realizar visitas a locais de manutenção de tais equipamentos. Por serem maiores, cerca de 1 a 3 metros de comprimento, 1 metro de altura e 1 largura, têm pouco material ilustrativo. Manuais e catálogos podem ou não trazer informações, geralmente trazem poucas imagens, não sendo possível

visualizar o equipamento facilmente. Também não trazem ilustrações de todas as peças que compõem um equipamento. Assim, as visitas são feitas para que informações referentes a forma das peças e do equipamento sejam adquiridas juntamente com informações referentes a dinâmica interna de funcionamento. Para tais equipamentos, o procedimento de aquisição é realizado da seguinte forma: Nas instalações de manutenção, onde o equipamento se encontra desmontado, são tiradas fotografias de cada peça. As fotografias devem ser tiradas com o objetivo de varrer e mostrar toda forma do equipamento, tanto externamente como internamente. Ao mesmo tempo em que são tiradas as fotos, deve ser realizada uma entrevista que pode ser estruturada, mas ocasionalmente acontece de forma **não estruturada**. Schreiber *et al.* [53] diz que tal método de entrevista deve ser usado quando profissional de gestão e empregado da indústria precisam criar um bom relacionamento. Nessa entrevista podem ser registradas informações referentes a montagem e funcionamento interno do equipamento.

Para a aquisição de conhecimento de grande porte o material a ser consultado é diferente dos demais citados anteriormente. Não há como tirar fotografias de equipamentos de grande porte. Primeiro, pela escala do equipamento, chegando a medir mais de 40 metros de altura. Segundo, por questões de segurança. Para a aquisição de informações de tais equipamentos, primeiramente devem ser consultadas ilustrações, caso existam, de tais equipamentos. A utilização de “plantas” devem ser usadas para o entendimento e estudo do equipamento. Entrevistas são fundamentais. Profissionais com anos de trabalho têm o conhecimento total de tais equipamentos. O motivo é simples, são equipamentos caros e de difícil operação. As entrevistas então devem obrigatoriamente serem estruturadas abordando questões referentes ao processo (papel que determinado equipamento realiza), operação (referente ao manuseio interação do funcionário com o equipamento), dados do equipamento (características, quais peças o compõem, entre outros), sistemas internos (referentes a dinâmica interna do equipamento) e funcionamento (informações gerais) do equipamento.

Com essas três abordagens é possível adquirir informações suficientes capazes de serem traduzidas e transformadas em formas explícitas de conhecimento. Outras técnicas podem ser usadas nos procedimentos aqui descritos. Em muitas seções de fotos, nós

utilizamos vídeos para registrar determinados tipos de processos. Realizamos em equipamentos pequenos, onde é possível se visualizar o equipamento desmontado. As gravações de vídeos possibilitam visualizarmos o funcionamento do equipamento de forma simplificada. Juntamente com o vídeo, explicações por parte dos técnicos e operadores ficam registradas e podem ser analisadas. Outra técnica que pode ser usada é a utilização de gravadores e voz. Assim, todo o registro de conversas e entrevistas ficam armazenadas para eventuais consultas.

#### **4.2.2 Organização das informações**

A organização das informações acontece logo após a obtenção de dados e informações referentes aos equipamentos. Nesta fase é necessário realizar relatórios das informações obtidas, que pode ser feita através de uma listagem dos equipamentos. Após, deve ser feita uma separação e armazenamento de todo o material adquirido. A nomenclatura dos arquivos deve respeitar o nome das peças e o formato o qual a informação foi obtida, por exemplo, via documentos ou via entrevistas. Dessa forma uma base de dados é construída para eventuais consultas.

Ao final da separação e classificação do material realizamos procedimentos que avaliam se o material é suficiente para se começar o processo de modelagem e animação. Perguntas como: Como o equipamento funciona? Como acontece a montagem do equipamento? Como funciona a dinâmica do equipamento?, entre outras perguntas devem ser respondidas e registradas em relatórios. Dessa maneira é possível identificar se faltam informações ou não para o início da fase de modelagem. Caso as informações sejam insuficientes, novas busca pelas informações devem ser realizadas.

A organização das informações deve ser feita e passadas aos profissionais que deveram consultá-las. A consulta deve ser feita somente na base de dados e podem ser criados relatórios dizendo quais informações foram utilizadas. A consulta deve ter associada ela informações textuais que indiquem orientações aos modeladores, o processo de interpretação dos dados pode levar a erros, como o caso da bomba vertical mencionado. Uma classificação de dados, nomenclaturas simples e diretas e relatórios devem ser feitos para que a base de dados não se desorganize.



### 4.2.3 Treinamento dos profissionais de modelagem e animação

O trabalho de aquisição só termina quando o modelador, responsável pela produção, passa a conhecer e saber como realizar sua tarefa. Etapas devem ser consideradas nessa fase:

- Devem ser selecionadas as informações as quais o modelador devera consultar. O material deve possibilitar que o processos de modelagem aconteça.
- Explicações devem ser passadas detalhadamente, sendo tiradas dúvidas do modelador sempre que preciso.
- O modelador deve ter a disposição todas as informações necessárias à modelagem na base de dados.
- Caso necessário, relatórios devem ser feitos com o objetivo de guiar e estabelecer suporte ao modelador em sua tarefa

Explicar a respeito de processos mecânicos deve ser um trabalho metódico. A explicação deve ser realizada da mesma forma que se explica um algoritmo, passo a passo. O profissional de gestão, responsável por decidir sobre o que é importante destacar no modelo tridimensional, deve definir padrões à modelagem. O grau de qualidade e verossimilhança com o equipamento real devem ser de tal forma que, não tomem muito tempo do trabalho de modelagem e tenham uma aparência fotorealística mínima. O modelador, por ser um profissional de artes, pode tomar um rumo no trabalho de modelagem com muitos detalhes e cuidados desnecessários. Em certas animações, a modelagem de detalhes podem gerar perda de tempo e não serem exibidas na animação, por não serem tão importantes para uma aula. Dessa forma é preciso medir e deixar claro ao profissional metas e qual o objetivo do trabalho. Essa processo é muito subjetivo, restando ao profissional de gestão transmitir um bom senso ao modelador.

As informações de aparência da cena também devem ser explicadas no começo do processo de modelagem. Informações referentes ao ambiente o qual o equipamentos está inserido são vitais para a contextualização de informações do equipamento. Explicações referentes a animação devem seguir as mesmas regras. Porém, essa etapa do trabalho é mais delicada. As explicações da animação devem seguir um roteiro validado e aprovado.

Resumidamente, o modelador deve ter a sua disposição qualquer informação que necessite. Entretanto, o canal de comunicação entre o profissional da indústria ou informações vindas de documentos, com os modeladores, devem ser realizadas por gestores. A centralização de informações neste caso é fundamental para a objetividade das informações a serem abordadas nas imagens e animações.

### 4.3 Taxonomia

A técnica a qual utilizamos para elaborar a taxonomia dos equipamentos industriais foi baseada em *Card Sorting*, chamada também de **classificação de conceitos**. Tal técnica visa identificar e organizar termos ou conceitos e seus relacionamentos num domínio particular [64], tais como classificação, hierarquias, e outras características dos objetos do domínio em questão, que no nosso caso são os equipamentos industriais. O método de aplicação da técnica, para o nosso caso, deve ser realizado com especialistas de indústria com conhecimentos sólidos na área desejada e da seguinte maneira:

- Escreve-se os nomes dos equipamentos em fichas
- Os especialistas separam as fichas em grupos, seguindo critérios (que devem ser estabelecidos, como forma, tamanho, local de utilização) repetidas vezes
- Seleciona-se um dos grupos e repete o procedimento
- O especialista pode incluir ou eliminar equipamentos ou atribuições dos equipamentos se achar necessário

Dessa forma, chegamos aos seguintes resultados:

Os equipamentos industriais básicos são classificados de acordo com atributos como atuação, função, tipo, posição, e funcionalidade. Seguindo tal classificação, os equipamentos básicos são divididos em equipamentos **dinâmicos** e **estáticos**.

Os equipamentos dinâmicos por sua vez são classificados em: **acionadores**, **intermediários** e **acionados**. Os equipamentos acionadores fornecem a energia necessária aos acionados. Os equipamentos intermediários fazem a ligação entre equipamentos

acionadores e acionados, são equipamentos que controlam contato e rotação. Os equipamentos acionados são aqueles que recebem energia dos equipamentos acionadores para desempenhar alguma determinada função.

Os equipamentos estáticos são classificados segundo suas áreas de atuação, que são **alinhamento de produtos, armazenamento, reação química e transferência de calor**. Dentro de tais classificações se encontram os equipamentos propriamente ditos que são classificados segundo suas características. A classificação completa é apresentada na figura 4.1 para os equipamentos dinâmicos, e na figura 4.2 para os equipamentos estáticos.

Veremos no próximo capítulo como o processo de modelagem permite a criação de imagens e animações de tais equipamentos.

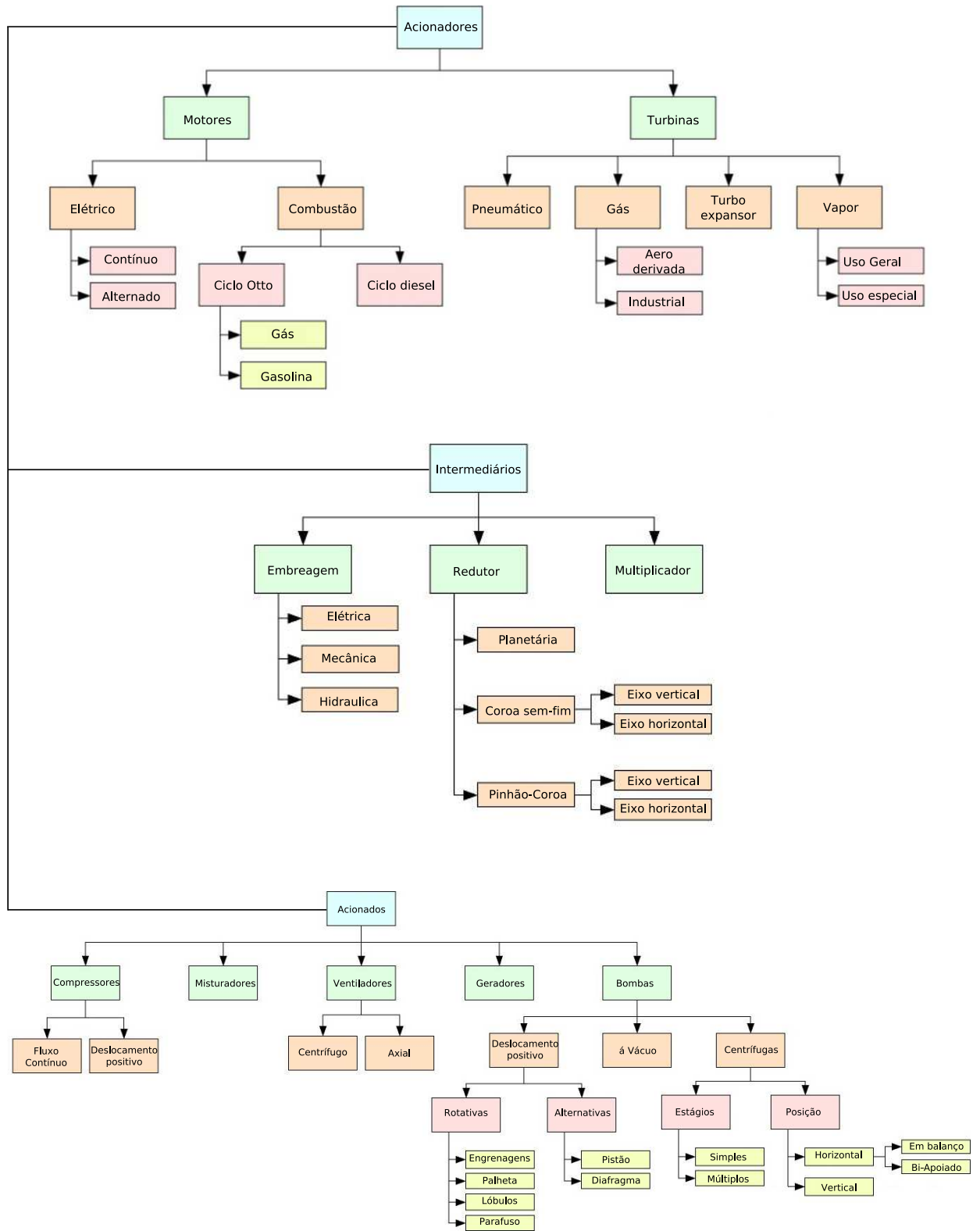


Figura 4.1: Equipamentos dinâmicos

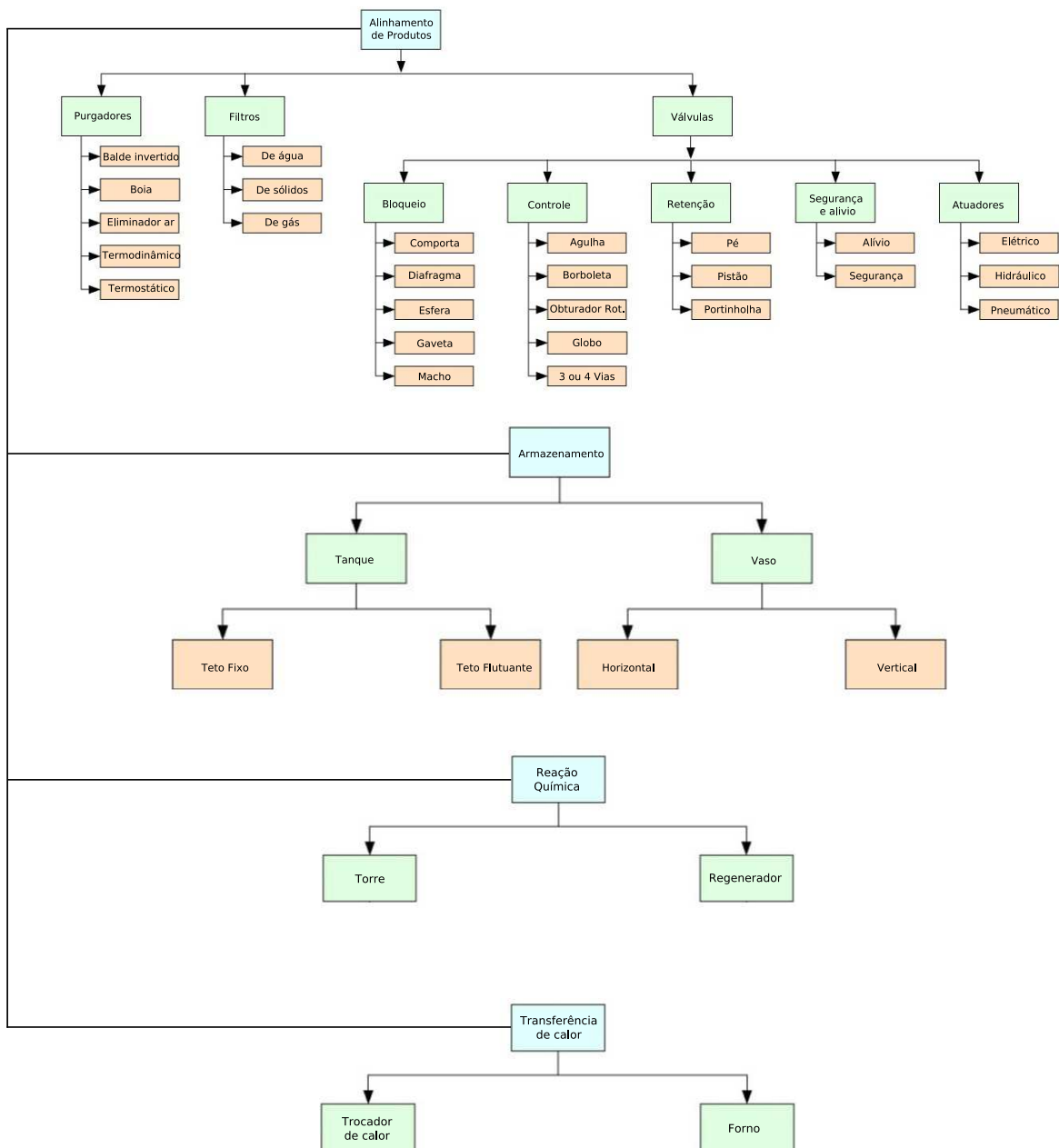


Figura 4.2: Equipamentos estáticos

# Capítulo 5

## Modelagem 3D

Neste Capítulo apresentamos o serviço de Modelagem 3D. Este serviço foi implementado através do uso de programas de modelagem 3D e de edição de imagem e vídeo para geração dos modelos CAD e edição de vídeo. A definição de qual programa de modelagem 3D a ser utilizado para a modelagem teve papel fundamental no desenvolvimento deste serviço. Por esse motivo, realizamos inicialmente um estudo comparativo de ferramentas de design para determinar aquela cujas características são mais adequadas à modelagem de equipamentos e processos industriais. Apresentamos a seguir o estudo comparativo entre dos programas de modelagem 3D e programas de edição de vídeo. Finalizando, apresentamos todos os passos realizados durante a modelagem.

### 5.1 Programas de modelagem 3D e edição de vídeo

Os programas de modelagem 3D são usados para a criação de cenas e modelos tridimensionais que permitem a geração de imagens e animações com qualidade muito próxima a de uma foto ou vídeo real. Através de uma interface gráfica que permite a manipulação de objeto geométricos, pode-se criar qualquer objeto que se deseje. Além de possibilitar a modelagem de objetos, muitos dos programas de modelagem permitem a criação de animações e de jogos. Atualmente, são muito utilizados para a elaboração de efeitos especiais em filmes, programas de televisão e jogos.

Atualmente existem muitos programas de modelagem 3D. Cada um deles apresenta

ferramentas básicas (encontradas em quase todos os programas) e específicas (exclusivas de um determinado programa). Dentre as ferramentas básicas, podemos citar aquelas relacionadas a modelagem e a animação de objetos rígidos, que apresentamos no Capítulo 2. As ferramentas específicas são relacionadas a animação de sistemas de partícula, como água e fogo, ou a técnicas de pintura em superfícies.

Realizamos uma comparação entre os principais programas de modelagem 3D com o objetivo de utilizar um programa que possuísse todas as ferramentas necessárias ao nosso trabalho. Para a modelagem de equipamentos industriais algumas exigências devem ser seguidas: o programa deve ter ferramentas básicas para a modelagem e animação e deve ter embutido e ele ferramentas de modelagem de sistemas de partícula, para que sejam feitas animações que simulem a dinâmica de fluidos. Como exemplo de uma modelo tridimensional e sua respectiva animação que é exibido em nossa ferramenta, temos o equipamento válvula gaveta. A válvula gaveta é um equipamento composto por peças de diferentes formas e tem a função de impedir, ou dosar o fluxo de algum fluido por uma tubulação. A animação de tal equipamento deve representar: um fluido colidindo com o equipamento e sendo liberado aos poucos a medida que o equipamento é posto em funcionamento. A figura 5.1 mostra imagens da animação final do equipamento.

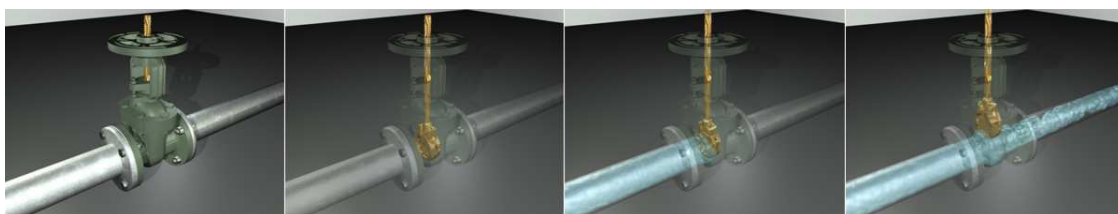


Figura 5.1: Animação do equipamento válvula gaveta

Nos testes que realizamos, usamos programas como 3D Max [38], Rhinoceros [51] e SolidWorks [56] para a criação de animações. No final de nossa pesquisa, nos deparamos com dois programas que atendem ao trabalho de confecção de modelos tridimensionais, renderização de cenas e animações. O **Blender** [1] e o **Maya** [39], os quais descreveremos suas principais características a seguir.

### 5.1.1 Blender

O Blender (ou Blender 3D) é um programa *open source* (código aberto), desenvolvido pela Blender Foundation. Originalmente, o programa foi feito como uma aplicação fechada pelo estúdio holandês de animação **NeoGeo** e **Not a Number Technologies (NaN)**. O autor principal, Ton Roosendaal, fundou em junho de 1998 a NaN para desenvolver e distribuir o programa. O Blender foi distribuído inicialmente como freeware até que NaN falisse em 2002. Os desenvolvedores concordaram em liberar o Blender como *open source*, sob os termos do GNU (General Public License), com um pagamento único de €100,000. Em 18 de julho de 2002, uma campanha para financiamento do Blender foi iniciada por Roosendaal a fim de coletar doações e em 7 de setembro de 2002 foi anunciado que a coleta de fundos já era suficiente, e que o código-fonte do blender estaria liberado. Atualmente, o blender é distribuído gratuitamente.

O blender trás ferramentas de modelagem tridimensional básicas, todas baseadas na manipulação de vértices, faces e arestas. Ferramentas de transformação como escalonamento, rotação e translação e ferramentas que permitem detalhar a modelagem, com arredondamento de quinas e subdivisão de malhas. As ferramentas para se obter imagens com efeitos de iluminação e textura também estão presentes no blender. Existem várias opções a criação de iluminação e texturização de uma cena. As ferramentas para animação são baseadas nas técnicas de **keyframe**, e podem ser feitas também com auxílio de **bones**. As animações de corpos rígidos, que envolvem colisão, podem ser feitas através de um *game engine* que pertence ao programa. Uma *game engine* é um ambiente de criação de um jogo ou aplicação gráfica que pode ser feita através de uma interface gráfica e sem a necessidade de se programar. As *game engines* calculam colisões entre objetos e viabilizam um conjunto de opções para determinar comportamento dos objetos de um jogo. Outra vantagem do Blender é a possibilidade de se realizar rotinas em scripts *python*. A compatibilidade de arquivos do Blender também é bem elaborada. Com o blender é possível salvar arquivos para serem abertos em outros programas de modelagem 3D como o 3D Studio Max e existem diversos tipos de formato de arquivo (extensão), como “*off*” e “*obj*” que podem ser atribuídos aos modelos tridimensionais. Também são encontradas muitas referências, manuais e tutoriais do Blender na internet. Porém, o blender ainda é um



programa em crescimento.

O blender é deficiente nos seguintes aspectos: o programa, por ser novo nos dias atuais, não trás ferramentas elaboradas para simplificar a modelagem, como a ferramenta *bend*, que deforma o objeto segundo parâmetros numéricos “entortando-o”. A mesma deficiência se encontra na quantidade de materiais e texturas disponíveis no próprio programa, não existem muitos materiais prontos, ou pré configurados, restando ao usuário a criação de um material sempre que precise. Outro ponto deficiente é referente a simulação de fluidos, que na versão atual do programa (versão 2.34) ainda não está totalmente desenvolvida. Por exemplo, ainda não é possível simular um fluxo de água. Outro problema se encontra no processo de renderização do blender, que não é tão eficiente. Como solução é utilizado um *plugin*, que deve ser instalado a parte, chamado **Yafray** [65]. Ele que realiza o processo de renderização de imagens com mais precisão, ou seja, proporciona a confecção de imagens com aparência fotorealística. A interface do Blender também é muito pouco intuitiva, dificultando o uso do programa.

### 5.1.2 Maya

O Maya surgiu a partir de de três outros softwares, o **Wavefront Advanced Visualizer** (na Califórnia), **Thomson Digital Image** (TDI) Explore (na França) e **Alias Power Animator** (no Canadá). A Alias Research foi fundada em 1983 e a Wavefront Technologies em 1984. Em 1993 a Wavefront comprou a TDI e em 1995 se uniu com a Alias incorporadas pela Silicon Graphics Inc (SGI) formando a Alias—Wavefront. Três anos depois o programa Maya foi lançado. Recentemente, a Autodesk fundiu a Alias—Wavefront e ampliou seu domínio sobre o mercado 3D.

O Maya, além de possuir todas as ferramentas básicas de modelagem e animação, possui diversas ferramentas extras que facilitam a modelagem de objetos rígidos. Também possui uma vasta quantidade de materiais e texturas pré configurados para serem utilizados. E trás muitas ferramentas que facilitam a aplicação de textura e a pintura de superfícies. Além das ferramentas de modelagem, o Maya é bem completo para a elaboração de animações com sistema de partículas. A simulação de fluidos é bem explorada no programa, viabilizando a criação de qualquer animação que tenha um fluxo de fluido em

sua composição. O programa também dá a opção de leitura de alguns tipos de extensão e possibilita que um modelo 3D possa ser salvo em extensões como “obj” e “wrl”, sendo bem compatível com outros programas.

A desvantagem do Maya se encontra no preço do programa, que custa o equivalente a um computador pessoal topo de linha. E sua interface também é pouco intuitiva, pela quantidade de opções e botões presentes.

Resumimos as principais diferenças entre os dois programas na tabela 5.1.2. A figura 5.2 exibe a interface gráfica dos dois programas.

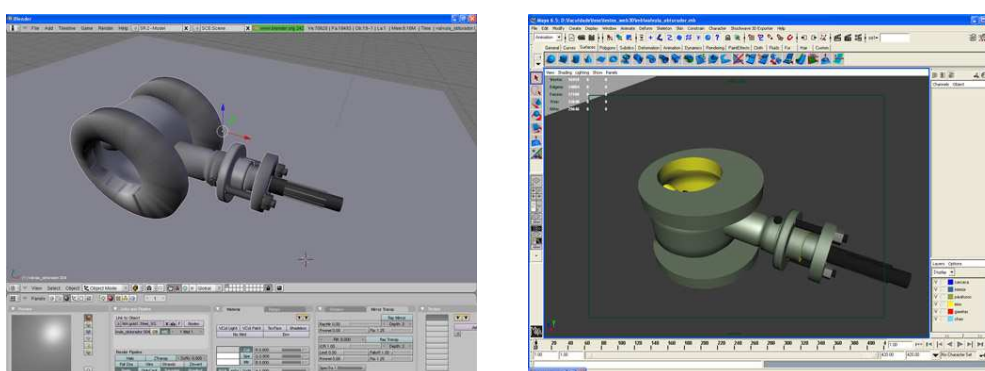


Figura 5.2: Da esquerda para a direita os programas Blender e Maya respectivamente

O programas de modelagem 3D realizam o processo de renderização de imagens automaticamente, assim, basta ter uma modelo 3D com iluminação e textura para que aconteça a criação de imagens e animações. Porém, os programas de modelagem 3D não trazem embutido ferramentas para a edição de vídeo. As quais discutiremos a seguir.

### 5.1.3 Programas de edição de vídeo

Edição de vídeo é o processo de corte e montagem de filmes em meio analógico (edição linear) ou digital (edição não linear). Este processo é necessário pois, os filmes normalmente são gravados em partes, divididos por cenas ou tomadas que são feitas diversas vezes e por diferentes ângulos. A edição de vídeo consiste em decidir que tomadas usar, quais são as melhores e uní-las na seqüência desejada. Pode-se inclusive montar

Tabela 5.1: Comparação entre os programas Maya e Blender

Programa	Maya (versão 6.5)	Blender (versão 2.36)
Utilização	Muito usado em filmes, programas de televisão e jogos	Programa gratuito mais usado
Formatos de entrada	Todos os formatos de imagem e mayaAscii, mayaBinary, mel, DWG, DXF, OBJ (.mtl), IGES, aliasWire (StudioTools), aiff, image, RIB, mov (ascii motion) e VRML2	3DS, BMP, TGA, JPG, PNG, Iris, SGI Movie, OBJ, AVI and Quicktime GIF, TIFF, e MOV (Windows and Mac OS X)
Formatos de saída	aliasWire(StudioTools), IGES, DWG, DXF, OBJ, VRML2, mayaASCII, myaBinary, mel, mov, GE2, RTG, OpenFlight, Macromedia Flash, Adobe Illustrator, Scalable Vector Graphics, Maya IFF, AVI/QuickTime, GIF, Softimage®, Wavefront RLA,bmp, TIFF, SGI RGB, Alias PIX, JPEG, EPS, Cineon, Quantel® e Targa®	TGA, BMP, JPG, PNG, Iris, SGI Movie, IFF, AVI, Quicktime GIF, TIFF, PSD e MOV (Windows and Mac OS X), .blend
Vantagens	Muitas ferramentas extras que facilitam o trabalho de modelagem, iluminação e textura. Possui simuladores de partícula que representam fluidos de forma realística.	É um programa gratuito. Tem ferramentas de desenvolvimento básicas bem implementadas. Poder ser complementado com scripts em python. Possui uma vasta literatura disponível na internet.
Desvantagens	É caro. Tem uma interface pouco intuitiva. Não existe muito material bibliográfico sobre o programa	Tem uma interface pouco amigável. O processo de modelagem é mais trabalhoso por não ter muitas ferramentas que facilitem a modelagem. Necessita de renderizadores externos para bons resultados. Não possui sistemas de partículas bem aprimorado para a simulação de fluidos.

seqüências fora da ordem cronológica de criação. Editar um filme ou vídeo não se limita a escolher as melhores cenas, é nesta fase da produção que são inseridos efeitos especiais como efeitos visuais e trilhas sonoras.

No nosso trabalho foi essencial a utilização de programas de edição de vídeo para a obtenção de animações com efeitos de transparência. Podem ser utilizados programas como o **Adobe Premier** [2] e **Macromedia Flash** [2]. Tais programas são bastante populares e possuem uma vasta literatura disponível.

## 5.2 Modelagem 3D passo-a-passo

A modelagem, como já foi definida é a etapa mais importante de todo o trabalho. Aqui é reconstruído digitalmente o equipamento industrial. O processo é muito subjetivo. Não existe uma forma ou método definido de como elaborar um modelo tridimensional. Porém, recomendações e padronizações podem ser definidas. O processo básico para se começar a modelagem pode ser feito com a observação do modelo real, como características físicas do objeto. O modelador, utilizando formas geométricas básicas e técnicas de modelagem, reconstrói o objeto criando um modelo tridimensional. A modelagem pode ser iniciada tendo como base fotos do equipamento. Nesse processo são colocadas fotografias do objeto no ambiente de modelagem tridimensional e o modelador começa a dar “volume e forma” aos objetos contidos na foto. Podemos classificar as etapas do processo de modelagem como: **etapa de observação, modelagem, iluminação, texturização e renderização**. A figura 5.3 exhibe as etapas da modelagem de um equipamento.

A etapa de observação é o momento onde as explicações a respeito dos equipamentos são dadas aos modeladores, como, o tamanho e função do equipamentos e detalhes que devem ser priorizados durante a modelagem. Com isso o modelador começa o processo. Terminado o processo de modelagem, um processo de validação é realizado ao final. Caso existam erros, a modelagem recomeça para que as correções sejam feitas. Com o modelo aprovado, começa as etapas de iluminação e texturização, que são realizadas para a obtenção de realismo nas imagens renderizadas. O processo de renderização é

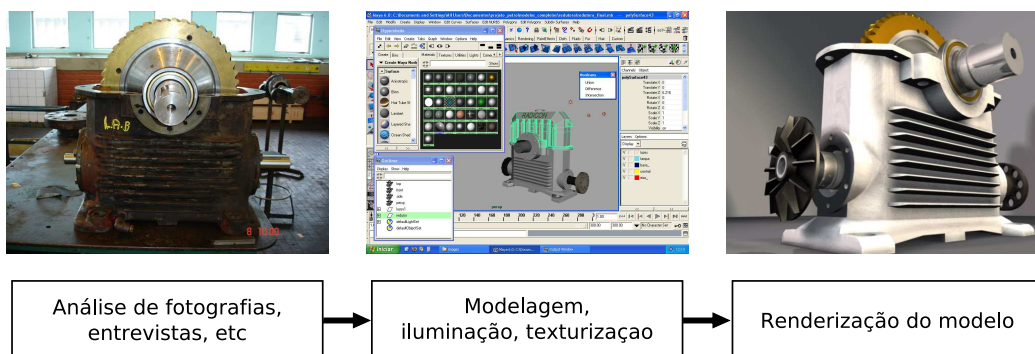


Figura 5.3: Etapas da modelagem de um equipamento

automático e simples para a obtenção de imagens dos equipamentos. Veremos a seguir os padrões adotados em nosso trabalho.

### 5.2.1 Padronizações

As padronizações aqui estabelecidas são um guia para a modelagem dos equipamentos. Neste processo, utilizamos a **modelagem poligonal** para a confecção dos modelos. Também é realizado um processo que viabiliza o **aperfeiçoamento do modelo**, sem a geração de malhas muito irregulares. Deve ser feita uma **nomenclatura dos objetos em cena** juntamente com um **Relatório indicando a situação do modelo**. Essas tarefas devem ser elaborados com o objetivo de organizar e informar a situação da modelagem de um determinado equipamento.

- **Modelagem poligonal** - Primeiramente deve-se modelar cada peça do equipamento, para depois juntá-la e ter então o equipamento modelado. Optamos por realizar essa tarefa através da modelagem poligonal. A modelagem poligonal é o processo de modelagem mais popular entre os artistas de computação gráfica. O processo funciona através da edição de formas, isto significa que os objetos são divididos em sub-objetos. Assim, um objeto convertido em uma malha editável terá um conjunto de sub-objetos para cada elemento que faz parte de sua forma (vértices, arestas e faces). A possibilidade de manipular cada um destes componentes em separado, torna o controle sobre a forma bastante flexível.

- **Aperfeiçoamento do modelo** - Em geral, o processo de modelagem se completa com a aplicação de um modificadores, como o *smooth*, que na verdade é um multiplicador de polígonos, responsável pela suavização das formas do obtida pelo arredondamento de seus cantos. Recomendamos, em um processo de modelagem de peças as quais podem sofrer modificações, não utilizar operações booleanas na sua confecção. As operação booleanas geram uma geometria nas malhas que muitas das vezes são de difícil manipulação.
- **Nomenclatura dos objetos em cena** - Em geral, os programas de modelagem trazem ferramentas que que possibilitam listar todos os objetos em uma cena e nomeá-los. Sendo assim, cada malha criada deve representar uma peça onde, para o programa é considerada um objeto. Nomear cada objeto de acordo com o nome da peça é muito importante. Em um equipamento que tenha mais de 50 peças, por exemplo, uma busca pode se tornar uma tarefa demorada. Tendo uma listagem com todos os nomes associada ao modelo, buscas se tornam simplificadas. É recomendado também realizar a nomenclatura de todas as fontes luminosas e de todas as texturas presentes na cena.
- **Relatório indicando a situação do modelo** - Um relatório deve ser feito ao término do processo de modelagem. Caso o modelo ainda se encontre inacabado, o relatório deve apontar o que foi feito.

### 5.2.2 Iluminação e texturização

A iluminação de cena é elaborada com o objetivo de realçar e facilitar a percepção da forma do equipamento. A iluminação deve se configurada para clarear toda superfície do modelo 3D. Deve-se evitar a utilização de muitas sombras, pois podem atrapalhar na visualização do equipamento. A iluminação elaborada por nos foi configurada da seguinte maneira: colocamos 4 pontos de luz difusa, apontadas para o modelo e ao seu redor em forma de quadrado, todas em um mesmo plano. A luz difusa também é conhecida como luz *spot*. Para tais luzes atribuímos cores que podem variar em vermelho, amarelo e azul, isso realça a cor dos materiais do modelo. Além dessas luzes, colocamos mais um ponto

luminoso no ambiente, uma luz ambiente, também chamada de *point light*. Para a cor dessa luz, optamos pelo branco. Tal foco luminoso permite que o local onde o modelo se encontra fique bem iluminado. A figura 5.4 ilustra dois esquemas de iluminação utilizados em nossos modelos. Esse esquema de iluminação é utilizado nas animações e na renderização de algumas imagens. Para a elaboração de imagens de detalhes de partes dos equipamentos utilizamos a técnica de iluminação baseada em HDRI, onde só é necessário ter um fotografia como base para a iluminação.

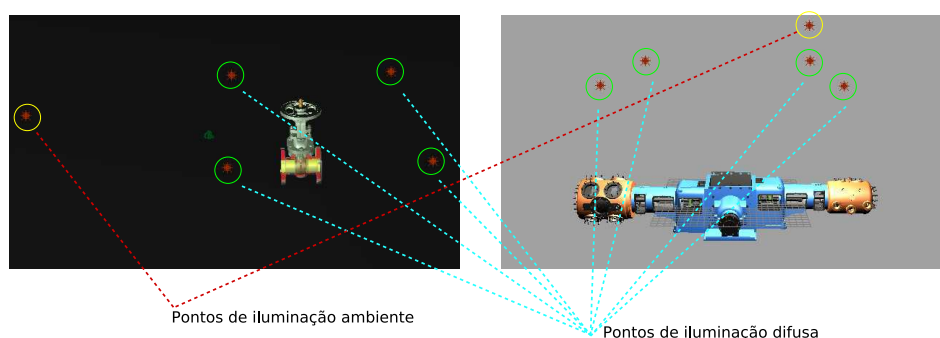


Figura 5.4: Esquema de iluminação elaborado para a elaboração de animações

Para a texturização, criamos bibliotecas de textura a partir das fotografias tiradas. A biblioteca foi organizada segundo o tipo de material o qual a textura se aparenta. Para aplicação da textura, os próprios programas de modelagem oferecem ferramentas para sua aplicação e configuração. Com esse passos, o modelo está pronto para que imagens sejam renderizadas e as animações sejam feitas.

### 5.2.3 Elaboração de Roteiro de Animação

Podemos definir como roteiro de animação uma seqüência de desenhos que mostra parte da animação de forma simplificada. As decisões a respeito de como deve ser a animação podem ser elaboradas a partir das características do equipamento e baseadas nas entrevistas com técnicos. Durante a criação do roteiro de animação, deve-se ter a exata noção do funcionamento e da dinâmica interna do equipamento. Os desenhos são criados e com eles é possível determinar as posições que uma câmera virtual deve percorrer. Ao final, uma validação verifica se o conteúdo mostrado pelas imagens está correto.

Em nosso trabalho basicamente foram feitos dois tipos de roteiro de animação. Um em que a camera virtual fica parada acompanhando o equipamento em funcionamento, e outra que a camera se move de acordo com a movimentação do fluido dentro do equipamento. O roteiro também prevê momentos da animação onde destaques podem ser dados, como a visualização de uma caixa de controle, ou o momento de um processo complicado do equipamento. A camera, nesses momentos, fica parada por um certo tempo para que o detalhe possa ser visualizado.

## 5.2.4 Rendering

Com o auxílio do roteiro de animação é feita a animação e o processo de renderização de imagens. Neste processo, as imagens são geradas de modo a possibilitar uma visualização interna do equipamento.

Podemos definir como edição da animação o processo de reunir as imagens geradas pela renderização em uma única animação, que chamaremos de vídeo. Neste processo, organizamos as imagens em uma linha do tempo que passa a ser chamada de **quadro**. Dentro da linha do tempo construímos camadas de quadros, de acordo com a complexidade da animação de funcionamento do equipamento. Os quadros, então, são organizados dentro das camadas, que por sua vez são editados para gerar a animação final. Usamos o padrão de 30 quadros por segundo para alcançar um maior realismo.

As camadas nos permitem transitar entre detalhes das peças dentro do equipamento que queremos colocar em evidência na animação. Através do controle de transparência (ou opacidade) de ressaltar algumas camadas. A decisão de quantas, e o que deve aparecer em cada camada, fica dependente da quantidade de peças existentes no equipamento e da complexidade do funcionamento do mesmo. Essa decisão deve ser tomada antes do passo de renderização, onde geramos as imagens que serão utilizadas na edição da animação. Se a quantidade de camadas for insuficiente para explicar o funcionamento, ou alguma parte ficar oclusa, o passo de renderização deveria ser refeito, atrasando muito o processo. Na verdade, o roteiro de animação é responsável pela determinação do número de camadas a serem renderizadas.

Utilizamos para as animações mais simples apenas 2 camadas, uma para o exterior do



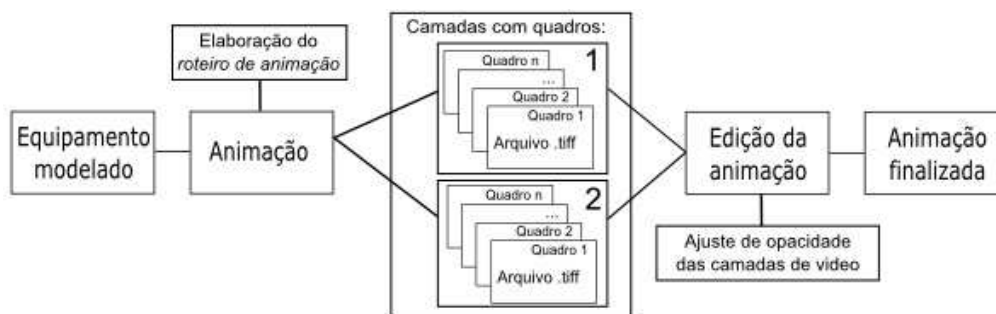


Figura 5.5: Processo para animação dos modelos - Edição da Animação

equipamento e outra para as partículas que trafegam no seu interior. É exemplificado na Figura 5.5 o processo de edição das animações mais simples. A quantidade de quadros por camada não necessariamente é a mesma. Por exemplo, existem momentos em que a câmera fica parada por um tempo e temos uma camada em que aparecem apenas partes imóveis do equipamento, a qual chamamos de camada inativa. Podemos renderizar apenas uma camada para cada um desses momentos e usá-la durante todo o tempo. Por outro lado, existem camadas em que fluidos ou partes móveis interagem, o que chamamos de camadas ativas. Nas camadas inativas temos apenas 1 quadro pelo tempo em que a câmera ficar parada. Por esse motivo, e por ser mais didático, procuramos mover o mínimo necessário a câmera dentro do ambiente virtual.

Finalmente, os quadros são organizados, dentro das camadas, na linha do tempo e as animações são concluídas. Cada animação tem em torno de 15 segundos e, por terem poucas camadas ativas, necessitam em média de 500 quadros.

Cada quadro foi renderizado no formato de arquivo tiff (Tagged Image File Format), por possibilitarem a utilização de transparência. Geramos a animação final em format AVI (Audio Video Interleaved). Por não usarmos nenhum codec (compactador de vídeo) nesse passo, o arquivo de vídeo gerado é da ordem de alguns gigabytes, o que dificulta o armazenamento desses arquivos e o seu transporte. O motivo pelo qual optamos em manter o vídeo RAW (não processado) é manter a alta qualidade contida nos renders de entrada do processo. Discutiremos no próximo capítulo as soluções para o problema de armazenamento e transporte dos arquivos.

Com tais passos viabiliza-se a criação de todos os arquivos necessários para se ferra-

menta VM3D-Anim. No próximo capítulo descreveremos a ferramenta com detalhes e explicaremos todos os procedimentos feitos para a publicação das animações, imagens e módulos interativos.

# Capítulo 6

## Visualização: A Ferramenta

### VM3D-Anim

Neste Capítulo apresentamos o serviço de Visualização. Este serviço inclui a implementação do módulo de visualização dos equipamentos, a ferramenta VM3D-Anim e de suas informações que descreveremos em detalhes a seguir.

#### 6.1 Descrição Básica

A ferramenta VM3D-Anim é elaborada para servir de interface ao acesso da base de dados de equipamentos. De forma simples, todas as imagens, animações, módulos interativos e textos são agrupados de acordo com a taxonomia dos equipamentos. Dessa forma, usuários comuns podem ter acesso a todo material desenvolvido sem dificuldades.

A ferramenta é implementada com o uso de linguagens de programação voltadas para web, que são: linguagem HTML e JavaScript. Preferimos, ou invés de implementar um programa executável, implementar uma aplicação baseada na web. Os motivos que nos levaram a essa preferência foram a facilidade de atualização do sistema, facilidade de acesso e independência de plataforma de acesso. A atualização do sistema é bem simples de ser realizada. Os arquivos referentes a um novo equipamento devem ser inseridos na base de dados juntamente com páginas HTML padronizadas, que devem ser criadas dentro da estrutura de diretórios da base de dados completando o processo. A

utilização das aplicações baseadas na web é feita através de navegadores de internet como o Mozilla Firefox, Netscape Navigator, Internet Explorer, entre outros. Tais programas são encontrados na maioria dos sistemas operacionais atualmente, criando independência de plataforma. Assim, mesmo variando o sistema operacional, o usuário pode acessar a ferramenta VM3D-Anim.

A ferramenta acessa as informações utilizando uma base de dados, que pode ser armazenada em CD-ROM ou em um servidor de acesso. Todos os tipos de arquivos os quais fazem parte da ferramenta são próprios para web. A ferramenta VM3D-Anim disponibiliza para acesso os seguintes formatos de arquivo:

- **PNG (Portable Network Graphics):** é um formato de dados utilizado para imagens, que surgiu em 1996 como substituto para o formato GIF, devido ao facto de este último incluir algoritmos patenteados. Esse formato livre é recomendado pela W3C, suporta canal alfa, não tem limitação da profundidade de cores, alta compressão (regulável), além de outras interessantes características. Além disso o formato PNG permite comprimir as imagens sem perda de qualidade, ao contrário do que acontece com outros formatos, como o JPG. Por isso é um formato válido para imagens que precisam manter 100% da qualidade para reuso.
- **Imagens no formato JPEG (Joint Photographic Experts Group):** o JPEG é um dos formatos de compressão de imagens mais utilizados hoje em dia, especialmente utilizado para comprimir imagens fotográficas. Como é comumente usado em páginas HTML, utilizamos para estabelecer a compactação da imagem necessária. As imagens em JPG aceitam grau de compactação seja definido pelo usuário. Quanto menor o arquivo obtido, menor também será a qualidade da imagem, embora o número de cores seja maior (16,7 milhões). O padrão JPEG é mais adequado para imagens mais complexas, como fotos que apresentam muitas cores e detalhes.
- **SWF (Macromedia Flash Player vector-based graphics format):** o formato de arquivo Macromedia Flash (SWF) é utilizado para a reprodução de composições animadas. Essas composições podem proporcionar interatividade e recursos de

navegação para sites da web. Qualquer navegador com o plug-in Macromedia Flash Player pode fazer a leitura do formato SWF.

- **VRML (Virtual Reality Modeling Language):** tal linguagem permite a modelagem de objetos e cenas e sua navegação através um ambiente 3D em navegadores de internet. O formato de arquivo VRML é o “wrl”. Utilizamos tais tipos de arquivo para a criação de módulos interativos.
- **HTML(Hyper Text Markup Language):** É uma linguagem de descrição de páginas web. Com o HTML podem-se definir paginas que contenham informação nos mais variados formatos: texto, som, imagens e animações.

As imagens dos equipamentos foram finalizadas com os formatos PNG e JPG. As animações, que forma finalizadas no formato AVI no serviço de modelagem, por serem da ordem de alguns gigabytes, foram compactadas utilizando o programa Macromedia Flash e salvas no formato SWF. Com o SWF conseguimos diminuir cerca de 100 vezes o tamanho de cada arquivo de vídeo, possibilitando assim facilidades de acesso e transporte aos arquivos de animação. Os modelos interativos foram salvos no formato WRL. A geração do modelo VRML é bem simples. Os programas de modelagem atuais já possuem mecanismos que exportam o modelo no formato WRL. E os textos foram formatados segundo a linguagens HTML.

O grande problema encontrado foi viabilizar todos esses arquivos de forma organizada através de uma interface amigável. Cada equipamento de nossa ferramenta é composto por pelo menos um arquivo de imagem, animação, interação e texto, sendo assim nossa interface foi feita para suportar e apresentar todas as informações organizadamente, conforme vemos a seguir.

## 6.2 Interface

A importância de interfaces gráficas é atualmente um dos grandes responsáveis por sistemas e softwares de qualidade. Segundo Argollo Jr et al [31] não existem mais questionamentos a respeito da necessidade de implementação de interfaces gráfica, e sim ques-

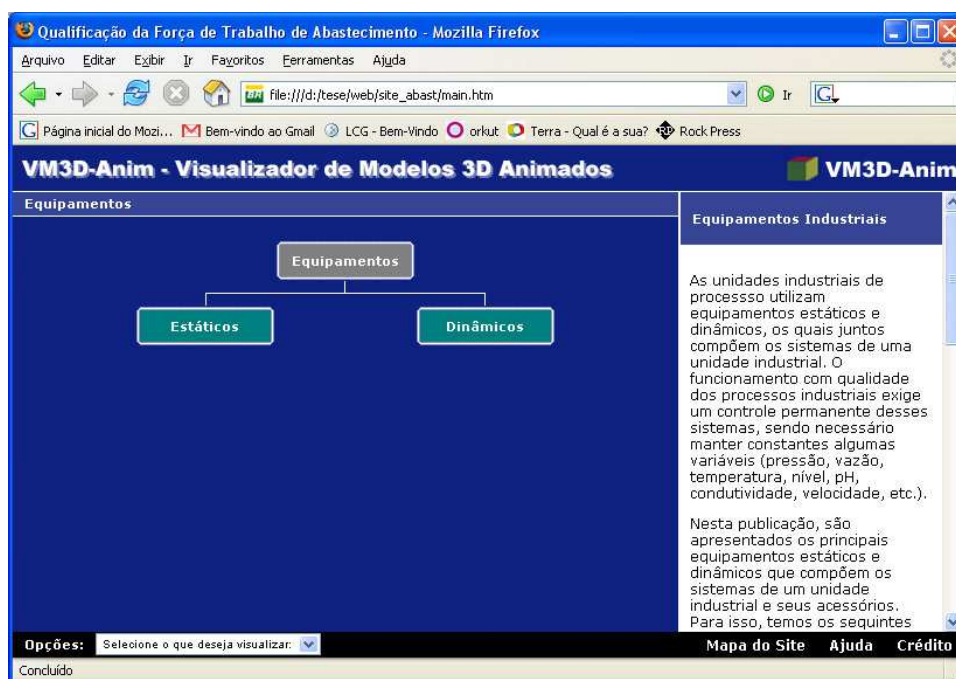


Figura 6.1: Interface Gráfica

tionamentos relacionados a como refiná-las. Sem um boa interface gráfica a comunicação entre o usuário e a aplicação fica comprometida.

As interfaces são responsáveis por realizar a comunicação entre o homem e o computador. De acordo com Paul Heckel [28] projetar interfaces é uma tarefa mais relacionada a comunicação do que computação. Nesse sentido, desenvolvemos uma interface simples e comunicativa ao usuário. Boas interfaces evitam que os usuários se desinteressem pela aplicação. Comunicar de forma agradável é de extrema importância.

Segundo Nielsen [44], usabilidade é o que faz uma interface ser boa. É possível mensurar tal usabilidade analisando cinco atributos: a facilidade de aprendizado da interface, a eficiência de uso, as facilidades de memorização, baixa taxa de erros e uma satisfação subjetiva. Com isso podemos inferir se uma interface é realmente eficaz.

Baseado em tais atributos descreveremos como nossa interface foi projetada. A figura 6.1 exibe a interface em sua primeira tela. Dividimos-na em quatro partes fundamentais: Cabeçalho, localizado no topo da ferramenta, nesta área aparecem informações relevantes à empresa. Área de visualização, localizado na parte central à direita, são exibidas as imagens, animações e os módulos interativos. Área de informações textuais e hiperlinks,

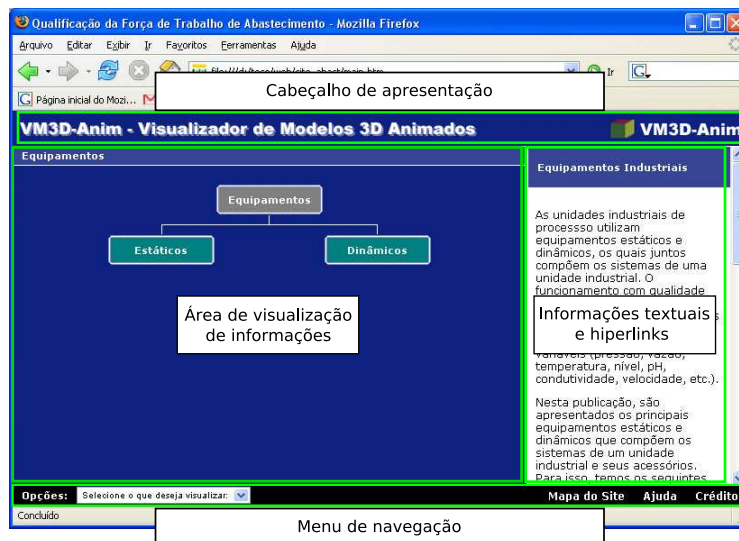


Figura 6.2: Interface detalhada da ferramenta VM3D-Anim

situada ao centro na parte da esquerda, nesta parte são exibidos os textos referentes às informações textuais dos equipamentos e peças. E por último o rodapé, onde se localiza um menu. No rodapé também estão inseridas a navegação geral da ferramenta, como "voltar" para a tela anterior. Vemos na figura

A navegabilidade da ferramenta fica restrita as áreas de visualização e navegação. No caso de equipamentos industriais, conforme foi definida a taxonomia dos equipamentos, o usuário tem a opção de navegar pela taxonomia acompanhando as informações de cada classe de equipamento até o próprio equipamento. Assim o conhecimento referente as classes dos equipamentos ficam registradas de forma explícita. Outra opção dada ao usuário é o acesso as informações por através de um mapa de *links* rápidos, que leva o usuário diretamente ao equipamento que deseja visualizar. De forma mais detalhada, o usuário ao inicializar a ferramenta se depara com definições a respeito do assunto que irá pesquisar, em nosso caso equipamentos industriais. Após estar situado em uma linha de consulta, passa a escolher um equipamentos de acordo com as funcionalidades que deseja, ou seja, caso queira aprender sobre bombas seguirá a classe dos equipamentos dinâmicos até chegar no tipo de bomba que quer escolher. Ao encontrar o equipamento, poderá acessar todos os arquivos criados para estabelecer a visualização do conhecimento.

Temos então, dentro das heurísticas de Nielsen, a seguinte relação:

- Facilidade de aprendizado da interface - com poucas explicações referente a navegação o usuário pode interagir com a interface sem grandes dificuldades. Realizamos uma prática em laboratório com alunos para testar tal aspecto. Apresentamos a ferramenta com explicações simples a respeito de sua utilização. A explicação dada foi referente a forma de navegação e funcionalidades da ferramenta, não demorando mais de 15 minutos para ser realizada. Após as explicações dadas, todos os alunos utilizaram a ferramenta acessando todos os recursos no módulo de visualização disponíveis sem problemas.
- Eficiência de uso - Por ser uma ferramenta baseada em web, sua aplicação é simples de ser feita. A utilização de material gráfico bem elaborado estimula sua utilização e proporciona ao usuário facilidades no aprendizado. Com isso a ferramenta se torna eficiente e seu uso atraente.
- Facilidades de memorização - as informações estão organizadas respeitando uma hierarquia. Isso facilita a memorização dos acessos. Com os conhecimentos a respeito dos equipamentos é possível então saber em que parte da hierarquia estão determinados equipamentos.
- Baixa taxa de erros - Os erros descritos por Nielsen estão relacionados a problemas de interpretação, ou de resposta, como mensagem de erro ao usuário, nossa ferramenta por ser implementada para servir de visualizador, tem a única função de exibir informações. A metodologia de criação dos arquivos impede que erros grosseiros aconteçam, como um equipamento exibido em uma classe diferente da que ele pertence. Os processos de validação e a própria base de dados criada impedem o acontecimento de tais erros para o usuário.
- Satisfação subjetiva - Em nossos estudos, apresentações e validações, o usuário sempre se mostrou satisfeito com a interface. No Capítulo 7 é apresentado um estudo de caso que comprova essa satisfação por parte do usuário.



## 6.3 Base de dados

As informações que são adquiridas devem ser armazenadas segundo o formato de arquivo da fonte, assim, informações textuais devem estar localizadas em uma pasta com o nome do equipamento o qual existam relatórios e entrevistas por exemplo. Fotografias devem estar armazenadas em uma pasta intitulada **fotos**, onde dentro dessa pasta existam subpastas nomeadas segundo o nome do equipamento e nesta pasta então as respectivas fotos. Entretanto, o armazenamento de material produzido deve ser armazenado segundo a taxonomia. Podemos analisar a estrutura de armazenamento de arquivos segundo uma árvore. A pasta “raiz” deve ser intitulada equipamentos, dentro dessa pasta devem existir subpastas que tenham nomes segundo uma primeira classificação dos equipamentos, e assim por diante. As pastas “folhas” devem ter o nome do equipamento propriamente dito e nesta pastas todo o material desenvolvido pela fase de modelagem.

Estabelecemos tal estrutura pelas seguintes razões: o armazenamento segundo o tipo de mídia facilita uma busca simples. Caso o modelador precise acessar fotos de um determinado equipamento o acesso é imediato: fotos → nome\_do Equipamento → arquivo\_de\_foto.extensão. O mesmo acontece com outros tipos de arquivo como textos, vídeos, entre outros tipos. O acesso aos dados produzidos pela fase de modelagem devem ser armazenados segundo a taxonomia por criar uma relação direta com o conhecimento existente para cada equipamento, ou seja, deixar explicitado os tipos de classificação de equipamentos em uma estrutura de diretório remete a usuários interiorizar um conhecimento existente, a própria classificação dos equipamentos. Outro motivo o qual optamos por essa estrutura esta relacionado com a ferramenta de visualização VM3D-Anim. Todos os dados são acessados segundo a estrutura da taxonomia criada.

Outro ponto importante da organização dos dados é referente ao nome dos arquivos. Arquivos de fotos, texto, som, ou qualquer outro arquivo deve estar bem nomeado. Podemos definir “bem nomeado” segundo algumas regras:

- As pastas e os arquivos devem ser nomeados com letras minúsculas, sem acentuação e com separação de palavras representada com o caracter “\_”. Isso possibilita que os arquivos seja identificados sem problemas por qualquer sistema operacional.

- Devem respeitar nomes de acordo com a realidade dos equipamentos. Tal norma facilita explicações que venham a ser dadas aos modeladores.
- Caso existam mais de um arquivo referente a uma peça ou equipamento, devem ser identificados segundo uma numeração, a qual indique uma ordem de início e fim relacionada com a criação dos arquivos.

Todas essas regras, por mais simples, fáceis de serem executadas e aparentemente desnecessárias são essenciais para que os dados e informações adquiridos fiquem organizados possibilitando buscas rápidas e intuitivas.

## 6.4 Visualização e interação

A visualização das informações é feita através do menu de acesso localizado no rodapé, ou por *links* que se localizam nos textos explicativos do equipamento. O usuário ao clicar em um link de animação de equipamento, por exemplo, torna disponível a visualização de um processo relacionado ao equipamento escolhido.

Vemos na figura 6.3 telas na ferramenta exibindo diferentes tipos de informações. Entre elas temos: imagens de peças de equipamentos, imagens em perspectivas do equipamento, animações de processos, animações de montagem e módulos interativos.

A interação do usuário com o equipamento é feita através de módulos interativos feitos em VRML. Os modelos VRML foram criados com o objetivo de tornar possível a compreensão de noções de tamanho e forma, e possibilitar ao usuário navegar pelo equipamento. A partir do modelo VRML é possível realizar rotações, ampliações e translações permitindo ao usuário analisar o equipamento virtualmente. Também é possível ter peças transparentes nas cenas em VRML. Para realizar a visualização do modelo VRML em nossa ferramenta, utilizamos o plugin Cortona da Parallel Graphics [26]. O plugin oferece uma interface gráfica simples onde o modelo em VRML pode ser visualizado e podendo ser realizadas as operações de rotações, ampliações e translações.

Inicialmente, antes de exportarmos o modelo tridimensional para o formato WRL, algumas configurações devem ser feitas. O arquivo em VRML por ser editado nos seguintes

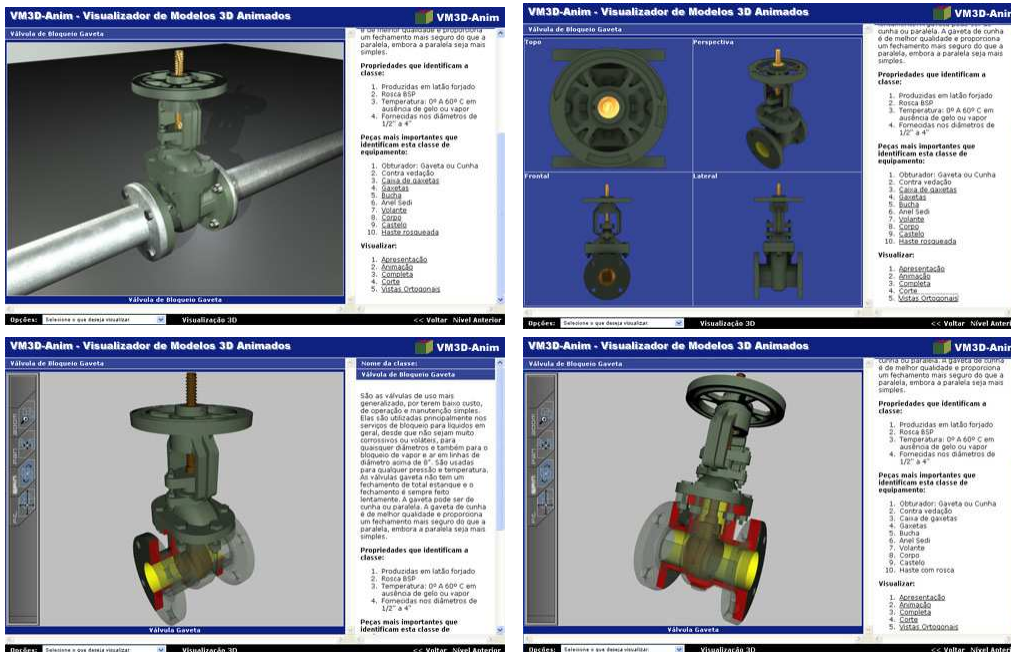


Figura 6.3: Telas da interface gráfica com diferentes tipos de visualização

aspectos: cor de fundo, grau de transparência de algumas peças da cena, posicionamento da câmera virtual e configurações relacionadas a definição de imagem do modelo 3D. Com tais configurações definidas, o modelo está pronto para visualização. Em nosso trabalho optamos por fundo branco, partes de carcaças de equipamentos transparentes, câmera posicionada em alguma vista perspectiva do equipamentos e com as configuração as melhores opções referentes a definição da imagem dos modelos. A figura 6.4 exhibe uma tela da ferramenta com o equipamento válvula gaveta sendo exibido no formato VRML.

Nos próximos capítulos apresentaremos a utilização da ferramenta através de um estudo de caso, nossos resultados, e conclusões do trabalho.



Figura 6.4: Módulo interativo em VRML

# Capítulo 7

## Caso de Estudo: Treinamento em Refinarias

O estudo de caso foi realizado no curso de **Formação de Operadores da Reduc** da Petrobras. Foram consultadas 70 alunos e 3 professores. Os professores que ministraram o curso são operadores, ou ex-operadores de refino de petróleo. Colocamos em evidência falhas e melhorias no processo de aquisição do conhecimento, modelagem e animação dos equipamentos industriais. Construimos 53 equipamentos modelados e animados com alta qualidade visual. Foram feitas mais de 20 minutos de animações produzidas em 80HH/mês de trabalho com uma equipe de 10 pessoas. Computadores Pentium 4 HT 3.0 GHz, com 2GB de memória RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce FX 5200LE foram usados como máquinas de produção. O tempo médio para renderizar de cada quadro foi estipulado em aproximadamente 12 min. Cada modelo tem em média 101.762 faces.

Para avaliar a eficiência da ferramenta realizamos um treinamento utilizando-a em cursos para operadores do refino do petróleo. Foram elaboradas 10 perguntas baseadas no trabalho de Schmeekle [52], com o intuito de verificar se a ferramenta era de grande, média ou pouca utilidade para os profissionais da área industrial. O autor apresenta técnicas de avaliação de ferramentas educacionais baseadas na web. Entre os temas de avaliação descritos no trabalho de Schmeekle, abordamos a **preferência pela forma de estudo**, o **grau de conhecimento do funcionário sobre o assunto**, a **relevância da ferramenta** para seu trabalho, a **interface** e a **veracidade das informações** apresentadas. O

questionário apresentado aos alunos continha as seguintes perguntas:

1. Qual meio de consulta para estudos você prefere?
  - Livros
  - Computador
2. Qual seu grau de conhecimento a respeito dos equipamentos apresentados na ferramenta?
  - Tenho muito
  - Tenho médio
  - Tenho pouco
  - Não tenho
3. O uso da Ferramenta é relevante ou útil para as suas atividades profissionais?
  - Sim
  - Não
4. Você considera que a ferramenta pode melhorar os conhecimentos referentes aos equipamentos industriais?
  - Melhorar muito
  - Melhora pouco
  - Não melhora
5. Você usaria a ferramenta de visualização 3D de equipamentos Industriais em seu dia-dia como fonte de pesquisa?
  - Usaria muito
  - Usaria pouco
  - Não usaria
6. Você considera a ferramenta de fácil usabilidade e navegação?
  - Considero boa
  - Considero médio
  - Considero ruim

7. O conteúdo gráfico (animações, imagens) está bem elaborado para que seja possível entender o funcionamento e processos dos Equipamentos utilizados nas áreas de trabalho?
- Sim
  - Médio
  - Não
8. Na sua opinião, a informação textual está adequada com a informação visual?
- Sim está
  - Está Médio
  - Não está
9. O uso da Ferramenta é relevante ou útil para que seja possível trabalhar com os equipamentos utilizados nas áreas de trabalho?
- Sim é
  - É medio
  - Não é
10. Na sua opinião, a Ferramenta ajuda "-----"na formação de novos funcionários da área industrial?
- Pouco
  - Médio
  - Muito

As perguntas foram apresentadas com respostas na forma de múltipla para verificarmos a opinião e conseguir medir quantitativamente a relevância da ferramenta para o processo de aprendizagem, tanto de funcionários experientes, alunos, ou mesmo de pessoas que não entendessem nada a respeito de equipamentos industriais.

A ferramenta foi apresentada a alunos e professores após as aulas em sala de aula referentes a equipamentos industriais serem aplicadas. Em sala de aula os professores primeiramente ensinaram o funcionamento dos equipamentos industriais com desenhos

feitos a mão e fotografias. Animações bidimensionais também foram usadas nas aulas sem a ferramenta. Após tais aulas, foram realizadas aulas com o módulo de visualização do conhecimento da ferramenta VM3D-Anim. Em sala de aula e com a utilização de um projetor, o professor pode mostrar as imagens dos equipamentos e suas respectivas animações e módulos interativos. Juntamente com a apresentação, o professor tinha todos os recursos da ferramenta realizando pausas no andamento dos vídeos para fazer explicações detalhadas do que estava sendo visto.

Após a utilização da ferramenta nas aulas foi realizado uma prática em laboratório onde alunos os alunos puderam usar a ferramenta para estudo. Ao término do laboratório, os alunos responderam o questionário de avaliação segundo suas opiniões. Para os professores o processo de avaliação foi equivalente, sendo feito antes das aulas aplicadas com a ferramenta e antes da prática em laboratório.

Não houve dificuldade por parte dos alunos e professores na utilização da ferramenta. Todos usaram a ferramenta por aproximadamente 30 minutos. Estavam a disposição para consulta 50 equipamentos industriais básicos. O resultado obtido referente ao questionário é apresentado na figura 7.1.

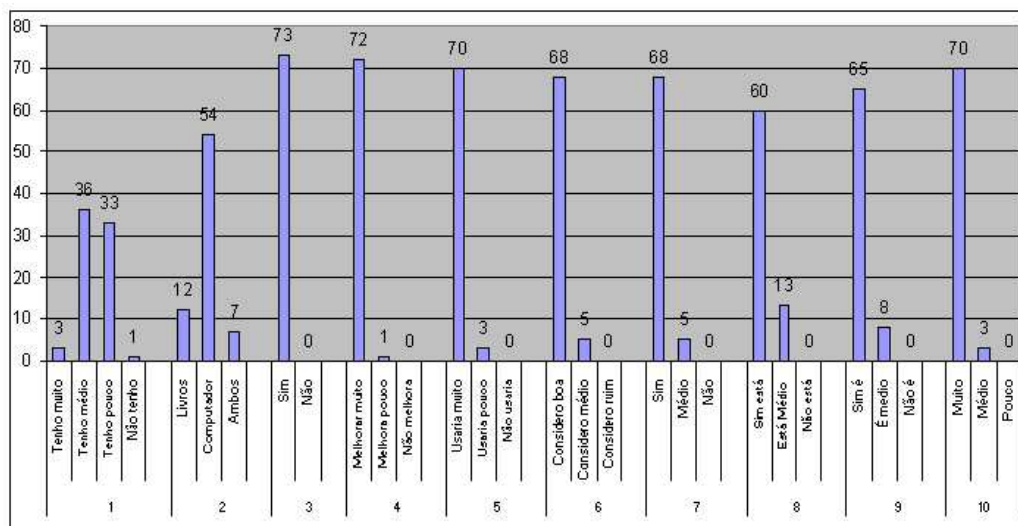


Figura 7.1: Resultados obtidos na avaliação da ferramenta VM3D - Anim realizada em curso da área petrolífera

Para cada questão apresentamos as possíveis respostas e o número de alunos/professores



que escolheram cada resposta. Podemos observar pelo gráfico que tanto professores como alunos apontaram a ferramenta como uma excelente fonte de apoio ao curso. Entre os professores, 3 no total, tivemos uma aprovação de 100% em relação às perguntas 4, 5 e 6. Porém, consideraram que a ferramenta poderia ainda melhorar em relação à elaboração das animações e de seu conteúdo textual, perguntas 7 e 8 respectivamente. Dentre os alunos tivemos uma aceitação excelente de 93% em relação a todos os pontos que abordamos em nossa avaliação. É importante ressaltar que a turma a qual realizamos a avaliação tiveram primeiro aulas sem a ferramenta, e somente depois a utilizaram.

# Capítulo 8

## Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho apresentamos a ferramenta VM3D-Anim feita para ajudar e melhorar a capacitação de profissionais da indústria. Para a elaboração da ferramenta é necessário a utilização de uma infra-estrutura composta de serviços de aquisição do conhecimento, modelagem e visualização. No serviço de aquisição colocamos em prática técnicas de aquisição. No serviço de modelagem utilizamos técnicas de modelagem e edição de vídeo para sua elaboração. No serviço de modelagem implementamos uma ferramenta que possibilita a visualização tridimensional de equipamentos industriais através de arquivos de imagem, vídeo, interativos e textuais. Focamos sua aplicação em equipamentos e processos de refinarias de petróleo.

Alcançamos excelentes resultados em nosso trabalho. Com as técnicas de aquisição conseguimos transformar informações que estavam dispersas e na forma de conhecimento tácito, em imagens e animações com alta qualidade visual. Através do estudo de caso tivemos fortes indicativos da eficiência da ferramenta VM3D-Anim. Obtivemos bons resultados em relação a aceitação da ferramenta com um questionário de avaliação realizado em cursos da área industrial.

Podemos concluir que a gestão do conhecimento é vital para o trabalho de aquisição de conhecimento, o qual é de extrema importância para qualquer ferramenta voltada para o ensino e outras áreas relacionadas. A utilização de animações bem elaboradas, juntamente com módulos interativos, imagens e textos, de fato melhoram e incentivam o aprendizado. Em nosso trabalho pudemos constatar que tanto o professor quanto o aluno não querem

mais o velho esquema quadro, giz e discussão, eles querem tudo isso e mais algumas facilidades na hora de ensinar e aprender. Conseguimos proporcionar tal melhoria com a utilização de tecnologias emergentes e de fácil utilização.

Como trabalhos futuros, formas de aquisição de material ainda podem ser melhoradas de modo a tornar mais eficiente o detalhamento das imagens e animações. O armazenamento das informações geradas podem ser realizadas por meio de um banco de dados, onde possam ser inseridas informações complementares aos arquivos desenvolvidos. Novas técnicas de interação podem ser desenvolvidas visando melhorar a eficiência educacional do sistema desenvolvido.

# Referências Bibliográficas

- [1]
- [2] Adobe. <http://www.adobe.com/>.
- [3] A. Appel. Some techniques for shading machine rendering of solids. *Proc. Spring Joint Computer Conference*, 1968.
- [4] Ricardo A. Beaza-Yates and José A. Pinto. Visual and collaborative tools for software engineering education. *Depto de Ciencias de la Computación, Unoversidade de Chile, Casilla, Santiafo*.
- [5] Bryan Bergeron. Uessentials of knowledge management. *Jonh Wiley and Sons, Inc.*, 2003.
- [6] Jeams F. Blinn and Martin E. Newell. Texture and reflactions in computer gerarate images. *CACM*, 1979.
- [7] Flávio Ferreira Borges, Fabiano Dorça, Bruno Queiroz, Márcia A. Fernandes, Carlos R. Lopes, Anderson A. Teymeny, and André Ramos. Uma ferramenta de autoria para um sistema educacional apoiada na web. *XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - NCE - IM/UFRJ*, 2003.
- [8] Luis Carlos Brent and Carlos Minayo Gomes. Educação e estratégias dos trabalhadores de chão-de-fábrica para ocupação de cargos de chefia. *Psicologia, Ciência e Profissão*, 2003.
- [9] Steve Bryson. Virtual reality in scientific visualization. *Communications Of The Acm*, 39(5), Maio 1996.

- [10] Alberto J. Cañas and Marco M. Carvalho. Mapas conceituais ia: uma união improvável? *Institute for Human and Machine Cognition*.
- [11] Maria Eugenia L. M. Castanho. Função educacional da arte. *Educação Temática Digital*, 6(2):69 – 78, Junho 2005.
- [12] E. Catmull and J. Clark. Recursively generated b-spline surfaces on arbitrary topological meshes. *Computer-Aided Design*, September 1978.
- [13] Nickolas D. Chariston, Vasilios I. Teberekidis, and Constantinos A. Tsipis. Design and development of a multimedia educacional tool for interactive visualization and three-dimensional perception of vibrational spectra data of molecules. *Education And Information Technologies*, 8(4):369 – 379, 2003.
- [14] J. Chen and N. da Vitoria Lobo. Real-time fluid modeling using navier-stokes equations. *Graphical Models and Image Processing*, March 1995.
- [15] Sergio Luis da Silva. Gestão do conhecimento: uma revisão crítica orientada pela abordagem da criação do conhecimento. *Brasilia Ci. Inf.*, Maio 2004.
- [16] T. H. Davenport and P. Klahr. Managing customer support knowlegde. *California Management*, 1998.
- [17] P. E. Debevec and J. Malik. Recovering high dynamic range radiance maps forms photographs. *Computer Graphics (SIGGRAPH'97 Proceedings)*, 1997.
- [18] T. A. Defanti, Maxine. D. Brown, and B. H. McCormick. Visualization in scientific enginnering research opportunities. *Computer Graphics*, 21(6), Novembro 1989.
- [19] Anal Duboc, D. Paiva, and V Rocha. Uma abordagem para gerencia de conhecimento usando workflow.
- [20] Foley, van Dam, Feiner, and Hughes. Computer graphics - principles and practice. *Addison Wesley*, 1996.

- [21] Marcos Roberto Fortulan and Eduardo Vila Golçaganves Filho. Uma proposta de aplicação de business intelligence no chão-de-fábrica. *Gestão e Produção*, Janeiro 2005.
- [22] Andre H. Futami, Luiz Veriano O. Dalla Valentina, and Osmar Possami. Um modelo de gestão do conhecimento para a melhoria de qualidade do produto. *Revista Brasileira de Gestão de Desenvolvimento de Produto*, 2, 2002.
- [23] G. H. Golub and C. F. Van Loan. Matrix computations. *Johns Hopkins*, 1996.
- [24] Jonas Gomes and Luiz Velho. Computação gráfica - volume 1. *Série Computação e Matemática*, 1998.
- [25] C. M. Goral, K. E. Torrance, D. P. Greenberg, and B. Battaile. Modeling the interactions of light between diffise surfaces. *Computer Graphics*, 1984.
- [26] Parallel Graphics. <http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/>. *Cortona VRML Client - Web 3D Products - ParallelGraphics (a 3D VRML company)*, 2006.
- [27] Frederico Salomão Hachbart, Ronato Coseenza Rodrigues, and Pedro Fernando Gonzaga. Equipamentos industriais. *Curso de Formação de Operdores de Produção e Refino de Petróleo e Gás*, 2003.
- [28] Paul Heckel. Software amigável: Técnicas de projeto para uma melhor interface com o usuário. *Editora Campus - Rio de Janeiro*, 1991.
- [29] Hidrovector. <http://www.hidrovector.com.br/>.
- [30] R. R. Hoffman. The problem of extracting the knowlegde of experts from the perspective of experimental psychology. *The AI Magazine*, 1987.
- [31] Miguel Argollo Jr, Carlos José Maria Olguín, and Daniel Weller. Considerando o usuário no processo de desenvolvimento de aplicações com interfaces gráficas. *Confência Internacional de Tecnologia de Software, Curitiba*, Junho 1997.
- [32] Kaeser. <http://www.kaeser.com.br/>.

- [33] Suyeon Kim, Euihouh, and Hyunseok Hwang. Building the knowledge map: an industrial case study. *Journal of Knowledge Management*, 7:34 – 45, 2003.
- [34] Mikael Lindvall, Ioana Rus, and Sachin Suman Sinha. Technology support for knowledge management. *Fraunhofer Center for Experimental Software Engineering, College Park*, 2002.
- [35] Y. I. Liou. Knowledge acquisition: issues, techniques, and methodology. *ACM SIGBDP Conference on Trends and Directions in Expert Systems*, 1990.
- [36] Macedo, N. A. M. Leite, and J. C. S. P. Criando uma memória organizacional sob uma abordagem de ontologias. *Jornadas Ibero Americanas de Ingeniería de Requisitos y Ambientes de Software*, pages 226–238, 2001.
- [37] Laura Silveira Mastella. Técnicas de aquisição de conhecimento para sistemas baseados em conhecimento. *Monoigrafia*, 2004.
- [38] 3D Max. <http://usa.autodesk.com/>.
- [39] Maya. <http://usa.autodesk.com/>.
- [40] R. Mcdermott. Why information technology inspired but cannot deliver a knowledge technology for knowledge management. *California Management Review*, 1999.
- [41] Ana Paula Freitas Mundim, Henrique Rozenfeld, Daniel Capaldo Amaral, Sergio Liis da Silva, Vander Guerrero, and Lucas Cley da Horta. Aplicando o cenário de desenvolvimento de produtos em um caso prático de capacitação profissional. *Gestão e Produção*, Abril 2002.
- [42] A. C. C. Natali and R. A. Falbo. Gerência de conhecimento em ode. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software*, 2003.
- [43] Emily Oh Navarro and André van der Hoek. Adapting game technology to support individual and organizational learning. *SEKE*, pages 347–354, 2001.
- [44] J. Nielsen. Usability engineering. *AP Professional*, 1993.

- [45] Tomoyuki Nishita, Yoshinori Dobashi, and Eihachiro Nakamae. Display of clouds taking into account multiple anisotropic scattering and sky light. *Computer Graphics (SIGGRAPH'96 Proceedings)*, 1996.
- [46] Lkujiro Nonaka and Hirotaka Takeuchi. Criação de conhecimento na empresa: Como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação. 1997.
- [47] Omel. <http://www.omel.com.br/>.
- [48] Bui-Tuong Phong. Illumination for computer-generated pictures. *Communications of the ACM*, 1975.
- [49] L. Prusak. Conhecimento empresarial. *Campus*, 1998.
- [50] A. A. G. Requicha. Representations for rigid solids: theory, methods, and systems. *ACM Computing Surveys*, December 1980.
- [51] Rhinoceros. <http://www.rhino3d.com/>.
- [52] Joyce M. Schmeackle. Online training: An evaluation of the effectiveness and efficiency of training law enforcement personnel over the internet. *Journal of Science Education and Technology*, 2003.
- [53] Guus (EDT) Schreiber, Hans Akkermans, Anjo Anjewierden, Robert de Hoog, Nigel Shadbolt, Walter Van de Velde, and Bob Wielinga. Knowledge engineering and managementt - the commonkads methodology. *The MIT Press*, 1999.
- [54] SFBrasil. <http://www.sfbrasil.com.br/>.
- [55] Sean W. M. Siqueira, Maria Helena L. B. Braz, and Ruben Nascimento Melo. Web technology for education and training. *Computer Society*, 2003.
- [56] SolidWorks. <http://www.solidworks.com/>.
- [57] J. Stewart. Cálculo 2. *Editora Pioneira Thomson Learning*, 2001.
- [58] Thomes Stewart. Capital intelectual: A nova vantagem competitiva das empresas. 1998.



- [59] Romero Tavares. Animações interativas e mapas conceituais. *Knowledge Research Institute, Inc.*, 1999.
- [60] Alan H. Watt. 3d computer graphics (3rd edition). *Addison Wesley*, 1999.
- [61] K. Wiig. Comprehensive knowledge management - working paper. *Knowledge Research Institute, Inc.*, 1999.
- [62] Rosemary H. Wild, Kenneth A. Griggs, and Tanya Downing. A framework for e-learning as a tool for knowledge management. *Industrial Management and Data Systems*, 102(7):371 – 380, 2002.
- [63] Manson Woo, Jackie Neider, Tom Davis, and Dave Sheiner. Opendgl programming guide: the official guide to learning opengl. *Massachusetts Reading: Addison Wesley*, 1999.
- [64] G. Wright and P. Ayton. Eliciting and modeling expert knowlegde. *Decision Support System*, 1987.
- [65] Yafray. <http://www.yafray.org/>.