

VM3D - ANIM - UMA FERRAMENTA PARA VISUALIZAÇÃO DE
MODELOS 3D ANIMADOS

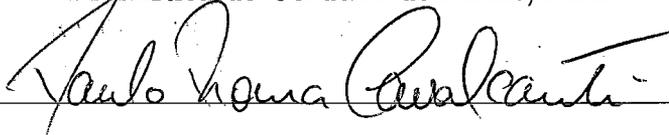
Carlos Henrique da Costa Cavalcanti

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.

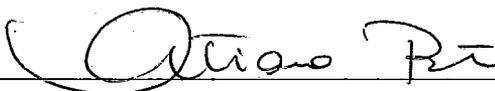
Aprovada por:



Prof. Ricardo Cordeiro de Farias, Ph.D.



Prof. Paulo Roma Cavalcanti, D.Sc.



Prof. Cristiana Bentes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2006

CAVALCANTI, CARLOS HENRIQUE DA
COSTA

VM3D - ANIM - UMA FERRAMENTA
PARA VISUALIZAÇÃO DE MODELOS 3D
ANIMADOS [Rio de Janeiro] 2006

XIII, 91 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia de Sistemas e Computação, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Gestão do conhecimento
2. Modelagem 3D
3. Ferramenta de visualização

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

*A meu pai Mario, e meus avós Olga e Emmanuel
a minhas duas mães Maria e Célia
e a minha esposa e filha, Lucyneide e Heloisa.*

Agradecimentos

Bem, gostaria de agradecer primeiramente você que está neste momento lendo esses agradecimentos. Muito obrigado por estar pesquisando ou só dando uma olhada neste trabalho.

Agora sim gostaria de agradecer a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho. Aos professores do LCG Ricardo Farias, Cláudio Esperança, Paulo Roma e Antônio Oliveira. Principalmente ao meu orientador Ricardo Farias, por me dar apoio e tirar minhas dúvidas sempre. Ao professor Paulo Roma, por estar sempre me indicando o caminho certo a ser seguido e me ensinar a ser um bom profissional. E a professora Cristiana Bentes por ter me ajudado e orientado com muita atenção e seriedade no trabalho proposto. Muito obrigado a todos vocês.

A todos os meus amigos(as) do LCG que acompanharam junto comigo as idas e vindas do mestrado. Álvaro, Disney, Saulo, Vitor, Marroquim, Yalmar, Guina, Karl, Okamoto, Wagner, Alexandre, Max, Daniel, Elisabete, Diego, Djeisson, Flávio, Jonas, Luis, Narciso e Pilato, e quem mais tiver na lista de inscritos do LCG no período de 2004 - 2006. Valeu mesmo pelas conversas, discussões, conselhos acadêmicos e pessoais. De todos os amigos do LCG, agradeço em especial meu amigo Andre Máximo, pela grande ajuda no decorrer deste trabalho.

Agradeço também a equipe do projeto que originou esse trabalho: Jonas, Rodrigo, Marcelo, Rafael Botafogo, Rafael, Marcus, Gabriel, Papanis, Tiago, Leonardo e a Suzana. Todos amigos e excelentes profissionais de modelagem.

Agradeço aos meus amigos(as), por me ajudarem a chegar até aqui. Pela força, amizade e incentivo no decorrer dos últimos anos. Principalmente a galera das minhas bandas: Rodrigo, Felipe e Guilherme, por estarem sempre comigo no Rock and Roll. E aos meus amigos da banda do mestrado: Mara, Rick, Marroquim (mais

uma vez) e Renato, que me acompanharam no final de minha jornada de mestrado com muito blues e rock.

A minha Tia Célia e a minha mãe Maria Aparecida, por me darem condições e apoio para chegar aqui. Sem elas eu acho que nada disso seria possível.

E é claro, agradeço a minha esposa Lucyneide e a minha filha Heloisa, por estarem sempre do meu lado.

Rio de Janeiro, Novembro de 2006
Carlos Henrique da Costa Cavalcanti

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

VM3D - ANIM - UMA FERRAMENTA PARA VISUALIZAÇÃO DE MODELOS 3D ANIMADOS

Carlos Henrique da Costa Cavalcanti

Novembro/2006

Orientador: Ricardo Cordeiro de Farias

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Neste trabalho é apresentado uma abordagem prática de técnicas de aquisição de conhecimento juntamente com técnicas de modelagem e animação para a elaboração da ferramenta VM3D-Anim, cujo objetivo é disponibilizar conhecimento a respeito de equipamentos industriais visualmente. Discutimos a criação de uma infra-estrutura dividida em três serviços: aquisição do conhecimento, modelagem tridimensional e visualização que serviram como base para a elaboração de uma metodologia de aquisição de informações e criação da ferramenta VM3D-Anim. As técnicas de aquisição de conhecimento são aplicadas no âmbito industrial e objetivam a aquisição de informações que se encontram dispersas ou sob a forma de conhecimento tácito. Com o conhecimento adquirido, criaram-se modelos tridimensionais de equipamentos industriais e a partir deles, imagens, animações e módulo interativos em VRML foram gerados. Todo o material criado foi organizado em uma base de dados de informações que pode ser visualizada de forma simples e objetiva pela ferramenta VM3D-Anim.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

VM3D - ANIM - A TOOL FOR 3D ANIMATED MODELS
VISUALIZATION

Carlos Henrique da Costa Cavalcanti

November/2006

Advisor: Ricardo Cordeiro de Farias

Department: Systems Engineering and Computer Science

In this work we present a practical approach for knowledge management and computer graphics techniques, such as modeling and animation, for the VM3D-Anim tool. The goal is to present the knowledge about industrial equipment visually. We discuss the creation of an infrastructure divided into three parts: knowledge acquisition, 3D modeling and visualization, which builds a base for the acquisition methodology and creation of the VM3D-Anim tool. The knowledge acquisition techniques are applied in the industrial scope, whose objective is the acquisition of information that is found dispersed or under the form of a tacit knowledge. With the acquired knowledge, three-dimensional industrial equipment models are created. These are then rendered and snapshot images are taken. The material is stored in a database, and can be simply visualized by the VM3D-Anim tool.

Sumário

Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
1 Introdução	1
1.1 Contribuições	6
1.2 Organização da Tese	6
2 Conceitos Básicos	8
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	14
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
3 Infra-estrutura de Gerenciamento de Equipamentos	35

3.1	Arquitetura Básica	35
3.1.1	Aquisição do conhecimento	38
3.1.2	Modelagem	39
3.1.3	Visualização do Conhecimento	41
4	Aquisição de Conhecimento	42
4.1	Equipamentos	42
4.2	Metodologia	45
4.2.1	Aplicação de métodos de aquisição do conhecimento	47
4.2.2	Organização das informações	49
4.2.3	Treinamento dos profissionais de modelagem e animação	50
4.3	Taxonomia	52
5	Modelagem 3D	56
5.1	Programas de modelagem 3D e edição de vídeo	56
5.1.1	Blender	58
5.1.2	Maya	59
5.1.3	Programas de edição de vídeo	62
5.2	Modelagem 3D passo-a-passo	62
5.2.1	Padronizações	63
5.2.2	Iluminação e texturização	64
5.2.3	Elaboração de Roteiro de Animação	65
5.2.4	Rendering	66
6	Visualização: A Ferramenta VM3D-Anim	69
6.1	Descrição Básica	69
6.2	Interface	72
6.3	Base de dados	75
6.4	Visualização e interação	77
7	Caso de Estudo: Treinamento em Refinarias	79
8	Conclusões e Trabalhos Futuros	84

Lista de Figuras

1.1	Infra-estrutura de gerência	4
2.1	Relação entre dados, informação e conhecimento	11
2.2	Paradigmas dos quatro universos	18
2.3	Tipos de desenho ilustrativo	20
2.4	Imagem digital - Representação	21
2.5	Exemplo do método de modelagem CSG	24
2.6	Subdivisão de malhas	24
2.7	Modelo físico de iluminação	27
2.8	Algoritmo fundamental de ray tracing	29
2.9	Ambiente iluminado com radiosidade	31
2.10	Imagens renderizadas com HDR	32
2.11	Processo de mapeamento de textura	33
3.1	Equipamento industrial bomba vertical	37
4.1	Equipamentos dinâmicos	54
4.2	Equipamentos estáticos	55
5.1	Animação do equipamento válvula gaveta	57
5.2	Blender e Maya	60
5.3	Etapas da modelagem	63
5.4	Esquema de iluminação	65
5.5	Processo para animação	67
6.1	Interface Gráfica	72
6.2	Interface detalhada	73

6.3	Telas da interface	77
6.4	Módulo interativo	78
7.1	Resultados obtidos	82

Lista de Tabelas

5.1 Comparação entre os programas Maya e Blender 61

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 [1]. 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 [2]. 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 [3]. 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 co-

nhecimento envolve recursos humanos, organização e cultura, além de tecnologia de informação, métodos e ferramentas para o seu apoio [4]. 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. [5], [6], [7]. O trabalho de Lindvall *et al.* [8] 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* [9] 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 [10], simulação de jogos [11], workflow [12] e tecnologias de inteligência artificial como representação e recuperação em bases do conhecimento [13, 14, 15]. 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 [16], que são baseado na elaboração de mapas conceituais com a utilização de materiais adicionais como imagens, diagramas, videos 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 [17] (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 e programação voltada para 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.

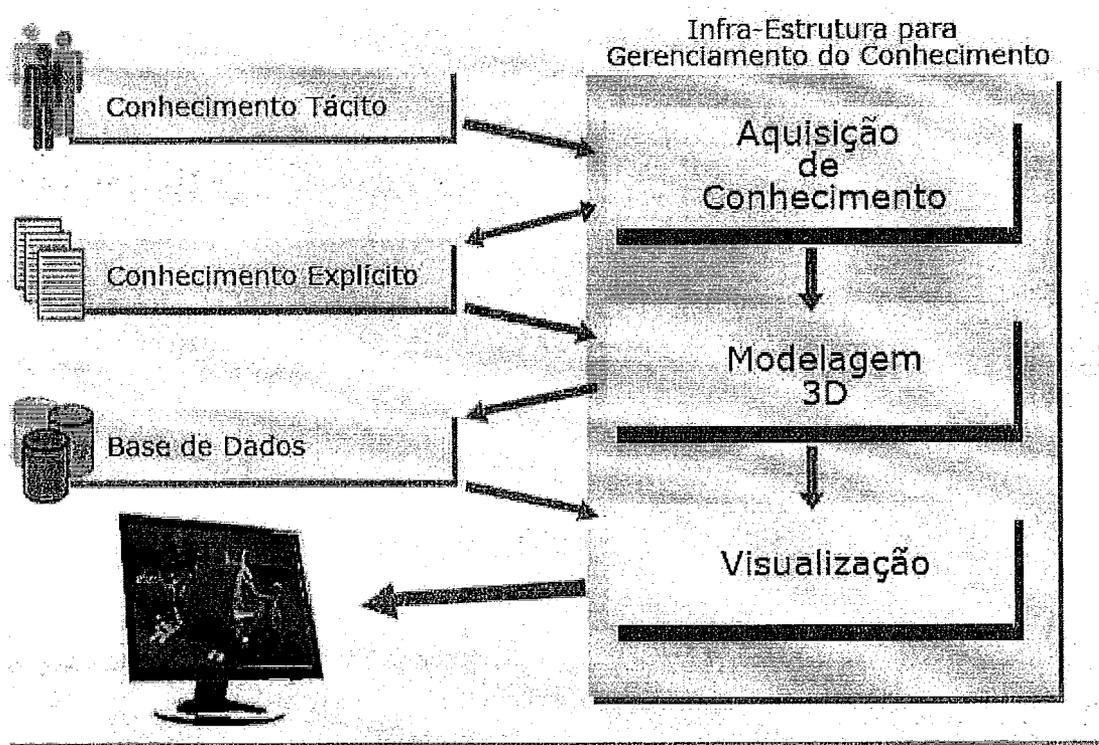


Figura 1.1: Infra-estrutura de gerência do conhecimento sobre equipamentos industriais

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 eram descritos textualmente, com no máximo algumas figuras bidimensionais apresentando-os sob pontos de vista restritos. Alguns equipamentos, inclusive, não possuíam nenhuma documentação explícita, 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.
- Elaboração de uma taxonomia de equipamentos industriais básicos.
- Criação de uma base de dados baseada na taxonomia de equipamentos, onde os equipamentos são armazenados na forma de imagens tri-dimensionais e animações, juntamente com descrições textuais.
- Proposta e implementação de uma ferramenta multimídia para o treinamentos de pessoal que proporciona a 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 gestão 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 [3]. 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 [9] 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 [18], 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 entender o que é gestão do conhecimento. Bergeron [18] 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 [19] e Prusak [20] 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. 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 exhibe as relações de armazenamento

existentes entre dados, informações e conhecimento, os dados e informações podem ser guardados tanto por computadores como por pessoas. Porém o conhecimento é restrito as pessoas.

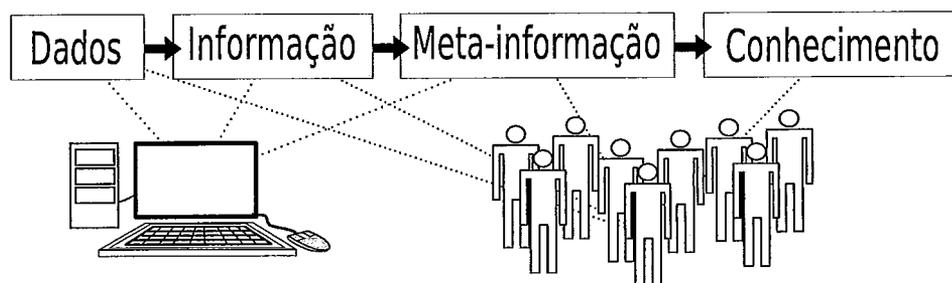


Figura 2.1: Relação entre dados, informação, meta-informação e conhecimento com suas formas de armazenamento

Nonaka [3] 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 [18] 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 [21], 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 [22], 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 [18] 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.*[23], 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 conhecimento 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, principalmente funcionários que atuam diretamente na produção. Os profissionais 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.*[24], às indústrias 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.*[25], 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.* [23] 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

A computação gráfica tem papel fundamental neste trabalho. Definiremos conceitos básicos pertencentes a computação gráfica que são necessários para o entendimento do processo de modelagem e animação discutido na introdução. Essa seção mostra como o trabalho é multidisciplinar. A união da gestão do conhecimento com as tecnologias oferecidas pela computação gráfica são as bases que permitem a criação da ferramenta de visualização VM3D-Anim.

Segundo Gomes *et al.* [26], 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.

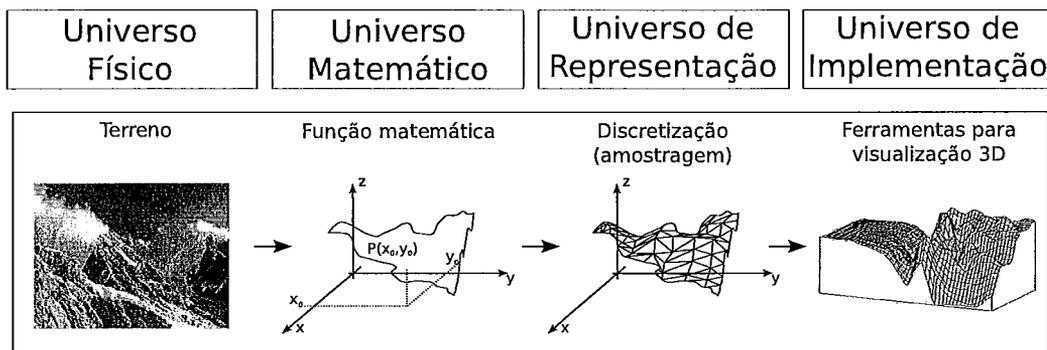


Figura 2.2: Paradigma dos quatro universos - Exemplo: Visualização de terrenos

2.2.1 Visualização e Programas de Modelagem

Dentro da computação gráfica temos subáreas relacionadas como a **modelagem geométrica** e a **visualização**. A modelagem geométrica permite a criação de modelos tridimensionais de difícil obtenção. Normalmente, tais modelos são criados para a realização de estudos e análises. Para que tais análises possam ser realizadas com eficiência são necessários métodos e processos que realizem tal trabalho. A visualização é a área responsável pela geração de tais procedimentos. Tais processos e métodos geram imagens que podem servir para diversos fins.

A visualização é uma poderosa ferramenta para análise de informações. De acordo com McCormick *et al.* [27], visualização é uma ferramenta utilizada na in-

terpretação 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 [28], 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.

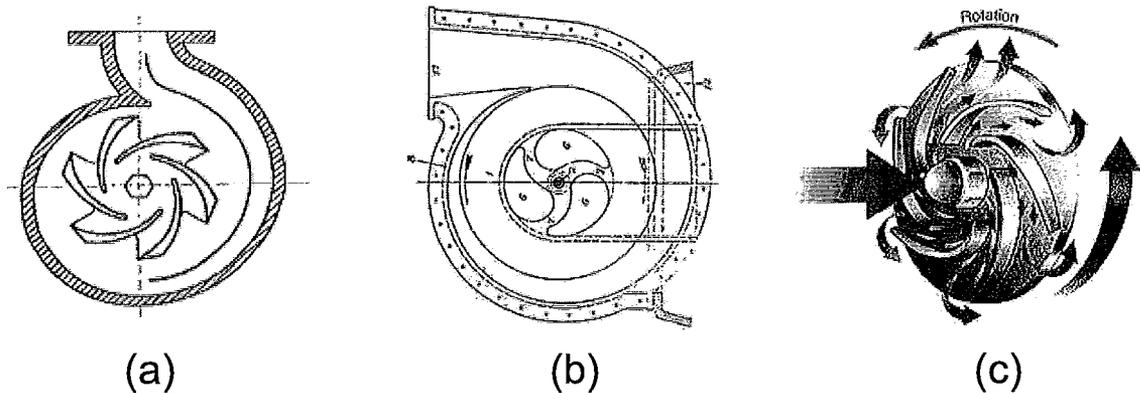


Figura 2.3: (a) Desenho a mão livre, (b) desenho técnico e (c) desenho feito a partir de um programa gráfico 2D

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 problemas 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.

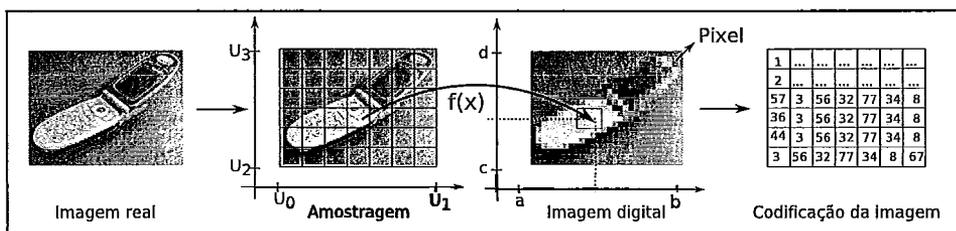


Figura 2.4: Imagem digital - Representação

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 em dispositivos de armazenamento, 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 pixels, 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 [29]. 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.* [29], e Gomes *et al.* [26] 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 está 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, que pode conter erros. Existem inúmeros problemas relacionados à reconstrução tridimensional de objetos reais. De acordo com a forma do objeto, tais erros podem ser muito grosseiros. Objetos como cubos, pirâmides, cones e esferas têm uma geometria bem definida, e podem ser combinados para formarem outros objetos. Entretanto existem objetos com geometria de difícil definição, como espirais e superfícies irregulares. Os métodos e técnicas de modelagem que apresentaremos a seguir são possíveis soluções para 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) [30]. 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 mé-

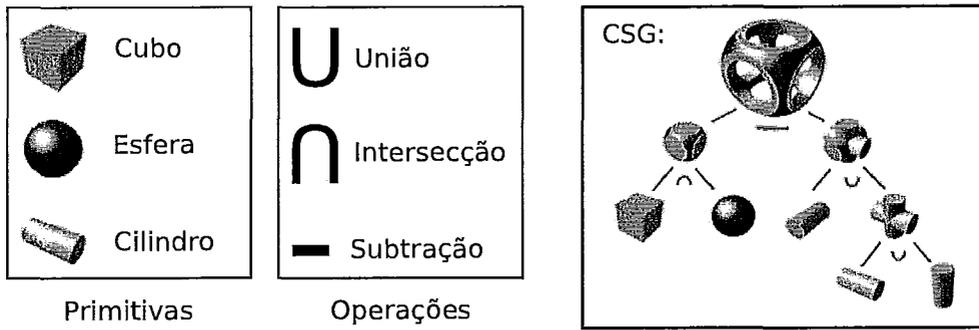


Figura 2.5: Exemplo do método de modelagem CSG - Primitivas básicas sendo usadas com operações de união, intersecção e subtração para o desenho de um objeto mais elaborado

todo. 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 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 [31] 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**, podem ser modeladas 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 algoritmo. A subdivisão é aplicada quatro vezes. O resultado pode ser visto na última imagem da figura.

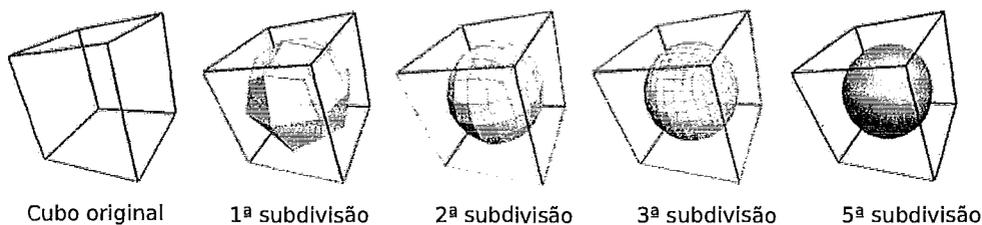


Figura 2.6: Subdivisão de malhas - Algoritmo de Catmull e Clark aplicado em um cubo

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 [32], modelagem generativa e superfícies tubulares [26].

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 [33] formam 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, ρ é a densidade do fluido, μ 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 θ 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 retida 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 [34] 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.

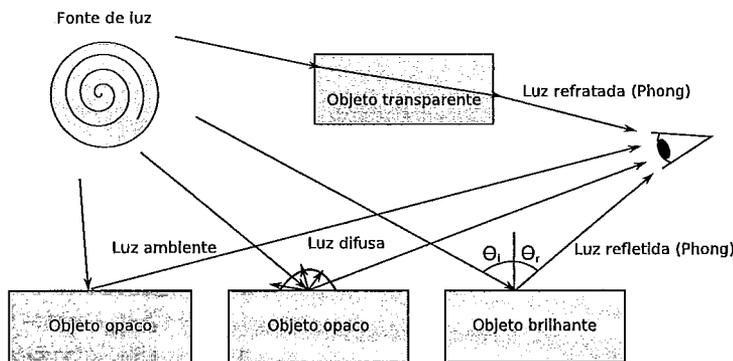


Figura 2.7: Modelo físico de iluminação

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** realiza 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. Como exemplo temos o modelo de iluminação de Phong [35]. 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 ele 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 algoritmos de renderização 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 [36] 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 de ray tracing pode ser descrito da seguinte forma:

Selecionar o centro de projeção e a janela de recorte sobre o plano de projeção

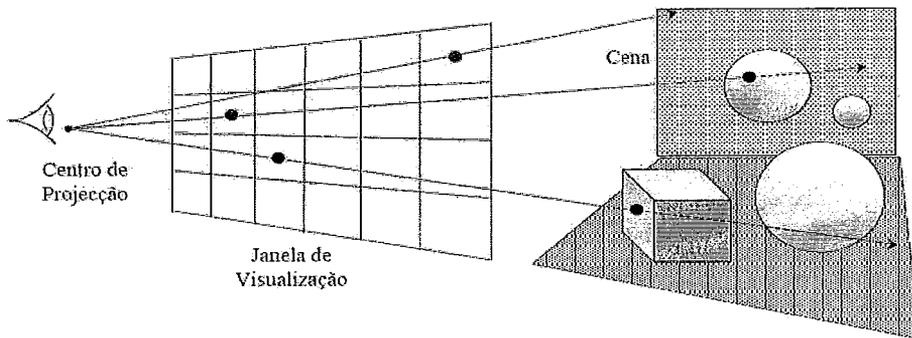


Figura 2.8: Algoritmo de ray tracing

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

registrado

 }

}

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 de uma 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. O método 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 aparentem 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 pelo método de *ray tracing*. Tal problema motiva o cálculo da iluminação por outro método de renderização 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.* [37] com contribuições de Nishita *et al.* [38]. 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 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.



Figura 2.9: Ambiente iluminado com métodos de radiosidade

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 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 [39], 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) [40]. 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 HDR. O HDR 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 metálicas.

As técnicas de iluminação e os efeitos visuais que existem atualmente viabilizam a

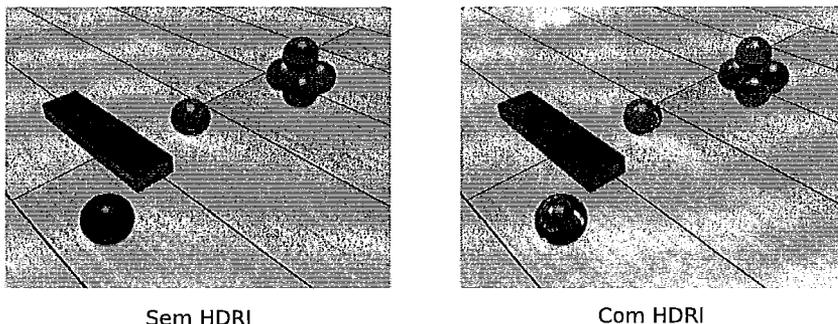


Figura 2.10: Imagens renderizadas utilizando HDR

confeção 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 à 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 [29]. É possível ainda modificar o espaço de textura, referente à imagem, com o objetivo de somente uma parte da imagem cobrir a superfície do objeto. O trabalho de Jim Blinn [41] 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.

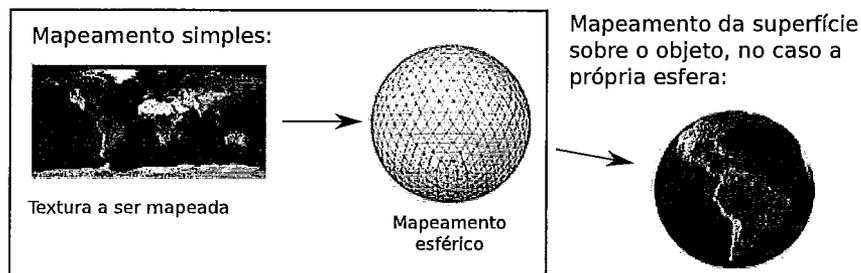


Figura 2.11: Processo de mapeamento de textura

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 [29] ou de Watt [42] trazem abordagens aprofundadas sobre o tema.

2.2.5 Animação

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.

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 à instalação, e ao 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 3.1 (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 3.1 (b) mostra a bomba modelada de forma correta.

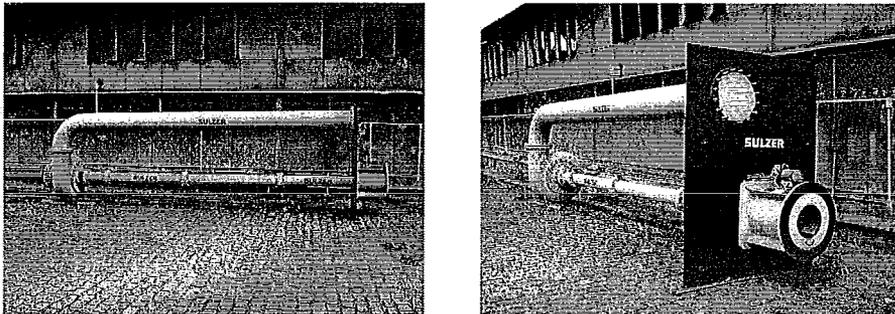
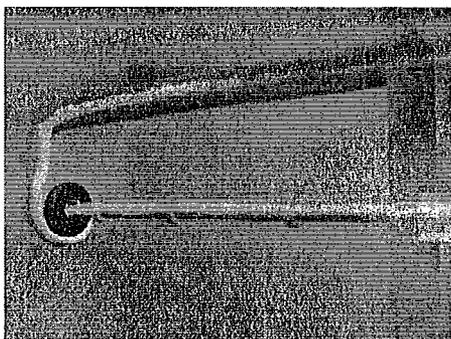
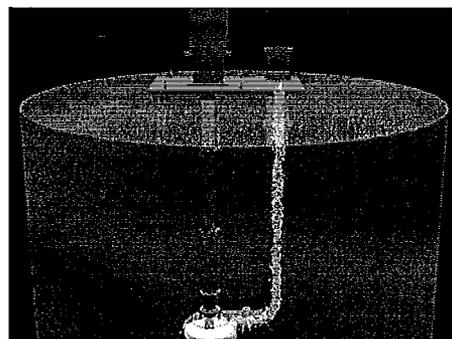


Figura 3.1: Equipamento industrial bomba vertical - fotos tiradas em area de manutenção



(a)



(b)

[Equipamento modelado errado e certo]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 infra-estrutura de gerenciamento de informações. Tal infra-estrutura deve ser elaborada com os seguintes objetivos: possibilitar a aquisição do conhecimento; viabilizar a modelagem 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* [43] e de Wild *et al.* [7], 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.

De acordo com os processos de gestão [18], 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.

A fase de **aplicação de métodos de aquisição** [44] 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.
- **Imersão na literatura:** Neste etapa é consultada a literatura. Livros, ma-

nuais, catálogos, são exemplos de fontes usadas em nossas pesquisas.

- **Entrevistas:** As entrevistas podem ser classificadas em **estruturadas** e **não-estruturadas**. Nas entrevistas estruturadas são feitos roteiros, onde se busca informações específicas a respeito de algum tópico. As entrevistas não estruturadas são realizadas quando se deseja ter uma noção abrangente sobre determinado tema. As perguntas devem ser o mais abrangentes possíveis neste caso.
- **Técnicas de observação:** As técnicas de observação utilizadas em nosso trabalho se referem a 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.

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 função, como já foi dito. A fase de modelagem tem como objetivo criar um modelo 3D do equipamento respeitando tais parâmetros.

A modelagem geométrica segue etapas básicas, como:

- transformações de primitivas utilizando 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. 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 [45], 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.

Temos duas etapas para a elaboração do serviço de visualização: **criação de uma estrutura de arquivos e inserção das informações**. A **estrutura de arquivos** foi elaborada com diretórios estruturados de acordo com uma classificação definida através do *card sorting*. 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: aquisição do conhecimento, modelagem 3D e visualização.

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** [46]. 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 descrevemos neste trabalho são classificados como **básicos**. O motivo

para tal decisão vem do conhecimento referente a eles, que é livre e distribuído para estudo.

Iremos fazer uma breve descrição dos equipamentos que foram modelados e animados em nosso trabalho sem entrar em detalhas. 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 [46] e em sites de empresas fabricantes como [47, 48, 49, 50]. 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, Equipamento industrial bomba

vertical 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:** A 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 liquefeito em alta pressão.
- **Trocadores de Calor:** Trocadores de calor são equipamentos em que dois fluidos com temperaturas diferentes trocam calor através de um interface metá-

lica. 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 que atuam em áreas industriais, os quais não estão presentes neste trabalho. A quantidade de equipamentos é muito grande e o trabalho necessário para se adquirir informações é muito minucioso. A ferramenta tem por objetivo gerar informações visuais, as quais podem ser obtidas de qualquer conjunto de objetos que se queira registrar o conhecimento. Um equipamento industriais é um bom exemplo para nossa aplicação.

Tendo então apresentado 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. Alguns são fáceis de se ver e outros impossíveis, por se encontrarem em locais de acesso restrito ou por utilizarem produtos corrosivos e nocivos às 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 exibe 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 [44] 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 para a compreensão dos equipamentos industriais. Após nos familiarizarmos com os termos que pertencem a determinado grupo de equipamentos, analisamos tais informações. Caso sejam suficientes, iniciamos o processo de modelagem, caso não, realizamos mais buscas com procedimentos de aquisição. Com o modelo pronto é realizada uma validação do modelo. A validação é o processo que verifica se o modelo feito está correto. 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 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 às áreas industriais de produção. Nessas áreas, aplicamos **técnicas de observação** para inicializar o processo de aquisição. De acordo com Liou [51], tais técnicas permitem 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 verbais**, que podem ser em formato de texto corrido, tabelas, ou gravações de voz.

A observação dos processo e da dinâmica do 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 estudos, ele terá mais facilidade de identificar e entender características do equipamento.

Juntamente com tais práticas descritas é importante realizar uma taxonomia dos elementos a serem modelados e animados, no nosso caso os equipamentos industriais. 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.

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. Sendo assim, o processo descrito a seguir deve tentar adquirir o máximo de informações possíveis quando realizado.

A aquisição de conhecimento de um equipamento de pequeno porte pode ser rea-

lizada 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 [52]. 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, todos as fonte de consulta existentes devem ser utilizadas. Neste caso, é necessário realizar visitas a locais de manutenção de tais equipamentos. Por serem maiores, cerca de 1 metro de altura por 1 metro comprimento e 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 à forma das peças e do equipamento sejam adquiridas juntamente com informações referentes à dinâmica interna de funcionamento. Para tais equipamentos, o procedimento de aquisição é realizado da seguinte forma:

1. Nas instalações de manutenção, onde o equipamento se encontra desmontado, são tiradas fotografias da cada peça.
2. As fotografias devem ser tiradas com o objetivo de varrer e mostrar toda forma do equipamento, tanto externamente como internamente.
3. Ao mesmo tempo em que são tiradas as fotos, deve ser realizada um entrevista que pode ser estruturada, mas dependendo do grau de conhecimento do profissional de gestão, ela pode acontecer de forma **não estruturada**.

Schreiber *et al.* [53] diz que tal método de entrevista deve ser usado quando o profissional de gestão e empregado da indústria precisam criar um bom relacionamento. Nessa entrevista podem ser registradas informações referentes à montagem e funcionamento interno do equipamento.

Para a aquisição de conhecimento de equipamentos 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 utilizamos vídeos para registrar determinados tipos de processos. Capturamos vídeos de 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 podem ser feitos através de uma listagem dos equipamentos, onde para cada equipamentos registra-se as informações que foram obtidas. Depois de feito os relatórios, as informações devem ser separadas e armazenadas em diretórios de forma organizada. Uma maneira de fazer isso é criar um diretório

com o nome dos equipamentos e dentro desse diretório criar subdiretórios nomeados de acordo com o tipo de informação. 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 passada aos profissionais que deverão consultá-las. A base de dados consiste essencialmente de diretórios estruturados segundo uma taxonomia. 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 a 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 anteriormente. 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 processo 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. Dessa forma, é preciso medir, e deixar claro ao profissional, metas e qual o objetivo do trabalho. Esse 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 à 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 e o modelador, seja com informações vindas de documentos, ou entrevistas, devem ser realizadas por gestores. A centralização de informações em uma base de dados criada por um profissional intermediador, 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** [54]. Tal técnica visa identificar e organizar termos ou conceitos e seus relacionamentos num domínio particular, 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 sólidas 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-se o procedimento;
- O especialista pode incluir ou eliminar equipamentos ou atribuições dos equipamentos se achar necessário.

Dessa forma, chegamos aos seguintes resultados:

Os equipamentos indústrias 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.

Com tal taxonomia conseguimos estruturar o conhecimento, criando vínculos e explicitando o conhecimento de tais equipamentos com uma outra visão. Explicações, análises, e estudos relacionados ficam mais compreensíveis quando apoiados por um mapa de relacionamentos e de classificação.

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

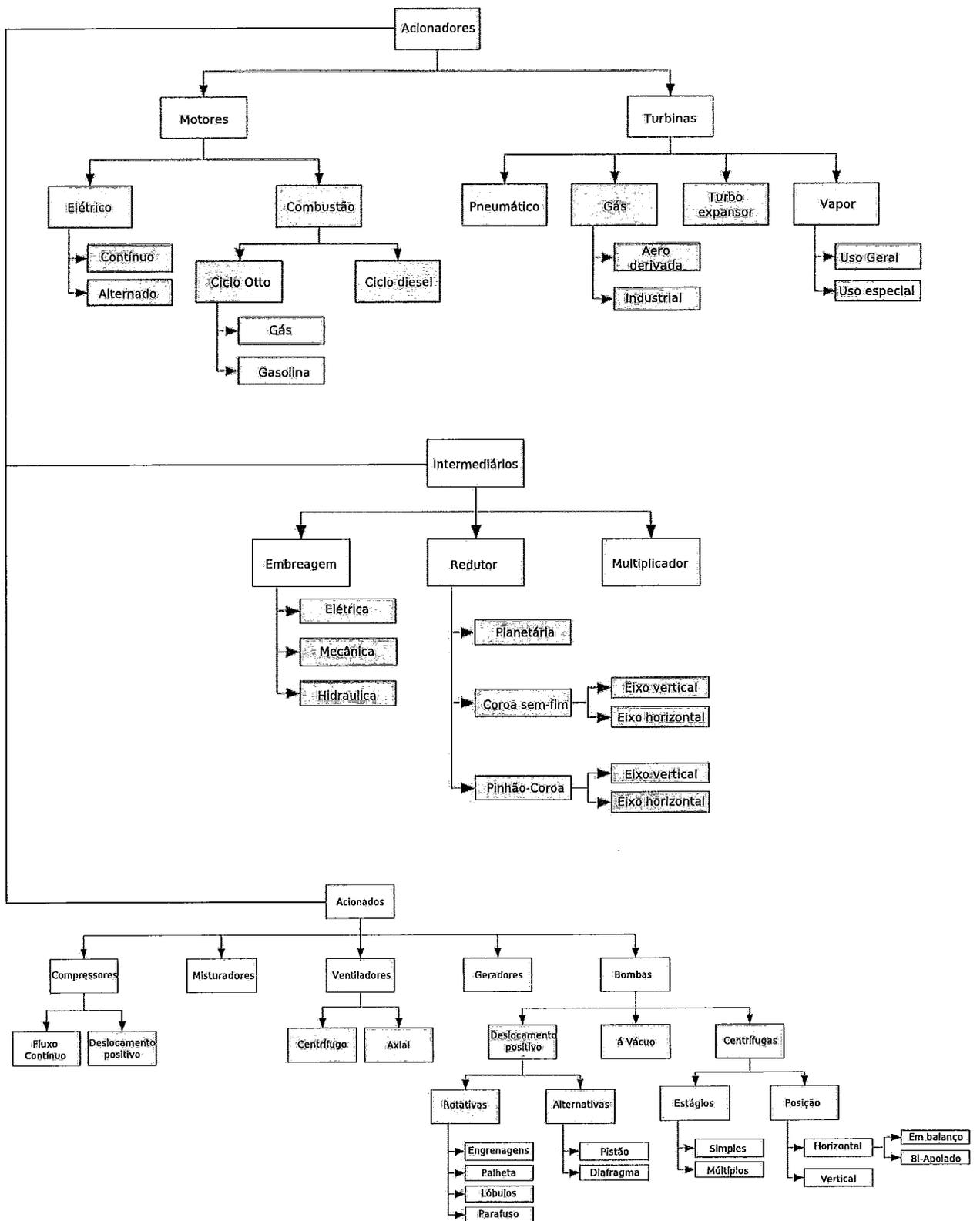


Figura 4.1: Equipamentos dinâmicos

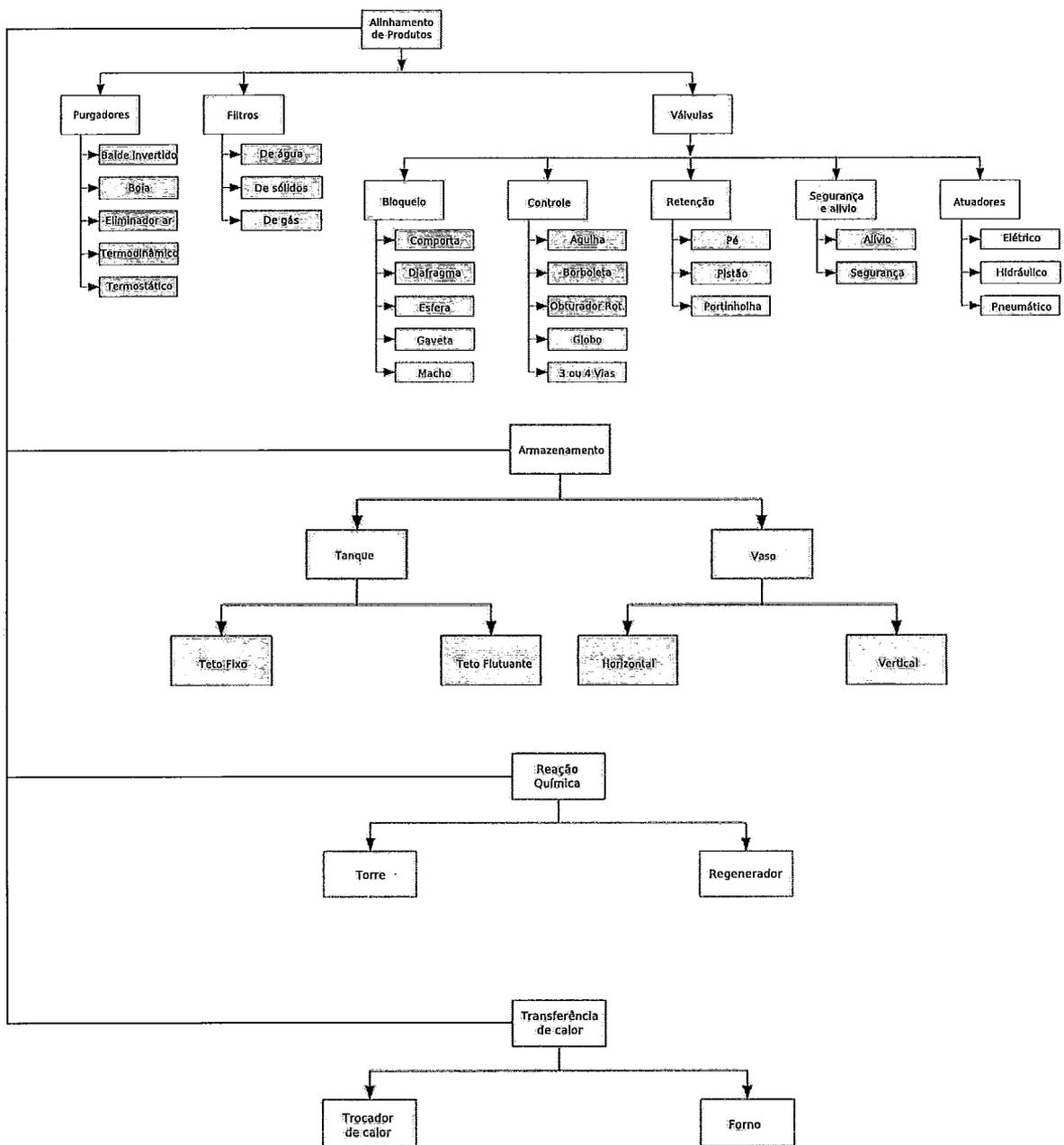


Figura 4.2: Equipamentos estáticos

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 edição de imagem e vídeo para geração dos modelos CAD e edição das animações respectivamente. A definição do programa de modelagem 3D a ser utilizado para o serviço de modelagem tem papel fundamental. 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. Atualmente, são muito utilizados para a elaboração de efeitos especiais em filmes, programas de televisão e jogos.

Existem muitos programas de modelagem 3D. Cada um deles apresenta ferra-

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

Realizamos uma comparação entre os principais programas de modelagem 3D com o objetivo de utilizar um que possuísse todas as ferramentas necessárias ao nosso trabalho. Para a modelagem de equipamentos industriais algumas exigências devem ser levadas em consideração: o programa deve ter ferramentas básicas para a modelagem e animação e deve ferramentas que permitam a modelagem de sistema de partículas, para que sejam feitas animações que simulem a dinâmica de fluidos. Considere, por exemplo o modelo tridimensional do 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.

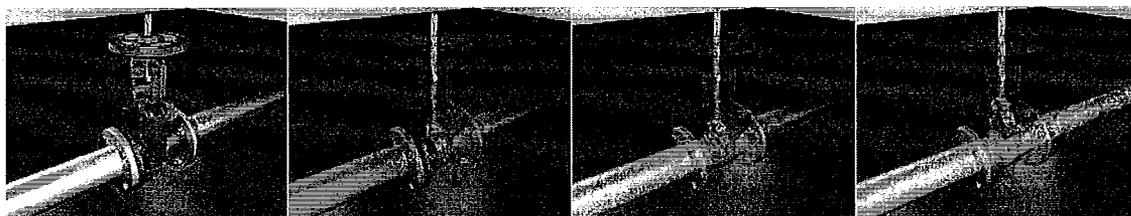


Figura 5.1: Animação do equipamento válvula gaveta

Nos testes que realizamos, usamos programas como 3D Max [55], Rhinoceros [56] e SolidWorks [57] para a criação de animações. Tais programas foram descartados por não possuírem ferramentas de modelagem de fluido. 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** [58] e o **Maya** [59], 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 pelos estúdios holandeses 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 faliu 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 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 apresenta 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 para 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 uma *game engine* que pertence ao programa. Uma *game engine* é um ambiente de criação de um jogo ou aplicação gráfica, que usa apenas uma interface gráfica e evita a necessidade de se programar. As *game engines* calculam colisões entre os 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 programa, por ser livre, recebe colaborações e tem um melhoramento a cada nova versão.

O Blender é deficiente nos seguintes aspectos: o programa, por ser novo nos dias atuais, não possui 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 necessário. Outro ponto deficiente se refere 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** [60]. Ele 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. Um exemplo de tal deficiência pode ser vista quando uma versão nova é lançada. Mudanças na interface ocorrem mudando botões de lugar e mesmo funções de edição. Tais mudanças não são documentadas, ocasionando dificuldades no manuseio do programa.

5.1.2 Maya

O Maya surgiu a partir de três outros softwares, o **Wavefront Advanced Visualizer**, **Thomson Digital Image (TDI) Explore** e **Alias Power Animator**. 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 apresenta 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 represente o 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 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 exhibe a interface gráfica dos dois programas.

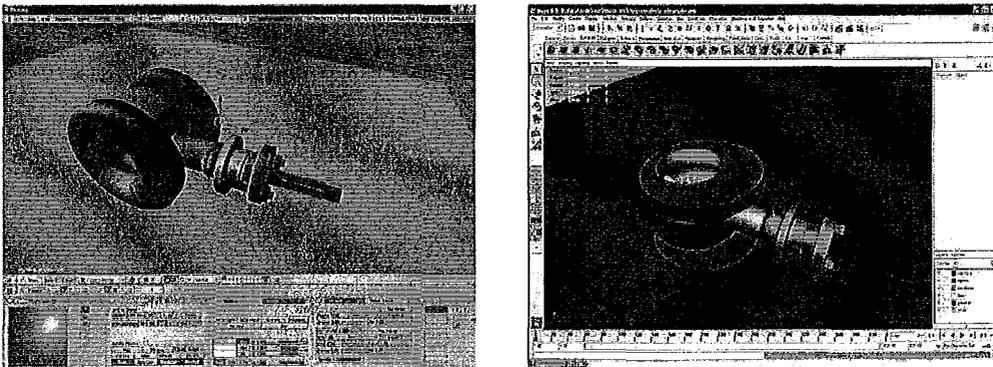


Figura 5.2: Da esquerda para a direita os programas Blender e Maya respectivamente

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 embutidas ferramentas para a edição de vídeo. As quais discutiremos a seguir.

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 maya-Ascii, 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. Não possui sistemas de partículas bem aprimorado para a simulação de fluidos.

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 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** [61] e **Macromedia Flash** [61]. 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 modelador, utilizando formas geométricas básicas e técnicas de modelagem, reconstrói o objeto criando um modelo tridimensional. A modelagem, em nosso trabalho, 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: **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

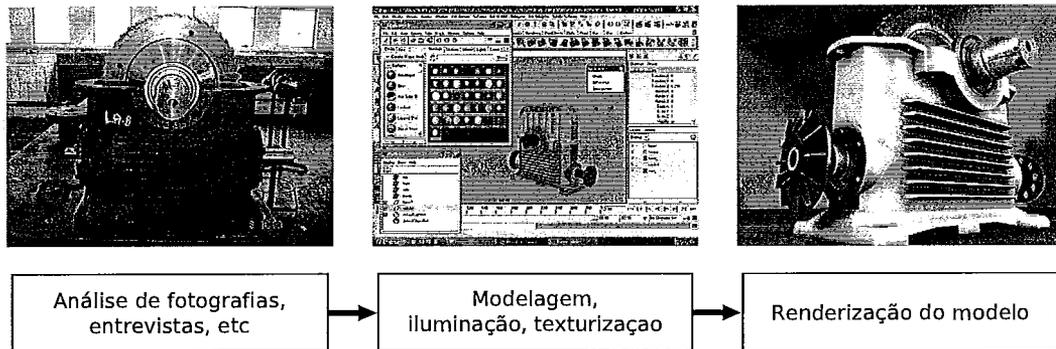


Figura 5.3: Etapas da modelagem de um equipamento

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, são iniciadas as etapas de iluminação e texturização, que são realizadas para a obtenção de realismo nas imagens a serem renderizadas. O processo de renderização é automático nos programas de modelagem tridimensional 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 gerar malhas muito densas, com uma quantidade excessiva de vértices e arestas. 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-las 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 flexível.

- **Aperfeiçoamento do modelo** - Em geral, o processo de modelagem se completa com a aplicação de um modificador, como o *smooth*, que, na verdade, é um multiplicador de polígonos, responsável pela suavização das formas obtidas 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 operações booleanas geram uma geometria nas malhas que muitas das vezes é de difícil manipulação.
- **Nomenclatura dos objetos em cena** - Em geral, os programas de modelagem trazem ferramentas que possibilitam listar todos os objetos em uma cena e nomeá-los. Sendo assim, cada malha criada deve representar uma peça, que para o programa de modelagem é considerado 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 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 algumas partes dos equipamentos utilizamos a técnica de iluminação baseada em HDRI, onde só é necessário ter uma fotografia como base para a iluminação.

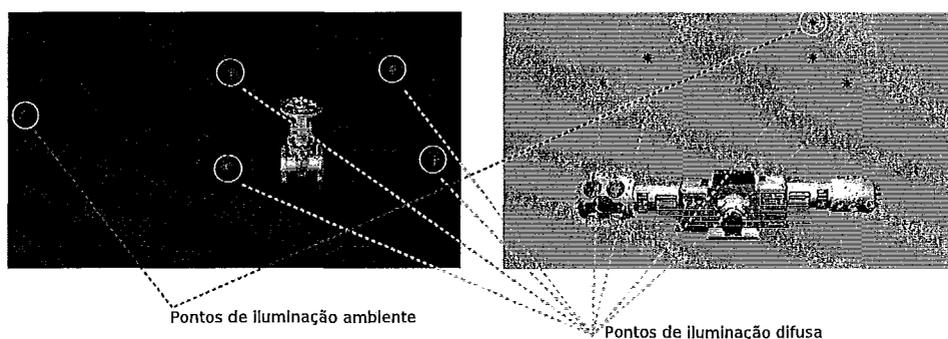


Figura 5.4: Esquema de iluminação elaborado para a elaboração de animações

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 sequência 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 câmera virtual fica parada acompanhando o equipamento em funcionamento, e outro onde a câmera 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 câmera, 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 um 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) podemos 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.

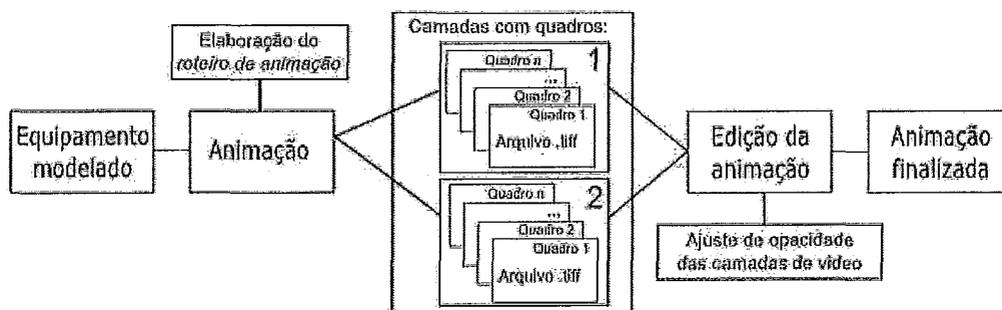


Figura 5.5: Processo para animação dos modelos - Edição da Animação

Utilizamos para as animações mais simples apenas 2 camadas, uma para o exterior do 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 obter a ferramenta 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 foi implementada com o uso de linguagens de programação voltadas para web, 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 fato de o gif incluir algoritmos patenteados. Esse formato é livre e 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.
- **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.

Tais tipos de arquivo são “leves” para o acesso em rede. As imagens em PNG tiveram um tamanho médio de 30KB. As imagens em JPEG 20 KB. As animações em SWF ficaram com uma média de 9 MB e os arquivos em VRML tiveram tamanho médio de 25 MB. Em uma rede local, o acesso a tais arquivos pode ser considerado bom. Caso o usuário fosse usar essa ferramenta via web, testes de velocidade devem ser feitos para se ter uma noção de tempo de acesso ao arquivos.

As imagens dos equipamentos foram finalizadas com os formatos PNG e JPG. Usamos o formato PNG para imagens de fundo transparente. Assim, o usuário da ferramenta pode usar tais imagens para impressões ou outras finalidades que necessitem somente da imagem do equipamento sem nenhum fundo. O formato JPEG foi utilizado em imagens que continham os equipamentos e imagens que destacavam peças dos equipamentos. Optamos por imagens em JPEG pelo tamanho final do arquivo e pela boa qualidade de resolução das imagens.

As animações, que foram finalizadas no formato AVI, 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 web aos arquivos de animação. Além dos arquivos de vídeo poderem ser compactados no formato SWF, muitas funções como ampliação, translação, pausa, entre outros podem ser colocados na 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 qualidade das interfaces gráficas é atualmente um dos grandes responsáveis pelo sucesso de sistemas e softwares. Segundo Argollo Jr et al [62] não existem mais questionamentos a respeito da necessidade de implementação de interfaces gráficas, e sim questionamentos 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 [63] 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 [45], 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

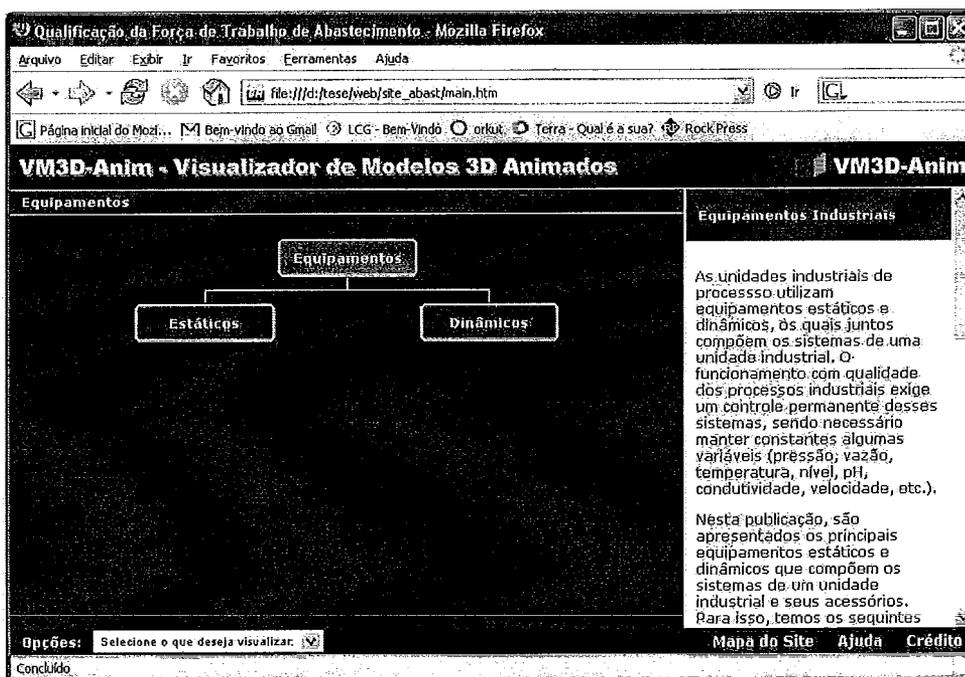


Figura 6.1: Interface Gráfica

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, 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 6.2 cada área de nossa ferramenta.

A navegabilidade da ferramenta fica restrita às 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 às classes de equipamentos fica registrado de forma explícita. Outra opção dada ao usuário é o acesso as informações 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 equipamento

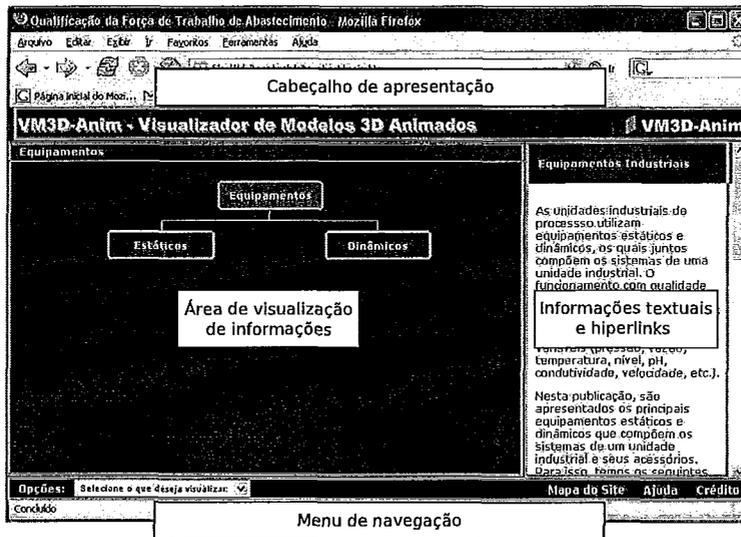


Figura 6.2: Interface detalhada da ferramenta VM3D-Anim

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 à 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 todas os recursos no módulo de visualização disponíveis sem problemas. Observamos poucas dificuldades por parte dos alunos.
- 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. Não realizamos testes para comprovar tal eficiência, porém tivemos uma boa aceitação por parte dos

alunos em práticas de uso.

- 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 como um visualizador, tem a única função de exibir informações. Não existindo mensagens para o usuário, nem módulos para a entrada de dados. A má interpretação de algumas funcionalidade pode ser avaliada nesse critério, porém, por nosso trabalho não se tratar de elaboração de interfaces, nenhum teste sobre taxa de erros foi feito.
- 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 comprava tal satisfação por parte do usuário.

6.3 Base de dados

Elaboramos dois tipos de base de dados, uma base das informações adquiridas e outra para as informações geradas. 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 sub-pastas 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 sub-pastas 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 referente as informações geradas, produzidos pela fase de modelagem, devem ser feito segundo a taxonomia elaborada, isso cria uma relação direta com o conhecimento existente. Deixar explicitado os tipos de classificação de equipamentos em uma estrutura de diretório remete aos usuários a importância de interiorizar um conhecimento existente, a própria classificação dos equipamentos. Outro motivo pelo o qual optamos por essa estrutura, está 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 e fáceis de serem executadas são essenciais para que os dados e informações adquiridos fiquem organizados possibilitando buscas rápidas e intuitivas.

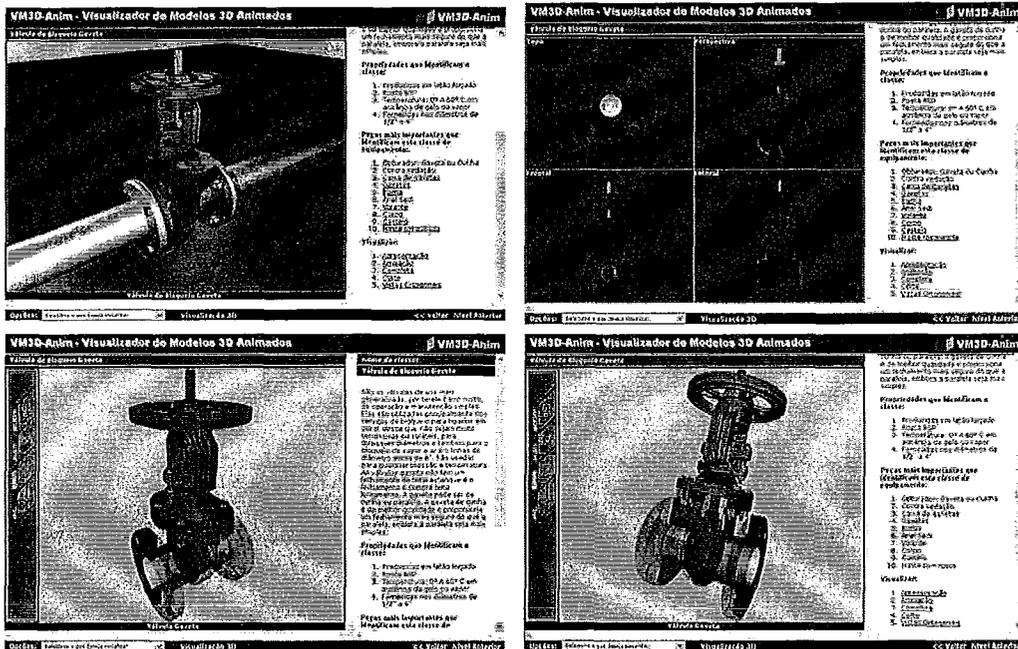


Figura 6.3: Telas da interface gráfica com diferentes tipos de visualização

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 da 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 [64]. O *plugin* oferece uma interface gráfica simples onde o modelo em



Figura 6.4: Módulo interativo em VRML

VRML pode ser visualizado e serem realizadas as operação de rotação, ampliação e translação.

Antes de exportarmos o modelo tridimensional para o formato WRL, algumas configuração devem ser feitas. O arquivo em VRML pode ser editado nos seguintes 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 à 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.

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. Construímos 53 equipamentos modelados e animados com alta qualidade visual. Foram feitas mais de 20 minutos de animações produzidas em 80 homens hora por 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 Schmeckle [65], 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 Schmeckle, 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 médio
 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 escolha 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 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.

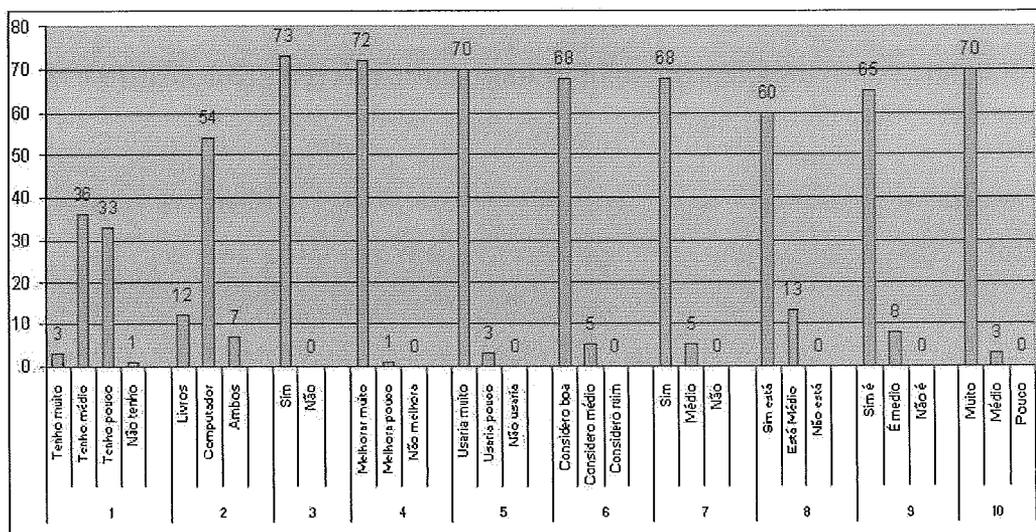


Figura 7.1: Resultados obtidos na avaliação da ferramenta VM3D - Anim realizada em curso da área petrolífera.

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 um infra-estrutura de gerenciamento de conhecimento juntamente com a ferramenta VM3D-Anim, desenvolvida com o objetivo de ajudar e melhorar a capacitação de profissionais da indústria. Para a elaboração da infra-estrutura é necessário a utilização de serviços de aquisição do conhecimento, modelagem e visualização. O serviço de aquisição contou com práticas de entrevista, pesquisa e relatórios realizadas no âmbito industrial. No serviço de modelagem, utilizamos técnicas de modelagem e edição de vídeo para sua elaboração. Finalmente no serviço de visualização, implementamos uma ferramenta que possibilita a visualização tridimensional de equipamentos industriais através de arquivos de imagem, vídeo, VRML (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 à 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, o qual é de extrema importância para qualquer ferramenta voltada para o ensino e outras áreas relacionadas. Podemos dizer que 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. Ao invés de entrevistas, por exemplo, o processo de aquisição de conhecimento tácito pode acontecer na forma de dinâmicas de grupo, com mais de um empregado sendo questionado. Com mais informações, outros tipos de animação podem ser elaboradas, como animações que ilustrem situações de risco.

O armazenamento das informações geradas podem ser realizadas por meio de um banco de dados, onde a atualização de informações possa acontecer de forma dinâmica.

Referente a trabalhos que atuem direcionados à computação gráfica, os módulos interativos podem ser desenvolvidos com X3D ou Java3D, que são tecnologias mais recentes que o VRML. Outros pontos que podem ser ainda abordados se referem a possibilidade de utilização de realidade virtual com interação humana, possibilidade de visualização em ambiente de realidade aumentada e visualização de desenho técnico 3D, correspondente aos modelos criados.

Referências Bibliográficas

- [1] FUTAMI, A. H., VALENTINA, L. V. O. D., AND POSSAMI, O. Um modelo de gestão do conhecimento para a melhoria de qualidade do produto. *Revista Brasileira de Gestão de Desenvolvimento de Produto 2* (2002).
- [2] STEWART, T. Capital intelectual: A nova vantagem competitiva das empresas.
- [3] NONAKA, L., AND TAKEUCHI, H. Criação de conhecimento na empresa: Como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação.
- [4] NATALI, A. C. C., AND FALBO, R. A. Gerência de conhecimento em ode. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software* (2003).
- [5] CHARISTON, N. D., TEBEREKIDIS, V. I., AND TSIPIS, C. A. 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 (2003), 369 – 379.
- [6] BEAZA-YATES, R. A., AND PINTO, J. A. Visual and collaborative tools for software engineering education. *Depto de Ciencias de la Computación, Unoversidade de Chile, Casilla, Santiafo* (1993).
- [7] WILD, R. H., GRIGGS, K. A., AND DOWNING, T. A framework for e-learning as a tool for knowledge management. *Industrial Management and Data Systems 102*, 7 (2002), 371 – 380.
- [8] LINDVALL, M., RUS, I., AND SINHA, S. S. Technology support for knowledge management. *Fraunhofer Center for Experimental Software Engineering, College Park* (2002).

- [9] WIIG, K. Comprehensive knowledge management - working paper. *Knowledge Research Institute, Inc.* (1999).
- [10] MACEDO, LEITE, N. A. M., AND P., J. C. S. Criando uma memória organizacional sob uma abordagem de ontologias. *Jornadas Ibero Americanas de Ingeniería de Requisitos y Ambientes de Software* (2001), 226–238.
- [11] NAVARRO, E. O., AND VAN DER HOEK, A. Adapting game technology to support individual and organizational learning. *SEKE* (2001), 347–354.
- [12] DUBOC, A. L., PAIVA, D., AND ROCHA, V. Uma abordagem para gerencia de conhecimento usando workflow.
- [13] TAVARES, R. Animações interativas e mapas conceituais. *Knowledge Research Institute, Inc.* (1999).
- [14] KIM, S., EUIHOUH, AND HWANG, H. Building the knowledge map: an industrial case study. *Journal of Knowledge Management* 7 (2003), 34 – 45.
- [15] BORGES, F. F., DORÇA, F., QUEIROZ, B., FERNANDES, M. A., LOPES, C. R., TEYMENY, A. A., AND RAMOS, A. Uma ferramenta de autoria para um sistema educacional apoiada na web. *XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - NCE - IM/UFRJ* (2003).
- [16] CAÑAS, A. J., AND CARVALHO, M. M. Mapas conceituais ia: uma união improvável? *Institute for Human and Machine Cognition* (2005).
- [17] CASTANHO, M. E. L. M. Função educacional da arte. *Educação Temática Digital* 6, 2 (Junho 2005), 69 – 78.
- [18] BERGERON, B. Essentials of knowledge management. *John Wiley and Sons, Inc.* (2003).
- [19] DAVENPORT, T. H., AND KLAHR, P. Managing customer support knowledge. *California Management* (1998).
- [20] PRUSAK, L. Conhecimento empresarial. *Campus* (1998).

- [21] DA SILVA, S. L. Gestão do conhecimento: uma revisão crítica orientada pela abordagem da criação do conhecimento. *Brasilia Ci. Inf.* (Maio 2004).
- [22] MCDERMOTT, R. Why information technology inspired but cannot deliver a knowlegde technology for knowlegde management. *California Management Review* (1999).
- [23] MUNDIM, A. P. F., ROZENFELD, H., AMARAL, D. C., DA SILVA, S. L., GUERRERO, V., AND DA HORTA, L. C. Aplicando o cenário de desenvolvimento de produtos em um caso prático de capacitação profissional. *Gestão e Produção* (Abril 2002).
- [24] FORTULAN, M. R., AND FILHO, E. V. G. Uma proposta de aplicação de business intelligence no chão-de-fábrica. *Gestão e Produção* (Janeiro 2005).
- [25] BRENT, L. C., AND GOMES, C. M. Educação e estratégias dos trabalhadores de chão-de-fábrica para ocupação de cargos de chefia. *Psicologia, Ciência e Profissão* (2003).
- [26] GOMES, J., AND VELHO, L. Computação gráfica - volume 1. *Série Computação e Matemática* (1998).
- [27] DEFANTI, T. A., BROWN, M. D., AND MCCORMICK, B. H. Visualization in scientific enginnering research opportunities. *Computer Graphics* 21, 6 (Novembro 1989).
- [28] BRYSON, S. Virtual reality in scientific visualization. *Communications Of The Acm* 39, 5 (Maio 1996).
- [29] FOLEY, VAN DAM, FEINER, AND HUGHES. Computer graphics - principles and practice. *Addison Wesley* (1996).
- [30] REQUICHA, A. A. G. Representations for rigid solids: theory, methods, and systems. *ACM Computing Surveys* (December 1980).
- [31] CATMULL, E., AND CLARK, J. Recursively generated b-spline surfaces on arbitrary topologicalmeshes. *Computer-Aided Design* (September 1978).

- [32] STEWART, J. *Cálculo 2. Editora Pioneira Thomson Learning* (2001).
- [33] CHEN, J., AND DA VITORIA LOBO, N. Real-time fluid modeling using navier-stokes equations. *Graphical Models and Image Processing* (March 1995).
- [34] WOO, M., NEIDER, J., DAVIS, T., AND SHEINER, D. *OpenGL programming guide: the official guide to learning opengl. Massachusetts Reading: Addison Wesley* (1999).
- [35] PHONG, B.-T. Illumination for computer-generated pictures. *Communications of the ACM* (1975).
- [36] APPEL, A. Some techniques for shading machine rendering of solids. *Proc. Spring Joint Computer Conference* (1968).
- [37] GORAL, C. M., TORRANCE, K. E., GREENBERG, D. P., AND BATTAILE, B. Modeling the interactions of light between diffise surfaces. *Computer Graphics* (1984).
- [38] NISHITA, T., DOBASHI, Y., AND NAKAMAE, E. Display of clouds taking into account multiple anisotropic scattering and sky light. *Computer Graphics (SIGGRAPH'96 Proceedings)* (1996).
- [39] DEBEVEC, P. E., AND MALIK, J. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. *Computer Graphics (SIGGRAPH'97 Proceedings)* (1997).
- [40] GOLUB, G. H., AND LOAN, C. F. V. *Matrix computations. Johns Hopkins* (1996).
- [41] BLINN, J. F., AND NEWELL, M. E. Texture and reflections in computer generate images. *CACM* (1979).
- [42] WATT, A. H. *3d computer graphics (3rd edition). Addison Wesley* (1999).
- [43] SIQUEIRA, S. W. M., BRAZ, M. H. L. B., AND MELO, R. N. Web technology for education and training. *Computer Society* (2003).

- [44] MASTELLA, L. S. Técnicas de aquisição de conhecimento para sistemas baseados em conhecimento. *Monoigrafia* (2004).
- [45] NIELSEN, J. Usability engineering. *AP Professional* (1993).
- [46] HACHBART, F. S., RODRIGUES, R. C., AND GONZAGA, P. F. Equipamentos industriais. *Curso de Formação de Operadores de Produção e Refino de Petróleo e Gás* (2003).
- [47] HIDROVECTOR. <http://www.hidrovector.com.br/>.
- [48] OMEL. <http://www.omel.com.br/>.
- [49] SFBRASIL. <http://www.sfbrasil.com.br/>.
- [50] KAESER. <http://www.kaeser.com.br/>.
- [51] LIOU, Y. I. Knowledge acquisition: issues, techniques, and methodology. *ACM SIGBDP Conference on Trends and Directions in Expert Systems* (1990).
- [52] HOFFMAN, R. R. The problem of extracting the knowledge of experts from the perspective of experimental psychology. *The AI Magazine* (1987).
- [53] SCHREIBER, G. E., AKKERMANS, H., ANJEWIERDEN, A., DE HOOG, R., SHADBOLT, N., DE VELDE, W. V., AND WIELINGA, B. Knowledge engineering and management - the commonkads methodology. *The MIT Press* (1999).
- [54] WRIGHT, G., AND AYTON, P. Eliciting and modeling expert knowledge. *Decision Support System* (1987).
- [55] MAX, D. <http://usa.autodesk.com/>.
- [56] RHINOCEROS. <http://www.rhino3d.com/>.
- [57] SOLIDWORKS. <http://www.solidworks.com/>.
- [58] BLENDER. <http://www.blender.org/cms/home.2.0.html>.
- [59] MAYA. <http://usa.autodesk.com/>.

- [60] YAFRAY. <http://www.yafray.org/>.
- [61] ADOBE. <http://www.adobe.com/>.
- [62] JR, M. A., OLGUÍN, C. J. M., AND WELLER, D. Considerando o usuário no processo de desenvolvimento de aplicações com interfaces gráficas. *Confência Internacional de Tecnologia de Software, Curitiba* (Junho 1997).
- [63] HECKEL, P. Software amigável: Técnicas de projeto para uma melhor interface com o usuário. *Editora Campus - Rio de Janeiro* (1991).
- [64] GRAPHICS, P. <http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/>. *Cortona VRML Client - Web 3D Products - ParallelGraphics (a 3D VRML company)* (2006).
- [65] SCHMEECKLE, J. M. Online training: An evaluation of the effectiveness and efficiency of training law enforcement personnel over the internet. *Journal of Science Education and Technology* (2003).