

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE
MODELAGEM E SIMULAÇÃO HUMANA NO PROJETO DE SITUAÇÕES
PRODUTIVAS**

Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura

**SÃO CARLOS
2009**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE
MODELAGEM E SIMULAÇÃO HUMANA NO PROJETO DE SITUAÇÕES
PRODUTIVAS**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE
MODELAGEM E SIMULAÇÃO HUMANA NO PROJETO DE SITUAÇÕES
PRODUTIVAS**

Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura

**Dissertação de mestrado apresentada no
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal de São
Carlos, como parte do requisito para obtenção
do título de mestre em Engenharia de Produção.**

Orientador: Dr. Nilton Luiz Menegon

**SÃO CARLOS
2009**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M929aa

Moura, Daniel Braatz Antunes de Almeida.

Análise da aplicação de ferramenta computacional de modelagem e simulação humana no projeto de situações produtivas / Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura. -- São Carlos : UFSCar, 2009.

162 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

1. Ergonomia. 2. Simulação por computador. 3. Projeto de sistema de manufatura. 4. Computação gráfica. 5. Projeto auxiliado por computador. 6. Trabalho - análise ergonômica. I. Título.

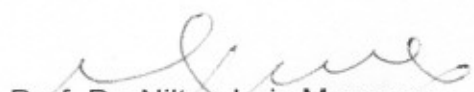
CDD: 658.542 (20^a)




FOLHA DE APROVAÇÃO

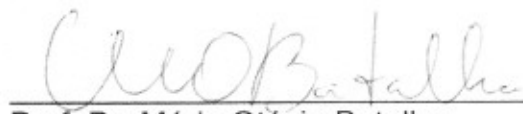
Aluno(a): Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 9/2/2009 PELA
COMISSÃO JULGADORA:


Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon
Orientador(a) PPGE/UFSCar


Prof. Dr. Daniel Capaldo Amaral
EESC/USP


Prof. Dr. Isaías Torres
Sorocaba/UFSCar


Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
Coordenador do PPGE/UFSCar

Com carinho,

aos meus pais, que
sabiamente me
ensinaram e me
conduziram até aqui e,

a toda minha família,
pelo apoio e amor
demonstrado,
especialmente, à Luciana
e Maria Luiza.

AGRADECIMENTOS

A seguir, as poucas linhas que algumas das pessoas mais importantes da minha vida lerão de todo o meu trabalho. A elas, o meu *profundo e eterno agradecimento*.

Aos meus **professores** de Itapeva, Campinas e São Carlos, responsáveis, cada um, na sua individualidade, por este trabalho. Em especial, à **Mariléa de Araújo Ferreira** e **Dona Ivete Camargo**, as quais, por me amarem, foram rigorosas, exigindo-me o máximo.

Aos grandes amigos de Itapeva, minha cidade natal. Em especial, **Carlinhos, Netto, Henrique, Zé Cravo, Raquel Vasconcelos**, entre outros, que me fazem lembrar dos momentos maravilhosos que vivenciei e imaginar os que vivenciarei.

À Igreja Presbiteriana Central de Itapeva, em especial ao presbítero, mestre e tio **Zé Carlos Moura**, pelos valiosos ensinamentos e pelas oportunidades de desenvolvimento, os quais hoje considero diferenciais em minha vida profissional e espiritual.

Aos grandes companheiros de república, **Alemão** e **Thiago** (e agregados...).

Aos amigos da **ABU**, são tantos, que serão representados aqui por uma das pessoas mais especiais que conheci em minha vida, a **Maria Alice**.

Aos amigos do SimuCAD/Ergo&Ação de antigamente. Entre eles, **Daniel Fontolan, Dernival, Mariza, Rafael Costa, Roma, Túlio** e **Vanessa**. E, aos atuais.

A uma *seleção especial de amigos* que me auxiliaram na elaboração e revisão deste trabalho: **Adriano Braatz, Ana Bruno, Andréa (Déa & Bia), Mariléa, Raquel Arouca, Silvana Salomão, Tonin** e **Xan**. Espero que saibam o quanto reconheço e sou grato pelos auxílios e incentivos que recebi.

Aos professores presentes em minha banca. Primeiramente ao Prof. Dr. **Daniel Capaldo Amaral**, ao qual tive o imenso prazer de conhecer e admirar, não somente pela *significativa contribuição* para o meu trabalho, mas pelo exemplo de humildade e respeito com que sempre me tratou. Agradeço, também, ao amigo, mestre, profeta e doutor **Isaiás Torres** pela paciência em me ensinar, desde quando eu ainda era aluno de primeiro ano de graduação - no século passado.

Aos mestres e amigos **Menegon** (*meu eterno orientador “compulsório”*), **Camarotto** e **Mian**, que abriram as portas do SimuCAD/Ergo&Ação, para que um “bixo” desenvolvesse suas potencialidades e hoje tivesse prazer em sua área de atuação profissional.

Aos meus irmãos, **Adriano** e **Luciana**, pelo carinho com que me tratam, assim como meus avós, tias e tios, primos, sobrinho. Enfim, a todos aqueles a quem eu amo e estimo.

Aos meus pais, **Maria da Glória** e **Hugo Mário**, pelos erros e acertos, pelas vitórias e derrotas, pelas alegrias e tristezas, por tudo o que vivenciamos em família e me tornou o homem que sou, sem nunca me deixarem esquecer o caminho que devo trilhar.

À minha **família**, pelo amor e paciência durante os anos em que me dediquei a essa pesquisa, em especial nos últimos meses. À minha esposa, **Luciana**, que sempre acreditou em meu potencial. E, à minha filha, **Maria Luiza**, pela alegria que me proporciona sempre e por ser um dos principais motivos da minha existência.

Enfim, a **Deus, a quem** graças dou por **minha vida**, pelo **passado** e pelo **futuro**.

*“Morro adorando a Deus,
gostando dos meus amigos,
não odiando meus inimigos e
detestando superstições.”*

(Voltaire)

RESUMO

Esta pesquisa apresenta como a ferramenta computacional de Modelagem e Simulação Humana contextualizada pela Análise Ergonômica do Trabalho (AET) e pela análise da Atividade Futura Provável pode auxiliar nos processos de projeto de postos de trabalho. São analisados dois estudos de caso nos quais a Simulação Humana foi empregada com auxílio do *software* Jack (UGS Siemens). O primeiro estudo aborda a concepção de um balcão de atendimento em uma empresa pública de serviços postais. O segundo apresenta o desenvolvimento de uma estação de trabalho de abastecimento de agulhas cirúrgicas em uma empresa de manufatura de produtos relacionados as áreas de saúde e higiene. A partir dos resultados dos estudos de caso são explicitadas as contribuições e desafios da utilização dessa tecnologia em projetos de concepção, visando equacionar as questões do bem-estar humano e da produtividade. O uso da simulação, integrada ao processo de intervenção da AET, permitiu melhorar a antecipação das futuras atividades prováveis das novas situações de trabalho e auxiliou a integração e comunicação dos atores envolvidos nesses processos sociais.

Palavras-chave: simulação humana, ergonomia, computação gráfica, projeto de postos de trabalho.

ABSTRACT

This research aims at presenting the human modeling and simulation contextualized by Ergonomic Work Analysis (EWA) and Probable Future Activities to assist in the design of new workstations. Two case studies in which human simulation was applied using the software Jack were analyzed. The first case study concerns the design of a new attendance counter in a Governmental Postal Company. The second concerns the design of a workstation in the production line of surgical needles in an industry of hygiene and medical products. The results indicate the contributions and challenges of using such technology in projects aiming envisaging issues of health and productivity. The use of simulation together with the Ergonomic Work Analysis (EWA) enabled predicting probable future activities and the participation and integration of actors involved in these social process.

Keywords: *digital human simulation, workplace design, ergonomics.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Esquema representativo da estrutura do trabalho.	27
Figura 2-1: Conceito de <i>trabalho</i> derivado do conceito da <i>técnica</i>. Adaptado de Dejours (2002).....	32
Figura 2-2: Ilustração das áreas de especialização da ergonomia e seus temas relevantes, conforme a IEA (2008).	33
Figura 2-3: Lista significativa das componentes humanas estudadas pela perspectiva dos Fatores Humanos (DUL e WEERDMEESTER, 1993; <i>apud</i> MONTMOLLIN, 2005)	36
Figura 2-4: Da tarefa à atividade. Adaptado de Falzon (2007).....	40
Figura 2-5: Relação entre a atividade de regulação e os modos operatórios. Adaptado de Guérin et al. (2001).....	42
Figura 2-6: Modelo integrador da atividade de trabalho. Adaptado de Guérin et al. (2001).....	43
Figura 2-7: Etapas da Análise Ergonômica do Trabalho. Adaptado de Guérin et al. (2001) e de Ergo&Ação (2003a).....	45
Figura 2-8: <i>Design</i> como elemento integrador de Arte e Ciência. Adaptado de Pahl e Beitz (1996).	47
Figura 2-9: Articulação de abordagens para intervenção da ergonomia em projetos de concepção. Adaptado de Garrigou et al. (2001).	51
Figura 2-10: Principais variáveis antropométricas (MENEGON et al., 2002).....	55
Figura 2-11: Exemplo de aplicação de modelo bidimensional (GM, 2008).....	57
Figura 2-12: Teste de colisão automobilística frontal (<i>crash test</i>) utilizando <i>dummies</i> (FORD, 2008).	58
Figura 2-13: Modelagem humana matemática (IIDA, 2000).	59
Figura 2-14: Exemplo de estrutura hierárquica em modelo humano digital realístico... 	61

Figura 2-15: Representação de esqueleto através de juntas e segmentos. Adaptado de FARREL (2005).	62
Figura 2-16: Avaliação da influência da aparência dos MHDs nas análises ergonômicas (LÄMKULL, HANSON e ÖRTENGREN, 2007).	63
Figura 2-17: MDH interagindo com interior de veículo automotivo no SAMMIE (SAMMIE, 2008).	67
Figura 2-18: Ambiente digital com manequins desenvolvido com <i>software</i> Safework PRO (SAFEWORK, 2008).	68
Figura 2-19: Análise de campo de visão com <i>software</i> HumanCAD (HUMANCAD, 2008).	69
Figura 2-20: Análise de tarefa com <i>software</i> 3DSSPP 5.0. (CENTER FOR ERGONOMICS, 2008).	70
Figura 2-21: Análise automotiva com o <i>software</i> RAMSIS (RAMSIS, 2008).	71
Figura 2-22: Imagem de aplicação do <i>software</i> CATIA Human Builder 2 (DASSAULT, 2008).	72
Figura 2-23: Simulação de Estação Espacial Internacional (ISS) com o <i>software</i> Jack (UGS, 2008).	73
Figura 2-24: Estrutura do esqueleto do modelo humano digital Santos mostrando a localização e tipo das diversas juntas (VSR, 2004).	74
Figura 2-25: Postura definida com base em otimização (FARREL, 2005, p.60).	75
Figura 2-26: Similaridade entre a situação real e a simulação em ambiente digital (SANTOS et al., 2007).	79
Figura 2-27: Cenários com diferentes localizações da tela (em amarelo) em uma sala de cirurgia (MARCOS et al., 2006).	82
Figura 2-28: Assento utilizado para entrar nos veículos (STEPHENS, CHIANG e JOSEPH, 2006).	86
Figura 3-1: Contextualização das aplicações desenvolvidas.	93
Figura 3-2: Dois conceitos avaliados em ambiente digital (FONTES et al., 2006).	99

Figura 3-3: Prototipagem digital simulando atendimento com modelo feminino de atendente (percentil 5) e modelo masculino de cliente (percentil 95).	103
Figura 3-4: Fotos da etapa de testes e validação da prototipagem física de balcão de atendimento.	105
Figura 3-5: Ilustração com subsistemas definidos como recorte para desenvolvimento do projeto.	109
Figura 3-6: Prototipagem física de subsistemas fundamentais.	110
Figura 3-7: Simulações realizadas para desenvolvimento de proposta projetual.	112
Figura 3-8: Fluxograma das principais etapas dos processos de projeto, com destaque para as etapas de simulação humana e prototipagens físicas.	116
Figura 4-1: Ângulos de acuidade visual máxima e mínima. Adaptado de Farrel (2005).	127
Figura 5-1: Contextualização da contribuição da simulação humana em um processo de intervenção ergonômica.	130
Figura 5-2: Articulação metodológica e conceitual visando a condução de processos de projeto.	134
Figura 7-1: Interface gráfica do <i>software</i> Jack 4.1.	145
Figura 7-2: Janela de criação de objetos geométricos simples no Jack.	146
Figura 7-3: Inserção de objetos através da biblioteca disponível.	147
Figura 7-4: Passos para importação de modelo gerado em <i>software</i> CAD.	148
Figura 7-5: Evolução do manequim digital do Jack ao longo de suas versões.	149
Figura 7-6: Variáveis antropométricas aceitas pelo Jack.	151
Figura 7-7: Janela “<i>Build Human</i>” para “<i>Basic Scaling</i>” com modelos humanos no Jack.	152
Figura 7-8: Janela “<i>Build Human- Advanced Scaling</i>” no Jack 4.1.	153
Figura 7-9: Principais posturas pré-definidas no Jack.	154
Figura 7-10: Ajuste fino das juntas conforme os graus de liberdade do manequim.	155

Figura 7-11: Janela para controle humano com painéis de comportamento (esquerda) e manipulação (direita).	156
Figura 7-12: Algumas opções de <i>shape hand</i>.	157
Figura 7-13: Ilustração de campo visual de manequim.	158
Figura 7-14: Exibição do cone de visão e campo visual no detalhe.....	159
Figura 7-15: Análises a partir de envelopes de alcance.	162

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1: Quadro comparativo de três ferramentas computacionais de modelagem e simulação humana. Adaptado de Hanson (2000). Tradução própria.....	88
Quadro 3-1: Ano do desenvolvimento das aplicações do <i>software</i> Jack	93
Quadro 3-2: Objetivos dos projetos desenvolvidos com aplicações do <i>software</i> Jack.....	94
Quadro 3-3: Principais contribuições da simulação humana obtidas na concepção do balcão de atendimento.....	106
Quadro 3-4: Principais contribuições da simulação humana obtidas no desenvolvimento do posto de trabalho.	114

LISTA DE ABREVIATURAS

3DS	<i>3D Studio file</i> – extensão de arquivo do 3D Studio MAX
3DSSPP	<i>Three-Dimensional Static Strength Prediction Program</i>
AET	Análise Ergonômica do Trabalho
ANNIE	<i>Application of Neural Networks to Integrated Ergonomic</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
DEP	Departamento de Engenharia de Produção
DOF	<i>Degrees of Freedom</i>
DR	Diretoria Regional
DRT	Delegacia Regional do Trabalho
DWG	<i>Drawing file</i> – extensão de arquivo do AutoCAD
EAI	<i>Engineering Animation Inc.</i>
EDS	<i>Electronic Data Systems</i>
EJA	<i>Ergo Job Analyser</i>
ENV	<i>Environment file</i> – extensão de arquivo do Jack
FAI	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FIG	<i>Figure file</i> – extensão de arquivo do Jack
FMC	<i>Ford Motor Company</i>
HMD	<i>Head-Mounted Displays</i>
IEA	<i>International Ergonomics Association</i>
IGES	<i>Initial Graphics Exchange Standard file</i> – extensão de arquivo
IGP	<i>Deneb IGRIP file</i> – extensão de arquivo
INT	Instituto Nacional de Tecnologia

ISS	<i>International Space Station - Estação Espacial Internacional</i>
IV	<i>Inventor file – extensão de arquivo</i>
KVM	<i>Keyboard Video Mouse</i>
MHD	Modelos Humanos Digitais
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health - EUA</i>
NR17	Norma Regulamentadora 17
OWAS	<i>Ovako Working Posture Analysing System</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineer</i>
SDARS	<i>Satellite Digital Antenna Radio System</i>
STL	<i>Stereolithography file – extensão de arquivo</i>
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
VRML	<i>Virtual Reality Modelling Language</i>
WRL	<i>Virtual Reality Modelling Language file – extensão de arquivo</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Caracterização do Problema	22
1.2	Justificativas e Objetivos da Pesquisa	23
1.3	Metodologia	25
1.4	Estrutura do Trabalho	27
1.5	Delimitações da Pesquisa	28
2	REFERÊNCIAS CONCEITUAIS PARA PROJETO DE SITUAÇÕES PRODUTIVAS.....	30
2.1	Ergonomia	31
2.1.1	Ergonomia dos fatores humanos	34
2.1.2	Ergonomia da atividade	37
2.2	Metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho.....	44
2.3	Ergonomia e Projeto.....	46
2.3.1	Processo de projeto	46
2.3.2	Ergonomia nos processos de projeto de postos de trabalho	49
2.4	Antropometria e Modelagem Humana.....	52
2.4.1	Antropometria e dimensões antropométricas	53
2.4.2	Modelagem humana bidimensional física	56
2.4.3	Modelagem humana tridimensional física	57
2.4.4	Modelagem humana matemática computacional	58
2.4.5	Modelagem humana tridimensional computacional	59
2.5	Simulação Humana Computacional em Ergonomia	64
2.5.1	Evolução das ferramentas de simulação humana.....	65
2.5.2	Software SAMMIE V8 (Sammie CAD).....	66
2.5.3	Software SAFEWORK PRO (Dassault Systèmes).....	67
2.5.4	Software HUMANCAD (NexGen Ergonomics)	68
2.5.5	Software 3DSSPP 5.0 (University of Michigan).....	69
2.5.6	Software RAMSIS (Human Solutions).....	70
2.5.7	Suíte HUMAN BUILDER 2 (Dassault Systèmes)	71
2.5.8	Software JACK 4.1 (UGS Siemens).....	72
2.5.9	Software SANTOS (University of Iowa).....	73

2.6	Levantamento das aplicações de programas computacionais de modelagem e simulação humana	76
2.6.1	Síntese de publicação com aplicação do software eM-WORKPLACE	78
2.6.2	Síntese de publicação com aplicação do software RAMSIS	80
2.6.3	Síntese de publicação com aplicação do software JACK.....	84
2.6.4	Considerações sobre programas computacionais de simulação humana.....	87
2.7	Conclusão a partir dos Referenciais Conceituais	89
3	METODOLOGIA E ESTUDOS DE CASO.....	91
3.1	Aplicações Desenvolvidas com o <i>Software Jack</i>	92
3.1.1	Contexto das aplicações.....	92
3.1.2	Objetivos Gerais e Específicos das Aplicações.....	94
3.2	Estudo de Caso 1: Projeto de Balcão de Atendimento	95
3.2.1	Apresentação	96
3.2.2	Fase de análise ergonômica do trabalho (AET).....	96
3.2.3	Fase de projeto	98
3.2.3.1	Prototipagem digital	99
3.2.3.2	Prototipagem física	104
3.2.4	Análise dos resultados para o caso 1	106
3.3	Estudo de Caso 2: Projeto de Posto de Trabalho de Abastecimento de Agulhas Cirúrgicas	107
3.3.1	Apresentação	107
3.3.2	Fase de análise ergonômica.....	108
3.3.3	Fase de projeto	109
3.3.3.1	Prototipagem digital	110
3.3.4	Análise dos resultados para o caso 2.....	113
3.4	Considerações sobre os estudos de caso.....	114
4	ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL ..	118
4.1	Dados Antropométricos	119
4.2	Modelagem Humana no <i>Software JACK</i>	120
4.3	Modelagem Tridimensional de Ambientes Digitais.....	124
4.4	Usabilidade e o Processo de Simulação Humana no JACK.....	124
4.5	Considerações sobre as Ferramentas de Análise disponíveis	125

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
5.1	Contribuições da simulação humana computacional no projeto de situações produtivas.....	129
5.2	Limitações da ferramenta e dificuldades operacionais.....	132
5.3	Limitações e continuidade da pesquisa.....	133
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
7	APÊNDICE A – Descrição do software de modelagem e simulação humana JACK	143

1 INTRODUÇÃO

O estudo das relações entre a tecnologia e as condições ambientais de trabalho é, segundo Camarotto (1998, p.1), uma preocupação que possui registro desde o século 16, com a publicação dos estudos de George Bauer em 1556. Tais estudos abordavam doenças e acidentes relacionados ao trabalho de mineiros e fundidores de ouro e prata. Entretanto, foi a partir da publicação, em 1700, do livro *De Morbis Artificum Diatriba*, do médico italiano Bernardino Ramazzini, que os estudos sobre o conforto do ser humano nos ambientes de trabalho foram sistematizados (BISSO, 1990 *apud* CAMAROTTO, 1998).

A ergonomia surge como ciência do trabalho e difunde-se a partir da revolução industrial, especialmente na II Guerra Mundial, quando os equipamentos bélicos tornam-se mais complexos e aumenta a necessidade do uso racional e estratégico dos recursos humano e bélico. Para tratar dessas questões foram formadas equipes multidisciplinares nos Estados Unidos e na Inglaterra com o objetivo de elevar a eficácia combativa, a segurança e o conforto dos militares (MÁSCULO, 2008).

A adoção de novas tecnologias nas últimas duas décadas, convivendo com as tecnologias passadas, dentro de um contexto de busca incessante pelo aumento da produtividade, tem caracterizado os atuais sistemas produtivos. No entanto, essas alterações não foram acompanhadas por melhorias efetivas nas condições de trabalho que, até o presente momento, tiveram suas necessidades parcialmente supridas pela busca do aumento da segurança ocupacional através de comitês para prevenção e investigação de acidentes e serviços de saúde e higiene ocupacionais.

Tais abordagens são importantes e possuem parcelas de responsabilidade na diminuição da exposição dos trabalhadores aos riscos ocupacionais, porém não são suficientes, principalmente no que se refere ao desafio de buscar soluções que melhorem os processos produtivos, garantindo um resultado equilibrado entre desempenho do sistema produtivo e bem-estar humano da força-de-trabalho.

Em um contexto atual, a ergonomia atua como disciplina que busca conhecimentos de diferentes áreas para analisar, diagnosticar e apoiar o projeto de situações produtivas. Dentre os métodos, técnicas e ferramentas que a ergonomia vêm aplicando nos últimos anos, existe um conjunto de programas computacionais de modelagem e simulação

humana que busca aliar as técnicas de computação gráfica, entre elas, a realidade virtual, no projeto de produtos e postos de trabalho.

O crescimento do uso de ferramentas computacionais, além da maior acessibilidade e desempenho de *hardware* e *software*, está associado à necessidade dos processos de projeto serem cada vez mais rápidos, com maior qualidade, complexidade e menor consumo de recursos.

1.1 Caracterização do Problema

O processo de projeto de situações produtivas traz em si um confronto de duas perspectivas antagônicas: uma perspectiva descendente, relacionada com o projeto de engenharia e com a lógica do funcionamento das unidades produtivas – cuja articulação se dá em torno da eficácia produtiva; e uma perspectiva ascendente, relacionada com as disciplinas antropocêntricas, voltadas para as questões do bem estar humano (MENEGON, 2003).

Dessas perspectivas, a primeira destaca-se com uma presença muito mais significativa que a segunda, isto é, a preocupação com os sistemas produtivos, com as máquinas e equipamentos e por fim, com a produção, possui maior influência durante o processo de projeto do que questões como segurança, conforto, confiabilidade humana, enfim, a atividade dos trabalhadores no local de trabalho sob projeto.

Esse confronto de lógicas motiva pesquisadores com a necessidade de responder *como a ergonomia pode atuar como elemento confrontador da racionalidade técnica (produção) com uma visão antropocêntrica (atividade humana) na produção de novas situações de trabalho.*

Menegon (2003) relaciona as seguintes questões que circunstanciam a introdução do ponto de vista da atividade dos trabalhadores (isto é, aquilo que eles realmente realizam em seus cotidianos para obterem o resultado esperado pela empresa) na concepção de situações produtivas:

- a) os determinantes advindos dos aspectos estratégicos do negócio, em conjunto com o escopo do projeto, isto é, a abrangência dos elementos de especificação, sobre controle da equipe de projeto, constitui fortes restrições para a introdução de mudanças positivas em situações de trabalho;
- b) dentro do espaço de projeto, determinado pelas questões anteriores, as interações entre os trabalhadores que atuarão sobre o dispositivo

- projetado, e os projetistas, representam uma questão central do projeto de processos de trabalho;
- c) os métodos e técnicas, sejam do campo da ergonomia ou de projeto, devem orientar-se no sentido de possibilitar a construção de consensos negociados, auxiliando o processo de tomada de decisão (MENEGON, 2003, p. 15).

A partir da compreensão da ergonomia como elemento confrontador e do uso de um programa computacional como ferramenta de auxílio para construção de consensos, auxiliando o processo de tomada de decisão por meio da representação digital do ambiente de trabalho e sua interação com “diferentes pessoas” (manequins digitais humanos), é importante estabelecer *as condições nas quais o uso dessa tecnologia pode ser positivo* e identificar *quais são as dificuldades e problemas que podem ocorrer na sua aplicação*.

O objeto de processo de projeto “situações produtivas” pode ser interpretado, nesta pesquisa e na maior parte do estudo, como sinônimo de “postos de trabalho”, porém preferiu-se manter o primeiro, tanto no título quanto nas incursões ao longo do texto, devido à maior abrangência que este possui, seja em escala física ou nas áreas de atuação.

1.2 Justificativas e Objetivos da Pesquisa

Ao longo desta pesquisa verificou-se que, internacionalmente, há falta de trabalhos relevantes sobre o tema e um desconhecimento sobre a tecnologia em âmbito nacional, exceto por algumas empresas de grande porte, como Petrobras e Embraer e poucas instituições de ensino e pesquisa.

Dessa forma, a pesquisa sobre uma tecnologia específica, voltada para o projeto de condições de trabalho mais satisfatórias, dentro de um contexto de análise da atividade, pode ser útil para o conhecimento: i) das relações da ergonomia desde as etapas de análise até as etapas de intervenção, através de projetos de engenharia; ii) das possibilidades de aplicação de programas computacionais de modelagem e simulação humana contextualizada pela Análise Ergonômica do Trabalho (AET); iii) das limitações do uso das tecnologias computacionais em processos de projeto de engenharia; e iv) de forma mais ampla, difundir, a partir de uma análise crítica, uma tecnologia em fase de expansão no cenário industrial brasileiro.

Com base nesses conhecimentos define-se o objetivo deste trabalho: de forma geral, *o de investigar e avaliar o uso da ferramenta computacional Jack, da UGS Siemens, aplicada no contexto da ergonomia situada, a partir de bases teóricas e de aplicações práticas, visando construir uma análise crítica de sua potencialidade de contribuição em processos de projeto de postos de trabalho.* Os seguintes objetivos específicos são orientadores do trabalho:

- a) disponibilizar conhecimentos sobre uma tecnologia relativamente nova no contexto mundial e pouco conhecida no Brasil;
- b) propor, por meio de embasamento teórico em ergonomia e processos de projeto, uma melhoria na confrontação e auxílio da comunicação entre os diferentes atores envolvidos nos processos de projeto;
- c) demonstrar formas de considerar situações de referência de ambientes de trabalho para o projeto de situações produtivas;
- d) investigar as contribuições de um ferramental da corrente ergonômica clássica (de característica quantitativa e objetiva) dentro de um contexto da ergonomia centrada na atividade (a qual possui um abordagem mais qualitativa e subjetiva).

A aplicação prática da tecnologia de modelagem e simulação humana em projetos contextualizados pela análise ergonômica do trabalho suscita a investigação das seguintes questões:

- a) falta de dados antropométricos adequados para a aplicação do *software*, considerando a fisiologia do trabalhador brasileiro;
- b) problemas na importação de projetos realizados em *software* CAD (*computer aided design* - projeto orientado por computador) para o *software* Jack;
- c) dificuldade de operação do *software* de simulação humana, devido à diferença de usabilidade entre este e outros programas computacionais de uso comum do dia-a-dia;
- d) dificuldades na utilização dos módulos de modelagem, animação e análise presentes no *software*.

Por fim, esta pesquisa contribui para a redução das dificuldades de interpretação dos resultados apresentados pela simulação e para indicar como orientar e auxiliar no desenvolvimento de dispositivos técnicos.

1.3 Metodologia

Considerando a busca por meios que conduzissem ao alcance dos objetivos propostos, define-se, na sequência, o foco de estudo e a questão principal para a pesquisa.

O foco da análise é o processo de projeto de engenharia, aplicando-se a tecnologia de modelagem e simulação humana (através do uso do *software* Jack) na concepção de sistemas produtivos. A questão básica da pesquisa e tema central desta dissertação é:

“Quais as contribuições da ferramenta computacional de modelagem e simulação humana Jack em processos de projeto contextualizados pela análise ergonômica do trabalho, nos quais se visa melhorar os ambientes de trabalho e dispositivos técnicos?”.

Para responder a essa pergunta vários temas foram investigados: as características dos processos de projeto, os conceitos da ergonomia, a modelagem humana e antropometria, as ferramentas computacionais e, por fim, a própria simulação humana digital.

De acordo com o apresentado e conforme as classificações metodológicas, a presente pesquisa se caracteriza, do ponto de vista da sua natureza, como *aplicada*, por gerar conhecimentos para aplicação prática. Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, ela é *qualitativa* devido ao estudo das relações subjetivas, presentes tanto na análise ergonômica do trabalho quanto nos processos de projeto. Finalmente, do ponto de vista de seus objetivos, é do tipo *exploratória*, envolvendo levantamento bibliográfico, verificações em diversos casos práticos e concluindo com o desenvolvimento de uma análise crítica sobre as questões levantadas.

Buscou-se avaliar a tecnologia computacional através do estudo de casos ocorridos entre os anos de 1998 (ano de aquisição do *software*) e 2008, em projetos de pesquisa e extensão do grupo Ergo&Ação, do Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar, com aplicações do *software* Jack e a participação direta do autor dessa dissertação nos processos de projeto.

A aplicação da simulação humana nos projetos estudados ocorreu na presença de diferentes atores sociais, determinando-se a necessidade de realizar não somente uma construção técnica dos artefatos, mas também a construção social desses.

O primeiro caso detalhado teve como metodologia própria a estratégia da pesquisa-ação. Para Thiollent (1996) esse tipo de pesquisa ocorre de forma participativa, com a presença dos diferentes atores sociais, sejam pesquisadores, membros de instituições e

grupos e os próprios trabalhadores afetados direta ou indiretamente pelos resultados da pesquisa. Todo o processo foi estabelecido a partir de um contrato inicial em que as responsabilidades de cada parte foram explicitadas e a demanda original apresentada. A partir desta última, foi realizada uma análise detalhada da demanda efetiva, na perspectiva dos pesquisadores e, em seguida, a análise do trabalho. Após a etapa de análise, seguiu-se a síntese. As hipóteses levantadas nas etapas anteriores foram verificadas e confirmadas ou refutadas total ou parcialmente. Ainda nessa fase foi confeccionado um diagnóstico das condições de trabalho sob os aspectos físicos, cognitivos e organizacionais. Com base no diagnóstico, evoluiu-se para o desenvolvimento de dispositivos técnicos que atendessem os aspectos do bem-estar humano e da produtividade na etapa de projeto. Durante as etapas, as principais decisões e desenvolvimentos ocorreram de forma participativa em seminários, onde as diversas partes interessadas, com suas competências específicas, puderam apresentar observações e considerações. Os seminários podem ser considerados espaços de confrontação dos diversos atores e suas representações.

A metodologia do segundo caso foi determinada, inicialmente, pelo programa corporativo adotado nas unidades em diferentes países da empresa. O programa previa a análise ergonômica de todos os postos de trabalho de forma quantitativa (de acordo com questões de repetitividade, produtividade e biomecânica) e mapeamento de riscos desses locais. Os resultados dessas análises apontaram a necessidade de intervenção prioritária em um determinado local de trabalho. A primeira etapa de projeto desse posto de trabalho foi desenvolvida internamente ao grupo, com diversas competências envolvidas e interações periódicas com a gerência responsável. Em um segundo momento, o projeto contou com a participação de outras gerências da empresa, dentre as quais, pessoas ligadas ao setor de engenharia e manutenção. O desenvolvimento do projeto contou, primeiramente, com a validação através de prototipagem física e, posteriormente, a prototipagem digital para definições de detalhes, validação com a mesma ferramenta de análise ergonômica e construção das especificações finais.

Apesar de ser apresentada como uma etapa que ocorre após as análises e diagnóstico, na prática é impossível proibir que o projeto e projetistas não iniciem esse processo – mesmo que de forma tímida – ainda nas primeiras fases de análise. Tal antecipação não é indesejável, pois auxilia na construção do processo de projeto, permitindo que este seja discutido e validado ao longo das etapas e amadureça em um menor espaço de tempo.

De forma geral, os projetos podem ser caracterizados como um processo não linear, com decisões fundamentadas de forma técnica e social, a partir de negociações de necessidades, desejos e restrições.

Considerar as dimensões subjetivas e objetivas desse processo, a partir de referenciais teóricos, eleva a discussão para as relações entre diferentes racionalidades presentes, técnicas e não técnicas, das competências distintas e dos diversos níveis hierárquicos, demonstrando a não linearidade e subjetividade que muitos pesquisadores ignoram, total ou parcialmente, ao tratar desse tema.

1.4 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está estruturada em 5 capítulos. Excetuando este capítulo e o quinto, os demais foram divididos em duas etapas: a primeira, relativa à fundamentação teórica; a segunda, à apresentação de aplicações práticas e ao desenvolvimento de análises em torno dessas aplicações. A Figura 1-1 ilustra a estrutura do trabalho.

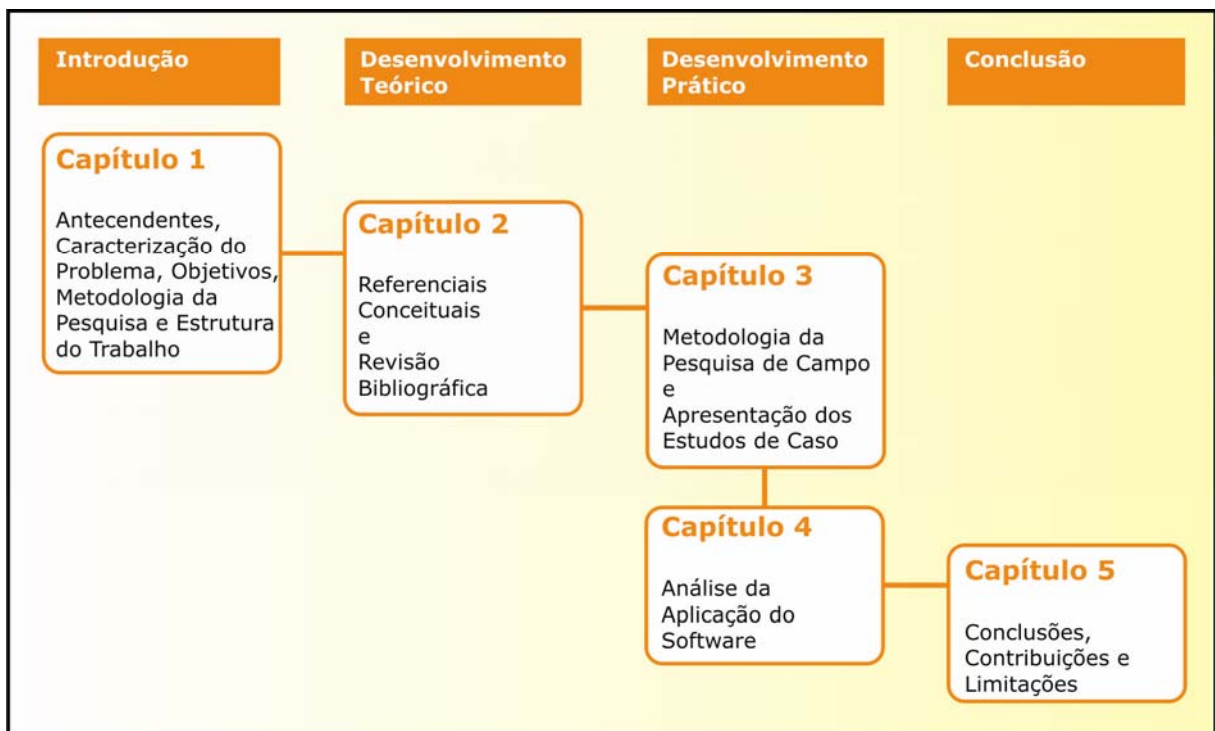


Figura 1-1: Esquema representativo da estrutura do trabalho.

No **Capítulo 2**, serão tratados conceitos relativos ao *trabalho, saúde, ergonomia, projeto, modelagem e simulação humana*. Busca-se, nesse capítulo, um referencial teórico para a pesquisa que possibilite compreender as atividades de trabalho e a complexidade existente na projeção de situações produtivas. Para a apresentação e análise da parte prática da pesquisa, é necessário compreender a aplicação de ferramentas computacionais de simulação humana. Com tal objetivo, ainda no Capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica com diversas publicações sobre o tema, sendo três aplicações apresentadas através de sínteses de seus trabalhos.

O **Capítulo 3** explicita o contexto e os objetivos de todos os projetos desenvolvidos com uso do *software* Jack desde sua aquisição para, em seguida, apresentar dois casos de aplicação. Os resultados específicos de cada estudo de caso são apresentados e, posteriormente, considerações finais sobre as aplicações.

No **Capítulo 4** é apresentada uma reflexão sobre o projeto de pesquisa conduzido, buscando a sistematização do conhecimento gerado. O capítulo objetiva responder às questões postas para a pesquisa e busca, conforme a lógica de uso do *software*, analisar sua aplicabilidade nos processos de projeto.

O **Capítulo 5** conclui o trabalho. Apresenta uma síntese relativa aos objetivos da pesquisa e estabelece as contribuições advindas da consideração do ponto de vista da atividade, na aplicação de uma ferramenta computacional específica para o processo de concepção de situações produtivas. Foram analisadas as limitações da ferramenta e da pesquisa desenvolvida, propondo-se uma continuidade para a mesma.

No **Apêndice A** apresenta-se detalhadamente o *software* Jack, sendo explicitados os fundamentos que orientam o uso desse tipo de ferramenta.

1.5 Delimitações da Pesquisa

Esta pesquisa aborda os referenciais conceituais para o projeto de situações produtivas. Na sequência, o aprofundamento dos estudos relacionados às aplicações da tecnologia computacional, assim como a descrição detalhada da ferramenta utilizada, serão limitados a um *software* específico.

Isto se deve à disponibilidade do *software*, ocorrida por meio de negociação e contrato, no ano de 1998, entre a empresa brasileira representante do *software* na época e o

grupo de pesquisa. Desde então o Ergo&Ação utiliza a ferramenta em seus projetos de pesquisa, além das atividades de extensão e ensino, envolvendo graduação e pós-graduação. É importante salientar que atualmente os custos de licenças de programas computacionais do gênero do Jack – para uso em apenas um computador – são proibitivos para aquisição por instituições de ensino e pesquisa e pequenas e médias empresas. Disso resulta a importância de se valorizar as parcerias entre as empresas que representam ou detêm os direitos dos programas computacionais e tais instituições.

As aplicações, apresentadas de maneira detalhada, possuem características muito específicas, tanto no que diz respeito às empresas, quanto ao modo que o processo de projeto ocorreu. Apesar disso, acredita-se que os resultados obtidos poderão ser úteis, por analogia, a outros programas computacionais e ferramentas de projeto (que possuam algum nível de similaridade), assim como auxílio à compreensão e concepção de outras situações e ambientes produtivos.

2 REFERÊNCIAS CONCEITUAIS PARA PROJETO DE SITUAÇÕES PRODUTIVAS

Diferentes ciências, disciplinas e teorias desenvolveram-se a partir da busca pela melhoria e adequação das situações produtivas. Tais intervenções buscam atender a diferentes objetivos e necessidades, de acordo com o momento histórico, geográfico e econômico. Por exemplo, pode-se citar dois extremos: primeiramente na pré-história, onde a criação de ferramentas para auxílio à caça teve como objetivo a sobrevivência dos caçadores; e, no presente, a automação e informatização dos sistemas produtivos em busca de flexibilidade e produção em escala.

Neste capítulo são apresentadas revisões de diferentes conceitos, ligados ao projeto de situações produtivas. Inicialmente o conceito abordado é a *ergonomia*, com uma introdução sobre a definição do termo “trabalho”, visto que, citando Guérin et al. (2001), transformar o trabalho é a finalidade primeira da ação ergonômica. Para tal conceituação serão apresentadas as duas principais correntes da *ergonomia* na atualidade: a ergonomia clássica, de origem anglo-saxônica e centrada na componente humana dos sistemas homem-máquina; e a corrente da ergonomia da atividade, enraizada nos países francófonos. Para Montmollin tais correntes não estão em oposição, mas complementam-se (MONTMOLLIN, 2005).

Após a conceituação da *ergonomia* apresenta-se os conceitos de *antropometria* e *modelagem humana*, ambos integrantes de áreas de conhecimento que fornecem dados para a ação ergonômica. A *antropometria* é uma ciência de natureza empírica que lida com as medidas de tamanho, massa, forma e propriedades de inércia do corpo humano. É através dos dados antropométricos que são determinadas áreas de alcance, força e espaços necessários para acomodar o corpo humano (CHAFFIN, ANDERSON e MARTIN, 2001).

A *modelagem humana* parte de dados antropométricos e de outras propriedades biomecânicas para representar o sistema humano biomecânico, o qual apresenta uma alta complexidade. O propósito desta modelagem é a simplificação e suposição da situação real, visando aumentar o conhecimento sobre tal situação, além da compreensão de como funcionam os seus componentes (CHAFFIN, ANDERSON e MARTIN, op. cit.).

O último conceito revisado aborda o tema central do trabalho, isto é, a tecnologia computacional de *simulação humana*. É importante afirmar que o termo *simulação*

humana é abrangente. No entanto, aqui, refere-se ao uso de um ferramental computacional, como por exemplo, os programas computacionais apresentados neste capítulo (*Jack* e o *Human*, da *Dassault Systèmes*).

Conclui-se o capítulo com uma análise detalhada da ferramenta computacional utilizada nos estudos de caso, com objetivo de fundamentar tais aplicações práticas por meio do conhecimento dos recursos apresentados pelo *software*.

2.1 Ergonomia

Castillo e Villena (2005) afirmam, no prólogo do livro “Ergonomia: Conceitos e Métodos”, que trabalhar pode ser benéfico, gerador de bem-estar e progresso individual, fator de integração social e um prazer. Do mesmo modo, trabalhar pode ser uma fonte de doença e de insatisfação. O frágil equilíbrio que permite trabalhar sem que tal suponha uma agressão para a saúde é, sem dúvida, o motor do trabalho do ergonomista. A relação entre trabalho e saúde é um campo vasto que tem sido estudado de maneira multidisciplinar pela medicina do trabalho, epidemiologia, toxicologia e psicodinâmica, entre outras. Doppler (2007) apresenta a evolução dessas relações, contextualizadas pelas evoluções da população de trabalhadores, da organização do trabalho, do conteúdo do trabalho, concluindo na apresentação dos diferentes pontos de vista da toxicologia, da medicina do trabalho, da psicodinâmica e da ergonomia, quanto ao confronto entre trabalho e saúde. “A ergonomia é uma das contribuições mais significativas no que diz respeito à saúde” (p. 56) e conclui:

A ergonomia, através de seus objetivos, suas ferramentas e métodos, permite estabelecer um vínculo forte entre trabalho e saúde. A ação do ergonomista, ao transformar o trabalho, age nas causas do risco, ou seja, situa-se no nível da prevenção primária e não no da prevenção secundária (minimizar os riscos) ou terciária (os administrar). A ergonomia visa sem dúvida melhorar a eficácia do sistema de trabalho, mas longe de se contentar com evitar o risco de patologias, ela procura favorecer a saúde vista como um processo de desenvolvimento (DOPLER, 2007, p. 57).

Dejours (2002) analisa os pressupostos que considera o ponto fraco dos procedimentos científicos daqueles que se interessam pelo fator humano no trabalho. Para ele os pressupostos teóricos identificados são o *homem*, a *tecnologia* e o *trabalho*.

Examinando as relações de diferenciação e de sobreposição entre técnica (da ciência *tecnologia*) e trabalho (Figura 2-1), Dejours conceitua o primeiro destes como sendo um **ato** que o indivíduo (**ego**) materializa sobre o **real**, iniciado a partir de uma **tradição** e sancionado pelo julgamento do **outro** com relação à **eficácia** deste ato. A conceituação de trabalho deriva desse conceito de técnica, no qual, teoricamente, está incluído. O trabalho é caracterizado pelo enquadramento social de obrigações e de exigências que o precede (**atividade coordenada**), o que é diferente de um ato referido a uma criação qualquer. O autor ainda situa o trabalho como contextualizado economicamente e pela obrigatoriedade desse ser **útil** (DEJOURS, 2002, p. 39). O conceito desenvolvido por Dejours apresenta o trabalho como uma atividade contextualizada, abordagem esta compartilhada com a corrente da ergonomia que busca compreender e transformar o trabalho através da confrontação da tarefa prescrita com a atividade real.



Figura 2-1: Conceito de *trabalho* derivado do conceito da *técnica*. Adaptado de Dejours (2002).

A ergonomia tem sido definida de forma diversificada ao longo das últimas décadas. No ano de 2000, a IEA (2008) adotou, após dois anos de discussão internacional, uma definição que trata de duas facetas que a ergonomia possui. Primeiramente, de disciplina, em busca de conhecimentos e da compreensão das interações do elemento humano com outros componentes do sistema. A outra face remete à profissão, isto é, aos profissionais que

praticam a ergonomia, aplicam princípios teóricos, dados e métodos com o objetivo de otimizar o bem-estar das pessoas e o desempenho global do sistema.

Falzon (2007, p. 8) afirma que a ergonomia encontra-se em uma tensão entre dois objetivos; de um lado, centrado nas organizações, e conseqüentemente, sobre sua produtividade, qualidade, eficiência, confiabilidade etc. Por outro lado, o autor cita o objetivo centrado nas pessoas, o qual se desdobra sobre a segurança, saúde, conforto, facilidade de uso, satisfação, interesse do trabalho, prazer etc. Falzon afirma ainda que nenhuma outra disciplina declara, de forma tão explícita, esse duplo objetivo; os ergonomistas podem tender para um ou para outro, mas, obrigatoriamente, deverão considerar sempre ambos.

Ainda na definição da IEA (2008) são apresentadas as áreas de especialização, as quais remetem às competências do ergonomista, adquiridas por formação e/ou por prática. Tais áreas são a *ergonomia física*, *ergonomia cognitiva* e a *ergonomia organizacional*.

A ergonomia física trata das características anatômicas, antropométricas, fisiológicas e biomecânicas do ser humano relacionado ao sistema onde está inserido.

A ergonomia cognitiva refere-se aos processos mentais. Tais processos compreendem a percepção, a memória, o raciocínio, as respostas motoras e interações entre pessoas e outros elementos.

A última área, a ergonomia organizacional, compreende os sistemas sociotécnicos, incluindo sua estrutura organizacional, regras e processos. Na Figura 2-2 são ilustradas tais áreas e seus temas mais relevantes, conforme a IEA (op. cit.).

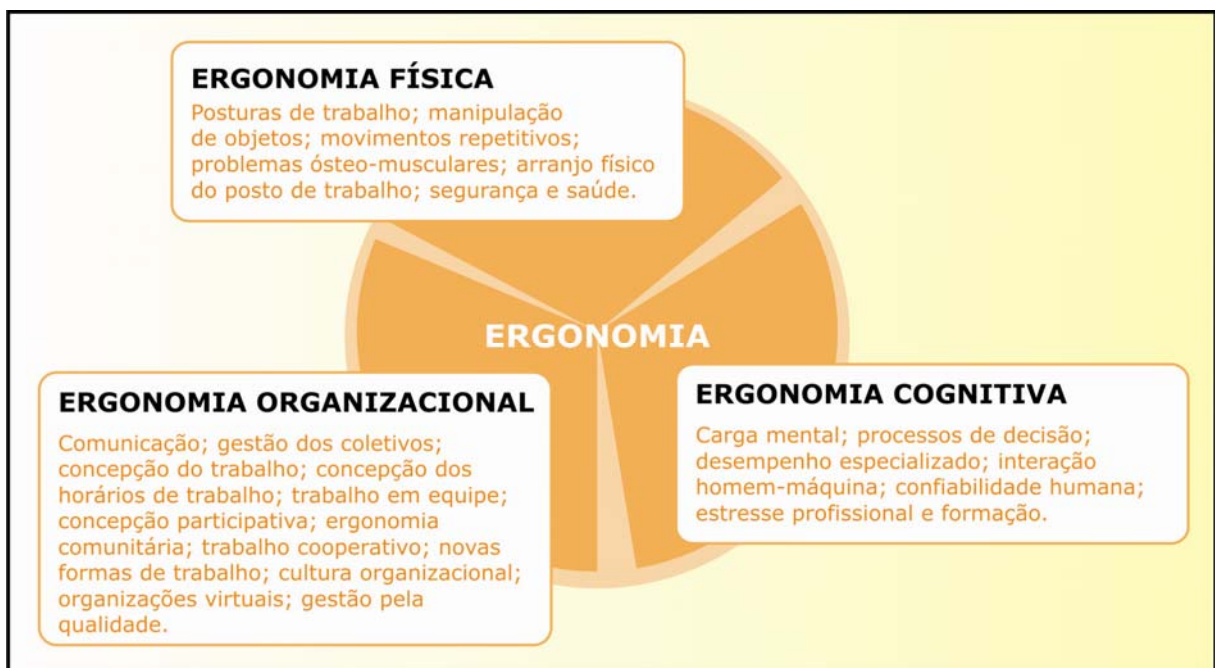


Figura 2-2: Ilustração das áreas de especialização da ergonomia e seus temas relevantes, conforme a IEA (2008).

Falzon (2007, p. 4) destaca que tais áreas não são estanques e os ergonômistas podem considerar que suas práticas pessoais atuam em duas das três áreas, ou mesmo nas três. O autor afirma, no entanto, que devido à prática exercida e à formação (principalmente a graduação original) do ergonômista, este se sente atraído ou melhor preparado para certos tipos de questões ou problemas e tende a atuar, preferencialmente, em certas áreas de especialização.

Tal atração por determinadas áreas de atuação pode ser verificada no que se refere às duas principais abordagens que a ergonomia possui atualmente. Montmollin (2005), ao discutir os “dois grandes modelos ou quadros teóricos gerais”, tanto na história como nos conceitos e nas práticas, adota o termo em plural: *ergonomias*. A primeira abordagem corresponde à ergonomia clássica, originada nos países anglo-saxônicos, os quais adotaram a denominação de *Human Factors*, ou Fatores Humanos. A outra abordagem está enraizada nos países francófonos e centraliza suas análises sobre a atividade de forma contextualizada. Por causa dessa centralização ficou conhecida como ergonomia da atividade ou ergonomia situada.

Nas aplicações desenvolvidas e apresentadas nesta pesquisa, a abordagem utilizada baseia-se na ergonomia da atividade, por meio da análise ergonômica do trabalho. A ferramenta computacional Jack de modelagem e simulação humana, no entanto, possui características típicas da corrente de fatores humanos. Tal divergência aparente é uma das questões postas para a pesquisa e sua análise objetiva trazer contribuições para pesquisadores e práticos das duas correntes. A seguir tais abordagens são apresentadas.

2.1.1 Ergonomia dos fatores humanos

A ergonomia dos fatores humanos (ou *Human Factors*, como é conhecida nos Estados Unidos), apresenta uma visão tecnicista do elemento humano no trabalho. Ela preocupa-se com as componentes humanas dos sistemas industriais. Isto é, o foco não está no homem e sim em algumas das suas funções e características. Dessa forma, busca-se a compreensão de “funções isoladas por um processo analítico voluntário que permitem respeitar as duas maiores exigências de todo o procedimento científico: a generalização e a medida quantitativa” (MONTMOLLIN, 2005, p. 104).

Másculo (2008) assinala que a ergonomia surge da união de pesquisadores, na Inglaterra e nos Estados Unidos, a fim de resolver problemas ligados à falta de compatibilidade entre o projeto de máquinas (em especial os aviões, durante a II Guerra Mundial) e o operador humano. Após a guerra, os grupos interdisciplinares foram desmobilizados, porém permaneceu a certeza de que, de forma isolada, nenhuma das especialidades envolvidas no grupo poderia ter alcançado os mesmos resultados. Alguns anos após, pesquisadores se unem e estruturam a primeira sociedade para estudo da ergonomia. Na perspectiva dos Fatores Humanos, a ergonomia é definida como sendo um “movimento científico que visa exprimir, em termos compreensíveis aos engenheiros, arquitetos e demais projetistas, os conhecimentos sobre o homem, com vista ao projeto de tarefas, equipamentos e ambientes de trabalho” (MÁSCULO, 2008, p. 111).

Murrel relata que a “ergonomia tem sido definida como o estudo científico do relacionamento entre o homem e seu ambiente de trabalho”. O autor explica que o termo *ambiente* é utilizado para cobrir não somente as questões do entorno ambiental, mas também “suas ferramentas e materiais, seus métodos de trabalho e a organização do seu trabalho, seja ele individual ou trabalho em grupo” (MURREL, 1965, *apud* MENEGON, 2003, p. 39).

Montmollin (2005), ao apresentar algumas características dessa corrente, constata que “todo o ser humano está frequentemente limitado aos adultos jovens e de boa saúde”, fazendo-se distinção apenas entre os dois sexos, e que “a generalização obtém-se desde o início pela eliminação de todas as variáveis alheias às funções consideradas”. A Figura 2-3 exibe uma lista significativa das componentes humanas tradicionalmente estudadas e que foi apresentada no índice da obra de Dul e Weerdmeester (1993, *apud* MONTMOLLIN, 2005, p. 105).

Menegon (2003) pontua o que considera serem os limitantes da abordagem anglo-saxônica:

- a) Ao reproduzir para a ação da ergonomia o paradigma das ciências aplicadas, ela imputa ao dispositivo técnico uma certa neutralidade que decorre da pretensa objetividade com que trata o processo de concepção. Os conhecimentos derivados das ciências do homem que se debruçam sobre o estudo da técnica são ignorados. Considerar os conhecimentos derivados desse campo implica reconhecer que o processo de concepção envolve um contínuo de construção dos problemas de projeto e de busca de soluções que passam necessariamente por um processo de negociação entre os diferentes atores envolvidos; b) No campo da pesquisa, o foco do *human factors* é a produção de conhecimentos sobre o homem, em sua dimensão biocognitiva, cujas variáveis são separadamente estudadas. (MENEGON, 2003, p.41)

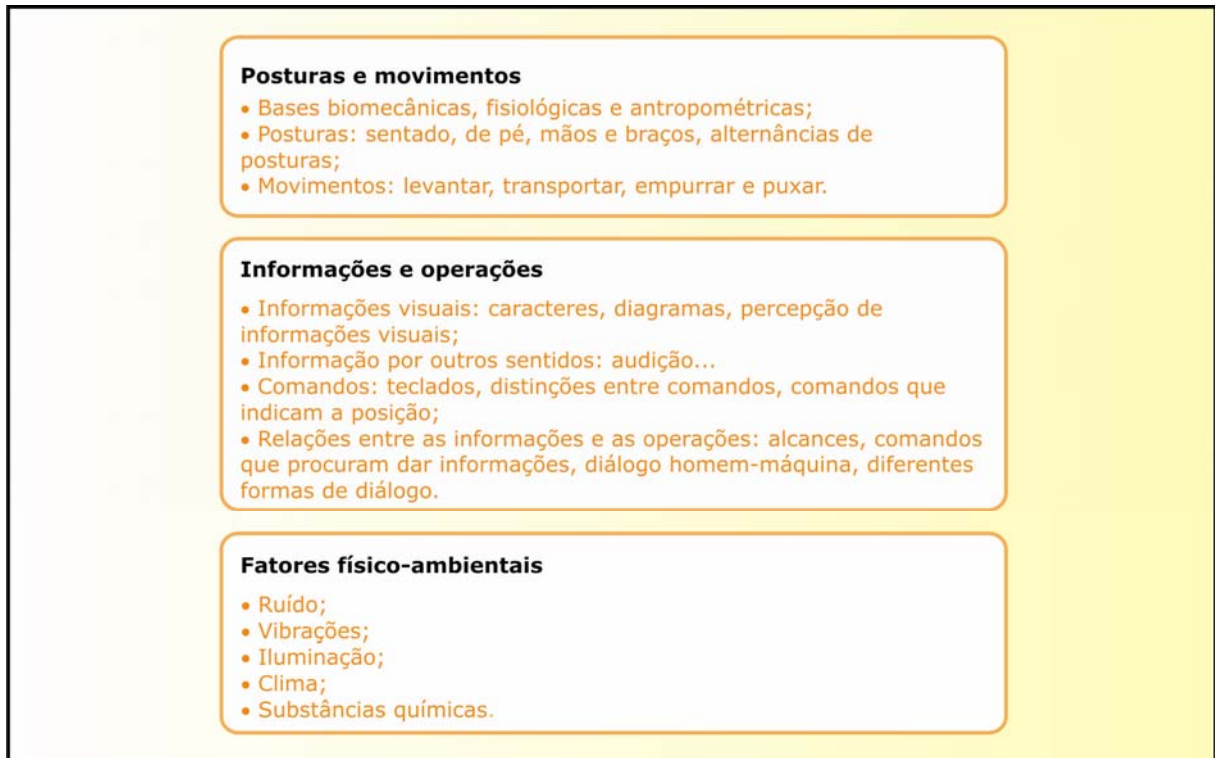


Figura 2-3: Lista de características humanas estudadas pela perspectiva dos fatores humanos (DUL e WEERDMEESTER, 1993; *apud* MONTMOLLIN, 2005)

Menegon (2003) apesar de reconhecer a importância das contribuições da *Human Factors*, ressalta a dificuldade de inter-relacionamento das variáveis levantadas em laboratório com as variáveis reais (devido ao ambiente controlado de um laboratório). Destaca também a não explicitação do processo de passagem dos dados levantados em limites e recomendações, como limitação do método experimental desta abordagem.

A ergonomia dos fatores humanos está mais presente no Brasil do que a ergonomia da atividade. Lima e Jackson (2004, p. XII) atestam, no prefácio à edição brasileira de “A ergonomia em busca de seus princípios”, que “atualmente assiste-se (...) a uma ‘tecnicização’ da Ergonomia, solicitada e praticada por profissionais da área de projeto (*designers*, arquitetos, engenheiros de produto e de produção) e da área de saúde (terapeutas ocupacionais, médicos do trabalho, engenheiros de segurança)”. Wisner (2005, p. 370) afirma que “a vantagem desta abordagem está no fato dela corresponder à procura da indústria, a qual deseja fatos, conselhos precisos, resultados claramente demonstráveis em curto prazo, sem perturbar o trabalho industrial”. O autor ainda assinala:

De fato, vários ergonomistas em todo o mundo prestam muitos serviços com tais formas de proceder. A razão desse sucesso deve-se ao fato de ser tal a ignorância sobre o funcionamento do homem pela maior parte dos projetistas, que as contribuições ergonômicas, ainda que sejam modestas ou desajustadas, têm um efeito muito positivo. Basta assinalar os grandes erros dimensionais na concepção de máquinas e produtos, ainda que o simples

conhecimento das normas antropométricas fosse suficiente para evitar a maior parte.

A ignorância sobre o funcionamento do homem é profunda (...). Há, pois, sempre um fosso conceitual entre o ergonômista e seus interlocutores. Para o ergonômista é cômodo, mas pouco honesto, fazer esquecer este fosso, dando, sem restrições ao projetista, as certezas simples que ele espera. (WISNER, 2005, p. 370)

2.1.2 Ergonomia da atividade

Montmollin (2005, p. 106), ao tratar dessa abordagem, explica que “*atividade* significa que já não consideram as funções de modo isolado, mas sim os comportamentos (os gestos, olhares, palavras) e os raciocínios..., tal como eles se apresentam nas situações reais de trabalho, atuais ou futuras”. Afirma que dessa forma pode-se atender à situação na globalidade e não apenas no posto de trabalho e dispositivos técnicos. A análise da atividade é temporal e contextualizada e por isso é importante que as análises sejam realizadas, na medida do possível, no próprio local de trabalho.

Tersac e Maggi (2004, p. 90) apresentam os fundamentos que caracterizam a ergonomia francôfônica e que se relacionam diretamente com a organização do trabalho. São eles: a *variabilidade dos contextos e dos indivíduos*; a *diferenciação entre tarefa e atividade*; e a *atividade de regulação (representação e competência)*. Esses fundamentos são a base que diferencia essa abordagem com relação à ergonomia clássica e podem ser caracterizados da seguinte forma:

Variabilidade dos contextos e dos indivíduos – constitui a primeira inversão de perspectiva para a qual contribui a ergonomia, mostrando, por meio de análises em situações reais, a dupla variabilidade dos contextos e das pessoas que trabalham: de fato, a ergonomia postula a variabilidade das condições externas e/ou internas de cada atividade (TERSAC e MAGGI, 2004, p. 91).

Guérin et al. (2001, p. 48) distinguem duas formas de variabilidade do contexto (chamada de variabilidade da empresa). A primeira seria a *variabilidade normal*, a qual decorre do próprio trabalho e é previsível, podendo ser parcialmente controlada (por exemplo, a variação de produção de chocolate ao longo do ano devido ao consumo maior nos meses frios). A outra forma é denominada *variabilidade incidental*, sendo caracterizada por

ocorrências imprevistas e aleatórias (por exemplo, pane ou desajuste numa máquina, matéria-prima com problemas, meteorologia etc.). O autor observa que a razão do estudo da variabilidade da produção não deve ser a supressão da mesma e sim “compreender como os operadores enfrentam a diversidade e as variações de situações, e quais as consequências para sua saúde e para a produção”. A partir dessa análise “torna-se possível delinear a parte da variabilidade aleatória redutível, a parte da variabilidade controlada a ser considerada na organização do trabalho e os meios a fornecer aos operadores para enfrentar a variabilidade incontornável”.

No que tange à *variabilidade humana*, Guérin et al. (2001) também a divide em duas categorias: a *interindividual* e a *intra-individual*. A diversidade *interindividual* refere-se às características próprias que cada indivíduo possui: mais alto, mais baixo, usando óculos, com maior ou menor experiência, a história de vida etc. “Por isso, o ‘mesmo posto de trabalho’, ocupado por pessoas diferentes, apresentará duas situações de trabalho específicas (...). Os esforços, os raciocínios e a fadiga resultante não serão equivalentes, mesmo que o resultado produzido pareça idêntico” - Guérin et al. (op. cit., p. 51). Já as variações *intra-individuais* referem-se às mudanças de estado de cada indivíduo, as quais ocorrem a curto, médio e longo prazo. Em curto prazo, pode-se citar a variação de desempenho, atenção e ânimo que os trabalhadores sentem ao longo do dia, durante as vinte e quatro horas. Em médio prazo, o cansaço e o estresse no intervalo de um período de férias para outro. As variações de longo prazo são resultantes, principalmente, dos efeitos do envelhecimento e da aquisição de experiência.

Diferenciação entre tarefa e atividade – A *tarefa* indica o que se deve fazer, isto é, o que é prescrito pela organização e passado para o operador. A *atividade* é aquilo que o indivíduo faz para cumprir suas obrigações.

Leplat e Hoc (2005, p. 200) apontam que a tarefa antecede à atividade e tem por finalidade orientá-la e determiná-la. Afirmam, ainda, que para uma mesma tarefa é possível existir várias descrições. Tal multiplicidade apresenta consequências:

- a) as diferentes descrições não são equivalentes para um determinado indivíduo. Algumas irão orientá-lo na execução de forma direta; outras irão apenas auxiliar de forma parcial e outras serão ineficazes ou até mesmo perturbadoras;
- b) em qualquer descrição de tarefa existirá sempre algo de implícito. Não são dadas todas as condições, isto é, condições explícitas são dadas pela descrição e condições implícitas são passadas em silêncio, mas devem ser seguidas;

- c) algumas vezes a tarefa não possui prescrições explícitas, ou então a prescrição é dada a um nível muito geral, ficando a cargo do operador definir a tarefa adequada;
- d) em uma tarefa, a parte explícita corresponde ao que se supõe não ser conhecido pelo operador; o que está implícito corresponde ao que julga ser desnecessário dizer, porque já é conhecido dele;
- e) a descrição de uma tarefa está completa para um determinado indivíduo quando lhe permite a execução imediata da tarefa sem novas aquisições prévias (LEPLAT e HOC, 2005, p. 200).

Tersac e Maggi, ao apresentarem esse fundamento da ergonomia, afirmam:

A segunda proposição fundamental da ergonomia, formulada por Ombredane e Faverge (1955), realiza uma inversão de perspectiva ao diferenciar o que os indivíduos devem fazer daquilo que eles realmente fazem: “duas perspectivas podem ser evidenciadas desde o início na análise do trabalho: a perspectiva do *quê* e a do *como*. O que deve ser feito e como os trabalhadores o fazem? De um lado a perspectiva das exigências da tarefa e, de outro, a das atitudes, das sequenciais operacionais pelas quais os indivíduos observados respondem realmente à tarefa”. Esta separação é um marco em relação às práticas anteriores: primeiro porque considera que o objeto de análise é a atividade, a partir da qual se busca compreender a organização em função de suas condições de execução (internas e próprias aos sujeitos ou externas e ligadas à tarefa) e seus efeitos tanto sobre o indivíduo quanto sobre o desempenho do sistema visto em sua totalidade (Leplat e Cuny, 1984). Além disso, esta separação consagra os limites do caráter estruturado do contexto, mas também os limites de seu caráter estruturante; ao contrário, a interpretação destes limites varia: trata-se de uma falha de prescrição ou de uma impossibilidade estrutural de os estabelecer? (TERSAC e MAGGI, 2004, p. 92).

Para Falzon (2007) “a atividade é finalizada pelo objetivo que o sujeito fixa para si, a partir do objetivo da tarefa” (p. 9). O autor ainda assinala que “a atividade não se reduz ao comportamento. O comportamento é a parte observável, manifesta da atividade. A atividade inclui o observável e o inobservável (a atividade intelectual ou mental). A atividade gera o comportamento” (p. 9). Falzon resume as diversas distinções relativas à tarefa, até que esta se torne em atividade na Figura 2-4. Para ele o operador possui uma compreensão a respeito da *prescrição*, tanto *implícita* quanto *explícita*, isto é, o que o operador pensa que foi pedido para ele fazer. Com base nesta compreensão, define a tarefa que julga ser mais *apropriada* que a tarefa *compreendida*, a partir de suas próprias prioridades, seu sistema de valores etc. Por fim, para realizar a atividade, ele é orientado pela tarefa efetiva, que “é constituída pelos objetivos e restrições que o sujeito coloca para si mesmo. É o resultado de uma aprendizagem” (FALZON, 2007, p.10).

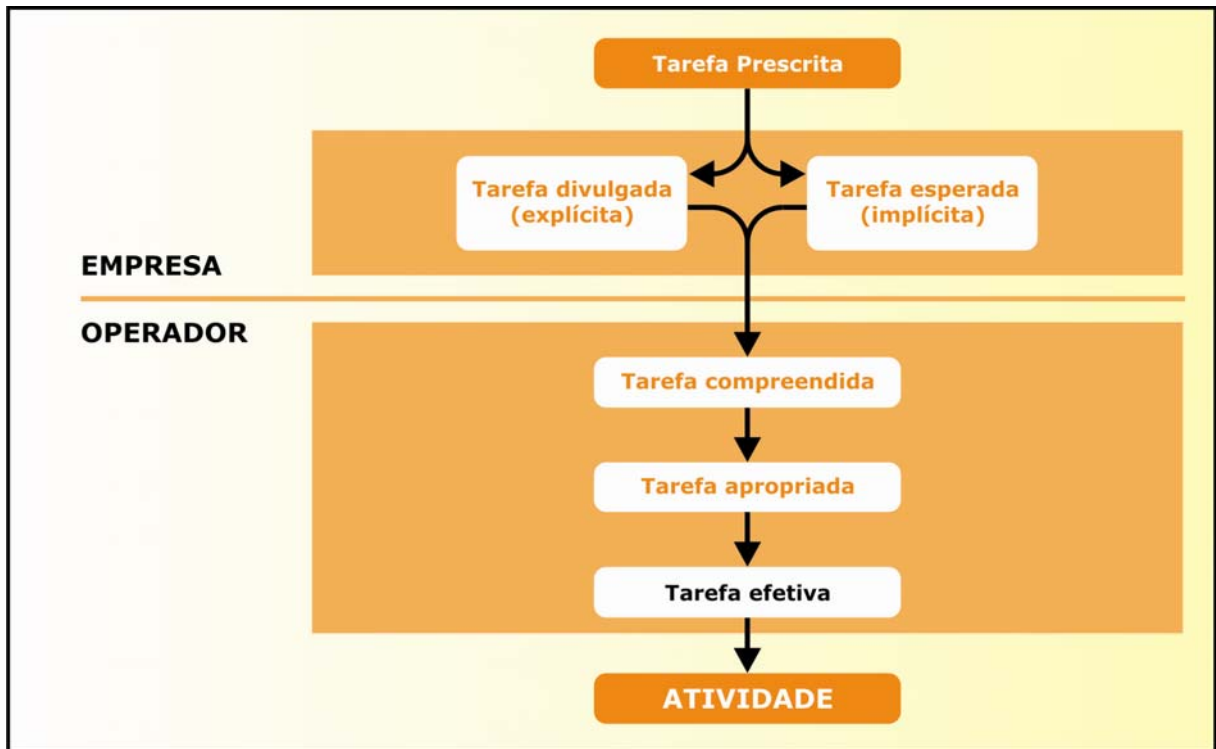


Figura 2-4: Da tarefa à atividade. Adaptado de Falzon (2007).

Atividade de regulação: representação e competência – esta terceira proposição consagra uma inversão de perspectiva a respeito da eficiência dos sistemas produtivos. Tal eficiência “não se origina nem da definição dos procedimentos e dos métodos, nem simplesmente do estrito respeito às instruções”. Os autores afirmam que “os resultados só podem ser obtidos graças à capacidade de regulação da atividade desenvolvida pelos indivíduos, agindo, de um lado, para gerenciar as variações das condições externas e internas da atividade e, por outro lado, para levar em conta os efeitos da atividade” (LEPLAT e HOC, 2005, p. 200).

Falzon (2007) define regulação como um “mecanismo de controle que compara os resultados de um processo com uma produção desejada e ajusta esse processo em relação à diferença constatada”. Menegon (2003) relaciona o reconhecimento da regulação que ocorre ao longo da execução de uma tarefa baseado em três conceitos: representação mental, competência e modo operatório.

Com relação ao primeiro conceito “representação mental”, Guérin et al. (2001) coloca que a representação do indivíduo ocorre em função de sua formação e experiência, estabelecendo ligações preferenciais entre certas configurações da realidade e ações a realizar. A realização de uma representação por parte de um operador significa que ele reteve elementos da situação considerados como característicos e que, em função disso, seu comportamento é orientado (p. 57).

A *competência* deriva não somente da formação do sujeito e de sua preparação, mas também de suas habilidades tácitas, isto é, aqueles conhecimentos que não podem ser ensinados e são inerentes a uma profissão (MENEGON, 2003). Tersac e Maggi (2004) afirmam que o conceito de competência surgiu no vocabulário da ergonomia para designar “tudo que está engajado na ação ‘o que faz a diferença’ (...) é o conjunto de conhecimentos, de saber-fazer, de heurísticas, de modelos (esquemas-tipo), ou seja, tudo que permite atingir o resultado sem nova aprendizagem”. Os autores ainda citam outra definição: “em ergonomia as competências correspondem às estruturas hipotéticas (...) que permitem ao operador dar um significado para a ação em situações de trabalho (e em particular para as informações) que elas propõem” (MONTMOLLIN, 1995, *apud* TERSAC e MAGGI, 2004).

O conceito de *modo operatório*, para Guérin et al. (2001), está ligado à margem de manobra de que o operador dispõe para atingir os objetivos de produção. O modo operatório é resultado do compromisso entre os objetivos exigidos pela empresa, os meios de trabalho disponíveis ao operador, os resultados produzidos – ou ao menos a informação de que dispõe o trabalhador sobre eles – e o próprio estado interno do indivíduo (p. 63). Na Figura 2-5 são apresentadas as relações entre a atividade de regulação, os modos operatórios e os compromissos considerados em diferentes situações.

Conclui-se que “os efeitos da variabilidade sobre a carga de trabalho implicam na sua elevação ou diminuição e determina a necessidade de uma re-elaboração constante pelos trabalhadores do seu modo operatório” (ERGO&AÇÃO, 2003a, p. 16).

Daniellou (2005, p. 242) acredita que a noção de *carga de trabalho* pode ser interpretada a partir da “compreensão da margem de manobra de que o operador dispõe, num dado momento, para elaborar modos operatórios que permitam alcançar os objetivos definidos”.

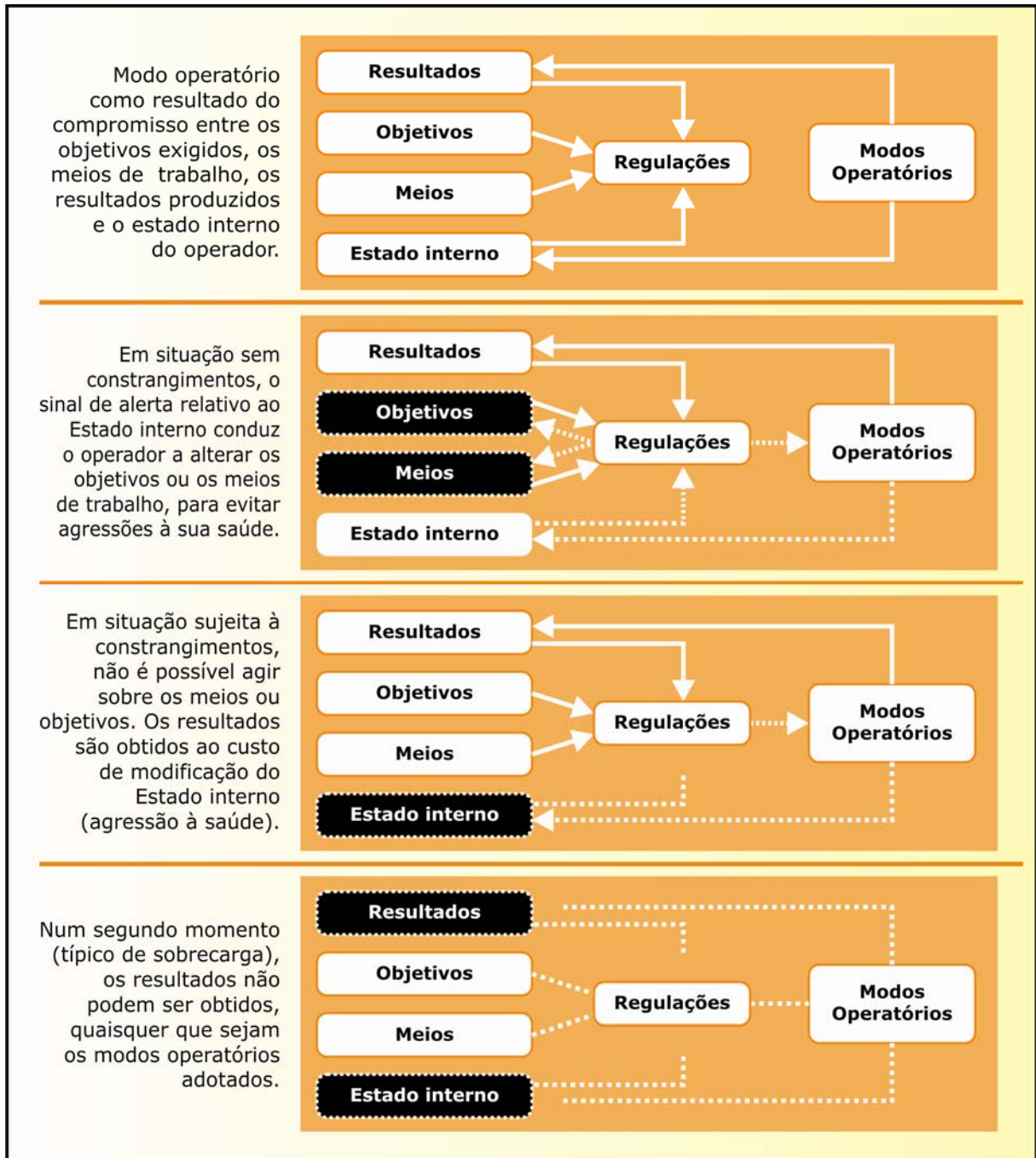


Figura 2-5: Relação entre a atividade de regulação e os modos operatórios. Adaptado de Guérin et al. (2001).

O conhecido modelo integrador da atividade de trabalho (ABRAÃO, 1993, *apud* MENEGON, 2003; ERGO&AÇÃO, 2003a; GUÉRIN et al., 2001; LAVILLE, TEIGER e DESSORS, *apud* DANIELLOU, 2005) apresentado na Figura 2-6, demonstra as relações entre condicionantes e o resultado da carga de trabalho.

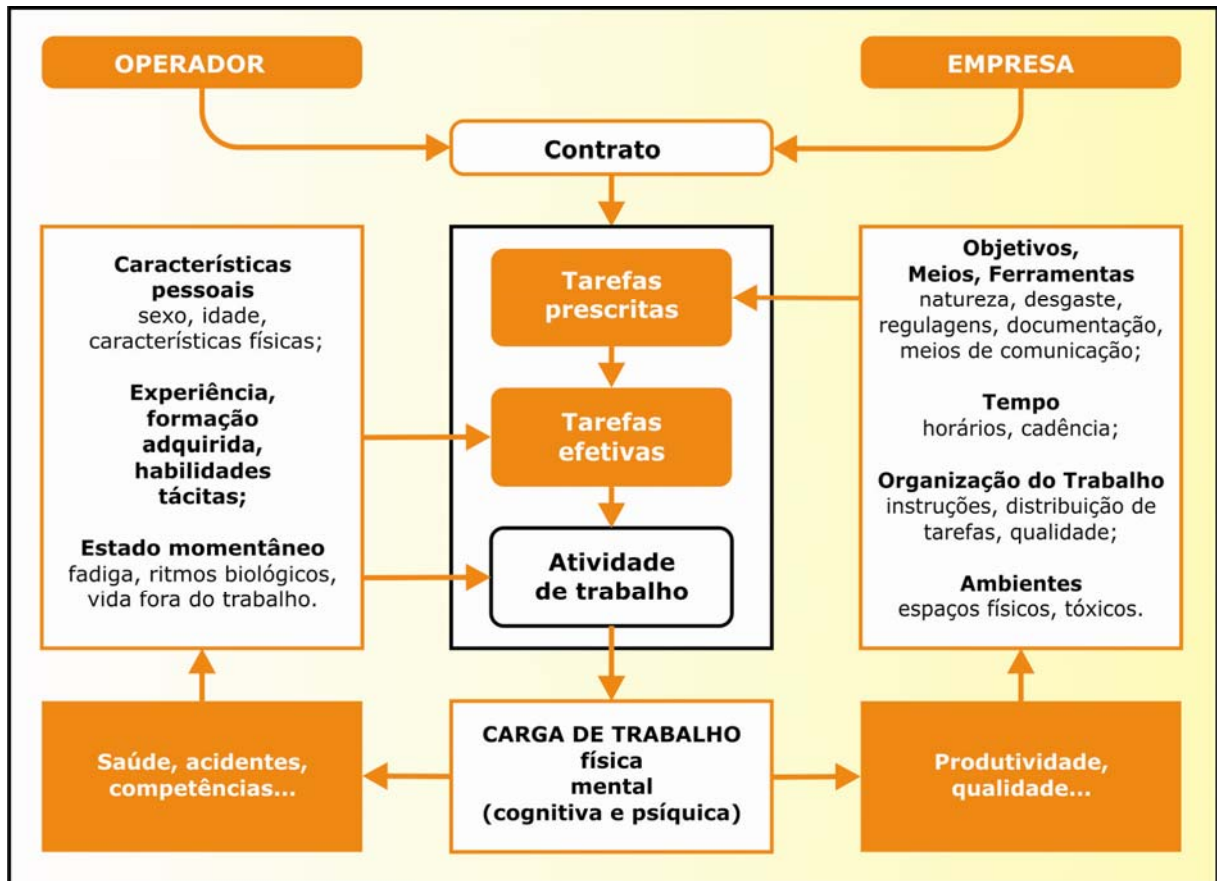


Figura 2-6: Modelo integrador da atividade de trabalho. Adaptado de Guérin et al. (2001).

Nesse modelo a atividade é posta como elemento central que determina a estrutura da situação produtiva. É possível acompanhar a interação entre o *trabalhador* e a *empresa*, sendo definido, em um primeiro momento, o *contrato* que deverá reger as relações entre os mesmos. Desta interação resulta, inicialmente, a *tarefa prescrita*, baseada nas características da empresa (organização do trabalho, exigências cognitivas da tarefa, ferramentas, máquinas, treinamento oferecido, horários, entre outros componentes). A partir dessa prescrição, o trabalhador constrói uma compreensão da tarefa, “o que o operador pensa que se pediu a ele para fazer” (FALZON, 2007, p. 11), define em seguida a tarefa apropriada, o que julga mais apropriado conforme suas prioridades e competências, para enfim concluir com a *tarefa efetiva*. Esta é resultado da representação construída pelo trabalhador que deverá ser atendida através da realização da *atividade*. A atividade de trabalho também é resultado, além da tarefa, das características do trabalhador: sexo, idade, formação, habilidades tácitas, vida fora do trabalho, ritmo biológico, entre outras. Ao realizar a atividade, o trabalhador investe uma determinada carga de trabalho, tanto em termos físicos como mentais.

Assim, a *carga de trabalho* constitui-se na síntese que resulta da confrontação de dois níveis de condicionantes: de um lado a empresa com a tarefa e suas características

intrínsecas, de outro, o trabalhador com a atividade, sujeita também às suas características. O resultado da carga de trabalho realizada retorna sobre ambos. Retorna sobre o trabalhador, o que se manifesta sobre seu estado de saúde, retorna sobre a empresa, o que se manifesta em termos de produção e produtividade (ERGO&AÇÃO, 2003a).

Os conceitos apresentados são fundamentais para a compreensão da análise da atividade e irão constituir a base da linguagem a ser adotada no decorrer da Análise Ergonômica do Trabalho das situações em estudo, método esse apresentado a seguir. Considerando tais conceitos, pode-se estabelecer o que significa o sucesso de uma intervenção de ergonomia. São dois os critérios: a *ampliação dos espaços de regulação* e a *redução da carga de trabalho* (ERGO&AÇÃO, 2003a, p. 22).

2.2 Metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho

A metodologia da análise ergonômica do trabalho varia de um autor para outro, sobretudo em função das circunstâncias da intervenção (WISNER, 2005, p. 375). No entanto, esse autor apresenta uma metodologia que considera coerente e constituída progressivamente por diversos autores, entre os quais cita Theureau (1992, *apud* WISNER, op. cit.), cuja eficácia se afirmou em centenas de estudos. A metodologia comporta cinco etapas de importância e dificuldades diferentes:

- a) *análise da demanda e proposta de contrato* – que tem por objetivo compreender a natureza e o alcance da demanda. Wisner coloca a importância de se estabelecer o contrato entre quem solicitou a demanda e o ergonomista, de forma a precisar a questão, prazos de resposta, os meios disponíveis e os critérios de êxito;
- b) *análise do ambiente técnico, econômico e social* – trata-se de conhecer as estruturas que são determinantes do trabalho e estão fora do alcance do ergonomista;
- c) *análise das atividades e da situação de trabalho* – análise através de observação de comportamentos e da explicitação dos seus determinantes, de forma que registrem as atividades humanas no trabalho, indiquem as principais inter-relações entre essas atividades e, por fim, descrevam o trabalho na sua globalidade. Wisner afirma que, independente da modalidade de análise do trabalho, é indispensável validar o trabalho, a fim de restituir a informação a quem a forneceu e corrigir e completar o trabalho do ergonomista (p. 377);

- d) *recomendações ergonômicas* – transformação do conhecimento adquirido nas análises anteriores no auxílio à concepção dos dispositivos de produção;
- e) *validação da intervenção e eficácia das recomendações* – a validação evita que as recomendações sejam negligenciadas, mal interpretadas ou esquecidas. No entanto, Wisner afirma que isso exige persistência por parte do ergonomista e que tal prática não agrada o meio industrial (WISNER, 2005, p. 375).

A metodologia da análise ergonômica do trabalho pode ser estruturada (ERGO&AÇÃO, 2003a) em dois grandes blocos:

O primeiro representa a *Fase de Análise* subdividida em três etapas: análise da demanda, análise da tarefa e análise da atividade. O segundo, a *Fase de Síntese*, subdividida nas etapas de diagnóstico e de implementação. Em cada uma destas etapas, o ergonomista colhe dados da situação sob investigação e confronta com os conhecimentos acerca do homem no trabalho. Desta confrontação, surgem hipóteses que irão direcionar o prosseguimento do estudo. O resultado de uma ação ergonômica desemboca, em primeira instância, na proposição de mudanças na situação em estudo, em segunda instância, novos conhecimentos sobre o homem no trabalho (ERGO&AÇÃO, 2003a, p. 22).

A estrutura proposta, resumida na Figura 2-7, é baseada em Guérin et al. (2001) e atende às facetas que a ergonomia possui e que estão presentes na definição da IEA (2008): *primeiramente, de disciplina, em busca de conhecimentos e da compreensão das interações do elemento humano com outros componentes do sistema; e a outra, que remete à profissão, isto é, aos profissionais que praticam a ergonomia.*

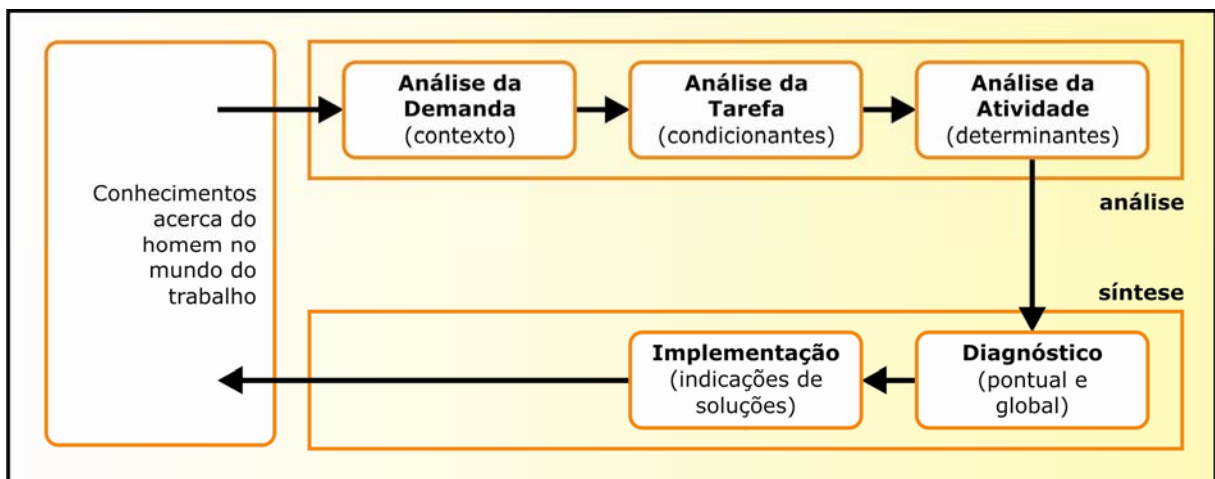


Figura 2-7: Etapas da Análise Ergonômica do Trabalho. Adaptado de Guérin et al. (2001) e de Ergo&Ação (2003a).

MacLeod (2003), em seu artigo sobre a eficácia dos métodos ergonômicos no mundo real, afirma que um dos focos da ergonomia deveria ser a melhora de sua participação dentro dos processos de projetos multidisciplinares. Argumenta, ainda, que com essa

participação a ergonomia poderá mostrar uma consistente e valiosa contribuição para a qualidade do projeto e seu desenvolvimento. Em paralelo com tal contribuição estarão a aceitação e compreensão dos engenheiros, diretores e consumidores de que a aplicação da ergonomia é um custo efetivo. Para MacLeod, uma das possíveis formas de confirmar a efetividade desse custo ergonômico está na presença constante da ergonomia atuando na correção e adequação dos postos de trabalho e situações existentes, sendo que seria mais eficiente e econômico se esses constrangimentos fossem detectados e sanados ainda na fase de concepção.

2.3 Ergonomia e Projeto

Garrigou (1994, *apud* ERGO&AÇÃO, 2003b) discute o posicionamento da ergonomia, afirmando que “o papel do ergonomista está em plena transformação; deste modo ele não é mais somente um fornecedor de dados ergonômicos ou conhecimentos sobre o funcionamento do homem”. Desta forma, pode-se colocar que tal profissional também deve ser um ator do processo de concepção, cujo objetivo é melhorar as futuras situações de trabalho do ponto de vista do bem-estar humano e da eficácia. Para atingir esse objetivo, o ergonomista vai buscar transformar as representações dos projetistas atuantes sobre “o ser humano em situações de trabalho”. Portanto, compreender a natureza do processo de projeto constitui pré-requisito para posicionar e introduzir as questões ergonômicas, na busca por melhorias significativas nas situações de trabalho.

2.3.1 Processo de projeto

Na literatura de engenharia existe uma ampla revisão sobre projeto; ainda que convergentes no foco, os autores apresentam distintas abordagens para o processo de projeto, conforme apresenta ERGO&AÇÃO (2003b):

Clausing (1994), num guia de implementação de engenharia concorrente alinha-se à escola de “Relações Humanas” focando as relações interdepartamentais (“*multifunctional product development team*”); Pugh (1990), com a teoria do “*Total Design Activity*”, busca uma aproximação

com a psicologia social dos grupos (Pugh & Morley, 1988); e, Pahl & Beitz, 1995, em “*Engineering design: A systematic approach*” concentram-se na teoria de sistemas e na resolução de problemas (ERGO&AÇÃO, 2003b).

Para Pahl e Beitz (1996) o *design* é o elemento integrador entre *arte* e *ciência* e separá-los não traz contribuições. A Figura 2-8 ilustra o ato de projetar (*design*) integrando ciência e arte, não sendo uma terceira cultura, como explica os autores.

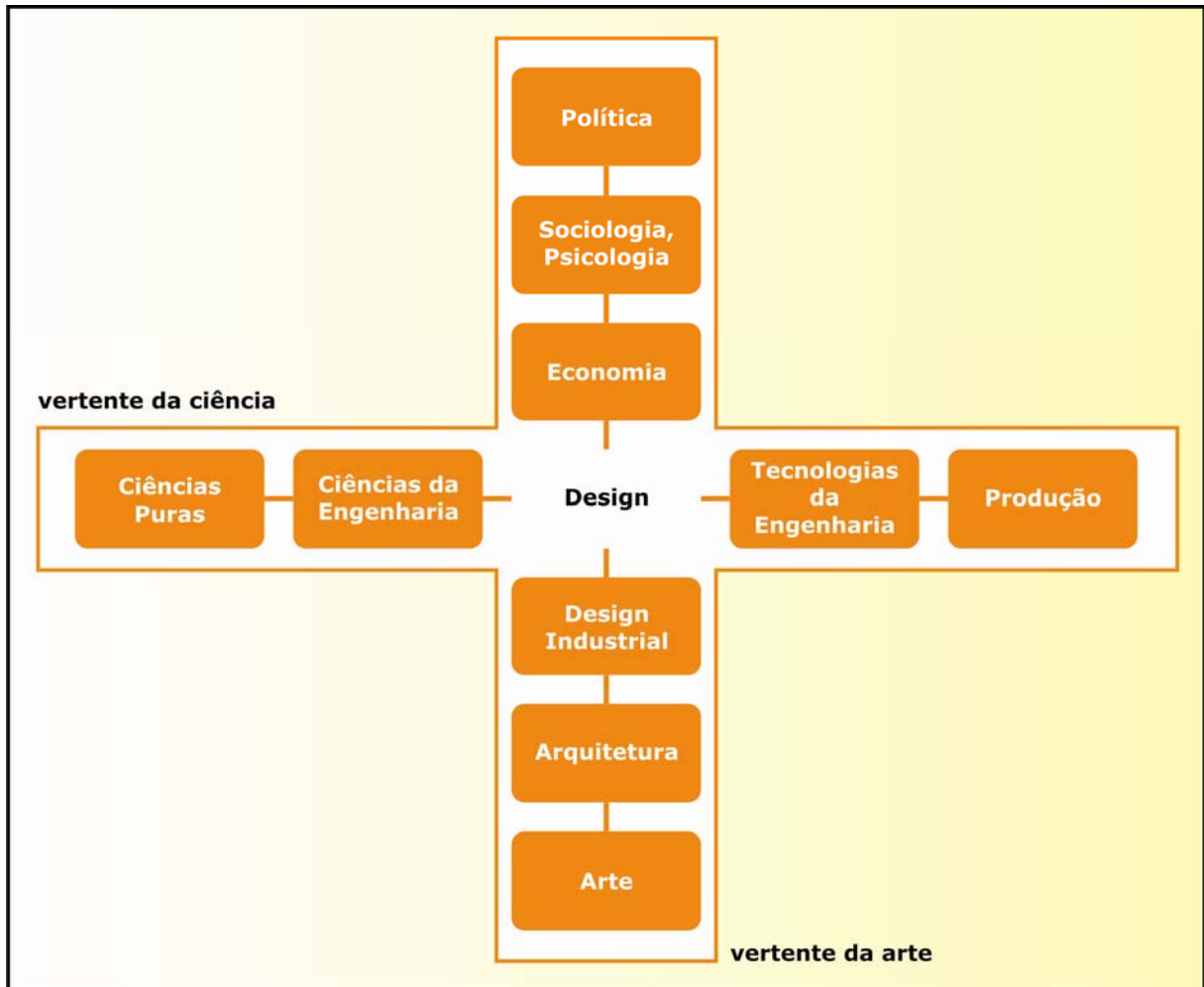


Figura 2-8: *Design* como elemento integrador de Arte e Ciência. Adaptado de Pahl e Beitz (1996).

A tarefa de projetar pode ser definida como o pensar à frente e descrever uma estrutura que, aparentemente, contém as características desejáveis. Ou ainda, projetar é a transformação da informação com condições de necessidades, demandas, requisições e restrições dentro de uma descrição de estrutura que é capaz de preencher essas demandas (HUBKA e EDER, 1996).

Essas definições sobre projeto possuem uma abordagem da engenharia clássica e tradicional, colocando o ato de projetar como algo altamente racional. No entanto, a diversidade de informações e conhecimentos condicionantes apontam para o processo de

projeto, não apenas como um processo estruturado de determinação de variáveis, mas sim uma construção que ocorre a partir de processos de negociação e tomada de decisão no campo dos problemas não estruturados.

Tais construções são próprias e naturais dos processos de projeto e aparecem nas aplicações práticas desta pesquisa de forma nítida. Considera-se que é fundamental reconhecer a importância delas e de estruturar os processos de intervenção em função também dessas construções.

Bucciarelli (1996) argumenta que equipes multidisciplinares de projeto têm sido adotadas, tanto para projetos complexos, como para projetos de domínios menos técnicos. Em todas essas formas de planejamento, os processos de projeto dependem de comunicação social entre usuários e seus representantes para o progresso satisfatório de resultados de projeto. Para o autor, os integrantes possuem percepções individuais sobre o que estão projetando e o desafio é achar a intercessão entre essas percepções para gerar o melhor resultado possível. O projeto deve ser fruto da interseção das percepções individuais dos membros que compõem a equipe do projeto, considerando a combinação ímpar da especialização com a experiência pessoal.

O objeto de um projeto não possui uma representação única para todos. Cada perspectiva e interesse de uma pessoa estão atrelados à sua especialidade. *Design* é um processo de trazer coerência a essas perspectivas e interesses, fixando-os no artefato, o qual pode ser um produto tangível ou algo intangível, como a produção de serviços. A qualidade do *design* e do artefato final dependerá do processo social engajado pelos participantes, e isso transcende o processo racional e instrumental. Helin et al. (2007) afirmam ter certeza de que o processo de projeto beneficia-se das informações e da transferência de conhecimentos entre todas as pessoas envolvidas, tais como *designers*, programadores da produção, planejadores de tarefas, gestão, trabalhadores e os profissionais da ergonomia, segurança e saúde ocupacional.

Conclui-se que projetar não é simplesmente um processo de mediação de alternativas e opções contra algumas condições e restrições. As limitações não são completamente um produto da imaginação social, mas também não são tão definitivas quanto parecem (BUCCIARELLI, 1996).

2.3.2 Ergonomia nos processos de projeto de postos de trabalho

Wilson (2000) entende como papel da ergonomia a compreensão das interações entre as pessoas e os artefatos e a contribuição para o projeto dos sistemas de interação.

Wisner (2004, p. 44) ao comparar os objetos de cada corrente de ergonomia afirma:

O objeto da ergonomia britânica – e americana – é, em primeiro lugar, o equipamento: o da ergonomia francófona é muito mais enigmático, é o trabalho. A constatação fundadora da ergonomia francófona está ligada ao fato que um equipamento pode ter incorporado os melhores conhecimentos oriundos da *Human Factors Science* e não permitir um trabalho satisfatório à população de trabalhadores que o utilizam. É fato que o trabalho real é, para eles, diferente do trabalho prescrito ou suposto pelos conceptores. O conjunto da situação de trabalho e dos trabalhadores pode obrigar estes últimos a se comportarem de maneira diferente da prevista. Para conceber um bom dispositivo técnico, seria, então, necessário analisar o trabalho. (WISNER, 2004, p.44)

Para Daniellou (2002), a ergonomia deve não somente descrever os processos de concepção, mas os influenciar, por favorecer uma concepção de situações de trabalho eficazes e compatíveis com a saúde dos trabalhadores. O fornecimento de dados técnicos sobre o funcionamento do homem aos projetistas, durante a fase de estudos, tem a sua importância, mas parece secundário em relação a uma ação precoce da ergonomia, no que diz respeito a interação com os diferentes atores durante a concepção, por permitir uma discussão do conjunto dos objetivos do projeto.

A importância dos ergonomistas, nas fases iniciais do projeto, deve-se à dimensão temporal do mesmo, pois à medida que o tempo passa aumenta-se o conhecimento sobre o que se está estudando, entretanto diminui-se o tempo de possibilidade de ação, tanto pelo tempo restante, como pelas escolhas já feitas em relação aos sistemas (JACKSON, 2000; DUARTE, 2002).

Mattila (1996) afirma que existe uma necessidade urgente de implementação de conhecimentos ergonômicos no processo de projeto e no processo de tomada de decisão, tanto quanto no uso de máquinas, equipamentos e sistemas de produção.

Helin et al. (2007) afirmam que os modernos projetos de sistemas de produção que consideram também o trabalho efetivo do “chão-de-fábrica” são processos complexos. No entanto, atualmente, os projetos ainda baseiam-se considerando apenas as questões de eficiência técnica e limitações de custo. É comum que a prioridade do elemento humano apareça depois da concepção técnica da solução do problema. Segurança, ergonomia e

usabilidade são partes importantes do projeto e que deveriam ser reconhecidas no processo de planejamento concomitantemente com outros aspectos. Para o autor não há dúvidas de que o processo de projeto se beneficia das informações e transferência de conhecimentos entre todas as pessoas envolvidas, como designers, programadores da produção, planejadores de trabalho, gestores, trabalhadores, ergonomistas, profissionais da segurança e da saúde ocupacional.

Garrigou et al. (2001) sugerem um modelo de análise que integra três abordagens articuladas em uma intervenção ergonômica: a descendente, a ascendente e por simulação. A abordagem descendente está ligada à concepção clássica, ou seja, a ergonomia irá interagir por meio dos conhecimentos do homem em situação de trabalho, no intuito de levar a um enriquecimento da definição dos objetivos do projeto, bem como, à reflexão sobre as escolhas técnicas e organizacionais.

A abordagem ascendente tem como objetivo instruir um retorno da experiência das situações de referência, identificando possíveis variabilidades. Essas identificações permitem caracterizar diferentes situações de uso e de gestão das variabilidades e serão estruturadas sob forma de cenários de atividades futuras.

Por fim, os autores articulam as abordagens anteriores com a abordagem por simulação (Figura 2-9). Esta tem como objetivo produzir prognósticos sobre possíveis dificuldades que os operadores possam vir a encontrar em sua atividade futura. Essas dificuldades podem impactar a eficácia do funcionamento das instalações e a saúde dos operadores.

O processo de projeto objetiva transformar as recomendações derivadas da AET em soluções que integrem os diferentes aspectos que envolvem as situações de trabalho. A integração entre métodos próprios da ergonomia e os métodos de projeto propriamente ditos, permite que se alcance efetivamente as soluções a serem implantadas (MENEGON, 2003).

Para Fontes et al. (2005) o processo de *design* no contexto da AET inicia-se desde a demanda até a etapa de validação do projeto, não havendo uma linha separadora de tempo entre essas disciplinas. Para esses autores o *design* é norteado pelo andamento da AET, mas se une a ela desde a compreensão do trabalho até a elaboração dos conceitos projetuais. Essa parceria proporciona o entendimento mútuo de suas ferramentas e evita a proposição de soluções pontuais.

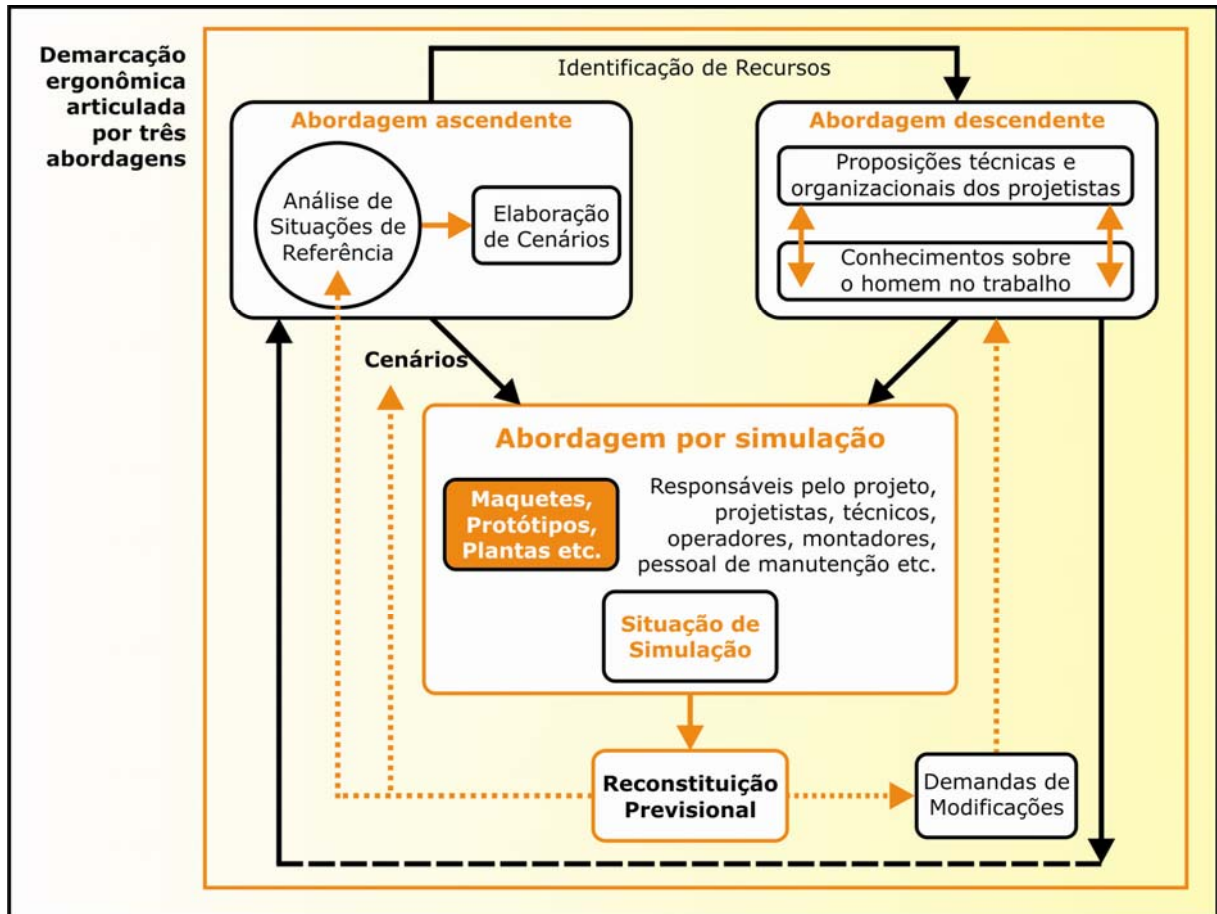


Figura 2-9: Articulação de abordagens para intervenção da ergonomia em projetos de concepção. Adaptado de Garrigou et al. (2001).

A integração da teoria de projeto e ergonomia aponta para as seguintes conclusões:

- os determinantes advindos dos aspectos estratégicos do negócio em conjunto com o escopo do projeto, isto é, a abrangência dos elementos de especificação sobre controle da equipe de projeto constituem fortes restrições para a introdução de mudanças positivas em situações de trabalho;*
- dentro do espaço de projeto determinado pelas questões anteriores, as interações entre os trabalhadores que atuarão sobre o dispositivo projetado e os projetistas representam uma questão central do processo de projeto em ergonomia;*
- os métodos e técnicas, sejam do campo da ergonomia ou de projeto, devem orientar-se no sentido de possibilitar a construção de consensos negociados, auxiliando o processo de tomada de decisão (ERGO&AÇÃO, 2003b, p. 32).*

Por fim, o trabalho do ergonomista, dentro da equipe de projeto responsável pela concepção da situação produtiva, não se encerra na Análise Ergonômica do Trabalho e

nem mesmo na implantação das mudanças positivas nas situações de trabalho, pois “(...) é fácil constatar que a nova situação revelará novos reveses, os quais colocarão em ação a inteligência inovadora, tanto daqueles que operam o dispositivo técnico, como daqueles que se encarregam da sua concepção” (ERGO&AÇÃO, 2003b), configurando assim a necessidade de uma atuação cíclica e contínua da ergonomia dentro das organizações.

2.4 Antropometria e Modelagem Humana

Métodos que utilizam dados antropométricos estão entre as ferramentas básicas de trabalho para a análise e o atendimento de requisitos de projeto, nos quais são consideradas as variações nos tamanhos, nas proporções, na mobilidade, nas forças e em quaisquer outros fatores utilizados para definir fisicamente o ser humano. A sensibilidade e a capacidade de desempenho humano estão, em parte, relacionadas a essas características físicas. As questões antropométricas influenciam aspectos relacionados à fisiologia e à psicologia do conforto e da percepção. Dimensões antropométricas, *as quais tratam de medidas físicas do corpo humano*, são dados de base essenciais para a concepção e dimensionamento dos produtos, ambientes e postos de trabalho, propiciando segurança e conforto aos usuários.

A maior parte das primeiras e bem sucedidas aplicações da antropometria no campo do *design* ocorreu durante a II Guerra Mundial e foi baseada em estudos preparados pela Força Aérea dos EUA, Força Aérea e Marinha britânicas (PANERO e ZELNIK, 2002, p.25). Os autores assinalam também que, desde a época da II Grande Guerra até a atualidade, a maior parte da pesquisa nessa área é relativa ao setor militar e apontam as seguintes razões: necessidade intensa dos dados, disponibilidade numerosa de sujeitos de reserva nacional e por fim, existência de recursos empenhados e disponibilizados pelos respectivos governos para realização de tais pesquisas.

Compreender o impacto das diferenças entre populações no projeto de ambientes e artefatos é de fundamental importância para justificar não somente o uso de uma ferramenta computacional de forma apropriada, como para justificar a aplicação de recursos na criação de modelos humanos digitais representativos à população sob estudo.

2.4.1 Antropometria e dimensões antropométricas

Panero e Zelnik (2002), afirmam ser totalmente errônea a visão da antropometria como um exercício simples de medições e de dados sendo reunidos sem dificuldades. Para os autores existe uma série de obstáculos e complicadores envolvidos. Um desses fatores é que a dimensão corporal varia com a idade, sexo, raça e mesmo com o grupo ocupacional.

Diversos estudos antropométricos, realizados durante várias décadas, comprovaram a influência do sexo, idade, clima e etnia nas variações das dimensões antropométricas. Um exemplo de inadequação de produtos exportados para outro país, sem se preocupar com as adaptações aos usuários, foram as máquinas bélicas norte-americanas fornecidas para os vietnamitas. A primeira população serviu de base para o projeto e tinha como estatura média de 1,74 metros. A população vietnamita, que teve dificuldade em operar tais equipamentos, apresentava como estatura média 1,60 metros. Uma máquina projetada para atender 90% da população americana acomoda também 90% da população alemã. No entanto, atenderia apenas 80% dos franceses, 65% dos italianos, 45% dos japoneses, 25% dos tailandeses e apenas 10% dos vietnamitas (CHAFFIN, ANDERSON e MARTIN, 2001).

Geralmente, a coleta de dados antropométricos é uma atividade cara, demorada e relativamente árdua, exigindo observadores habilitados (PANERO e ZELNIK, 2002, p.25). O levantamento de dados antropométricos é dificultado pela existência de diferentes tipos de indivíduos na mesma população (IIDA, 2000). Além desse fator, o autor também cita que “as condições em que essas medidas são realizadas (com roupa ou sem roupa, com ou sem calçado, ereto ou na postura relaxada) influem consideravelmente nos resultados”.

Na realização de levantamento de dimensões antropométricas é necessário (IIDA, op. cit.) definir os objetivos que a pesquisa deverá suprir, definir as dimensões a serem levantadas, a escolha dos métodos de medição (ferramentas e equipamentos), a seleção da amostra das pessoas participantes, as medições propriamente ditas e as análises estatísticas posteriores. No final da década de 70, mais de 300 formas e dimensões diferentes foram tabuladas e tratadas estatisticamente para a população americana, européia e asiática (WEBB ASSOCIATES, 1978, *apud* CHAFFIN, ANDERSON e MARTIN, 2001).

De acordo com o objetivo da pesquisa a utilização da antropometria é definida como *estática*, *dinâmica* ou *funcional*, conforme Iida (2000).

A *antropometria estática*, também conhecida por antropometria estrutural, inclui medidas da cabeça, tronco e membros em posições padronizadas. Essa tipologia de antropometria é base para a maioria das tabelas existentes com dimensões de diferentes populações. Na Figura 2-10 são apresentadas as principais variáveis (MENEGON et al., 2002) usadas em dimensões antropométricas estáticas do corpo.

A *antropometria dinâmica* é responsável pela medição dos alcances dos movimentos de cada parte do corpo humano, estando o restante do corpo parado. Essa tipologia é interessante para o projeto de situações produtivas que exigem muitos movimentos corporais ou manipulações (IIDA, 2000).

Na *antropometria funcional* as medidas estão relacionadas com a execução de determinadas tarefas e são levantadas em posições de trabalho ou durante o movimento associado à tarefa específica.

Devido às variações significativas nas dimensões corporais individuais, as médias são obviamente pouco usadas em projetos, visto a necessidade de contemplar esta gama de indivíduos com diferentes dimensões. Estatisticamente, demonstrou-se que, em qualquer grupo populacional dado, as dimensões do corpo humano apresentam uma distribuição próxima à normal, isto é, distribuída em uma faixa média, com poucos dados nas extremidades.

Usualmente, os dados antropométricos são expressos em percentis. Para fins de estudo, a população é dividida numa escala de 1 a 100, sendo categorias percentuais para cada dimensão corporal. O percentil 1 de estatura, por exemplo, indica que 99% da população teria estatura maior que esse indivíduo. Da mesma forma, o percentil 95 indica que apenas 5% da população possui determinada dimensão maior, sendo 95% menor (PANERO e ZELNIK, 2002, p. 34).

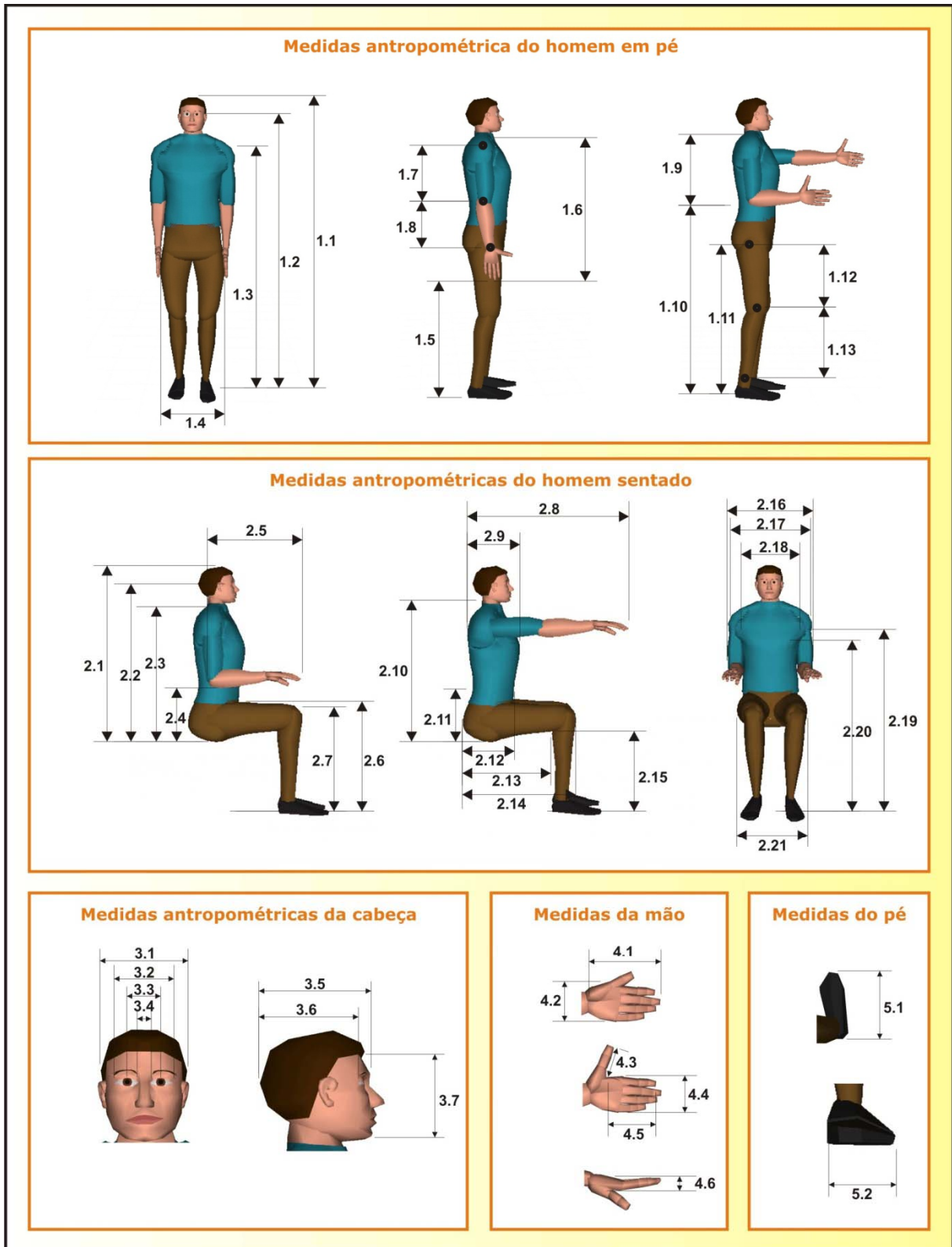


Figura 2-10: Principais variáveis antropométricas (MENEGON et al., 2002).

Ao se trabalhar com percentis é necessário tomar cuidado com dois fatores (PANERO e ZELNIK, 2002): primeiro, que percentis antropométricos se referem a apenas uma dimensão corporal; segundo, não existem indivíduos de determinado percentil. Isto é, um indivíduo com percentil 50 de estatura pode apresentar percentis 30 e 70 em outras dimensões. Dessa forma, o percentil 50 deve ser compreendido como o valor médio de uma dimensão para determinada população, mas, sob nenhuma hipótese, sugerir que esta componha o “homem mediano ou médio”. Panero e Zelnik ao tratarem da falsa idéia de “homem médio” relatam:

“O renomado pesquisador, Dr. H. T. E. Hertzberg, ao discutir o chamado homem médio ou mediano, afirmava que ‘na verdade, não existe ninguém mediano. Há homens que são medianos em termos de peso, estatura, ou altura quando sentados, mas os homens ‘medianos’ em duas dimensões de medida constituem apenas cerca de 7% da população; aqueles considerados ‘medianos’ em três dimensões, apenas 3% e, por aqueles considerados medianos em quatro dimensões, a percentagem cai para menos de 2%. Não há média humana em dez dimensões. Portanto, o conceito do homem ‘mediano’ está fundamentalmente incorreto, porque não existe tal criatura. Para serem eficientes, os locais de trabalho devem ser projetados de acordo com a gama de medidas do corpo humano” (PANERO e ZELNIK, 2002, p.37).

A partir das dimensões antropométricas é possível construir modelos humanos, também chamados de manequins, para representar a figura humana. Tais modelos são úteis no projeto e avaliação de produtos e postos de trabalho. Iida (2000) classifica os modelos humanos nas categorias: modelos bidimensionais, tridimensionais, matemáticos e computacionais.

2.4.2 Modelagem humana bidimensional física

Os modelos bidimensionais mais simples são usualmente construídos em papelão, plástico ou madeira. Eles representam homens e mulheres com percentis 5, 50 e 95 em diferentes escalas, porém com destaque para o uso da escala reduzida 1:50, construídos em madeira ou plástico.

Atualmente o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) do Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil comercializa um kit com dados antropométricos tabelados (*software*)

contendo quatro manequins articulados na escala 1:5 e placas com manequins antropométricos nas escalas 1:10 e 1:20, denominado de Ergokit (BRASIL, 1995).

Esses modelos são usados por projetistas de produtos e de situações produtivas e são úteis para conceber e avaliar certos aspectos críticos, como no exemplo do projeto automobilístico (GM, 2008) da Figura 2-11. A vantagem desse tipo de modelagem é o baixo custo e a facilidade de transporte, manuseio e armazenamento, principalmente para as escalas reduzidas. As desvantagens estão relacionadas à falta de precisão e pela representação planificada (IIDA, 2000).

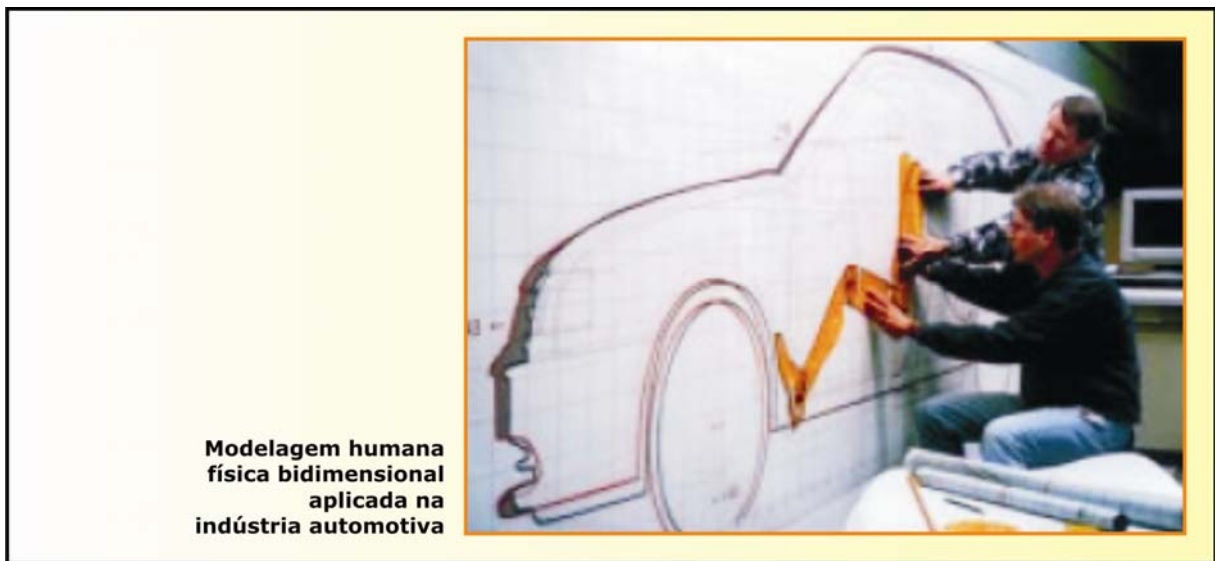


Figura 2-11: Exemplo de aplicação de modelo bidimensional (GM, 2008).

2.4.3 Modelagem humana tridimensional física

Para análises complexas pode-se adotar a construção e aplicação de modelos tridimensionais, também chamados de manequins que, além de possibilitarem a validação de características de dimensionamento de espaços, são úteis para medir outros parâmetros, como distribuição de pesos, momentos de inércia e resistência ao impacto (IIDA, 2000).

O exemplo mais conhecido do uso de manequins humanos tridimensionais é o teste automobilístico simulando colisões, o *crash test*. A simulação conta com a presença de *dummies* (termo típico também utilizado para denominar esse tipo de modelo humano tridimensional) para representar as consequências dos impactos sobre o corpo humano e coletar dados do evento. A Figura 2-12 ilustra a aplicação de *dummies* na Ford (FORD, 2008).



Figura 2-12: Teste de colisão automobilística frontal (*crash test*) utilizando *dummies* (FORD, 2008).

2.4.4 Modelagem humana matemática computacional

Devido, principalmente, às dificuldades encontradas para a realização de levantamentos antropométricos, muitos pesquisadores se dedicaram à parametrização do corpo humano. Dessa forma, seria possível, a partir de poucas dimensões, deduzir dezenas de outras dimensões. No entanto, os segmentos corporais não são proporcionais entre si e apresentam um baixo coeficiente de correlação.

Assim, algumas dimensões apresentam coeficientes aceitáveis de correlação, como por exemplo, a estatura que tem uma correlação de 0,786 com a altura sentada e 0,841 com a altura poplíteia (KROEMER, 1994 *apud* IIDA, 2000). Esse coeficiente apresenta como valor máximo 1,0 – que corresponderia a 100% de correlação.

Contini e Drillis (1966, *apud* IIDA, op. cit.) apresentam fórmulas para calcular, a partir da medida da estatura, 21 outras dimensões lineares do corpo humano, conforme pode ser visualizado na Figura 2-13.

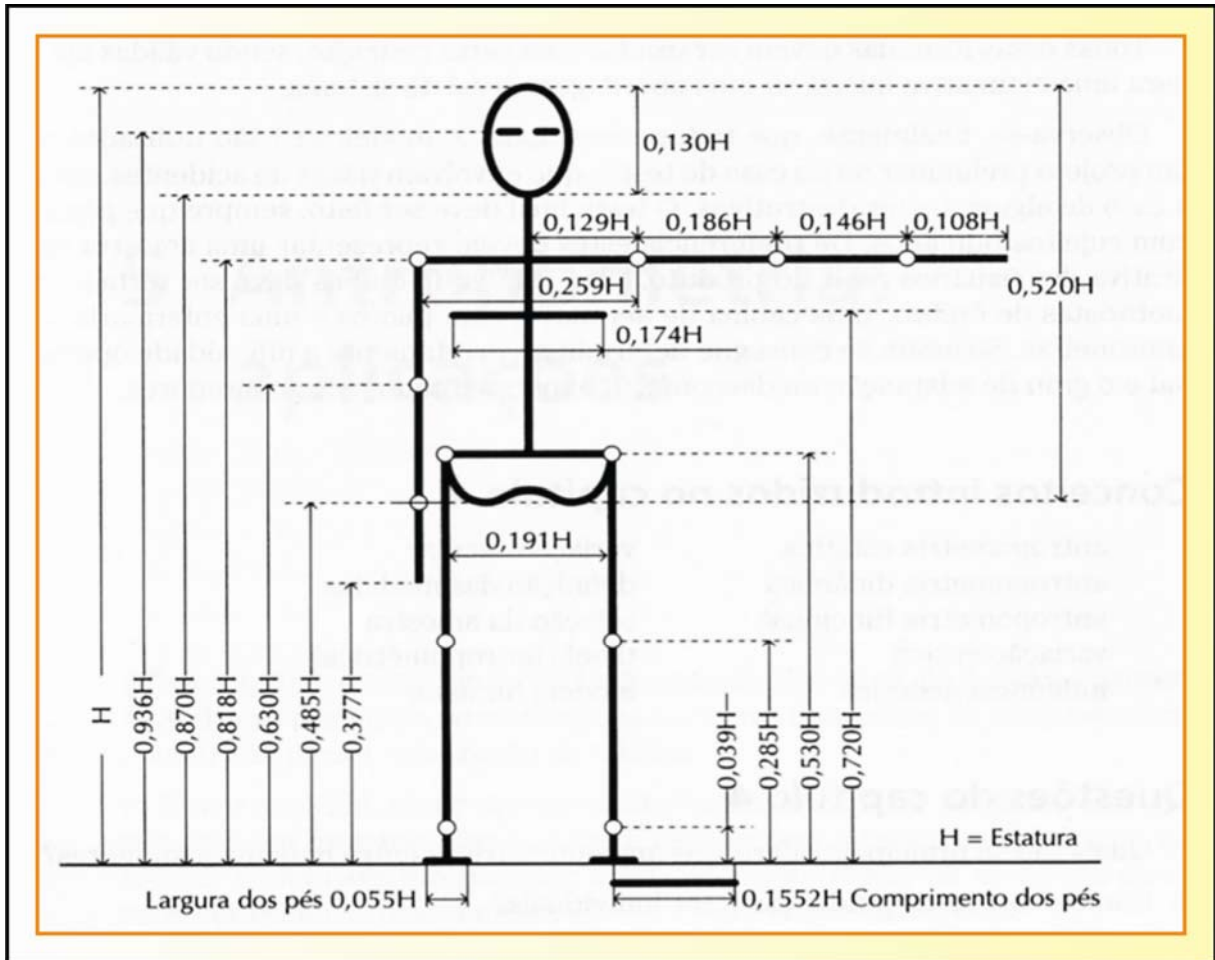


Figura 2-13: Modelagem humana matemática (IIDA, 2000).

É importante observar que tais modelos apresentam uma elevada escala de simplificação, podendo ser utilizados para estimativas iniciais ou para concepção de produtos com menor complexidade. Para estudos mais complexos, recomenda-se a aplicação dos modelos tridimensionais ou de modelos humanos computacionais apresentados a seguir.

2.4.5 Modelagem humana tridimensional computacional

Com o avanço das tecnologias relacionadas à computação, permitindo o acesso das empresas e de um número crescente de usuários à *software* e *hardware* de alto desempenho, diversos modelos humanos computacionais foram desenvolvidos nas últimas

décadas e tiveram seu uso difundido. Tais modelos podem ser facilmente inseridos em projetos de dispositivos, ambientes e postos de trabalho, permitindo aos projetistas simular uma grande variedade de tarefas e avaliar os impactos sobre a capacidade humana em uma série de quesitos (CHAFFIN, ANDERSON e MARTIN, 2001).

Os primeiros modelos humanos digitais (ou MHDs, como são conhecidos) datam da década de 1960. Seu uso tradicional era em projetos extremamente especializados (indústrias aeroespacial e automobilística) e limitado por sistemas CAD específicos. Devido à alta complexidade dos modelos esses sistemas CAD rodavam em *mainframes* com alto poder de processamento para a época. Tais restrições dificultavam o acesso a esse tipo de tecnologia (ERIKSSON, 2008).

No entanto, com o decréscimo dos custos de programas computacionais com modelos humanos, as aplicações têm sido estendidas para outras áreas. Moore e Wells (1992, *apud* MATTILA, 1996) categorizaram diferentes aplicações para modelagem humana computacional, entre elas:

- a) avaliação de ocupação, alcances máximos, campo de visão;
- b) avaliação da força demandada para predição de força e carregamento requeridos nas costas; e
- c) gravação de posturas.

Existem, no mercado, diversos programas computacionais que tratam a Modelagem Humana Digital, com maior ou menor grau de realismo dos manequins, presença de ferramentas de análises e possibilidade de gerar animações. A maioria desses programas computacionais possui compilações para equipamentos de baixo custo e de alta abrangência de usuários (*desktops* com sistemas operacionais *Microsoft Windows*). O aumento considerável no poder de processamento desses equipamentos fez com que os programas computacionais que tratam a modelagem humana digital incorporassem uma série de detalhes fundamentais que tornam o resultado cada vez mais próximo de uma situação real. A integração com outras ferramentas tais como CAD e CAM (*Computer Aided Manufacturing* ou, Manufatura Auxiliada por Computador), planilhas de cálculos, banco de dados e linguagens de programação são outras características fundamentais incorporadas aos atuais programas computacionais, possibilitando customizações no produto (ZANONI, 2008).

Existe uma diferença entre modelos digitais usados para ilustração de humanos em ambientes digitais e modelos digitais humanos que têm como objetivo análises ergonômicas da interação desses com o ambiente (ZIOLEK e KRUITHOF, 2000). A principal

diferença é que para ilustrações busca-se uma representação “idealista” da forma humana. Para propósitos de simulação humana visando análises ergonômicas, o objetivo é a representação “realista”. Ambos podem ser utilizados em ambientes virtuais, porém, uma representação “idealista”, a princípio, não deve ser utilizada para análises ou validações que demandem algum nível de precisão dos segmentos humanos. Os manequins “realistas” são compostos por um conjunto de segmentos rígidos, interligados por uma estrutura hierárquica. Um exemplo dessa estrutura é apresentado pela Figura 2-14.

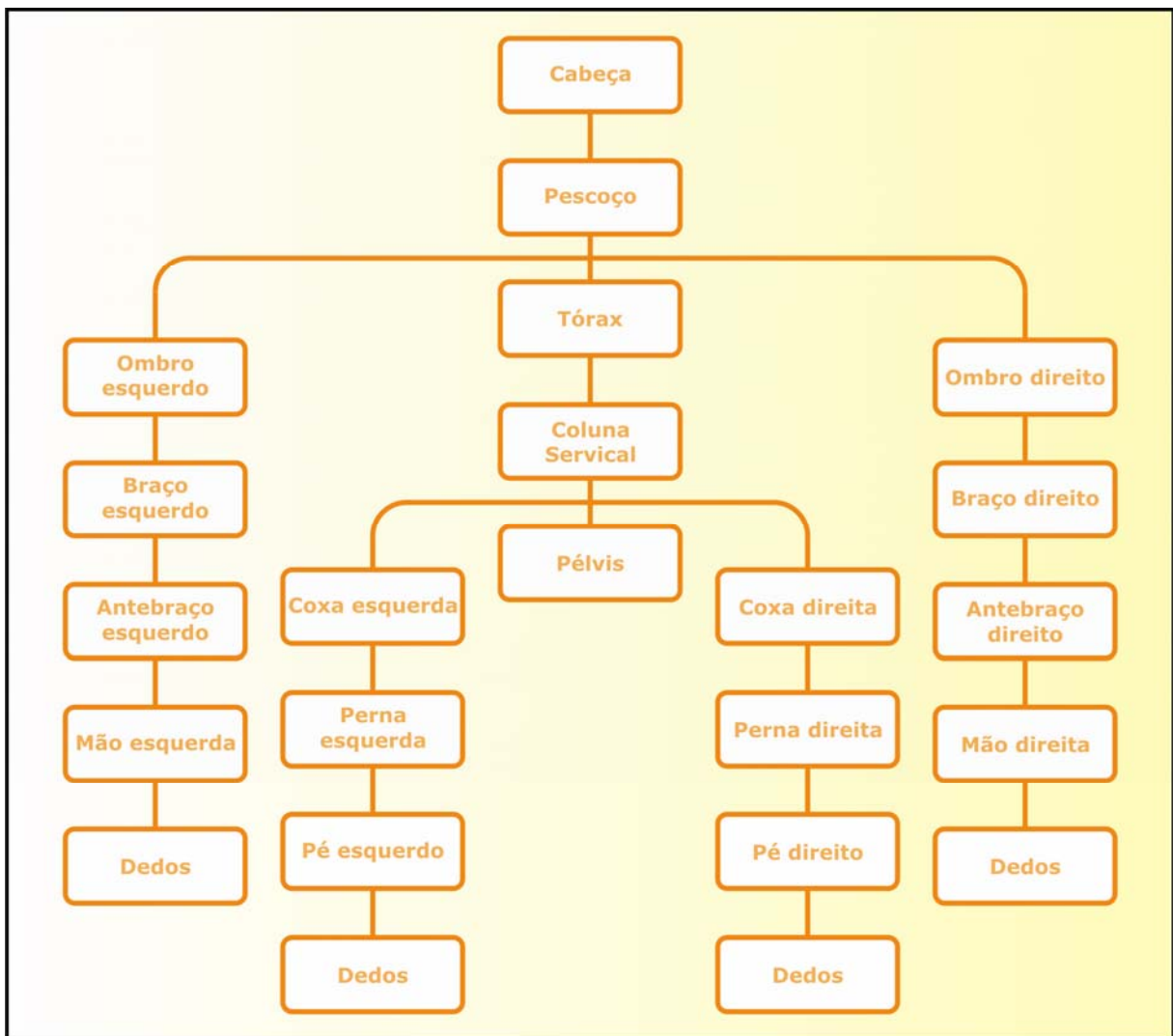


Figura 2-14: Exemplo de estrutura hierárquica em modelo humano digital realístico.

Segundo Farrel (2005, p. 3), para representar os movimentos humanos em uma simulação digital é necessário desenvolver um modelo de esqueleto articulado que represente com fidelidade um esqueleto real e, assim, demonstrar exatamente a cinemática dos movimentos do organismo humano. Em termos de predição de postura, uma série de segmentos (*links*) e juntas (*joints*) com rotação e translação podem ser usados para aperfeiçoar o realismo dos movimentos, conforme é ilustrado na Figura 2-15.

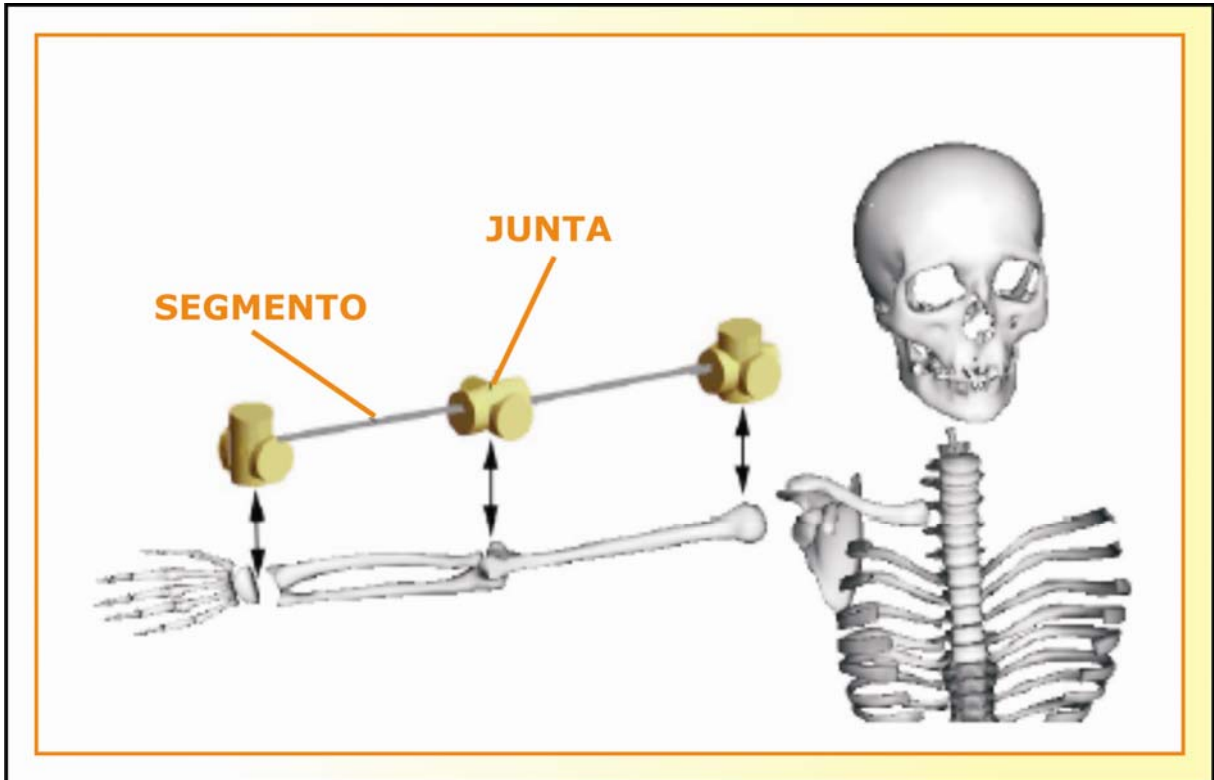


Figura 2-15: Representação de esqueleto através de juntas e segmentos. Adaptado de FARREL (2005).

Hanson (2000) afirma, em uma publicação do ano 2000, que nenhum dos manequins disponíveis até aquele momento era uma réplica perfeita do ser humano, tanto no quesito aparência externa, quanto no quesito “simulação dos movimentos” (biomecânica). Afirma ainda que, quanto maior o realismo, isto é, quanto mais parecido o modelo for na aparência e na biomecânica, maior será a confiabilidade dos resultados das avaliações realizadas.

Neste sentido, Lämkkull, Hanson e Örtengren (2007) pesquisaram a influência da aparência dos MHDs nas avaliações ergonômicas visuais de postura, conforme ilustra a Figura 2-16, a partir de três hipóteses. A pesquisa confirma a primeira hipótese, que aponta a influência da aparência exterior dos manequins, e a segunda, que coloca a experiência do ergonomista como diferencial na capacidade de realizar avaliações visuais de posturas com precisão. A terceira hipótese, que se referia à influência do sexo dos manequins nas avaliações dos observadores, foi refutada pelos efeitos insignificantes observados. Na pesquisa foram utilizadas três versões diferentes de um modelo humano biomecânico (abordagem realista) e um modelo humano ilustrativo (abordagem idealista). O modelo da Figura 2-16a representa a visualização no modo aramado do RAMSIS. Na Figura 2-16b o manequim está no modo simplificado. A versão de apresentação do MHD do RAMSIS pode ser observada na Figura 2-

16c. E, finalmente, na Figura 2-16d o modelo criado através do *software* de renderização POSER (Smith Micro Software).

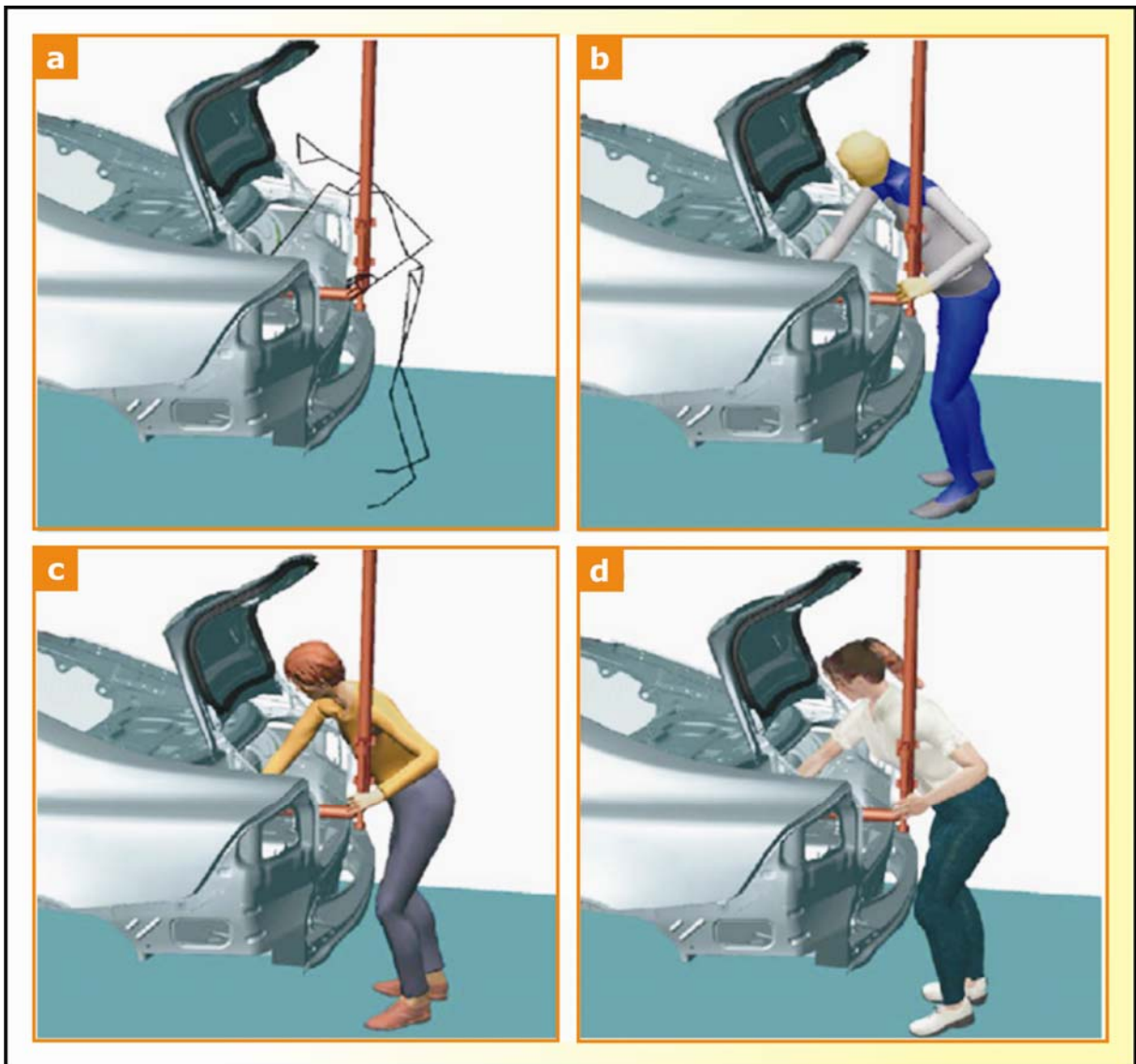


Figura 2-16: Avaliação da influência da aparência dos MHDs nas análises ergonômicas (LÄMKULL, HANSON e ÖRTENGREN, 2007).

Diversos autores, nas duas últimas décadas, têm estudado e comparado os modelos humanos digitais e *software* de simulação humana (FEYEN et al., 2000; HANSON, 2000; LARING, FALK e ÖRTENGREN, 1996; MATTILA, 1996). Assim, além das funcionalidades e usabilidade que cada *software* apresenta, um dos principais diferenciais abordados pelos estudiosos são os manequins digitais, pelo nível de realismo biomecânico, possibilidades de representação de diferentes populações (dados antropométricos) e o preenchimento de tais dados de forma personalizada e individual.

De forma limitada e simplista, as razões de utilizar modelos humanos computacionais – ou manequins digitais – são apresentadas por Eriksson (2008):

- a) possibilitar a imersão em ambientes virtuais;
- b) possibilitar que os ambientes virtuais representem os ambientes reais com um nível de realismo aceitável;
- c) para avaliar situações futuras de conforto, acessibilidade, satisfação do usuário etc.;
- d) prever possíveis acidentes;
- e) melhorar a produtividade e eficiência;
- f) reduzir custos com protótipos e *mock-ups*;
- g) visualizar e avaliar diferentes soluções em fases anteriores aos protótipos.

Ainda conforme a bibliografia levantada, as dificuldades encontradas na utilização dessa técnica são: custo elevado de aquisição de *software* e *hardware*, necessidade de modelagem computacional do ambiente e existência e personalização com dados antropométricos da população sob estudo. Tais dificuldades estão restritas ao campo técnico da utilização da ferramenta, sem considerar o contexto das aplicações e outras características dos processos de projeto de situações produtivas. No Capítulo 5 são discutidas as vantagens e desvantagens da modelagem humana em maior profundidade, trazendo como contribuição o diferencial de que as aplicações são analisadas dentro do contexto da análise ergonômica que gera a demanda pelo projeto, através da explicitação do desenvolvimento dos processos de intervenção e dos encaminhamentos ocorridos.

Na próxima seção são apresentados alguns programas computacionais de simulação humana, voltados para análises e validações ergonômicas, destacando-se as principais características das modelagens dos MHDs.

2.5 Simulação Humana Computacional em Ergonomia

A utilização de humanos digitais em ambientes de realidade virtual e de manufatura digital é crescente nos processos de projeto da indústria automotiva, aeronáutica e aeroespacial. No entanto, pequenas aplicações fora desses ramos também começam a surgir, mesmo que de forma tímida. Em princípio, a utilização de programas computacionais de simulação humana, também conhecidos pelo termo *computer aided ergonomics* (ergonomia auxiliada por computador), associa-se particularmente às avaliações das exigências biomecânicas, vinculadas às tarefas futuras, validações de zonas e envelopes de alcance e

acessibilidade. Atualmente, com a importância cada vez maior da participação de diversas competências e especialidades nos processos de projeto, destaca-se a utilização da simulação como elemento dinamizador das comunicações em processos de revisão de projetos, também chamados como etapa de *design review*.

Como resultado da aplicação dessa abordagem, envolvendo sistemas CAD para avaliar o desempenho humano, as questões ergonômicas podem ser consideradas desde as primeiras etapas do projeto e atuam, portanto, de forma “pró-ativa” ao invés de uma abordagem “reativa” (FEYEN et al., 2000).

A modelagem e simulação humana, atualmente, está disponível em duas formas distintas: como programas computacionais independentes e como ferramentas computacionais complementares para sistemas CAD conhecidos e difundidos na indústria. As ferramentas computacionais isoladas apresentam terminologias próprias, assim como estruturas de comando e técnicas de modelagem distintas daquelas presentes nos sistemas CAD disponíveis.

2.5.1 Evolução das ferramentas de simulação humana

As aplicações computacionais dedicadas ao estudo ergonômico são numerosas e estão presentes desde programas numéricos básicos até aqueles baseados em realidade virtual. Durante a década de 90, diversos pesquisadores desenvolveram modelos virtuais com sistemas CAD. Alguns desses programas computacionais (CYBERMAN, COMBIMAN, CREW CHIEF, JACK, SAMMIE e MANNEQUIN) foram analisados a fim de auxiliar os usuários a escolher a melhor ferramenta conforme suas necessidades (SANTOS et al., 2007).

Os primeiros modelos humanos representavam, principalmente, questões antropométricas (por exemplo, a geometria) das proporções humanas. Segundo Iida (2000) o pesquisador Kroemer no início da década de 70, elaborou um estudo comparativo de diversos programas computacionais com modelos humanos e suas principais características. Destaca-se, como resultado do estudo, o baixo número de segmentos e juntas dos modelos, demonstrando o alto grau de simplificação da biomecânica do ser humano.

Atualmente é possível encontrar manequins que se movem e interagem com o ambiente de forma mais realística, porém ainda com limitações com relação aos movimentos, posturas e questões físicas, como atuação da gravidade, centro de massa e transposição de

sólidos. Tais modelos humanos são úteis ao projeto de produto e de situações produtivas, sendo capazes de representar dados médios de um grupo especial da população, assim como dados de um indivíduo específico. Conseqüentemente, podem ser usados como manequins em situações perigosas, como por exemplo, nos *crash tests* de carros, ou ainda, em emergências tanto nos locais de trabalho, quanto no uso de um produto.

Entretanto, Feyen questiona a real capacidade dessas ferramentas de avaliar algo tão subjetivo como o conforto postural e aponta para a frequente contradição existente para a interpretação do projetista sobre posturas aceitáveis ou não e a avaliação que o *software* realiza para essas posturas (FEYEN et al., 2000). O autor ainda afirma que, para um amplo e pró-ativo uso dessa tecnologia são necessárias algumas modificações, principalmente pelo fato de que tais sistemas: a) foram construídos para aplicações muito específicas (aviação militar ou aplicações automobilísticas, por exemplo); b) ainda possuem custos proibitivos e; c) a maioria deles não “roda” em computadores pessoais. Os dois últimos fatores limitam o acesso da maioria dos projetistas e analistas.

A seguir são apresentados alguns dos principais programas computacionais disponíveis comercialmente e citados por diversos autores.

2.5.2 *Software* SAMMIE V8 (Sammie CAD)

A SAMMIE CAD está situada no Departamento de Design e Tecnologia no campus da Universidade de Loughborough na Inglaterra. O modelo humano digital possui 18 juntas e 21 segmentos hierarquicamente estruturados. Para a construção do manequim o modelo possui 23 entradas de dados antropométricos, possibilitando a criação de qualquer modelo humano de forma explícita, ou ainda, a partir de um conjunto de dados armazenados com dimensões médias e respectivos desvios padrão. A Figura 2-17 ilustra o modelo digital no interior de um veículo (SAMMIE, 2008).

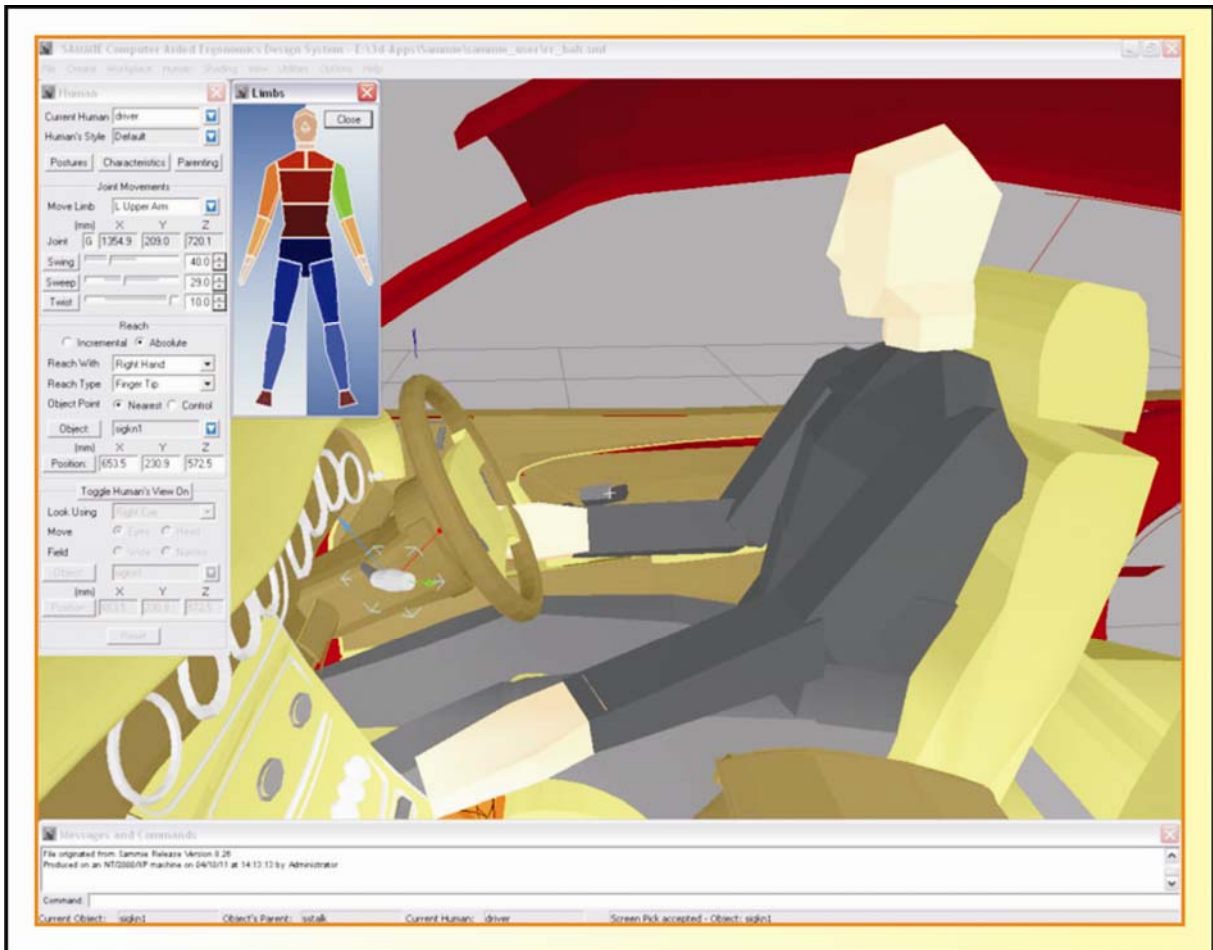


Figura 2-17: MDH interagindo com interior de veículo automotivo no SAMMIE (SAMMIE, 2008).

2.5.3 Software SAFEWORK PRO (Dassault Systèmes)

A empresa Safework Inc. foi fundada em 1984, no Canadá, e em 1999, foi adquirida pela Dassault Systèmes. A partir de 2000, o SAFEWORK PRO passou a integrar as ferramentas DELMIA e CATIA V5R6, ambas também adquiridas pela empresa francesa Dassault. O modelo digital do SAFEWORK PRO possui 104 variáveis antropométricas, 148 graus de liberdade (também conhecido pela sigla DOF – *degrees of freedom* – que levam em conta os limites de mobilidade das juntas e seus movimentos conjugados) e 100 segmentos independentes. Considerado um dos programas computacionais com maior difusão no mercado norte-americano, seus clientes incluem: Boeing, Lockheed, Chrysler, Bombardier/Canadair, General Motors, Samsung, Hyundai, Westland Helicopters, Raytheon,

United Defence, FMC, Forças Armadas e Marinha do Canadá (SAFEWORK, 2008). A Figura 2-18 apresenta um ambiente digital com diferentes manequins no *software*.

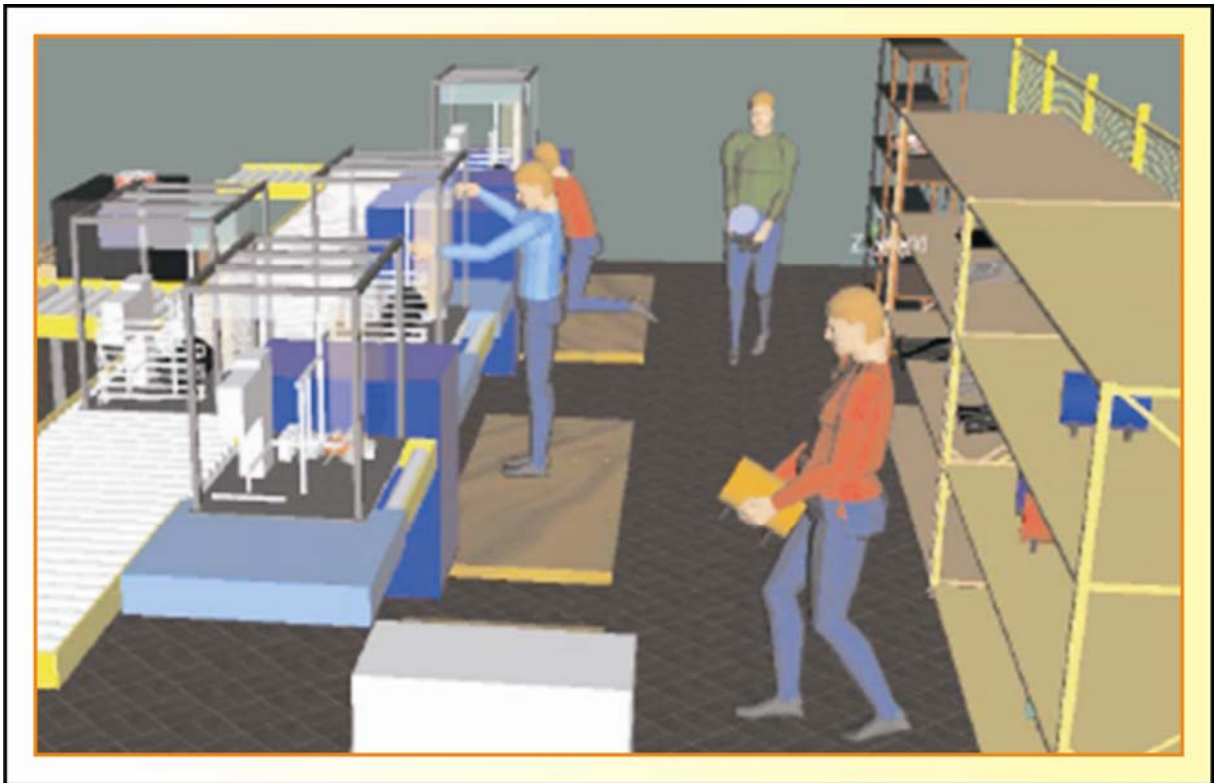


Figura 2-18: Ambiente digital com manequins desenvolvido com *software* Safework PRO (SAFEWORK, 2008).

2.5.4 *Software* HUMANCAD (NexGen Ergonomics)

O *software* HumanCAD é uma marca registrada da NexGen Ergonomics Inc. e trata da evolução do *software* Mannequin que teve a primeira versão criada em 1990. HumanCAD possui uma arquitetura modular que permite aos clientes comprarem os módulos desejados. São incluídas, em todas as configurações, a cinemática inversa, a criação de humanos digitais usando bibliotecas e bases de dados, a análise da visão e do alcance e outras funções (HUMANCAD, 2008).

As bases de dados antropométricas incluem homens, mulheres e crianças, além de compreender a base do exército dos EUA (base gerada em 1988) e o padrão da agência espacial norte-americana NASA-STD-3000. Na Figura 2-19 é possível visualizar a interface do *software*.

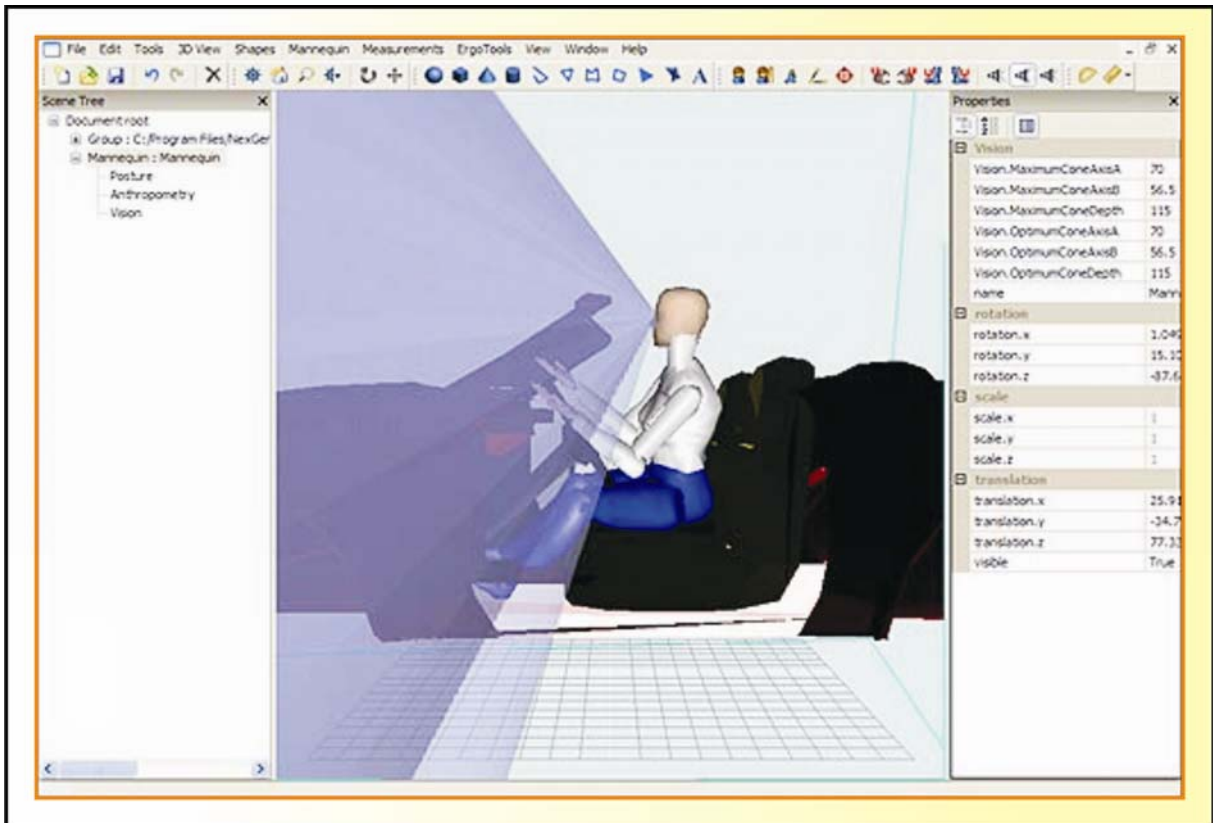


Figura 2-19: Análise de campo de visão com *software* HumanCAD (HUMANCAD, 2008).

2.5.5 *Software* 3DSSPP 5.0 (University of Michigan)

O Centro de Ergonomia, na Faculdade de Engenharia da Universidade de Michigan, desenvolveu programas para analisar tarefas manuais de manuseio de materiais. O *software* 3DSSPP (“*Three-Dimensional Static Strength Prediction Program*”) prevê exigências da força estática para tarefas tais como de elevar, pressionar, empurrar e puxar materiais. O programa fornece uma simulação aproximada do trabalho que inclui dados da postura, parâmetros da força e a antropometria feminina e masculina. Os resultados da análise incluem a porcentagem dos homens e das mulheres que têm a força para executar o trabalho descrito, as forças de compressão espinais e as comparações dos dados às diretrizes do instituto NIOSH. O usuário pode analisar torções e curvaturas do torso, conforme Figura 2-20, e fazer análise de movimentos complexos das mãos. As análises são auxiliadas pela geração automática de posturas e por ilustrações gráficas com humanos tridimensionais (CENTER FOR ERGONOMICS, 2008).

Dados extremos de antropometria não são acomodados pelo modelo. Os valores da introdução de dados aceitáveis para a altura são 50-76 polegadas (1,27-1,93 m) e para o peso são 100-244 libras (45,4-110 quilogramas).

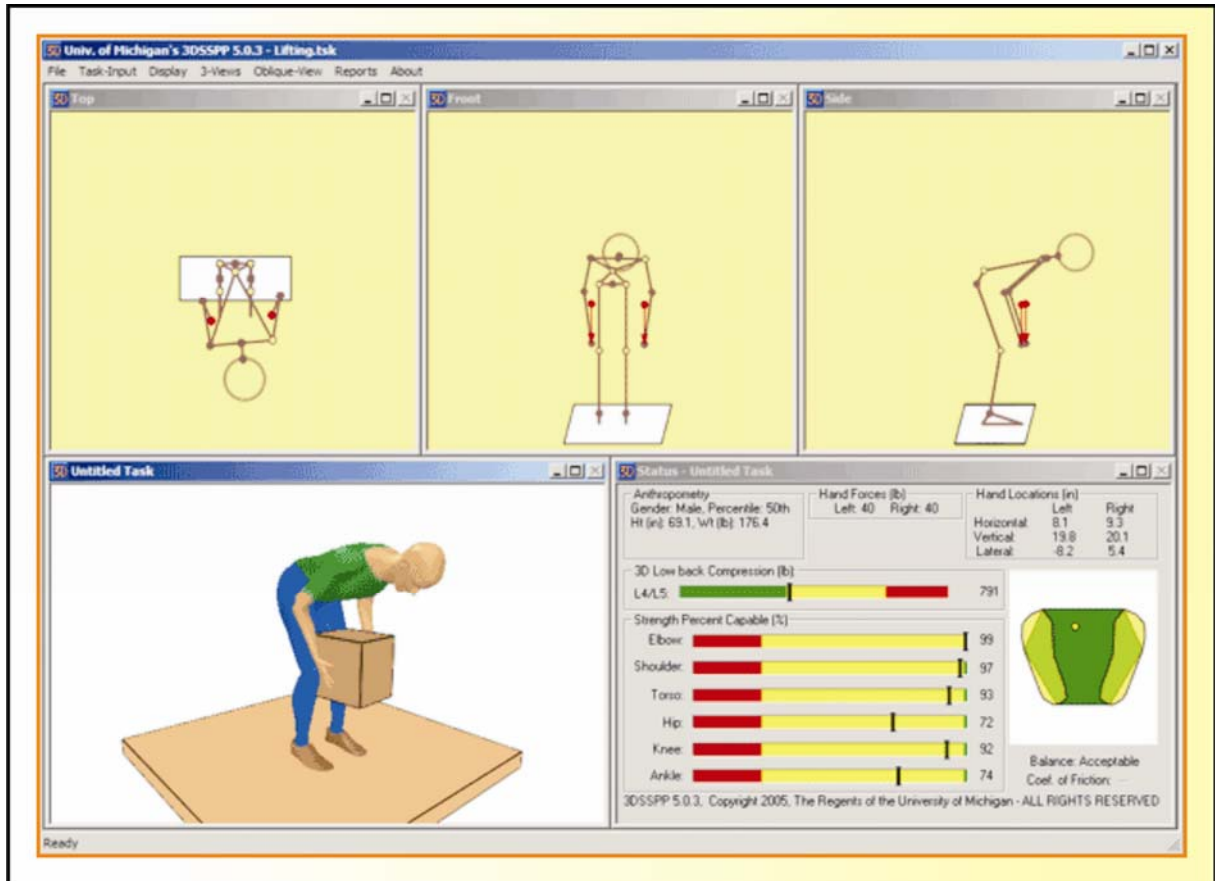


Figura 2-20: Análise de tarefa com *software* 3DSSPP 5.0. (CENTER FOR ERGONOMICS, 2008).

2.5.6 Software RAMSIS (Human Solutions)

Desenvolvido pela empresa alemã Human Solutions, o *software* é focado na indústria automotiva, especificamente para análise ergonômica de interiores de carros. O modelo humano representa fisicamente o ser humano através de 53 juntas, 104 graus de liberdade e 90 diferentes manequins para cada base de dados antropométricos (estatisticamente validados). Atualmente existem versões para a indústria aeronáutica e aplicações generalizadas, incluindo uma específica para interação com realidade virtual (RAMSIS, 2008). Na Figura 2-21 é possível observar uma simulação em automóvel.

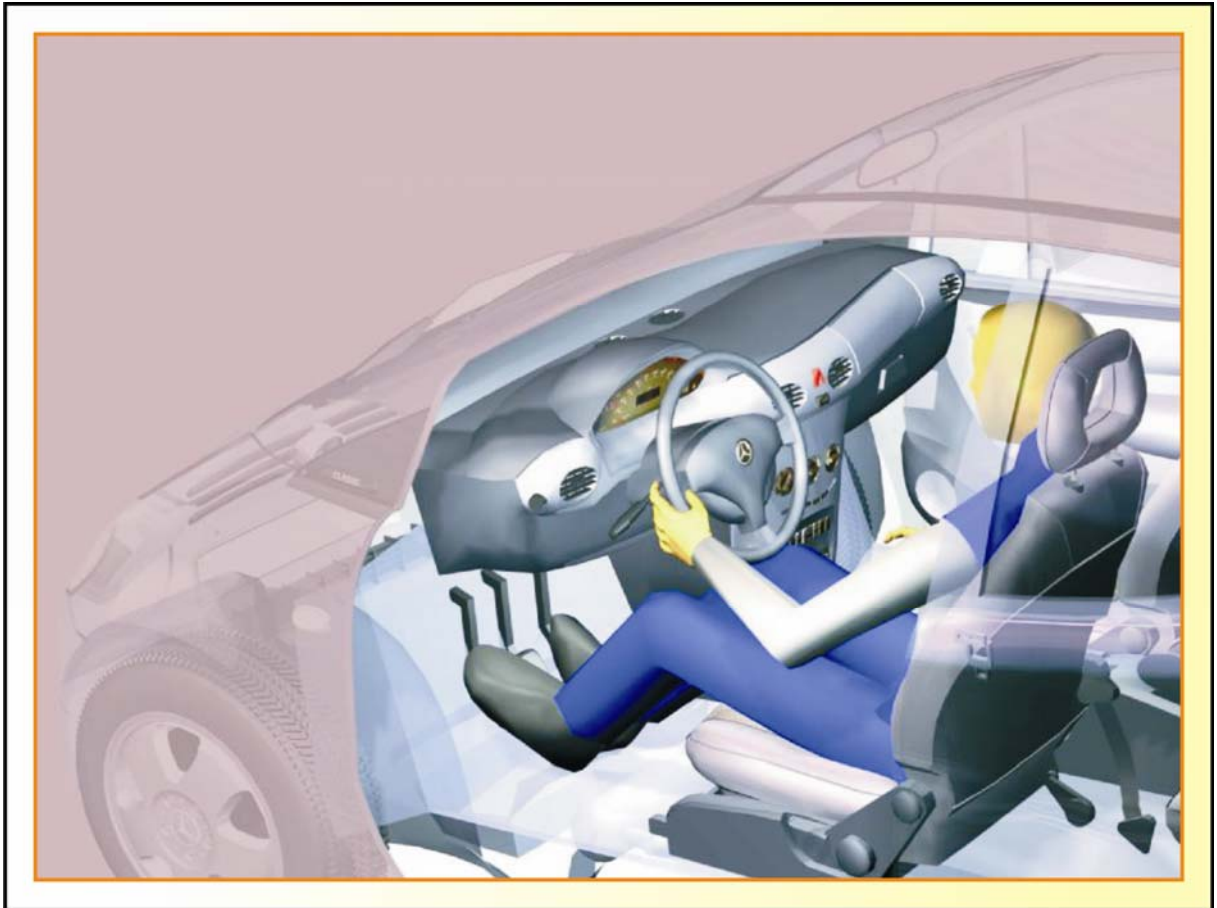


Figura 2-21: Análise automotiva com o *software* RAMSIS (RAMSIS, 2008).

2.5.7 *Suíte* HUMAN BUILDER 2 (Dassault Systèmes)

Human Builder 2 é uma ferramenta básica que atua conjuntamente com Human Measurements Editor, Human Posture Analysis 2 e Human Activity Analysis 2, entre outros módulos, visando a criação e análise de detalhados manequins digitais. Essas ferramentas possuem integração direta com as soluções de PLM (gestão do ciclo de vida do produto), modelagem e *design review* das famílias DELMIA, CATIA e ENOVIA (DASSAULT, 2008).

O modelo digital humano é caracterizado por 99 juntas independentes e 7 controles de cinemática inversa para realizar os movimentos da manequim e que predizem sua postura natural. Outra característica biomecânica é a presença de 148 graus de liberdade. Uma aplicação da ferramenta DELMIA Human Builder 2 pode ser visualizada na Figura 2-22.

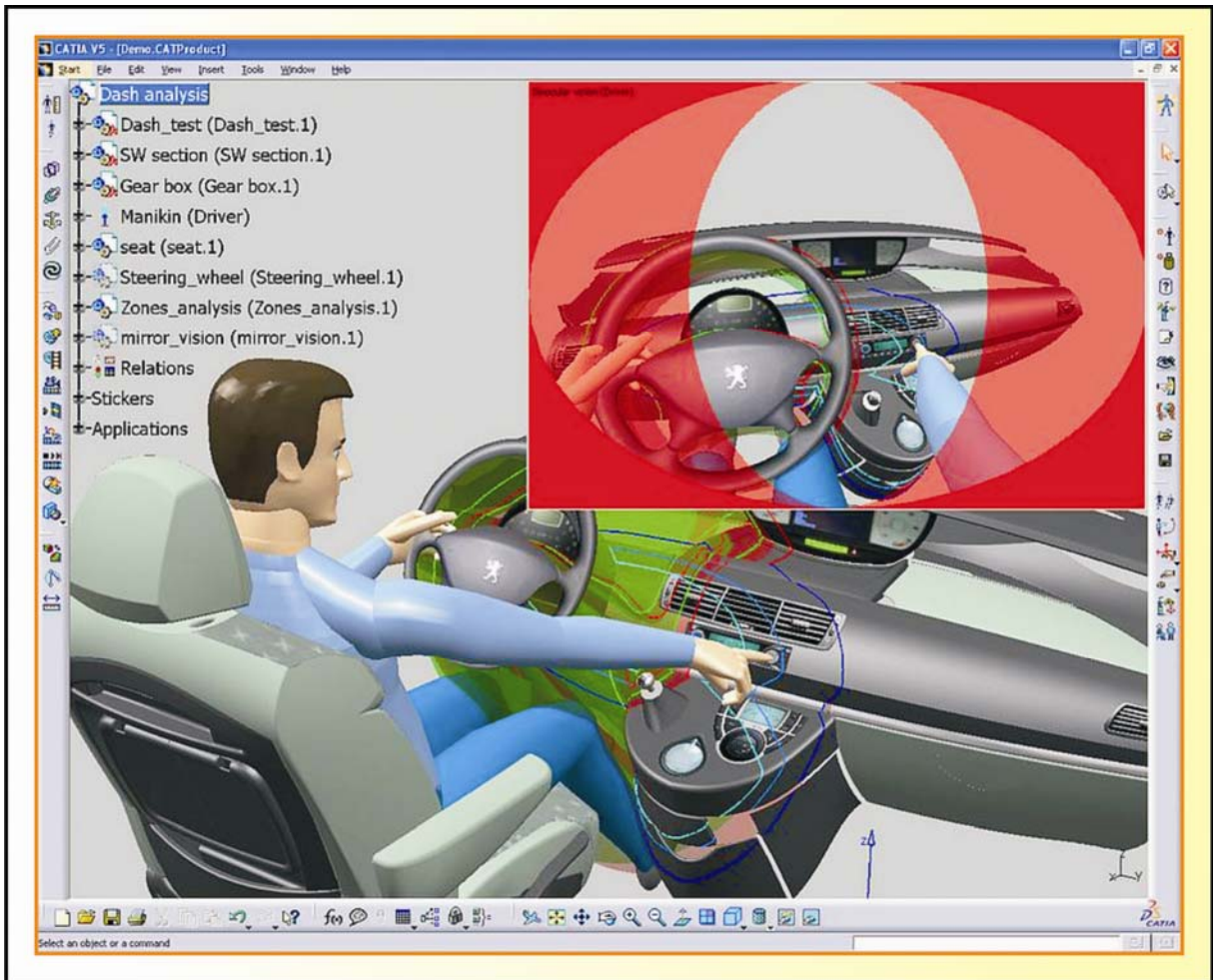


Figura 2-22: Imagem de aplicação do *software* CATIA Human Builder 2 (DASSAULT, 2008).

2.5.8 *Software* JACK 4.1 (UGS Siemens)

O *software* Jack surgiu a partir de um doutorado, desenvolvido no Centro de Modelagem e Simulação Humana da Universidade da Pensilvânia, nos Estados Unidos. O financiamento para o desenvolvimento veio de várias fontes, incluindo a sustentação significativa da NASA e do exército dos EUA. A ferramenta foi aplicada a uma larga escala de projetos, incluindo o reprojeto do helicóptero *Comanche* e o desenvolvimento de uma estação espacial internacional (ISS). A Figura 2-23 mostra um manequim feminino percentil 05 (com base na população japonesa) interagindo na ISS (SUNDIN, CHRISTMANSSON e ÖRTEGREN, 2000).

O modelo humano do Jack é composto de 71 segmentos individuais e 5182 polígonos. Os segmentos são ligados por 69 juntas, com 135 graus de liberdade. O manequim

tem um modelo complexo da espinha e dos ombros, baseados nos algoritmos de cinemática inversa, assegurando que o corpo se mova de forma próxima a real.



Figura 2-23: Simulação de Estação Espacial Internacional (ISS) com o *software* Jack (UGS, 2008).

O *software* Jack, desde sua criação pela Universidade da Pennsylvania, pertenceu a diversas empresas. Algumas delas foram a *Transom Technologies* (motivo pelo qual o *software* ficou conhecido no início por *Transom Jack*), EDS (*Electronic Data Systems*), EAI (*Engineering Animation Inc.*), UGS (inicialmente chamada de *Unigraphics Solutions*), a qual, recentemente, foi adquirida pela Siemens, divisão *Siemens Automation and Drives*.

2.5.9 *Software* SANTOS (University of Iowa)

O *software* Santos pode ser caracterizado como o estado da arte em modelos humanos digitais, recebendo, nos últimos anos, fortes investimentos das Forças Armadas dos EUA e da empresa Caterpillar (VSR, 2004). Farrel (2005) apresenta-o como resultado de uma necessidade mercadológica de manequins realísticos que possam ser operados mais facilmente pelos usuários, sem que esses tenham a necessidade, por exemplo, de configurar diversas juntas para definir uma postura. Uma das características relevantes do manequim,

além do alto grau de detalhamento biomecânico, é o avanço no que diz respeito à deformação da pele durante a realização dos movimentos e conforme a personalização das medidas antropométricas. O modelo digital humano e sua estrutura interna biomecânica estão ilustrados na Figura 2-24.

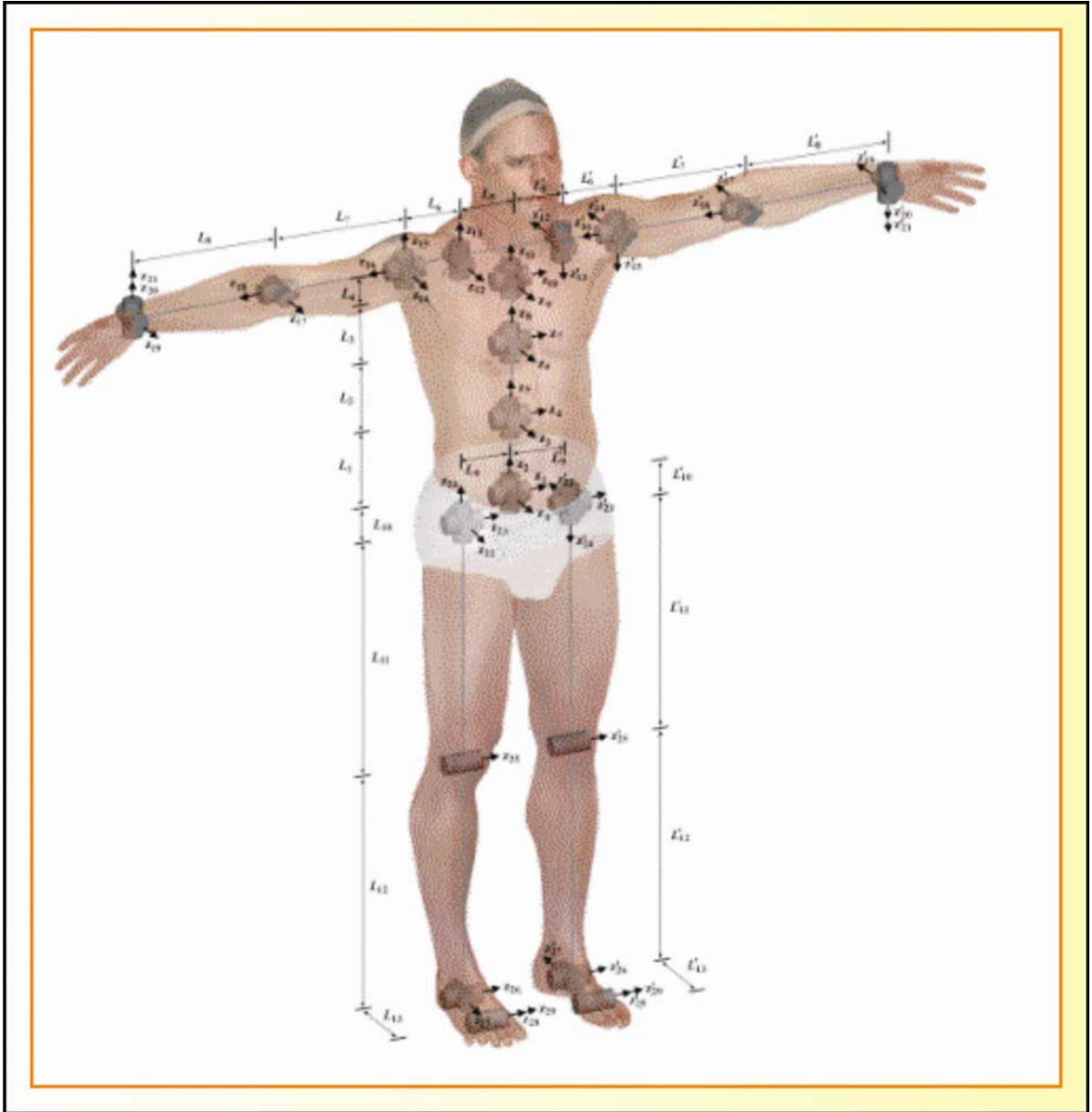


Figura 2-24: Estrutura do esqueleto do modelo humano digital Santos mostrando a localização e tipo das diversas juntas (VSR, 2004).

Para Torres (2007, p.55), o *software* Santos incorpora uma série de recursos computacionais que tornam o seu uso mais fácil em relação aos seus concorrentes. O autor cita um exemplo da evolução em relação ao Jack na facilidade para fazer o manequim pegar um objeto. Enquanto nesse último é necessário ajustar diversas juntas e por meio de cinemática inversa calcular as posições das outras partes do corpo do manequim, no Santos

basta especificar o objeto a ser atingido, que os recursos de inteligência artificial e a cinemática inversa farão com que o manequim pegue o objeto, ainda que em movimento, conforme ilustrado na Figura 2-25 (TORRES, 2007). Farrel (2005, p. 62) explica que essa dinâmica é relacionada a um método de otimização para predição de posturas, com base em capturas de movimentos reais, realizados por pessoas em laboratório e com cálculos matemáticos.

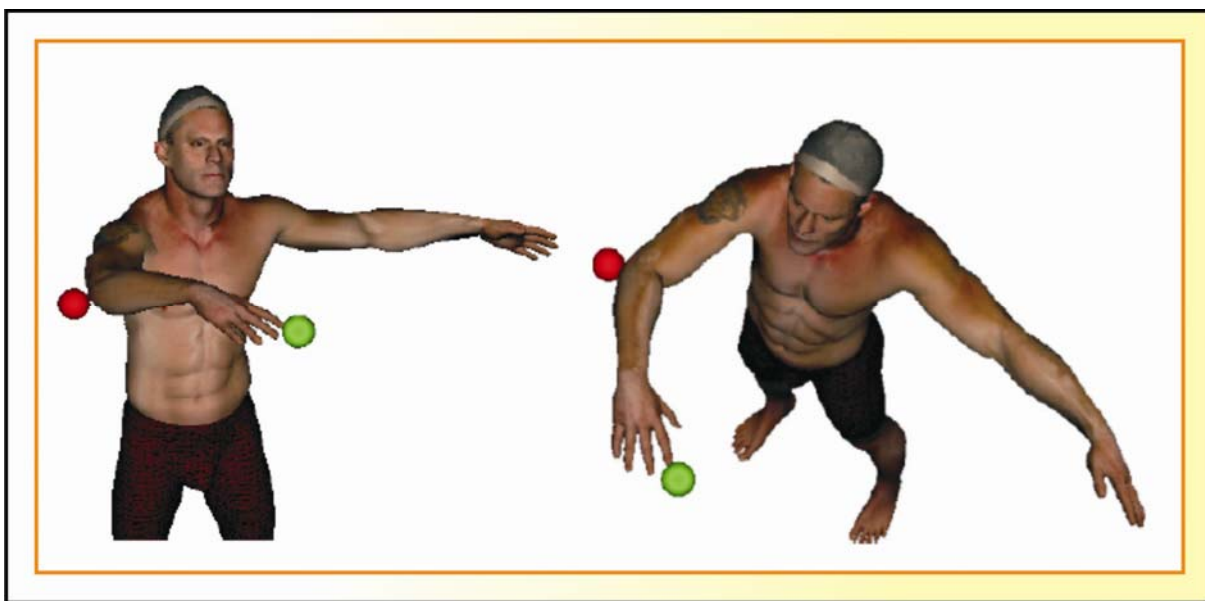


Figura 2-25: Postura definida com base em otimização (FARREL, 2005, p.60).

Abdel-Malek et al. (2006, p.36) afirmam que as pesquisas e desenvolvimentos em torno do manequim Santos continuarão e considera que este é o primeiro de uma nova geração de modelos humanos digitais, ou, como também denominam em suas pesquisas, *avatares* (em informática e especialmente na internet, *avatar* é a representação gráfica de um ser humano em realidade virtual; de acordo com a tecnologia, pode variar desde um sofisticado modelo 3D até uma simples imagem). O objetivo, segundo os mesmos, é conceber um manequim que olhe, mova-se, aja e reaja como um humano real faria, não somente em sua aparência externa, mas também em suas funções fisiológicas. Os autores concluem o artigo no qual apresentam o *software*, afirmando que pretendem entender e modelar *como* e *por que* os humanos agem da forma como agem (ABDEL-MALEK et al., op. cit.).

2.6 Levantamento das aplicações de programas computacionais de modelagem e simulação humana

O uso de um *software* de modelagem e simulação humana em processos de projeto de produtos ou de situações de trabalho deve ter como objetivo a melhoria das considerações ergonômicas durante o processo, porém sem desconsiderar as demais técnicas e ferramentas que a ergonomia aplica e os métodos que abrange. A aplicação de ferramentas computacionais auxilia os agentes envolvidos no processo de tomada de decisão.

Segundo Santos et al. (2007) qualquer tomada de decisão beneficia-se do uso de sistemas de informação. Com o avanço da ciência da computação, uma série de aplicações foi desenvolvida para a ergonomia, tornando-se mais acessível, a um menor custo e rodando em computadores pessoais (PC), ao invés dos grandes computadores conhecidos como *workstations* gráficas, muito comuns nesse meio até a década de 90. No entanto, segundo os autores, muitas empresas não têm aproveitado todo o potencial dessas aplicações, subestimando a importância da simulação em ergonomia e, conseqüentemente, essa tecnologia não tem sido amplamente implementada.

Outro fator que influencia na adesão dessa tecnologia pelas empresas é o fato de que a maior parte dos programas computacionais disponíveis no mercado foi desenvolvida para aplicações bem específicas, com destaque para as grandes indústrias automobilísticas, aeronáuticas e agências aeroespaciais. Diversas pesquisas, durante a década de 90, descreveram o desenvolvimento e aplicações da modelagem e simulação humana digital naqueles setores (WILSON, 1999; GOMES DE SÁ e ZACHMANN, 1999; LARING, FALK e ÖRTENGREN, 1996; MATTILA, 1996; DAS e SENGUPTA, 1996; PHILIPS e BADLER, 1991).

Independente da área de aplicação, segundo levantamentos de Mattila (1996), em três pesquisas ocorridas até o ano de publicação de seu trabalho, 32 diferentes programas computacionais foram apresentados. Nesse sentido, a partir do ano 2000, é possível observar uma concentração das pesquisas em uma quantidade menor de programas computacionais.

Nos anais do congresso internacional da IEA, no ano 2000, foram publicados trabalhos com o **JACK** (SUNDIN, CHRISTMANSSON e ÖRTEGREN, 2000; HANSON, 2000), **VirtualANTHROPOS** (SEIDL, 2000), **RAMSIS** (LINNER, ROSSGODERER e WUNSCH, 2000; ASSMANN e RANEZANI, 2000; LOCZI, 2000; TRIEB et al., 2000;

HAPPEE, VERVER e LANGE, 2000; HARTUNG, BALZULAT e BUBB, 2000; BUBB, 2000) e **SAFEWORK** (COUTU, MARGARITIS e HACHEZ, 2000). Os trabalhos foram apresentados dentro de um simpósio específico sobre modelagem e simulação humana que contou com 18 apresentações, divididas em quatro seções: “*Human models – state of the art*”; “*Human modeling: vehicle design*”; “*Data acquisition and management*” e “*Advances in Modeling Research*”. No mesmo ano, Feyen et al. (2000) abordou a incorporação de análises ergonômicas no projeto de postos de trabalho, por meio da ferramenta computacional (ou “*computer-aided ergonomics*”, conforme os autores) **3DSSPP**, apresentada por dois estudos de caso com grande interação com o *software* AutoCAD.

Em 2006 o congresso da IEA não apresentou nenhum evento específico para a área, tendo publicado, em seus anais alguns artigos sobre modelagem e simulação humana. Desses artigos, dois apresentaram a aplicação de programas computacionais: foram utilizados o *software* **JACK** (STEPHENS, CHIANG e JOSEPH, 2006) e o *software* **RAMSIS** (CHEREDNICHENKO, ASSMANN e BUBB, 2006).

Para confirmar essa tendência de concentração, entre os anos de 2006 e 2008, em publicações nas principais revistas internacionais das áreas que abordam o tema (*International Journal of Industrial Ergonomics*; *Applied Ergonomics*; *Computers in Industry*; e *Computers and Graphics*), foram encontrados artigos com aplicações dos programas **eM-WORKPLACE** (SANTOS et al., 2007), **RAMSIS** (LÄMKULL, HANSON e ÖRTENGREN, 2007, MARCOS et al., 2006) **CATIA V5R13** (CHOI et al., 2008) e **JACK** (GODWIN et al., 2008; GODWIN e EGER, 2008; JAYARAM, 2006; GIRONIMO, LANZOTTI e VANACORE, 2006).

Como referencial para os estudos de caso apresentados no Capítulo 3, que contam com aplicações desenvolvidas com a participação deste autor, a seguir são apresentadas sínteses de três publicações internacionais recentes, citadas anteriormente, com aplicações de diferentes programas computacionais. Para a seleção desses artigos, além dos critérios de ano e local de publicação, a forma de abordagem e a tipologia do estudo também influenciaram, principalmente pela necessidade de propiciar melhores referenciais de comparação entre essas aplicações e os casos do presente trabalho.

2.6.1 Síntese de publicação com aplicação do *software* eM-WORKPLACE

Santos et al. (2007) desenvolvem um estudo de caso, em uma empresa de manufatura, com características de baixa repetitividade e alta variedade. Um dos objetivos do estudo é demonstrar a aplicação de um “*software* ergonômico”, no setor de Pequenas e Médias Empresas, visto que a utilização de ferramentas computacionais e a aplicação da ergonomia nessas empresas são consideradas de baixa importância ou de alto custo. No entanto, segundo os autores, os riscos de problemas ergonômicos nessas empresas são os mesmos que o de grandes companhias.

A opção por usar o *software* eM-WORKPLACE foi baseada no fato de que a Universidade de Navarra possui uma licença de pesquisa. Esse *software* pertence à mesma empresa e ao mesmo pacote de ferramentas que o JACK (UGS Siemens – pacote Tecnomatix).

A simulação foi baseada nos tradicionais estudos de tempos e métodos, na aplicação do método de análise qualitativa de posturas OWAS (*The Ovako Working Posture Analysing System*) e na análise de carregamento (*Lift Analysis*) conforme padrão da NIOSH.

O processo de aplicação da ferramenta ocorreu em uma empresa fabricante de mobiliário, caracterizada pela produção de pequenos lotes com grande variedade de tipos e tamanhos de peças. O espaço de trabalho analisado incluiu uma máquina de polimento que era continuamente operada por um trabalhador.

A equipe de projeto visitou a fábrica três vezes para levantar informações e medidas da máquina e do espaço de trabalho. Esses dados permitiram à equipe construir e projetar um ambiente digital, usando o módulo CAD do eM-WORKPLACE.

O modelo digital humano utilizado foi o manequim padrão do *software*, sendo ajustado à real morfologia do trabalhador.

Através de um diagrama homem-máquina foi possível determinar a alta porcentagem de tempo ocioso da máquina (o tempo foi obtido a partir de leituras com cronômetros no local) e serviu como validação da simulação da situação em ambiente digital.

O estudo segue com a descrição das tarefas realizadas pelo trabalhador, as dificuldades encontradas na modelagem e simulação e as similaridades encontradas entre a situação real e a situação digital, ilustrada pela Figura 2-26.

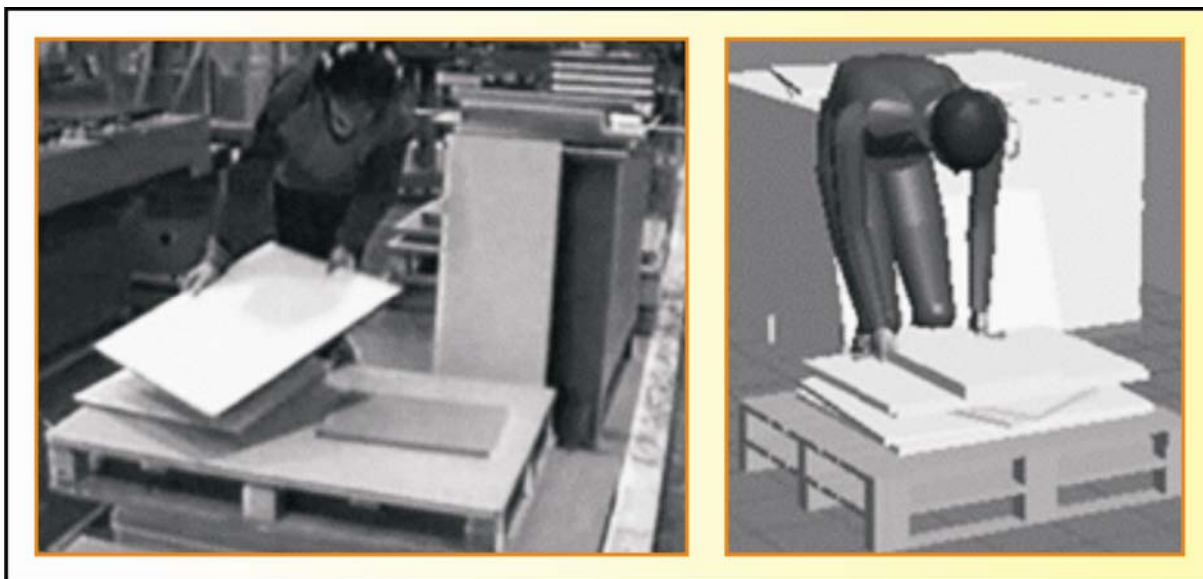


Figura 2-26: Similaridade entre a situação real e a simulação em ambiente digital (SANTOS et al., 2007).

A etapa seguinte foi a realização de experimentos a partir de estudos de tempos e métodos, resultando em gráficos e relatórios, com o objetivo principal de validar a modelagem e simulação digital. As análises ergonômicas, por intermédio do método OWAS, apontaram para as posturas críticas que o trabalhador estava exposto. E, por último, as análises de carregamento, baseadas nos parâmetros do NIOSH, concluíram que nenhum dos carregamentos realizados são críticos ou estão na “zona de perigo”. Os autores finalizam os experimentos com o estudo de diferentes cenários, afirmando que o uso dessas ferramentas permitiu a redução dos movimentos que pudessem causar danos ao trabalhador e por outro lado, a obtenção de ganho de produtividade.

Santos et al. (2007) afirmam que o uso de ferramentas de simulação humana em pequenas e médias empresas e em processos de produção não repetitivos (com alta variedade) pode ser benéfico. No entanto, consideram que o uso de ferramentas sofisticadas não é necessário, pois ferramentas CAD tradicionais e a consideração de modelagem digital humana podem ser utilizadas com bons resultados.

Os autores concluem o trabalho afirmando que a tecnologia de modelagem e simulação humana se diferencia das ferramentas tradicionais por permitir o teste de diversos cenários antes da implementação, bem como uma representação digital sofisticada da futura estação de trabalho.

2.6.2 Síntese de publicação com aplicação do *software* RAMSIS

Apesar da vasta aplicação do *software* RAMSIS no setor automotivo, uma das mais recentes publicações que o abordam é dos autores Marcos et al. (2006) que apresentam um estudo da aplicação dessa ferramenta para melhorias ergonômicas durante cirurgias laparoscópicas. Os autores introduzem o assunto afirmando que esse método de cirurgia evita grandes incisões no abdômen: bastam três ou mais pequenas incisões e o uso de equipamentos específicos, como um laparoscópio que transmite em tempo real para os monitores o interior do corpo humano e a movimentação dos instrumentos cirúrgicos. Em comparação com as cirurgias convencionais, essa abordagem requer uma gama de dispositivos sofisticados e um elevado grau de suporte técnico.

A equipe que realiza uma cirurgia normalmente é composta por três ou quatro pessoas: um cirurgião, uma enfermeira e um ou dois assistentes. Um assistente tem a tarefa de alinhar o laparoscópio para o cirurgião visualizar o local da operação. A enfermeira é encarregada de entregar os instrumentos requeridos nas diferentes etapas da intervenção e dar suporte às atividades do cirurgião, com alto grau de atenção e presteza.

Uma das principais condições para um bom desempenho das cirurgias, com segurança e eficiência, é a visualização intra-abdominal em tempo real e de forma confiável por parte da equipe médica. No entanto, na maior parte das salas de operação, as telas ficam acima dos *trolleys* de laparoscopia, com todos os equipamentos necessários para a cirurgia. Por essa razão as telas ficam em uma posição não orientada ao usuário, mas por restrições técnicas ou facilidade de montagem dos equipamentos. Tal arranjo obriga a esses profissionais adotarem posturas desconfortáveis, por longos períodos de tempo, objetivando uma melhor visibilidade. Esse fator, aliado a manutenção de posturas estáticas e uma variedade de fatores de *stress* mental e físico, aumentam os esforços realizados pelos integrantes da equipe e podem, potencialmente, permitir uma redução do grau de segurança do procedimento. Baseado nisso, os autores afirmam que, se o problema de posicionamento das telas puder ser resolvido, isso deverá não somente melhorar as condições de trabalho da equipe médica, como também aumentará a eficiência e segurança do processo cirúrgico.

Grandes fabricantes de equipamentos para salas de operação estão, atualmente, oferecendo novos conceitos de monitores que podem ser movidos de forma independente dos outros equipamentos. Isso permite o ajuste para uma visualização ótima por parte da equipe.

No entanto, segundo Marcos et al. (2006), pouco se sabe sobre a altura e distância ideal da tela para um observador específico. Dessa forma, o objetivo do estudo foi identificar o posicionamento ótimo das telas usando um sistema de simulação computacional.

Outra questão, também apontada pelos autores, que influencia na adequação ergonômica na mesa de operação é o ajuste das telas com relação à mesa que suporta os instrumentos (*Mayo stand*). A diferença de altura entre os membros da equipe torna ainda mais difícil encontrar uma posição ideal compatível para todos na sala. Por isso, a simulação humana foi usada para identificar um posicionamento que buscasse atender, da melhor forma possível, as alturas desses objetos.

Na definição dos métodos utilizados pelos autores para realização do estudo, é expresso que as variações das condições de trabalho em um centro cirúrgico podem variar de forma significativa, incluindo as variáveis: objetivo da cirurgia e composição da equipe. Dada a impossibilidade de simular toda a gama de variações presentes, os autores confinaram o tipo de cirurgia laparoscópica de abdômen superior, com uma equipe cirúrgica consistida de um médico cirurgião e um assistente do sexo masculino e uma enfermeira do sexo feminino.

A simulação foi composta por dois sistemas computacionais: o *software* CATIA, utilizado como ferramenta CAD para modelagem do ambiente digital e o *software* RAMSIS para criação dos manequins humanos digitais e simulação desses em torno da mesa de operação. Para se obter as condições reais de trabalho em uma sala de operação, utilizou-se um sistema de vídeo que extrai modelos humanos tridimensionais a partir de duas imagens sincronizadas em pontos de vista ortogonais, obtidas com filmadoras digitais. O *software* que realizou a tradução das imagens em modelos humanos tridimensionais digitais foi o PCMAN, para, posteriormente, serem enviados ao *software* RAMSIS.

Segundo os autores, a pesquisa, antes de simular as diversas variáveis encontradas no mundo real, optou por simular e definir uma situação ideal. Para isso foram consultados dois cirurgiões com ampla experiência e questionados sobre as posturas ideais para cada momento da cirurgia. Essa etapa serviu como aprendizagem e padrão de comparação para avaliar as posturas do cirurgião, enfermeiro e assistentes.

Com base nessas análises e nas sugestões dos cirurgiões foram sugeridas três diferentes posições para a tela da videolaparoscopia: tela próxima a cabeça do paciente, tela em posição exatamente oposta ao cirurgião e tela em diagonal próxima à cabeça do paciente. Esses cenários foram simulados e estão ilustrados na Figura 2-27 (monitor representado em amarelo, cirurgião em azul e branco, enfermeiro em vermelho, assistente em azul e bandejas de instrumentos em verde - próximas aos pés do paciente).

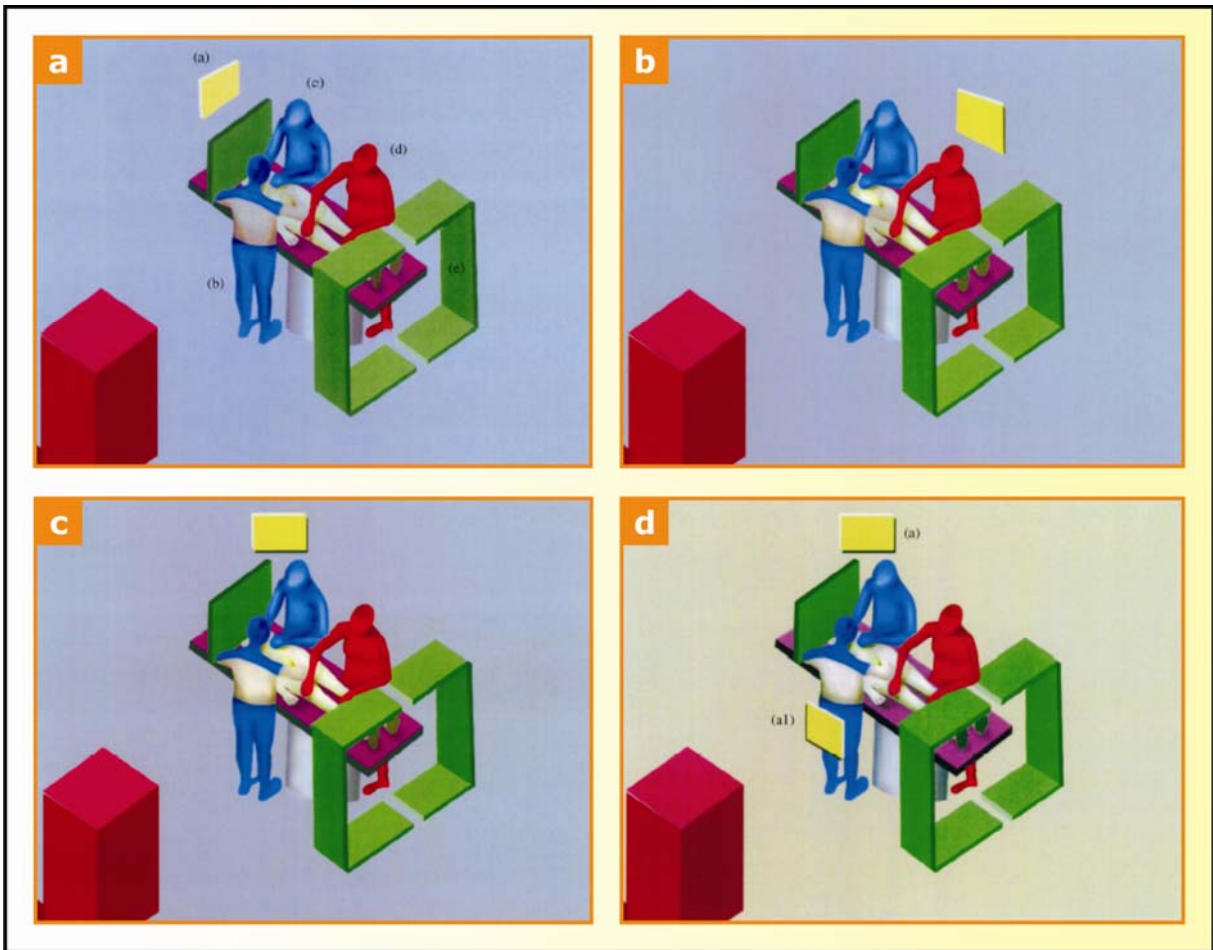


Figura 2-27: Cenários com diferentes localizações da tela (em amarelo) em uma sala de cirurgia (MARCOS et al., 2006).

Além da posição da tela, outros fatores que influenciam na postura de trabalho são a altura individual de cada membro da equipe, a altura da mesa de operação e a posição e altura das bandejas de instrumentos. Desses, as duas últimas variáveis são ajustáveis, porém a primeira, que se refere à altura dos membros da equipe é fixa. Em consequência disso, a simulação ocorreu com manequins de diferentes alturas, baseadas em tabelas padronizadas (SEITZ et al., 2000, *apud* MARCOS et al., 2006) e com o uso dos percentis 5, 50 e 95 masculino e feminino.

Os resultados obtidos, com relação primeiramente ao posicionamento da tela, apontam para o terceiro cenário (Figura 2-27c) como sendo o mais favorável para uma melhor postura por parte do cirurgião. Essa opção não permite, no entanto, uma boa visualização por parte do restante da equipe. Segundo esse critério a melhor opção seria o cenário 1 (Figura 2-27a), porém sem a obtenção de “posturas confortáveis” para todos os membros da equipe.

Segundo os autores, para resolver essa questão da forma ideal com relação aos aspectos ergonômicos, deve-se adicionar um monitor na sala de operação, do lado oposto ao

assistente e ao enfermeiro, sem interferir no posicionamento e posturas do cirurgião. Esse novo cenário ideal e outros propostos também foram simulados e avaliados em ambiente digital (Figura 2-27d).

Com relação à distância entre a tela e os observadores, foi calculada, com base em um monitor de 350 x 290 mm, uma distância ótima de 1750 mm, independente do tamanho de cada membro da equipe. Para determinar a altura dos monitores foram utilizados dados antropométricos da população da Europa ocidental. A tela referente ao cirurgião foi considerada em uma altura ótima em 1570 mm com relação ao solo. Essa medida apresenta um desvio padrão com relação à média de 120 mm, conforme análises no RAMSIS. Para determinação da altura do monitor do enfermeiro e do assistente foram considerados os extremos (um com percentil 05 feminino e outro com percentil 95 masculino). A altura ótima compreende uma faixa que varia entre 1399 mm e 1556 mm, com um desvio padrão máximo, nas condições extremas, de 124 mm.

A altura da mesa de operação foi considerada a mais crítica, pois deve contemplar toda a equipe envolvida. A princípio, a altura da mesa deve ser próxima à altura da cintura do profissional que está trabalhando. Como nesse caso pode-se ter três, quatro ou mais membros na equipe, essa definição torna-se complexa. Os autores optam por trabalhar com cenários extremos (percentil 05 feminino e percentil 95 masculino) e um cenário ideal (percentil 95 feminino e percentil 50 masculino). Marcos et al. (2006) apresentam uma série de tabelas cruzando informações antropométricas com alturas e distâncias dos equipamentos analisados.

Para definição da altura da bandeja de instrumentos (*Mayo stand*) considerou-se a altura do cotovelo do profissional de enfermagem. A dimensão definida tomou também como base a altura da mesa de operação, tendo, a partir dessa, 320 mm de altura.

Os autores concluem o artigo afirmando que a altura e posicionamento das telas dos monitores são determinantes para as condições de trabalho de uma equipe médica durante uma cirurgia laparoscópica. Atualmente as considerações ergonômicas não possuem força para determinar esse posicionamento, o qual normalmente é definido com relação ao restante dos equipamentos existentes e do layout da sala de operação.

Esse posicionamento, no entanto, não é a única variável que influencia as posturas dos membros da equipe médica. Dois fatores principais, entre outros de menor impacto, são a altura da mesa de operação e da bandeja de equipamentos.

Marcos et al. (2006) afirmam que definir um ambiente ideal é difícil dada a variedade de posicionamento da equipe e dos equipamentos frente à variabilidade dos tipos de

operação. Entretanto, consideram um avanço o esforço realizado pela abordagem integrada para identificar um ambiente ótimo através da simulação humana computacional.

Outra conclusão apontada é que, apesar do *software* utilizado ter sido desenvolvido para a indústria automobilística, foi possível a “adaptação” para simulação de uma sala de cirurgia e que, apesar dos problemas apontados serem conhecidos, pela primeira vez foram quantificados de forma clara.

Os autores finalizam o artigo descrevendo os fatos mais importantes:

- a) a equipe médica necessita de dois monitores separados para realizar a cirurgia, com o objetivo de minimizar os esforços e o cansaço dos membros dessa equipe;
- b) a simulação computacional tornou evidente a necessidade de adequar ferramentas e o espaço de trabalho para contemplar as diferenças antropométricas possíveis. Uma das soluções apontadas foi o uso de degraus para elevar pessoas de baixa estatura. Apesar de esse recurso ser muito comum atualmente, a simulação forneceu dados precisos para a altura a ser compensada;
- c) o uso de degraus não é a solução ideal do ponto-de-vista da ergonomia, pelo risco existente em seu uso. Entretanto, os autores acreditam que, no futuro, plataformas eleváveis serão integradas ao piso e elevadas conforme a necessidade individual de cada pessoa;
- d) além do mais, ferramentas de simulação, específicas para salas cirúrgicas, facilitarão o projeto e a construção de novos dispositivos e ambientes para realização de operações laparoscópicas.

Os autores admitem que esse estudo ainda é preliminar e trata-se de apenas uma primeira tentativa de avaliar ergonomicamente uma situação dentro de uma sala de cirurgia. No entanto, segundo os mesmos, foi possível demonstrar que o *software* de simulação pôde ser aplicado com sucesso na avaliação desse ambiente e que estudos futuros devem ser realizados.

2.6.3 Síntese de publicação com aplicação do *software* JACK

Stephens, Chiang e Joseph (2006) apresentam a simulação humana e a captura de movimentos no desenvolvimento de uma “estratégia ergonômica”. Segundo os autores, as avaliações ergonômicas são frequentemente conduzidas com a presença dos operadores nas

estações de trabalho. Nessa situação é possível realizar medições de forças, alcances, entrevistas e outras avaliações quantitativas. Para novos produtos e processos de trabalho, as avaliações são mais difíceis de serem realizadas, porém com maior chance de influenciarem positivamente o projeto.

O estudo apresentado tem como foco a instalação de um novo componente nos carros fabricados pela *Ford Motor Company*: um sistema de antena de satélite digital (ou SDARS – *Satellite Digital Antenna Radio System*). A proposta era instalar a antena no centro do teto dos veículos com o objetivo de minimizar a interferência com os sinais de rádio.

Os ergonomistas, engenheiros e operadores da planta utilizaram a tecnologia de captura de movimentos para revisar os processos de montagem. Uma estratégia que orientou a definição de parâmetros de projeto foi criada utilizando-se um ambiente digital. Os autores destacam a participação dos operadores na simulação da montagem da antena e as valiosas contribuições durante o processo.

A fim de avaliar a montagem da SDAR foram utilizados dados de diferentes veículos com o objetivo de verificar os alcances em cada situação, visto que a distância da borda do carro até o centro do teto varia drasticamente. Marcações foram feitas para refletir essa variação e levantar as inclinações realizadas pelos trabalhadores com a finalidade de se alcançar os locais de montagem. Durante o levantamento de posturas, os operadores utilizaram um *headmounted displays* (equipamento para imersão em ambiente virtual) e quatro sujeitos com diferentes dimensões antropométricas foram selecionados (aproximadamente, percentis 5 feminino, 5 masculino, 95 masculino e 95 feminino). O sistema de captura de movimentos contou com um sistema de reflexão com dez câmeras.

Os movimentos eram enviados para o manequim digital do *software* JACK o qual retorna o campo de visão do manequim para o operador por meio do *headmounted displays* em um ambiente virtual imersivo.

Nesse contexto de captura de movimentos e visualização por parte do operador do ambiente digital foram testadas diversas localizações para a instalação de antenas, assim como as diversas posturas necessárias para os diferentes percentis. A partir desses dados construiu-se uma matriz com as localizações da antena, esforços aceitáveis de inserção e dispositivos necessários. Para determinação do esforço foi utilizada a ferramenta de Análise de Força e Torque, sendo consideradas inaceitáveis posturas com juntas que apresentassem torque acima de 75% da capacidade humana.

Os resultados apresentados por Stephens, Chiang e Joseph (2006) demonstraram ser possível para os percentis 95 masculino e feminino o alcance ao meio do

teto de todos os veículos. No entanto, nos veículos maiores, o alcance nas pontas dos dedos para o percentil 05 feminino e o do centro da palma da mão para o percentil 05 masculino ficou distante. O alcance com as duas mãos, no ponto central do teto, não foi possível para a maior parte da população em todas as avaliações realizadas. Outra avaliação feita foi a tarefa de conexão elétrica no interior do veículo. Se fosse permitida a entrada no veículo, pelos operadores, essa atividade seria facilmente realizada. As análises consideraram o acesso por fora do veículo com um manequim feminino percentil 05. Nos veículos menores o alcance foi possível, porém, nos maiores, somente na ponta dos dedos alcançava-se o ponto central, o que não seria suficiente para realizar a junção do conector elétrico.

Como resultado do trabalho, ficou concordado entre todas as partes (engenheiros de projeto, de manufatura, ergonômicos e trabalhadores da planta, incluindo o pessoal do comitê local de ergonomia) uma estratégia ergonômica para a instalação da antena de satélite. Tal estratégia determinava que o alcance ao centro dos veículos era possível em todos os veículos menores, e poderia ser realizado com plataformas em carros de tamanho intermediário. Para veículos maiores, no entanto, o alcance era impossível e o projeto do produto, nesses casos, deveria ser repensado. Para a realização da conexão elétrica interna, como não era permitida a entrada dos trabalhadores no interior do veículo, a solução apontada foi a utilização de assentos (*happy seat*) a fim de minimizar os esforços e posturas inadequadas. Essa solução é ilustrada pela Figura 2-28.

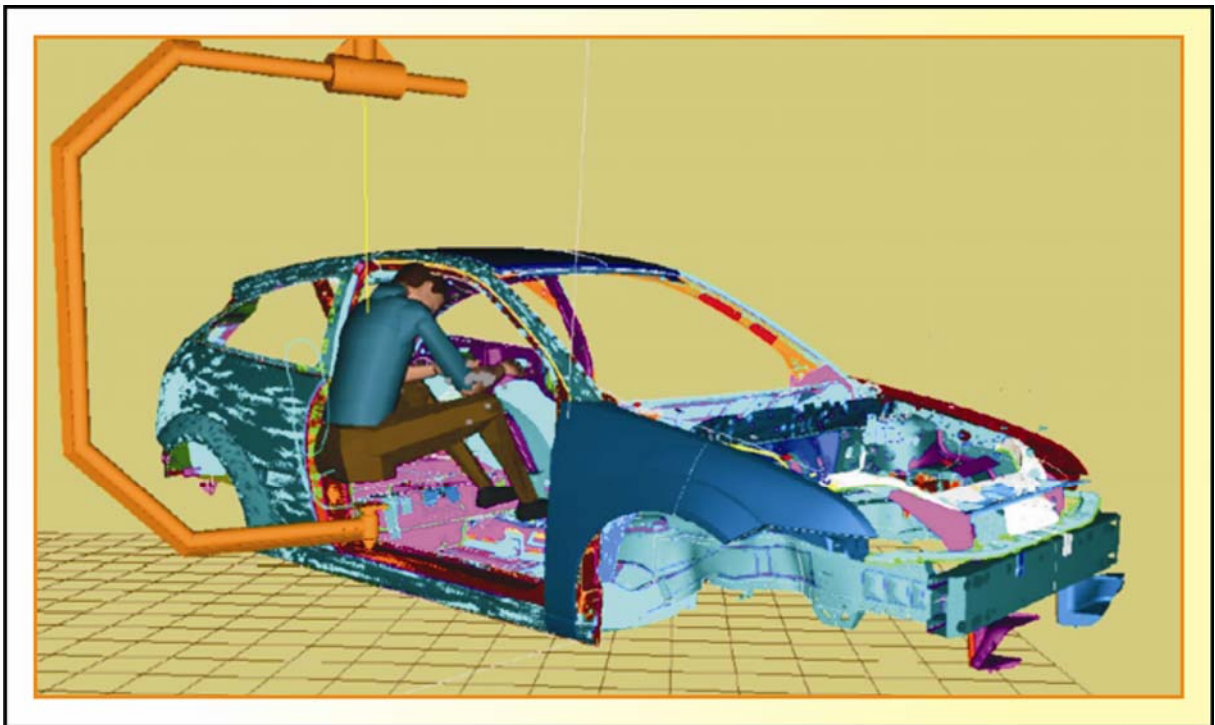


Figura 2-28: Assento utilizado para entrar nos veículos (STEPHENS, CHIANG e JOSEPH, 2006).

Ao concluir, os autores afirmam que a ergonomia não é considerada no momento correto para avaliar os processos de instalação em tempo de influenciar o projeto.

Com a utilização do estado da arte da tecnologia de captura de movimentos e simulação humana foi possível trazer às etapas de revisão de projeto a discussão dos impactos futuros para a saúde e segurança dos trabalhadores de um processo ainda não implementado. Os dados gerados pela simulação humana forneceram aos ergonomistas informações críticas capazes de determinar parâmetros para instalação da antena. Outro ponto destacado foi a garantia e validação do processo, obtidas pela participação ativa dos trabalhadores e engenheiros durante o processo.

2.6.4 Considerações sobre programas computacionais de simulação humana

Durante o levantamento de informações realizado para esse trabalho, mais de 30 artigos relacionados com simulação humana e publicados em importantes periódicos internacionais (citados anteriormente) e nos anais da IEA, dos anos de 2000 e 2006, foram utilizados, podendo-se concluir que os programas computacionais mais usados, segundo esse critério, foram o JACK e o RAMSIS.

Para comparar esses programas utilizou-se como referencial o estudo realizado por Hanson (2000) que apresentou as características de um novo *software* de modelagem e simulação humana em desenvolvimento, o ANNIE-Ergoman, comparando-o com o JACK e o RAMSIS. A escolha destes programas, segundo o autor, foi que os mesmos estão bem estabelecidos com relação ao uso na indústria automotiva. O ANNIE-Ergoman é um desenvolvimento realizado dentro do ANNIE-project (*Application of Neural Networks to Integrated Ergonomic*) suportado pela União Européia (EU Grant no. BE96-3433). O Quadro 2-1 apresenta uma sumarização das características dos três programas estudados por Hanson (2000).

Hanson (2000) conclui que a comparação apresentada na tabela citada deve ser utilizada como ponto de partida para a seleção da melhor ferramenta conforme a necessidade do usuário. Segundo o autor, todas as ferramentas apresentam um bom potencial de aplicação, com destaques individuais para o JACK e RAMSIS: o *software* JACK apresentou boa capacidade de animação e bom desempenho como ferramenta de projeto de postos de trabalho; RAMSIS destacou-se pelas avaliações das tarefas de motoristas em automóveis e

das posturas na posição sentada. Hanson, no entanto, afirma que as ferramentas não são perfeitas e necessitam de melhorias especialmente no que se refere à pele (representação da superfície do corpo humano) e aos movimentos do manequim.

Quadro 2-1: Quadro comparativo de três ferramentas computacionais de modelagem e simulação humana. Adaptado de Hanson (2000). Tradução própria.

		ANNIE-Ergoman	JACK	RAMSIS
Características do Modelo Humano Digital	Número de Segmentos	10	68	56
	Número de Juntas	11	69	57
	Número de Graus de Liberdade (DOF)	30	135	107
	Controle dos Movimentos	Redes Neurais Fuzzi	Cinemática Inversa. Complexo sistema de juntas para ombros, clavícula e costelas. Predição de Posturas.	Cinemática inversa somada com probabilidade de posturas.
	Representação da superfície (pele)	838 polígonos	2245 polígonos em baixa resolução e 8606 polígonos em modelo de alta resolução.	1100 pontos de pele ou aproximadamente 4000 faces (planares).
Métodos de Avaliação Ergonômica	Conforto	Base de dados com sensações de motoristas sobre posturas.	Seis bases de dados de conforto. Ângulos de juntas e inclinações de segmentos corpóreos representados em tempo real. Manequins específicos podem ser utilizados para otimizar a posição de controles e posturas.	Função para avaliar a sensação do motorista com relação ao conforto postural (baseada em banco de dados derivado de experimentos).
	Avaliação de Espaço Livre ou Possibilidade de Acesso	Possibilidade de medir distâncias entre humanos e objetos.	Avaliações para cabeça e mãos. Definição da mínima distância entre dois segmentos de objetos ou manequins.	Cálculo de distâncias do manequim até um objeto específico.
	Campo de Visão	Campo de visão de um olho central (ciclope). Foco e região máxima são visualizáveis.	Padrão SAE-J para elipsóides dos olhos. Visualização dos cones de visão e telas (janelas) com visão do olho esquerdo, direito e entre – olhos (ciclope).	Campo de visão dos olhos esquerdo, direito e ciclope. Visualização dos cones das regiões de exatidão, ótima e máxima.
	Alcance	Definição de alcance ideal com: 90% do comprimento do braço, com 100% do comprimento do braço e com o alcance máximo com auxílio do corpo.	Máximo e mínimo, conforme padrão SAE J para 95 e 99 por cento da população. Avaliação de alcance máximo para qualquer ponto do corpo, ferramenta ou geometria associada a qualquer junta com ou sem restrições pelo corpo ou objeto associado.	Definição dos limites de alcance (isto é, máximo) para qualquer sequência de elementos do corpo.

É importante observar que no ano de confecção de tal tabela comparativa o foco de análise do autor foram os recursos computacionais, e atualmente, outros aspectos poderiam ser adicionados a um novo estudo. Entre outros crivos, poder-se-ia contemplar, por exemplo, facilidade de manuseio (usabilidade) do programa computacional, atuação como

ferramenta de projeto e, auxílio na comunicação entre os diversos atores envolvidos em um projeto.

Apesar dos avanços obtidos com o modelo digital SANTOS (VSR, 2004) é importante observar que o mesmo encontra-se em plena fase de desenvolvimento, sendo aparentemente aplicado apenas em simulações internas relacionadas aos seus financiadores.

De todos os programas computacionais apresentados, o *software* Jack foi o único a ser aplicado nessa pesquisa, e por essa razão as características do *software* são apresentadas no Apêndice A. Também são explicitados os fundamentos que orientam o uso dessa ferramenta de forma didática, a fim de permitir que usuários iniciantes e interessados em geral possam ter esta pesquisa como referencial, não apenas teórico, mas também prático.

2.7 Conclusão a partir dos Referenciais Conceituais

O objetivo do presente capítulo foi pontuar os referenciais conceituais que delimitam o uso da modelagem e simulação humana digital em projetos de situações produtivas.

A distinção entre as diferentes correntes da ergonomia e a interação destas com os processos de projeto são úteis para compreender e contextualizar a aplicação de uma ferramenta computacional que pode integrar diferentes perspectivas e abordagens. Complementa-se a revisão apresentando como a antropometria e a modelagem humana são aspectos chaves, podendo influenciar positiva e negativamente o uso de ferramentas do gênero.

Apesar da pesquisa de campo concentrar-se em apenas um *software*, achou-se necessário o levantamento e apresentação de programas computacionais concorrentes para contextualizar a ferramenta adotada dentro de seu mercado específico. Dentro dos diversos estudos levantados em periódicos, livros e anais, optou-se por apresentar três diferentes pesquisas que contemplaram a utilização de programas computacionais de modelagem e simulação humana.

As sínteses de tais publicações refletem as aplicações realizadas em grande parte dos trabalhos levantados, principalmente, no que se refere aos seguintes aspectos:

- a) simplificação do ambiente onde ocorrem tais atividades na modelagem digital;
- b) baixa participação e consideração efetiva dos trabalhadores durante o processo de projeto;

- c) fragmentação entre o grupo de ergonomia, responsável pela concepção, e os trabalhadores, supervisores e chefias dos setores envolvidos;
- d) uso constante de análises biomecânicas para validar e/ou justificar alterações;
- e) baixa preocupação com antropometria e validação da modelagem humana;
- f) simulação como ferramenta interna da ergonomia, sem a utilização da potencialidade como meio de comunicação e interação com os demais interessados no projeto.

Em contraposição, os casos abordados no próximo capítulo, buscam a integração da ferramenta em questão com as etapas de análise e síntese, isto é, considerando a atividade projetual, articulada com a AET, e servindo como espaço de confrontação entre os diversos atores do processo de projeto e *stakeholders*, objetivando a consideração das futuras atividades prováveis e possíveis condicionantes presentes.

No próximo capítulo, são apresentadas a metodologia e as aplicações do *software* Jack, em diferentes situações de projeto, ao longo dos últimos anos.

3 METODOLOGIA E ESTUDOS DE CASO

Para introduzir a parte prática deste trabalho e apresentar a metodologia adotada nesta pesquisa, este capítulo define o contexto das aplicações abordadas, assim como os objetivos de cada aplicação. Por fim, são apresentados os estudos de caso, detalhando-se as etapas de desenvolvimento dos projetos ocorridos.

É importante, para a compreensão da metodologia, apresentar os antecedentes e contextualizar os grupos de pesquisa, nos quais ocorreram as diversas aplicações que permitiram a coleta e análise de dados. Menegon (2003) descreve a criação e atuação desses grupos:

O SimuCAD surge de um grupo de discussão em torno da utilização de métodos e técnicas de simulação e computação gráfica aplicados no projeto de unidades industriais, envolvendo professores e estudantes do DEP/UFSCar. Nas reuniões semanais do grupo, discutia-se como integrar as ferramentas de simulação animada como Arena, Automod, Promodel, na época recentes no mercado, com *software* tradicionais do campo da computação gráfica como o Autocad e 3Ds, dentre outros. A concepção inicial era de construir um Sistema de Apoio à Decisão integrando tais programas computacionais com banco de dados, planilhas e editores. A partir desta concepção inicial, são redirecionados os esforços para melhor explorar as capacidades de comunicação derivadas do uso das representações icônicas tridimensionais. O Grupo Ergo&Ação surge a partir de demandas da iniciativa privada no campo da ação ergonômica. No grupo articularam-se professores e estudantes dos departamentos de Engenharia de Produção e de Fisioterapia da UFSCar, com atuação em ergonomia e projeto do trabalho. Do ponto de vista conceitual, a atuação do grupo buscava referências que mesclavam a ergonomia anglo-saxônica (*humans factors*) e a ergonomia de origem francófônica, associadas à análise ergonômica do trabalho, bem como nos métodos participativos derivados do *design* de engenharia (MENEGON, 2003, p. 57).

Dessa forma, os grupos de pesquisa e extensão são estabelecidos e mantidos desde suas origens, por iniciativas de interação, inicialmente com empresas privadas e posteriormente, com empresas públicas. Tais atividades se desenvolvem na forma de projetos de extensão, sendo negociadas e acordadas via Fundação de Apoio Institucional ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FAI) da UFSCar. É importante salientar que as

atividades extensionistas refletem diretamente nas atividades de ensino, seja no enriquecimento do conteúdo das disciplinas ministradas, seja pela participação direta de alunos de graduação e pós-graduação de diferentes cursos e instituições. Para comprovar tais afirmações, pode-se citar o visível acréscimo da produção e participação de dissertações de mestrados e teses de doutorado no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do DEP-UFSCar, que tem como campo de pesquisa tais atividades.

O auxílio da modelagem e simulação em processos de projeto de postos de trabalho é relatado aqui em situações distintas. Após a apresentação dos estudos de caso e discussão dos resultados obtidos, considera-se que esta pesquisa estará apta a construir e agregar contribuições em seus capítulos finais, conforme os objetivos definidos.

3.1 Aplicações Desenvolvidas com o *Software Jack*

As aplicações das técnicas de simulação humana, utilizando o *software Jack* para o projeto de situações produtivas, estão, na maioria das vezes, relacionadas a projetos de extensão em empresas públicas e privadas. No entanto, o *software* também é utilizado em disciplinas de Engenharia do Trabalho, Projeto de Instalações Industriais, Projeto do Produto, Ergonomia, entre outras, como uma das possíveis ferramentas de computação gráfica e avaliação ergonômica disponíveis no mercado.

Uma importante contribuição dos estudos de caso apresentados deve-se à escassez dessas informações na literatura, principalmente no que se refere a aplicações em outros setores produtivos diferentes das indústrias automobilística, aeronáutica e aeroespacial, de forma contextualizada com a realização da AET.

3.1.1 Contexto das aplicações

Ao todo foram consideradas 13 aplicações, em 7 diferentes organizações, ocorridas durante os anos de 1998 a 2007 (Quadro 3-1). Dessas, sete ocorreram em empresas *privadas* e seis em empresas e instituições *públicas*. No total, estão envolvidas quatro empresas privadas de grande porte, com perfil exportador e líderes nos segmentos atuantes. As organizações públicas são duas empresas diferentes (uma delas com cerca de 50 mil

funcionários, distribuídos em algumas cidades do país e outra com cerca de 100 mil funcionários, presentes em todos os municípios brasileiros), além da própria universidade.

Quadro 3-1: Ano do desenvolvimento das aplicações do *software* Jack

Ano	Empresa	Legenda
1998	Empresa pública de serviços postais.	A
2001	Empresa do setor aeronáutico.	B
2002	Empresa do setor aeronáutico.	C
2003	Empresa do setor de linha branca.	D
2004	UFSCar. Equipe Mini-Baja.	E
2003/2004	Empresa pública de serviços postais.	F
2003/2004	Empresa pública de serviços postais.	G
2004	Empresa fabricante de produtos cosméticos, de higiene pessoal, farmacêuticos e médico-hospitalares.	H
2004	Empresa fabricante de produtos cosméticos, de higiene pessoal, farmacêuticos e médico-hospitalares.	I
2004/2005	Empresa fabricante de produtos cosméticos, de higiene pessoal, farmacêuticos e cirúrgico-hospitalares.	J
2006	UFSCar. Departamento de Engenharia de Produção.	K
2006	Empresa fabricante de material escolar e de escritório.	L
2007/2008	Empresa pública de extração, refino e distribuição de petróleo e derivados.	M

Outra característica evidenciada é a natureza das operações. Nove das aplicações ocorreram em ambientes de *manufatura* e quatro em ambientes de produção de *serviços* (incluindo a atividade de ensino superior). A Figura 3-1 ilustra o contexto apresentado, sendo que as letras representam cada uma das aplicações e remetem à legenda do Quadro 3-1 e os retângulos delimitando aplicações apontam que essas ocorreram na mesma empresa ou instituição.

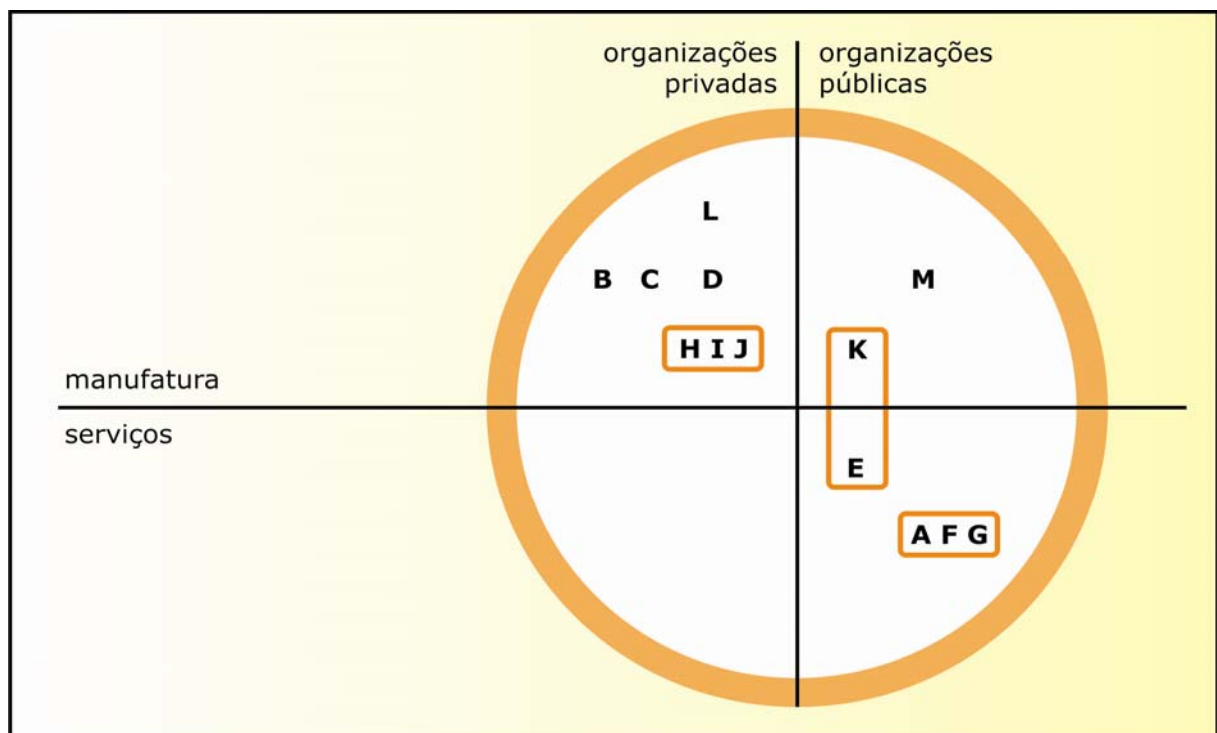


Figura 3-1: Contextualização das aplicações desenvolvidas.

Os objetivos e resultados esperados de cada projeto desenvolvido são apresentados a seguir, destacando-se as principais características de cada aplicação.

3.1.2 Objetivos Gerais e Específicos das Aplicações

Em um aspecto global, o principal objetivo das aplicações desenvolvidas foi o de melhorar as condições de trabalho e usabilidade de processos e produtos, visando condições mais seguras, confortáveis e produtivas. Em todas as situações, o uso da ferramenta de simulação humana permitiu que tais melhorias pudessem ser incorporadas na fase de projeto, em suas etapas iniciais, facilitando, inclusive, a comunicação entre os diversos envolvidos no processo.

Os objetivos específicos de cada aplicação são apresentados no Quadro 3-2. As duas aplicações em negrito são apresentadas como estudos de caso, por melhor representarem o desenvolvimento de processos de projeto e a aplicação da ferramenta computacional de modelagem e simulação humana.

Quadro 3-2: Objetivos dos projetos desenvolvidos com aplicações do *software* Jack.

Empresa	Objetivos
Empresa pública de serviços postais.	Projeto conceitual de um posto de trabalho informatizado.
Empresa do setor aeronáutico.	Atualização e melhorias das normas para Projetistas de Gabarito.
Empresa do setor aeronáutico.	Desenvolvimento de projeto acadêmico visando a melhoria do ensino de engenharia (REENGE III).
Empresa do setor de linha branca.	Avaliar projeto conceitual de posto de trabalho da Linha de montagem.
UFSCar. Equipe Mini-Baja.	Avaliar as posturas dos pilotos em diferentes cockpits (atual com relação ao modelo do ano anterior).
Empresa pública de serviços postais.	Desenvolvimento de Agência Conceitual.
Empresa pública de serviços postais.	Desenvolvimento de um Balcão de Atendimento para unidades postais.
Empresa fabricante de produtos cosméticos, de higiene pessoal, farmacêuticos e médico-hospitalares.	Apresentar à referida empresa os benefícios e limitações do uso da tecnologia de simulação humana.
Empresa fabricante de produtos cosméticos, de higiene pessoal, farmacêuticos e médico-hospitalares.	Desenvolver dispositivos para melhoria do posto de trabalho.
Empresa fabricante de produtos cosméticos, de higiene pessoal, farmacêuticos e cirúrgico-hospitalares.	Desenvolver, avaliar e validar projeto conceitual de uma mesa de abastecimento de agulhas cirúrgicas.
UFSCar. Departamento de Engenharia de Produção.	Avaliar projeto conceitual de um laboratório acadêmico.
Empresa fabricante de material escolar e de escritório.	Desenvolver e avaliar projeto conceitual de uma mesa de embalagem manual e de seu respectivo setor.
Empresa pública de extração, refino e distribuição de petróleo e derivados.	Avaliar projeto conceitual de um posto de trabalho.

Em todas as aplicações os ambientes digitais foram modelados em *software* CAD e importados para o Jack, proporcionando a interação dos manequins com objetos complexos e detalhados. Os dados antropométricos utilizados foram levantados, no ano de 2001, em uma empresa aeronáutica do Estado de São Paulo (MENEGON et al., 2002; BRASIL, 2001). Tais dados, apesar de não refletirem diretamente a população sob estudo, nas aplicações apresentadas a seguir, representam com maior confiabilidade do que dados brasileiros desatualizados ou de outros países.

Ao término da apresentação dos estudos de caso é desenvolvida uma síntese com as considerações gerais, destacando-se aspectos de similaridades e diferenças do uso do *software* Jack nas aplicações.

3.2 Estudo de Caso 1: Projeto de Balcão de Atendimento

A primeira aplicação escolhida para ser detalhada como estudo de caso, neste trabalho, desenvolveu-se em uma empresa pública de serviços postais. O contrato foi estabelecido após processo de licitação, tendo como foco de atuação as agências de atendimento, localizadas em todo o território nacional.

A demanda pela análise decorre, em primeira instância, de notificações emitidas pelas Delegacias Regionais do Trabalho (DRTs), nas Diretorias Regionais do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo/Metropolitana e Rio de Janeiro. As notificações, em sua totalidade, estavam centradas no trabalho dos atendentes comerciais.

Como preconizado pela NR17 (BRASIL, 1990) e pelo Manual de Aplicação da NR17 (BRASIL, 2002), aplicou-se a AET, buscando-se desta maneira, aprofundar os conhecimentos sobre o objeto de estudo numa primeira fase e, em um segundo momento, recompor tais análises em sínteses globais e no desenvolvimento de soluções para as situações produtivas.

3.2.1 Apresentação

Nas notificações emitidas pelas DRTs, entre outros fatores considerados como infrações, foi citado o mobiliário disponibilizado para o atendimento comercial, além de enumerarem recomendações de adequação antropométrica à população de atendentes, considerando aspectos de postura e zonas de alcance, no entanto, sem elucidar como tais recomendações poderiam ser atendidas no contexto específico do trabalho do atendente comercial.

Dentro desse contexto surge a hipótese de reformulação ou construção de um novo balcão de atendimento, a qual pode ser comprovada através de queixas de funcionários e questionários de percepção respondidos pelos usuários.

Todo o processo de projeto durou cerca de quinze meses e teve as seguintes fases:

- a) análise da demanda, entendimento do contexto e explicitação por parte dos demandantes dos problemas a serem solucionados;
- b) hierarquização das soluções, restrições de adaptabilidade e interação com os usuários do posto de trabalho;
- c) projeto do móvel;
- d) simulações digitais;
- e) especificações técnicas;
- f) construção do protótipo físico e implantação na empresa;
- g) testes, avaliações, aplicação de questionários de percepção com os usuários e modificações.

3.2.2 Fase de análise ergonômica do trabalho (AET)

Como visto no capítulo de revisão bibliográfica, a AET é composta por três etapas de análise: Análise da Demanda, Análise da Tarefa e Análise da Atividade, as quais consistem na busca pela compreensão das lógicas da empresa, do cliente e do atendente e foram acessadas por intermédio de um conjunto de procedimentos de investigação, a saber:

- a) consulta em documentos diversos da empresa, coletados e encaminhados pelo grupo de acompanhamento da própria empresa à UFSCar;
- b) consulta nacional às Diretorias Regionais (DRs) acerca de ações ergonômicas realizadas e notificações trabalhistas;
- c) levantamento detalhado de prontuários médicos;
- d) visitas exploratórias e observação detalhada do trabalho em unidades de atendimento de Araraquara, Bauru, São Carlos, São Paulo e Brasília pelo grupo da UFSCar e unidades de atendimento diversas nas DRs do RS, SP, DF, MG e PB pelo grupo de acompanhamento;
- e) caracterização do trabalho futuro provável em unidades de atendimento;
- f) análise cinesiológica e biomecânica comparada do trabalho do atendente para diversos processos;
- g) questionário de percepção respondido por 174 clientes e 539 operadores lotados nas diversas funções das unidades de atendimento;
- h) revisão bibliográfica acerca do trabalho em sistemas informatizados;
- i) interações diversas entre o grupo de acompanhamento e o grupo da UFSCar por meio de seminários e reuniões intermediárias.

As análises da demanda e da tarefa resultaram na formulação de uma questão geral: “*Quão flexível deve ser o Atendente Comercial para responder simultaneamente às exigências da organização e dos clientes e compatibilizá-las com suas limitações e perspectivas?*”. Para melhor compreensão, as exigências foram desdobradas em termos físicos, organizacionais e cognitivos.

A Análise da Atividade visou à compreensão das relações que se estabelecem entre os dados da Análise da Demanda da população de trabalhadores das unidades de atendimento e suas atividades de trabalho. Foi possível evidenciar, nas análises precedentes, que os elementos presentes nas atividades de trabalho do atendente comercial eram suficientes para gerar hipóteses sobre as queixas dos trabalhadores nas atividades de atendimento, seja no campo físico seja no campo mental.

Com vista à conclusão das etapas de análise da AET, foi formulado um diagnóstico para a situação, voltado para o equacionamento dos critérios de bem-estar humano e de produtividade, considerando os determinantes para as atividades de atendimento.

A partir das análises e do diagnóstico foram formuladas recomendações para orientar a fase de projeto. No entanto, estas fases ocorreram de forma concorrente e não linear. Desde as primeiras análises, os projetistas observaram as estruturas físicas e

organizacionais com o objetivo de compreender, junto aos usuários e durante discussões nos seminários, os constrangimentos existentes. A partir desta primeira compreensão o projetista inicia naturalmente o processo de projeto. No entanto, tal processo torna-se evidente e foco de atenção de todos ao término das análises e concentração das atividades na fase projetual, a qual é apresentada a seguir.

3.2.3 Fase de projeto

A proposta conceitual de um novo balcão nasceu da análise da atividade dos usuários, do diagnóstico e dos resultados das análises biomecânicas para cada modelo de balcão existente atualmente. O projeto passou por algumas discussões e refinamentos até a confecção de protótipos. Os requisitos de projeto para o desenho do novo balcão foram discutidos a partir das características desejáveis e contiveram as seguintes categorias de análise (FONTES et al., 2006):

- a) forma da superfície de trabalho;
- b) cadeira;
- c) altura do tampo do balcão, visando trabalho em pé e sentado;
- d) apoio para membros superiores;
- e) apoio para membros inferiores;
- f) mobiliário Auxiliar (gaveteiro e guarda de objetos e produtos);
- g) movimentação de objetos (fluxo de materiais);
- h) relação cliente/atendente e entre atendentes;
- i) segurança de produtos, numerário e pessoal da atendente.

A partir das características desejáveis foram elaboradas propostas projetuais (Figura 3-2) e somente após discussão e desenvolvimento de simulações humanas foi proposto um conceito para a confecção do protótipo digital.

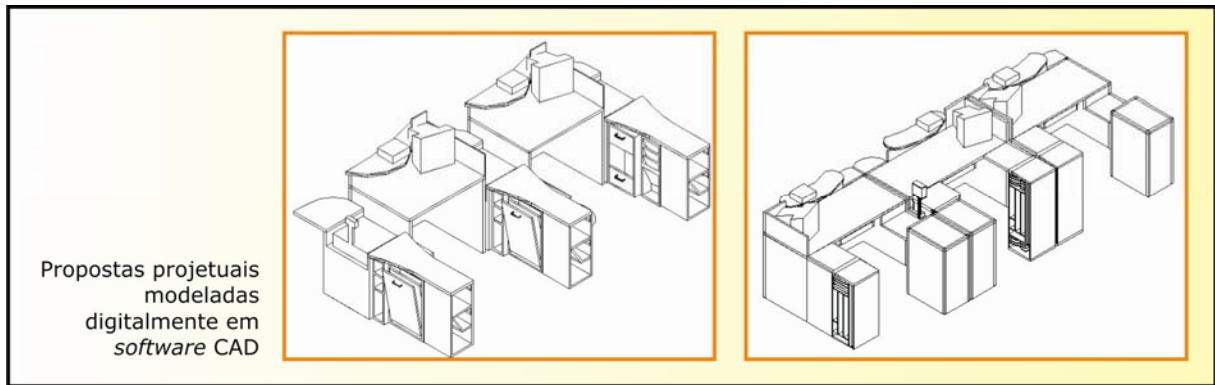


Figura 3-2: Dois conceitos avaliados em ambiente digital (FONTES et al., 2006).

O móvel concebido para prototipagem explorou os seguintes conceitos: simetria (para a utilização do balcão por destros e canhotos); liberação da parte inferior do balcão (possibilidade de giro para as pernas); determinação de altura da superfície de trabalho para a alternância de posturas em pé e sentada; proximidade dos equipamentos e produtos de uso frequente; área para fluxo de encomendas (facilitando a recepção, processamento e disposição de embalagens tipo caixa); aumento de área livre sobre o balcão; planos diferenciados para atendente e cliente; gaveta de numerário com abertura vertical (melhorando a segurança e facilitando a utilização do dispositivo sem a necessidade de recuo).

A partir das características desejáveis, traduzidas nos conceitos, o processo de projeto do balcão de atendimento pôde especificar e construir um modelo digital em CAD. Este modelo foi importado para o *software* de simulação humana para validações em prototipagem digital.

3.2.3.1 *Prototipagem digital*

Realizaram-se simulações e análises com o *software* Jack, apontando a geometria favorável para contemplar os requisitos desejados em concordância com aspectos de bem-estar do trabalhador. Em todas as simulações e análises foram utilizados o manequim masculino percentil 95, como indivíduo extremo do limite superior, e o manequim feminino percentil 05, visando o limite inferior. Com essa definição busca-se projetar um posto de trabalho apto para atender a, no mínimo, 90 por cento da população. A seguir apresenta-se

como a tecnologia de modelagem e simulação humana contribuiu para cada categoria de análise:

A forma da superfície de trabalho é determinante para a atividade desenvolvida nos balcões de atendimento. Um dos principais aspectos influenciados é o espaço de trabalho disponível para os equipamentos e objetos manuseados, sendo que a falta de espaço pode obrigar ao atendente a adoção de posturas inadequadas ou que ponha em risco a integridade de objetos ou equipamentos. A adoção da forma em “U” para o tampo do balcão buscou atender a essa demanda de espaço que, em consonância com a liberação da parte inferior do tampo, retirando o gaveteiro existente nos balcões atuais, permitiu ao atendente o giro de 180 graus com diversas possibilidades de regulação para escolha do modo operatório pretendido. Por meio de simulações das futuras atividades prováveis foi possível observar e avaliar questões como a relação de profundidade do tampo com o alcance do atendente, principalmente no que tange ao manequim digital feminino percentil 05 e sua interação com os clientes e objetos. Outra importante contribuição da simulação humana nessa categoria de análise foi a verificação da disposição do grande número de equipamentos utilizados e o impacto no espaço disponível. Com o auxílio de ex-atendentes comerciais e outros funcionários que conhecem o cotidiano dessa função, foi possível estabelecer uma sugestão de como o posto de trabalho poderia ser organizado. Faz-se necessário, no entanto, reforçar a importância de se permitir aos trabalhadores que organizem, conforme seus próprios modos operatórios, o seu posto de trabalho, aumentando, dessa forma, o espaço de regulação. Por fim, a forma da superfície adotada influencia diretamente a cadeira que, necessariamente, deve ser giratória para permitir o giro ao longo do “U”.

Nesse sentido, compondo o posto de trabalho, juntamente com o balcão em projeto, a cadeira foi um item bastante avaliado, pois também impacta diretamente em uma série de outros aspectos, como a percepção do conforto de seu usuário, altura da superfície de trabalho, apoio para membros superiores e inferiores, relação cliente/atendente, segurança pessoal do atendente, entre outros. Como se trata de um objeto bem estabelecido no mercado, optou-se por buscar dentre as opções disponíveis no mercado nacional, as características desejáveis de uma cadeira apta para compor com o balcão um novo posto de trabalho. Dessa forma, a especificação criada e utilizada nas simulações foi para uma cadeira alta (tipo caixa), com o maior percurso de ajuste de altura de assento disponível, apoios ajustáveis de costas e braços, rodízios fabricados com materiais de alta performance e outras características desejáveis.

Para a definição da altura do tampo do balcão os manequins foram posicionados nas posturas em pé e sentados. Buscou-se, como alvo primário, a altura do cotovelo do manequim feminino, evitando-se dessa forma, que a altura da superfície de trabalho exigisse movimentos extremos dos membros superiores desses trabalhadores. Em seguida, verificou-se, através de simulações, se a altura estabelecida não poderia ser considerada desconfortável para pessoas com percentis de altura acima de 90, tanto nas posturas em pé, quanto sentadas.

Na concepção e avaliação do apoio para os membros superiores antecipou-se a futura atividade provável do trabalhador, simulando os equipamentos a serem incorporados, as rotinas realizadas e outras demandas. Dessa forma, o objetivo era avaliar o espaço necessário para o apoio de braços, punhos e mãos sem restringir ou dificultar as atividades realizadas. Uma consideração simples, porém frequentemente negligenciada por motivos de facilidade de fabricação e que muitas vezes fica “invisível” na simulação digital, é o uso do acabamento das bordas do tampo arredondadas, isto é, boleadas, o que evita a pressão em alguns pontos dos membros superiores.

Com o objetivo de melhorar o apoio dos membros inferiores, desenvolveu-se uma superfície denominada de “tablado” para o apoio planar dos pés. Tal estrutura possui ajuste de altura e acompanha a forma em “U” da superfície de trabalho, propiciando o giro em 180 graus com o apoio dos membros inferiores, além de conforto postural. A simulação com os manequins de percentis extremos pôde verificar e validar a faixa necessária de ajuste de altura do tablado e sua relação com o ajuste de altura do assento, evitando dessa forma que as pernas fiquem em balanço. Tal postura ocasiona um aumento da pressão exercida pelo corpo do atendente sobre a cadeira e, conseqüentemente, um aumento do desconforto.

Com a liberação da parte inferior do tampo – superfície de trabalho – mediante a retirada do gaveteiro criou-se a necessidade de desenvolver mobiliários auxiliares que permitissem o armazenamento de objetos e produtos de forma segura em termos de patrimônio e de postura necessária para acessar e interagir com o mesmo. Diversas propostas para esses mobiliários foram simuladas, buscando-se compreender as características físicas necessárias para obter o resultado pretendido. As simulações auxiliaram na compreensão das relações desse artefato com o balcão em concepção, os equipamentos presentes e, principalmente, com a figura humana.

O estudo do fluxo e movimentação dos materiais foi de extrema importância para a concepção de um posto de trabalho que facilitasse e minimizasse esforços físicos por parte do atendente. O principal objetivo foi definir e simular uma linha principal de fluxo que,

nos casos de objetos pesados, pudessem ser apenas arrastados, sem a necessidade de levantar ou manuseá-los, o que levaria a um maior desgaste físico com riscos de lesões. Para permitir a linha contínua de fluxo e a movimentação facilitada foi necessária a liberação de um dos lados do balcão, isto é, sem a presença de equipamentos ou objetos fixos, com exceção da balança, equipamento utilizado na grande parte dos materiais manuseados. As principais análises dessa categoria tiveram como foco a presença do percentil feminino 05, simulando situações extremas de alcance e manuseio de materiais de grandes dimensões.

Para antecipar e avaliar as condições de interação entre cliente e atendente foram simulados diversos cenários, com variação dos percentis 05 feminino e 95 masculino nas duas funções. No que se refere à interação física (entrega de objetos ou dinheiro, por exemplo), a situação mais crítica encontrada foi no cenário onde o percentil 05 feminino fazia a função de atendente e cliente. Considerando o contato visual e sentimento de inferioridade e submissão (comumente encontrada na literatura sobre interação consumidor/fornecedor), o cenário mais crítico foi o atendente percentil 05 feminino na postura sentada e o cliente manequim masculino percentil 95 em pé. A relação entre atendentes, com enfoque para a facilidade de comunicação, pode ser constatada pelo campo visual e distância entre os manequins.

Para finalizar as categorias de análise, um dos aspectos evidente nas entrevistas e questionários de percepção realizados com funcionários das unidades foi a questão da segurança de produtos, de numerário e segurança pessoal. O principal foco desse aspecto foi a gaveta de numerário que, apesar de sempre existir, sofreu um agravamento com a recente função de correspondente bancária, incorporada pela empresa nos últimos anos. Tal fato aumentou o montante de dinheiro em circulação dentro das unidades e o receio, por parte dos funcionários, de furtos. Tal constrangimento somente se revela para o ergonomista quando este compreende a atividade dos trabalhadores e não apenas a prescrição definida pela organização. As atuais gavetas feitas de madeira são pesadas, grandes e necessitam que o atendente se afaste do balcão para poder abrir, além de expor diretamente o conteúdo às pessoas que estão do outro lado do balcão.

Apesar de a prescrição solicitar que, ao afastar-se do balcão, o atendente deve fechar e trancar a gaveta, levando a chave, a atividade mostrou que isso não era praticado, principalmente pelas constantes movimentações de curto deslocamento que os mesmos realizam ao longo do dia. Para melhorar essa situação o novo balcão foi especificado com uma gaveta de numerário metálica, embutida e com abertura para cima via acionamento pelo sistema. Dessa forma, ela somente é aberta através de comando do sistema em situações

específicas (momento de receber numerário e entregar troco), e para trancá-la basta empurrá-la para baixo (sem esforço físico devido ao baixo peso da tampa de metal). As simulações confirmaram a eliminação da necessidade de se afastar para realizar a abertura e, quando está fechada, sua superfície pode ser usada para outros trabalhos. Outra vantagem é que, quando se encontra aberta, sua tampa serve como obstáculo ao campo de visão e alcance de quem está do lado de fora do balcão, propiciando maior segurança para os funcionários. Tais vantagens foram confirmadas em simulações de rotinas focando o campo visual do cliente e envelopes de alcance. Algumas das simulações e análises apresentadas estão ilustradas na Figura 3-3.

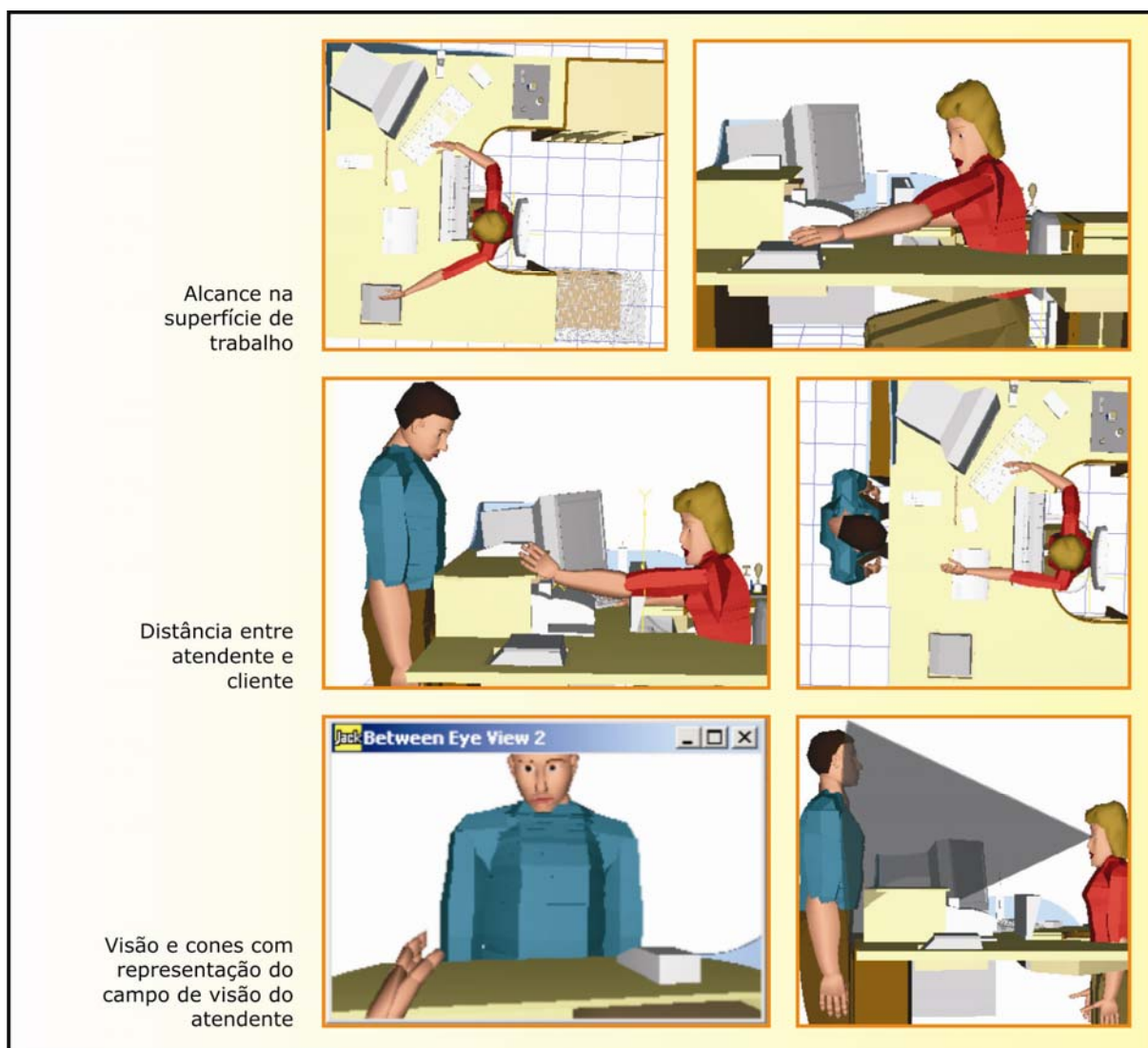


Figura 3-3: Prototipagem digital simulando atendimento com modelo feminino de atendente (percentil 5) e modelo masculino de cliente (percentil 95).

Como apresentado anteriormente, um dos conceitos seguidos foi a liberação de espaço na parte inferior do balcão. Tal diretiva assumiu grande importância após diversas observações de choque físico e constrangimento postural, principalmente dos membros inferiores, devido à presença de gaveteiros, cestos de lixo, caixas de papelão desmontadas,

gabinetes de computador e outros objetos “estranhos”. Desta forma, tais elementos foram retirados deste local, permitindo possibilidade de giro para as pernas, diminuindo o risco de colisões e proporcionando posturas adequadas ao longo da execução das atividades. O único objeto que não pôde ser extraído totalmente foi o CPU (gabinete) dos computadores. Apesar de existir tecnologias como KVM (*keyboard video mouse* – cabo que permite a alocação dos CPUs em um local diferente e distante) e dispositivos *wireless* (sem fio) foi necessário considerar que, mesmo que houvesse a opção pela substituição da tecnologia atual, tal fato ocorreria de forma lenta e gradual nas unidades de atendimento. Portanto, foi necessário analisar a disposição dos gabinetes de computadores (tanto de orientação horizontal quanto vertical – tipo “torre”) para prever o melhor posicionamento possível e diminuir riscos de colisão. Para a simulação, buscaram-se em diversas fontes os tamanhos padrões de gabinetes, sendo considerado apto para compor a modelagem o maior CPU encontrado. Essa opção, juntamente com o modelo digital humano, masculino, percentil 95, possibilitou analisar a situação extrema, garantindo que, com a obtenção de um resultado aceitável nesses termos, o projeto estaria adequado em uma faixa maior que 95% da população.

A partir da prototipagem digital foi construída a primeira versão física do novo balcão de atendimento. Dessa forma, o móvel concebido para prototipagem física confirmou diversos conceitos, com maior confiabilidade para as especificações técnicas, como simetria, liberação da parte inferior do balcão, proximidade dos equipamentos de uso frequente, segurança proporcionada pela gaveta de numerário, entre outros.

3.2.3.2 *Prototipagem física*

A prototipagem pode ser entendida como um processo de desenvolvimento de projeto que recebe modificações em sua estrutura física até a forma final. Essas alterações são testadas e analisadas levando em consideração o bem-estar do trabalhador e a eficácia do trabalho.

O processo de prototipagem contou com a construção do protótipo e implantação na unidade de atendimento e, posteriormente, testes e modificações, conforme apresentados na Figura 3-4.

Ao todo foram implantadas cinco versões diferentes de protótipos, com alterações e variações para: altura da superfície de trabalho (0,90 metro, 0,93 metro e 0,98

metro); posicionamento dos módulos de apoio; diferentes gavetas de numerário; uso de módulo aramado; inversão dos equipamentos (monitor e periféricos, para teste no lado esquerdo e balança no lado direito) e arredondamento das bordas.



Figura 3-4: Fotos da etapa de testes e validação da prototipagem física de balcão de atendimento.

3.2.4 Análise dos resultados para o caso 1

Os resultados da utilização da simulação são compatíveis com os benefícios destacados ao longo desse trabalho: diminuição do tempo de desenvolvimento, auxílio na comunicação e, principalmente, a consideração de fatores ergonômicos de forma antecipada. No entanto é importante observar que poucas empresas estão dispostas ou podem aguardar um processo de desenvolvimento dessa natureza (cerca de dezoito meses e com alto grau de participação de funcionários da empresa dos mais diversos níveis e cargos) para geração de propostas conceituais.

Especificamente, podem-se citar alguns pontos que denotam os resultados obtidos. A utilização da prototipagem virtual como facilitadora da comunicação entre os profissionais envolvidos no projeto (grupo de trabalho formado por trabalhadores da empresa e por pesquisadores). No Quadro 3-3 estão sintetizadas as principais contribuições da simulação humana nesse caso específico.

Quadro 3-3: Principais contribuições da simulação humana obtidas na concepção do balcão de atendimento.

Categoria de Análise	Contribuições da Aplicação da Simulação Humana
Forma da superfície de trabalho	A simulação permitiu testar as formas do balcão, simulando individualmente o guichê e diferentes arranjos com vários guichês; Os testes virtuais permitiram definir as dimensões e a forma para comportar os equipamentos e acessórios existentes no posto, bem como fatores de alcance e alternância entre usuários destros e sinistros.
Altura do tampo do Balcão	As simulações realizadas definiram a altura do tampo para a construção do protótipo físico. Foram testadas, principalmente, a alternância postural em pé e sentada e as diferenças antropométricas da população, considerando as situações de referência.
Apoio para os membros superiores	As simulações anteciparam a atividade futura provável, avaliando os espaços livres para apoio de braços, punhos e mãos sobre a superfície de trabalho, auxiliando na apresentação e discussão entre os grupos de projeto.
Apoio para os membros inferiores	As simulações possibilitaram verificar a posição das pernas e o giro livre da cadeira sob a superfície de trabalho a ser prototipada fisicamente. Foram utilizados diferentes manequins, sendo possível estabelecer a faixa de altura que o tablado regulável para apoio dos pés deveria ter para execução da prototipagem física.
Móveis auxiliares	A modelagem virtual possibilitou o teste de diferentes formas e dimensões para os móveis auxiliares, simulando a movimentação de entrada e saída de materiais, facilitando a comunicação entre projetistas.
Fluxo e movimento de materiais	As simulações permitiram avaliar diferentes desenhos para a entrada e saída de materiais, testando os prós e contras da adoção de cada lógica.
Interação entre atendente e cliente	Através das simulações foi possível equacionar a distância necessária entre atendentes e clientes, garantindo o maior espaço de trabalho possível para o atendente e mantendo um alcance confortável para troca de objetos entre eles.
Facilidade de comunicação	A simulação com o arranjo de vários balcões em uma unidade de atendimento permitiu avaliar possíveis relacionamentos entre atendentes. Esses testes determinaram o tamanho e a forma do anteparo entre guichês.
Segurança de produtos, numerário e segurança pessoal	Os testes virtuais para essa categoria proporcionaram, principalmente, validar as vantagens da gaveta com abertura tipo "tampa" via sistema informatizado. Tal abordagem possuiu um caráter mais subjetivo de análise.

Apesar das contribuições apontadas, algumas dificuldades também foram evidenciadas ao longo do processo. Dentre essas, podemos destacar a dificuldade da realização de cada animação; tempo necessário para construção e análise para cada alteração sugerida; e, separação entre os desenvolvedores da simulação (*software*) e o grupo de projeto.

3.3 Estudo de Caso 2: Projeto de Posto de Trabalho de Abastecimento de Agulhas Cirúrgicas

O segundo caso ocorreu em uma empresa multinacional de grande porte que atua na fabricação de produtos cirúrgico-hospitalares de primeiros socorros, para higiene de crianças, produtos de higiene oral, farmacêuticos, de higiene feminina e outros produtos destinados à saúde dos consumidores. Com a matriz localizada nos Estados Unidos, atualmente essa empresa possui unidades produtivas em 51 países, estando no Brasil desde 1933. A atual planta industrial está instalada no interior do estado de São Paulo com cerca de 4.500 funcionários.

A demanda para o projeto abordado nesse trabalho surge a partir de uma parceria entre a empresa e o grupo Ergo&Ação no que se refere a aplicar, tratar e melhorar um instrumento de análise ergonômica, o *Ergo Job Analyser* (EJA) e, posteriormente, desenvolver propostas conceituais para as situações críticas.

As principais distinções desse estudo para o apresentado anteriormente são: a abordagem clássica e quantitativa da ergonomia, especialmente devido ao EJA; e, a ordem cronológica das etapas de prototipagem física e digital.

3.3.1 Apresentação

O programa corporativo, adotado nas unidades de diferentes países, previa a análise ergonômica de todos os postos de trabalho, de forma contínua e atualizada em períodos de tempo pré-determinados. Um dos objetivos foi mapear as demandas e “atacar” aquelas que apresentassem maior risco.

Desta forma, o projeto que será detalhado a seguir é resultado de uma demanda gerada pelo alto risco observado através da análise de um posto de trabalho existente. Este posto de manufatura consiste numa estação de trabalho de abastecimento de pentes com agulhas cirúrgicas, visando posterior processamento químico.

Todo o processo de projeto durou cerca de dois anos e teve as seguintes fases:

- a) confecção da análise ergonômica com um instrumento específico para alta repetitividade;
- b) interpretação da análise com resultados de ações de risco alto;
- c) decomposição do posto de trabalho em vários sub-sistemas;
- d) início do processo de projeto do posto considerando as restrições de projeto e “atacando” os sub-sistemas separadamente;
- e) confecção de mock-ups (modelo em escala natural – 1:1) para experimentação e validação dos pressupostos conceituais referentes aos sub-sistemas;
- f) modelagem 3D e simulação humana do sistema global;
- g) análise ergonômica do novo posto de trabalho em ambiente digital, com a aplicação do mesmo instrumento da fase “a”
- h) construção das especificações técnicas.

3.3.2 Fase de análise ergonômica

A ferramenta de análise utilizada que gerou a demanda pelo projeto, segundo Bertonecello et al. (2004), foi desenvolvida para avaliar estações de trabalho a partir da análise de posturas corporais, frequência de movimentos em atividades similares ou distintas, carga despendida, entre outros fatores. Este instrumento considera não apenas o movimento de cada articulação corporal durante cada atividade, mas solicita que se numere os movimentos em uma espécie de contagem total por dia. Ele indica amplitudes diferenciadas de movimentos. Assim, os movimentos de cada segmento corporal são somados de acordo com a amplitude específica dos mesmos, em cada turno de trabalho, respeitando também a questão biarticular (ombro direito e ombro esquerdo somados separados, por exemplo), quando há. O resultado dado por essa ferramenta é a quantificação de risco associado aos posto de trabalho. Esta quantificação auxilia na definição de prioridades para execução de melhorias ergonômicas.

A tarefa específica do posto consistia em retirar um pente da máquina, à direita do trabalhador, posicioná-lo à frente, colocar todas as agulhas no mesmo e posicionar o pente novamente na máquina, agora à sua esquerda.

Enquanto a máquina realiza todos os banhos nas agulhas, o trabalhador abastece um pente. Com a mão direita ele retira o pente da máquina, posiciona o mesmo à sua frente e prende-o em um suporte específico para isso. A seguir, com as agulhas espalhadas sobre a mesa, pega uma de cada vez e coloca no pente. Com o pente completo, o trabalhador retira o pente do suporte e, com a mão esquerda, coloca-o na máquina novamente. Para a análise do posto de trabalho foram considerados os seguintes dados:

- a) manuseio de **9.450 agulhas** ou 160 pentes, por turno;
- b) capacidade para 63 agulhas por pente;
- c) cada caixa contém 400 agulhas;
- d) tempo total do ciclo é de aproximadamente 120 segundos.

É importante salientar que o mesmo instrumento que gerou a demanda foi utilizado para validar a proposta final do projeto em ambiente digital.

3.3.3 Fase de projeto

O projeto foi caracterizado pela evolução conceitual dos subsistemas que, para um melhor desenvolvimento do sistema global, foi dividido em recortes em função da atividade desenvolvida pelos operadores, conforme ilustrado na Figura 3-5:

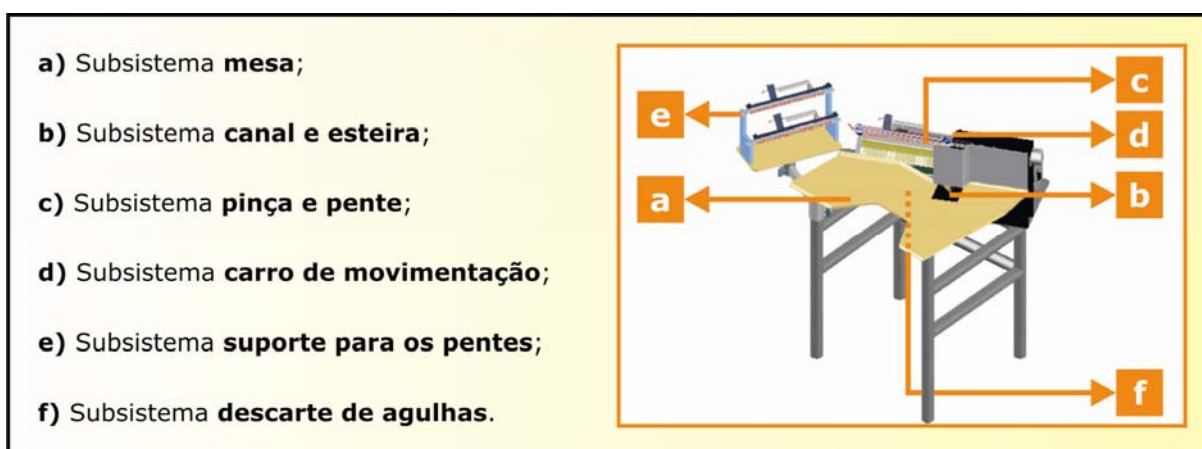


Figura 3-5: Ilustração com subsistemas definidos como recorte para desenvolvimento do projeto em função da atividade dos operadores.

Esses recortes foram necessários para que questões fundamentais e prioritárias pudessem ser analisadas e avaliadas separadamente em diferentes locais e espaço de tempo. Assim, questões envolvendo eletrônica e automação dos subsistemas “canal e esteira” e “pinça e pente”, que eram a base fundamental da solução, puderam ser desenvolvidos e prototipados nos primeiros meses de projeto, para que, sendo validados, fornecessem estabilidade para a continuidade do mesmo. Na Figura 3-6 são apresentados dois protótipos desenvolvidos e validados. A Figura 3-6a exibe um dos protótipos realizados a partir de bricolagem (utilizando materiais e componentes com funções pré-definidas diferentes das quais foi aplicada no protótipo). E, a Figura 3-6b mostra o processo de validação do protótipo físico com um funcionário da empresa, alocado no posto equivalente atual.

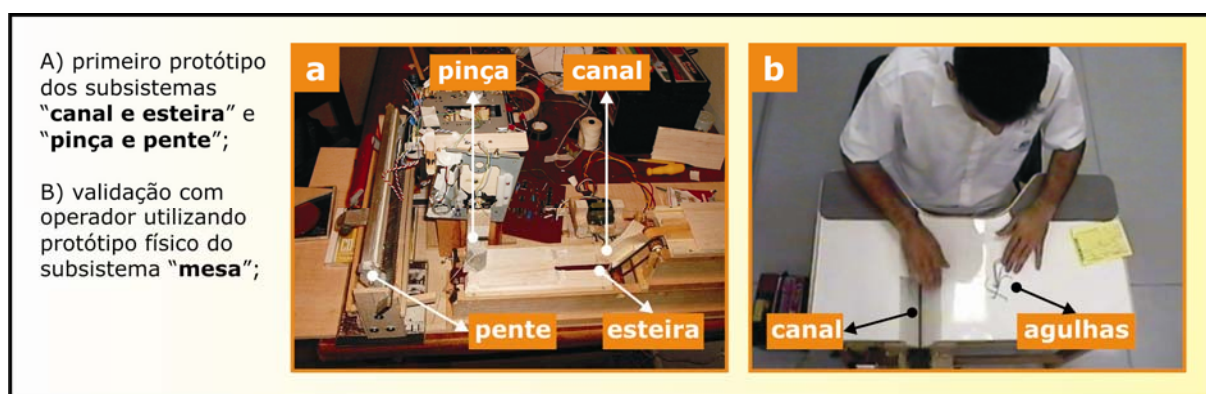


Figura 3-6: Prototipagem física de subsistemas fundamentais.

Os requisitos de projeto para o projeto de um conceito global foram discutidos a partir das características necessárias e possuíram como categorias de análise os movimentos e posturas do trabalhador e a produtividade do sistema.

3.3.3.1 *Prototipagem digital*

Por meio da modelagem digital e simulação, o projeto passou por algumas discussões e refinamentos até a confecção do protótipo final. Foram realizadas simulações digitais, apontando as características construtivas que contemplassem os requisitos desejados, em concordância com os indicadores da análise ergonômica e dados de produção.

A prototipagem digital possibilitou a análise do posto futuro provável com a aplicação da ferramenta corporativa da empresa. Isso foi possível mediante as animações realizadas, considerando os ângulos e a frequência que o manequim assumia para realizar a

tarefa ou a atividade futura provável do operador (DANIELLOU, 2002) viabilizando a participação efetiva dos diversos interessados no projeto. O resultado da análise apontou para a diminuição significativa dos riscos no posto de trabalho.

Com base nas análises resultantes dos desenvolvimentos iniciais dos subsistemas foi possível iniciar a construção de um conceito global com o auxílio de ferramentas de computação gráfica, em especial a simulação humana. Os requisitos de projeto para o desenho da solução global foram construídos socialmente a partir das características necessárias e possuíram como categorias de análise os movimentos e posturas do trabalhador e a produtividade do sistema.

Na concepção e avaliação do subsistema mesa, a principal contribuição da modelagem e simulação humana digital foi a concepção de uma geometria capaz de acomodar os diferentes percentis (05 e 95), garantindo o espaço necessário à execução da atividade. Para esse subsistema, a principal restrição existente foi o pequeno espaço delimitado para o módulo de abastecimento de agulhas. Buscando melhorar a situação de trabalho em conformidade com os fatores de risco estabelecidos pelo instrumento EJA, foi projetada uma região de apoio aos antebraços do operador. Durante a etapa de simulação digital também foi definida a necessidade de bordas arredondadas ao longo da superfície da mesa, não só devido aos aspectos de conforto, como citado no exemplo anterior, mas também para facilitar o manuseio das agulhas.

A definição da altura e de toda estrutura da mesa também foram desenvolvidas em ambiente digital. Buscou-se determinar uma altura adequada aos extremos populacionais que fosse compatível com o adequado funcionamento do conjunto, principalmente para evitar colisões com o subsistema canal e esteira. Tal subsistema definiu um limite mínimo de altura ao apresentar risco de colisão com os membros inferiores do manequim percentil 95 (análise ilustrada na Figura 3-7b) e, ao mesmo tempo, impôs um limite máximo devido à necessidade de alcance do percentil 05.

Na concepção do subsistema canal e esteira, muitos conceitos puderam ser testados durante a etapa de simulação, com destaque para a contribuição sobre o posicionamento do canal. Em um primeiro momento o canal foi projetado paralelo ao plano longitudinal do operador (conforme visualizado anteriormente na Figura 3-6b), porém, após a avaliação em ambiente digital, e com a aplicação do EJA, observou-se a necessidade da inclinação do mesmo em 30 graus no sentido anti-horário, com referência ao plano citado, como mostra a Figura 3-7a. Tal alteração reduziu a amplitude do movimento e o risco associado às lesões repetitivas. Essa mudança resultou em um grande conjunto de alterações

no modelo conceitual, contribuindo positivamente para o projeto do sistema global e diminuindo o grau de incerteza sobre a eficiência do mesmo. Com relação à esteira a simulação permitiu identificar a necessidade de uma redução dimensional, devido, principalmente, à falta de espaço disponível.



Figura 3-7: Simulações realizadas para desenvolvimento de proposta projetual.

Na etapa de simulação do subsistema pinça e pente foi possível avaliar aspectos de segurança, definindo o posicionamento da pinça em uma região que oferecesse os menores riscos ao operador sem comprometer o sistema produtivo (ver Figura 3-7d).

No desenvolvimento do subsistema carro de movimentação, significativas contribuições foram decorrentes da aplicação das técnicas de modelagem e simulação humana digital, sendo a principal delas, a concepção do sistema giratório acoplado à base do carro de movimentação. A princípio, o carro projetado possuía um sistema fixo e a posição final do pente estava fora da zona de alcance determinada pelos requisitos do projeto, e isso só pôde ser observado através da simulação com o percentil 05. Porém, com as alterações que foram agregadas ao longo do projeto e a necessidade de atender às exigências do EJA, o projeto foi alterado com a adição de um sistema giratório que permitiu a aproximação do pente ao operador e um melhor posicionamento da pega. Tais modificações viabilizaram o alcance de toda a população determinada e, considerável diminuição de movimentos de flexão de coluna e de punho, impactando positivamente a avaliação realizada com o EJA.

Na concepção do subsistema suporte para os pentes a simulação humana contribuiu diretamente para estabelecer características do suporte e dos sistemas de ajustes necessários visando o alcance dos operadores, conforme ilustrado na Figura 3-7c. A possibilidade de ajuste contribuiu diretamente para o aumento do espaço de regulação de modo a permitir as variabilidades individuais, inclusive para o modo operatório.

A concepção do subsistema descarte de agulhas foi resultado de desenvolvimentos ocorridos durante as etapas de simulação. A necessidade desse subsistema surgiu devido aos rigorosos sistemas de segurança, marcados, principalmente, pela existência de um grande número de dispositivos sensoriais óticos. Dessa forma, quando ocorresse uma falha no sistema de pinça ou do canal (por exemplo, a inserção de duas agulhas ao mesmo tempo), seria necessária a intervenção do operador. Com a concepção desse subsistema, as agulhas que fossem detectadas pelos sensores como fora do padrão eram automaticamente descartadas. O subsistema foi projetado quando quase todos os elementos já estavam em fase avançada de concepção, o que acarretou em uma dificuldade adicional na alocação física desse no sistema global. A simulação humana digital contribuiu de forma significativa na compreensão da complexa restrição espacial existente no local por meio da análise detalhada dos equipamentos e as possibilidades de choque físico com os membros inferiores do manequim percentil 95.

A partir da prototipagem digital foi possível construir as especificações técnicas do novo posto de trabalho, consorciando diversos fatores e equacionando questões de bem-estar e produtividade.

As análises permitiram obter com precisão o ângulo de cada articulação do manequim ao realizar a operação, que possuía como característica principal a repetitividade. Detalhes como o ângulo em que o canal foi recortado na mesa, a localização do suporte e a rotação do carro de transporte foram projetados com o intuito de minimizar a realização de movimentos de braços, tronco, punhos e dedos.

3.3.4 Análise dos resultados para o caso 2

A utilização da simulação em ambiente digital na comunicação entre os projetistas e os engenheiros da empresa contratante, visando à validação das soluções propostas, em consonância com a política da empresa e as tecnologias disponíveis, atesta uma

das vantagens desta ferramenta: o auxílio na compreensão e comunicação entre os diversos agentes participantes do projeto.

Outros benefícios do uso desta tecnologia, neste caso específico, puderam ser visualizados nas análises realizadas ao permitir que restrições e conflitos das características geométricas do posto de trabalho fossem equacionados durante a simulação (Quadro 3-4).

Quadro 3-4: Principais contribuições da simulação humana obtidas no desenvolvimento do posto de trabalho.

CATEGORIA DE ANÁLISE	CONTRIBUIÇÕES DA APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO HUMANA
Canal de alimentação	A simulação permitiu definir uma angulação do canal com relação ao trabalhador que eliminou a necessidade de movimentos de flexão do punho para cada agulha, impactando consideravelmente a análise pelo instrumento EJA.
Geometria da mesa	Utilizando manequins com percentis 05 e 95 foi possível conceber uma mesa que atendesse a mais de 90% da população sob estudo, considerando todos os dispositivos previstos. O estudo concentrou-se nas características dimensionais da mesa, forma geométrica, principalmente, do recorte existente para aproximação do operador e o risco de colisão entre os membros inferiores do operador e a esteira que situa-se sob a mesa.
Suporte para pentes	A simulação humana foi determinante como ferramenta projetual do suporte para os pentes. Dimensões, geometria, encaixe, localização e, principalmente, os sistemas desejáveis de ajuste foram projetados com base nas avaliações e antecipações possíveis com o <i>software</i> .
Esteira de transporte de agulhas	Por meio de simulações com um manequim masculino percentil 95 foi possível projetar a esteira de transporte de agulhas com características geométricas e posicionamento com relação aos membros inferiores do operador de forma que não houvesse a possibilidade de colisão.
Conjunto estrutural da mesa	Com o apoio da modelagem digital e simulações humanas, os travamentos de sustentação da mesa foram posicionados de forma que o operador não utilizasse tal estrutura como apoio para os pés ou pernas. Devido sua forma geométrica não possibilitar um apoio estável e planar, seu uso poderia ocasionar danos à saúde do operador devido ao aumento da pressão pela força exercida em uma pequena área do corpo humano.

3.4 Considerações sobre os estudos de caso

Este capítulo cobriu o trabalho de campo realizado e teve como elemento central a aplicação da ferramenta computacional de modelagem e simulação humana em processos de projeto de postos de trabalho. Desta, resultou uma compreensão sobre as interações entre análise e projeto e, dentro da etapa de projeto, projetar e validar.

Dessa forma, aplicar uma ferramenta de projeto é um ato contextualizado, devendo seguir orientações de um método e possuir bases teóricas. A contextualização também obriga que tal aplicação esteja coerente com as demais etapas, a montante e jusante, do processo de intervenção. Assim, os resultados das análises devem fornecer conhecimentos e orientar as atividades de projeto, sendo altamente recomendado que as mesmas pessoas que

participaram da primeira etapa atuem de forma ativa no segundo momento, durante o processo projetual.

Uma abordagem participativa justifica-se, posto que se articulem objetivos de busca de ação sobre a realidade, implicando em confrontações de diferentes mundos-objeto (BUCCIARELLI, 1996), os quais necessitam de um espaço de discussão e de construção de consensos, acordos e deliberações no decurso do projeto. Tal compreensão demanda mecanismos que permitam a integração do grupo na construção coletiva do problema de projeto e do campo de soluções possíveis, partindo da realidade da situação e considerando as diferentes interpretações dos envolvidos (operadores dos postos de trabalho, chefias, gerências, pesquisadores, entre outros), criando espaços para tomadas de decisões e validações (MENEGON, 2003).

Outra importante observação a ser realizada com relação aos casos e que acredita-se ser própria de qualquer processo de projeto é que, apesar da importância que a prototipagem digital possa ganhar (ou transparecer) e os benefícios gerados com a utilização dessa tecnologia, verifica-se a indispensabilidade da etapa de validação com protótipos físicos. Isto é, por mais completa que pareça a validação junto aos modelos virtuais, esses não substituem completamente modelos físicos, sejam eles em escala natural, reduzida ou ampliada, totalmente funcionais ou apenas de aparência, por possibilitarem um nível de compreensão superior e interações “mais ricas” com projetistas e usuários.

Nesse sentido, uma primeira distinção existente entre os estudos de caso foi a ordem cronológica dos acontecimentos da prototipagem física e da prototipagem digital durante o processo de projeto. Para o balcão de atendimento, a prototipagem física ocorreu após as etapas de modelagem e simulação. No posto de manufatura, a prototipagem física se antecipou à simulação e não ocorreu nas etapas finais do processo. Primeiramente, essa constatação confirma a visão dos autores desse estudo de que os processos de projeto não são lineares e nem seguem padrões definidos, apresentando especificidades e alto grau de variabilidade.

Neste trabalho, a validação conceitual para o segundo estudo de caso das propostas iniciais mediante a prototipagem física de alguns dos subsistemas pode ser considerada a principal razão dessa diferenciação. A partir dessa validação e com os benefícios da simulação digital, a finalização e especificação do conceito global foram possíveis, porém o custo de uma prototipagem física do sistema global tornou-se inviável devido à relação custo/benefício de um protótipo para aquele momento do projeto. Na Figura

3-8 é possível ver a distinção dos processos de projeto em suas etapas e nas retroalimentações presentes.

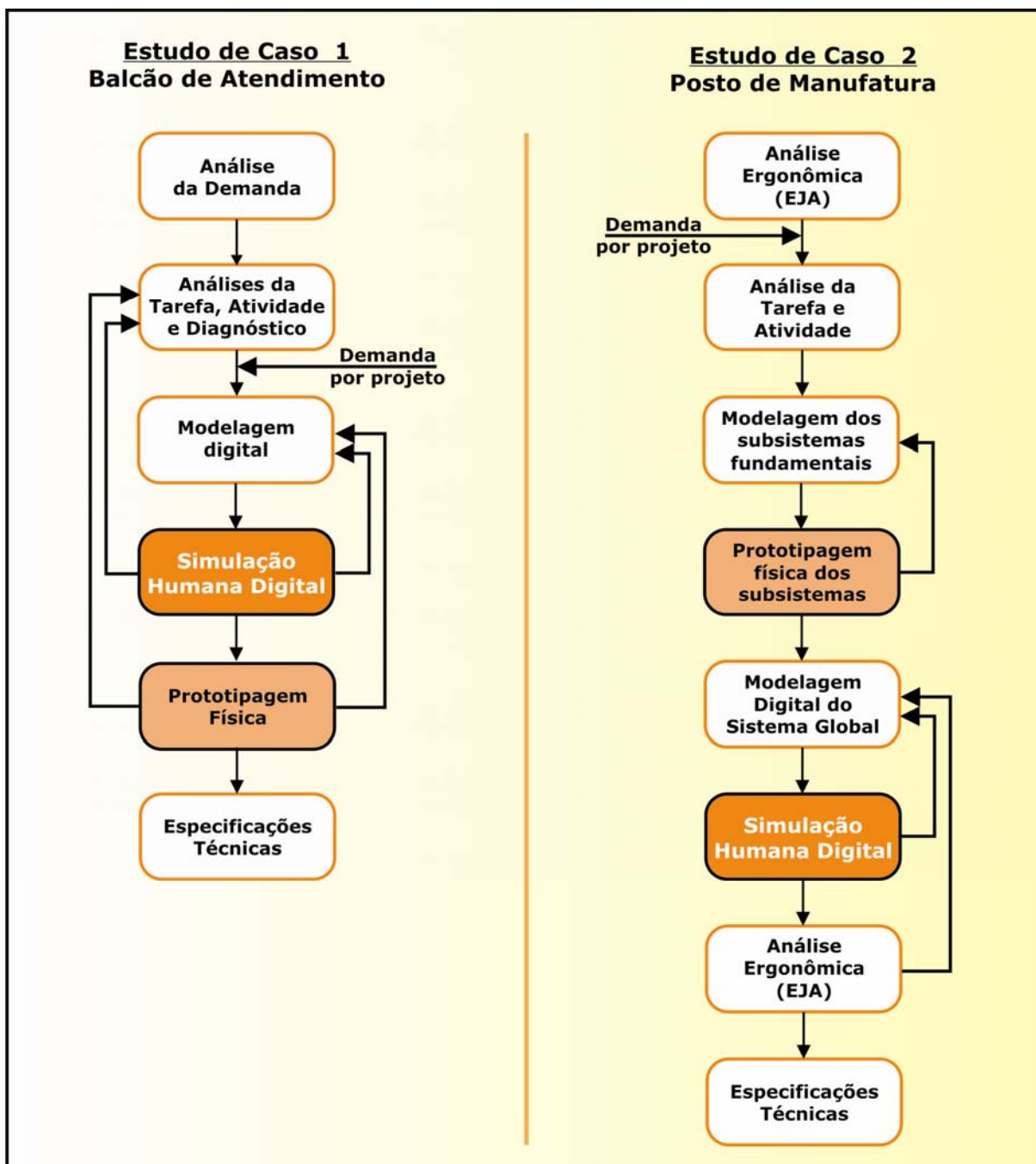


Figura 3-8: Fluxograma das principais etapas dos processos de projeto, com destaque para as etapas de simulação humana e prototipagens físicas.

Outro diferencial explícito entre os casos apresentados foi a interação entre o ato de projetar e as análises a partir das simulações. No desenvolvimento do posto de manufatura, as modificações no projeto, resultantes das simulações, foram frequentes e conduziram o processo de projeto durante a etapa de detalhamento do conceito global. No entanto, apesar das influências da simulação humana no projeto conceitual do balcão de

atendimento, ela atuou com maior ênfase validando e intermediando o processo social existente do que uma ferramenta técnica de desenvolvimento de projeto.

Pretende-se, com esses estudos, demonstrar as possibilidades e vantagens da utilização de um ferramental técnico e quantitativo dentro da perspectiva da análise ergonômica do trabalho e considerando o processo social presente durante o ato de projetar. Em complemento a essa contribuição, pretende-se evidenciar, da mesma forma, que a abordagem estritamente técnica da ergonomia física deve abrir espaço para os aspectos cognitivos e organizacionais do trabalho, principalmente pela análise da atividade e consideração dos processos sociais envolvidos.

No capítulo que segue serão tratadas as questões relativas ao uso da simulação humana, construindo considerações entre a teoria abordada e a prática analisada.

4 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O ponto de partida desta pesquisa foi a consideração de que a tecnologia de modelagem e simulação humana pode contribuir para os processos de projeto de postos de trabalho, favorecendo ou possibilitando a introdução de perspectivas ascendentes na concepção de situações produtivas.

Como foi abordado no capítulo introdutório deste trabalho, a aplicação prática desse ferramental, em projetos contextualizados pela análise ergonômica do trabalho, suscita a investigação das seguintes questões que se pretende discutir no presente capítulo:

- a) a falta de dados antropométricos adequados para a aplicação do *software*, considerando a fisiologia do trabalhador brasileiro;
- b) os problemas na importação de modelos realizados em *software* CAD para o *software* Jack;
- c) dificuldade de operação do *software* de simulação humana, devido à diferença de usabilidade entre este e outros programas computacionais de uso comum do dia-a-dia da prática de projeto;
- d) dificuldades na utilização dos módulos de modelagem, animação e análise presentes no *software*.

Considera-se que a introdução desta ferramenta, no interior das intervenções ergonômicas, proporciona um apoio ao espaço de confrontação com a perspectiva descendente, associada a uma lógica de racionalidade produtiva. Considerou-se também que a confrontação entre uma perspectiva descendente (abordagem clássica de projetos) e outra ascendente (ergonomia da atividade) se dá “em torno dos conceitos de técnica, de trabalho e de homem e que o *locus* desta confrontação é um processo de projeto onde atores com diferentes representações constroem uma nova representação acerca de tais conceitos” (MENEGON, 2003). Os estudos de caso demonstram a capacidade da simulação humana digital atuar como um dos meios de comunicação entre tais atores. Em especial, pode-se citar o estudo de caso do balcão de atendimento, onde essa ferramenta computacional serviu como apoio à discussão entre diferentes profissionais (engenheiros, médicos, arquitetos, gestores, atendentes, entre outros) responsáveis por representar e buscar os interesses das mais diversas gerências e departamentos, entre elas, as áreas de saúde, comercial, tecnologia da informação e engenharia.

A seguir são apresentadas considerações sobre diferentes recortes da tecnologia abordada: dados de antropometria; processo de modelagem humana internamente aos programas computacionais; modelagem dos ambientes tridimensionais (internamente e externamente ao *software* com o uso de ferramentas CAD); construção da simulação humana; e, concluindo, considerações sobre as ferramentas de análise disponíveis.

4.1 Dados Antropométricos

Para Menegon et al. (2002) as questões antropométricas influenciam aspectos relacionados à fisiologia e à psicologia do conforto e da percepção. Dimensões antropométricas são dados de base, essenciais para a concepção e dimensionamento dos produtos, ambientes e postos de trabalho, propiciando segurança e conforto aos usuários.

É de fundamental importância que os dados antropométricos utilizados sejam aderentes às características morfológicas dos usuários dos postos de trabalho sob análise e projeto. Nesse sentido o Brasil enfrenta a mesma dificuldade encontrada na grande maioria dos países que atuam com modelagem humana, isto é, a falta de levantamentos antropométricos criteriosos e atualizados, exceção para os Estados Unidos (pioneiro nessas pesquisas), alguns países da Europa e o Japão.

No entanto, destaca-se que, para os estudos de caso apresentados, foram utilizados dados provenientes de uma pesquisa antropométrica, realizada no ano de 2001, em uma empresa aeronáutica do estado de São Paulo (Menegon et al., 2002). Tal pesquisa possuiu um grande diferencial na definição das variáveis, visto que os segmentos e proporções foram definidos com base na interface de entrada de dados do *software* utilizado.

Normalmente, os dados precisam ser adaptados para conceber a modelagem humana, comprometendo, dessa maneira, a confecção de modelos digitais humanos aptos para análises (JONES, 1997). Tal situação se deve, principalmente, ao fato de que levantamentos antropométricos têm como principais objetivos atender as necessidades das indústrias de vestuário e mobiliário, ou ainda, a confecção de tabelas antropométricas para uso genérico de projetistas. Nas bibliografias consultadas até o presente momento, pelo autor deste trabalho, não foram encontradas referências de pesquisas antropométricas realizadas com base nas variáveis de entrada de algum *software* de modelagem e simulação humana.

Nas aplicações apresentadas neste trabalho, a utilização dos dados antropométricos, para a criação de modelos humanos digitais, seguiu os seguintes princípios:

- a) o projeto e simulação digital de dispositivos de produção deve considerar os limites extremos da população, equacionando as variáveis de projeto para atender pelo menos 90% dos sujeitos, situados entre o mínimo (percentil 5) e máximo (percentil 95); e,
- b) o projeto de dispositivos cujas variáveis não possam ser equacionadas pela aplicação do primeiro princípio, deverão possuir regulagens definidas a partir da simulação em ambiente digital que possibilitem o ajuste e a acomodação de 90% da população.

Para atender aos princípios citados é fundamental que a modelagem reflita, com fidelidade, os dados disponíveis.

4.2 Modelagem Humana no *Software* JACK

Um dos principais fatores a serem considerados na simulação e modelagem humana é a aplicabilidade das dimensões antropométricas no *software*. Devido à suas origens (América do Norte e Europa, principalmente) os bancos de dados antropométricos padrões contêm as informações das populações de seus países de origem. No entanto, a maioria dos programas possibilita a “customização” dos manequins, em diferentes graus de recursos e possibilidades (PORTER et al., 1995).

Para Farrel (2005, p. 12), como existe um aumento da aplicação de ferramentas computacionais na concepção de postos de trabalho, há uma evolução da demanda da indústria para avaliar os aspectos humanos dos projetos dentro de um ambiente digital. No entanto, segundo o autor, isso exige modelos humanos digitais precisos e com capacidade de retornar respostas confiáveis.

A validação da modelagem humana, utilizada nos estudos de caso abordados, foi apresentada por Braatz et al. (2002) em um estudo comparativo entre as dimensões do manequim digital e as dimensões referentes ao levantamento antropométrico (BRASIL, 2001), explicando inclusive as razões das divergências encontradas e as dificuldades em aplicar dados bidimensionais em modelos humanos tridimensionais.

Aparentemente sem dificuldades, esta etapa parece ser um simples preenchimento de variáveis. No entanto, esta atividade apresenta uma complexidade intrínseca, devido à uma lógica de construção automática ou semi-automática de manequins

digitais, existente em todos os programas computacionais de modelagem humana. Tal lógica é aparente na forma de construção “*Basic Scaling*” do Jack, onde são inseridas apenas duas dimensões antropométricas e especificado o sexo, e o restante é calculado pelo *software*. Na forma “*Advanced Scaling*” a lógica é a mesma. Isto quer dizer que, por exemplo, quando um valor para a estatura (*estature*) é definido, o *software* calcula automaticamente outras dimensões, como a altura do ombro em pé (*acromion height*) e altura do nível dos olhos, sentado (*sitting eye*). É importante salientar que existe no Jack uma opção (*checkbox*) para “travar” a dimensão, isto é, o valor definido não deve ser alterado. Esta opção é fundamental para a construção do modelo, no entanto, quando se trata de dimensões interdependentes, o dispositivo de travamento não atua, devido à existência de uma lógica programada que relaciona e recalcula tais dimensões.

Para trabalhar com essa situação (não travamento) nas aplicações desenvolvidas foi estabelecida uma forma de tratar as dimensões, buscando obter valores próximos daqueles levantados na pesquisa antropométrica.

Inicialmente foi necessário identificar quais variáveis eram interdependentes. As principais variáveis consideradas “amarradas” entre si são: Estatura (*Stature*); Altura do maléolo lateral (*Ankle Hgt.*); Altura do ombro, em pé (*Acromion Height*); Profundidade nádegas joelho, sentado (*Buttock – Knee*); Comprimento vertex-gnation (*Head Height*); Altura do ombro – assento (*Sitting Acromial*); Altura do nível dos olhos-assento (*Sitting Eye*); Altura da cabeça-assento (*Sitting Hgt.*) e Altura do joelho, sentado (*Sitting Knee*).

Após essa verificação foi possível compreender a lógica da interdependência entre as dimensões e concluir que a fórmula que atua nestas não é linear.

O método presente no trabalho de Braatz et al. (2002) consistiu numa forma iterativa de refinamento. O início da modelagem ocorre através de ordem de importância das dimensões, sendo inseridas no início aquelas consideradas de maior relevância. Ao terminar a primeira definição de valores é necessário que todas as dimensões sejam revisadas. Automaticamente algumas medidas são alteradas pelo *software*. Neste momento, iniciam-se as iterações, seguindo a mesma lógica anteriormente citada, até que os valores encontrados sejam aceitos. Mediante esse método foi possível a construção de manequins digitais com dimensões muito próximas às encontradas na base utilizada como referência.

Os resultados obtidos podem ser visualizados nas Tabelas 4-1 e 4-2.

Quadro 4-1: Diferença obtida entre o Jack e a base de dados usada do INT para MHDs masculinos (em cm) (BRAATZ *et al.*, 2002).

MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS		HOMENS					
		5%		50%		95%	
		dif	INT	dif	INT	dif	INT
Estatura	<i>Stature</i>	-0,1	161.2	0,0	172.3	0,0	182.2
Altura do ombro, em pé	<i>Acromion Height</i>	0,1	132.7	2,0	143.2	1,8	152.6
Comprimento do membro superior	<i>Arm Length</i>	0,0	72.4	0,0	79.2	0,0	85.5
Largura bideltóide, sentado	<i>Bideltoïd Br.</i>	0,0	42.0	0,0	46.4	0,0	51.5
Profundidade nádegas Joelho, sentado	<i>Buttock - Knee</i>	-1,2	53.8	-3,3	59.5	-1,8	64.6
Comprimento antebraço-mão, sentado	<i>Elbow - Fingertip</i>	-0,2	42.9	-0,1	47.3	-0,2	50.6
Largura máxima do pé descalço	<i>Foot Breadth</i>	0,0	9.1	0,0	10.0	0,1	11.1
Comprimento máximo do pé descalço	<i>Foot Length</i>	-0,1	23.8	0,0	25.8	0,0	28.0
Largura da mão, no polegar	<i>Hand Breadth</i>	0,0	9.3	0,0	10.1	0,1	11.1
Comprimento máximo da mão	<i>Hand Length</i>	0,0	17.1	0,0	18.7	0,1	20.1
Largura bieurion	<i>Head Breadth</i>	0,0	14.3	-0,1	15.4	0,0	16.6
Profundidade glabella-opisthokranion	<i>Head Length</i>	0,0	18.1	0,0	19.2	0,0	20.3
Largura do quadril, em pé	<i>Hip Breadth</i>	-0,1	30.5	0,0	33.0	0,0	37.0
Distância entre pupilas	<i>Interpupil</i>	0,8	5.7	1,0	6.3	1,2	6.9
Comprimento do braço	<i>Shoulder - Elbow</i>	-0,2	34.7	-0,2	38.3	0,0	42.7
Altura do ombro, sentado	<i>Sitting Acromial</i>	0,0	53.7	-1,1	57.2	-0,5	61.5
Altura do nível dos olhos, sentado	<i>Sitting Eye</i>	0,0	71.2	0,0	76.7	0,0	82.5
Altura da cabeça, sentado	<i>Sitting Hgt.</i>	0,8	83.3	-0,6	88.9	1,3	94.8
Altura do joelho, sentado	<i>Sitting Knee</i>	0,0	50.8	0,0	54.9	0,0	59.8

Quadro 4-2: Diferença obtida entre o Jack e a base de dados usada do INT para MHDs femininos (em cm) (BRAATZ *et al.*, 2002).

DIMENSÕES ANTROPOMÉTRICAS		MULHERES					
		5%		50%		95%	
		dif	INT	dif	INT	dif	INT
Estatura	<i>Stature</i>	0,0	152.2	0,0	161.2	0,0	171.9
Altura do ombro, em pé	<i>Acromion Height</i>	-1,2	125.1	-2,6	133.4	-0,4	143.0
Comprimento do membro superior	<i>Arm Length</i>	0,0	66.6	0,0	71.8	-0,2	78.6
Largura bideltóide, sentado	<i>Bideltoïd Br.</i>	0,0	38.2	0,0	41.5	0,0	45.6
Profundidade nádegas Joelho, sentado	<i>Buttock - Knee</i>	-5,7	51.5	-1,3	56.3	-0,4	61.0
Comprimento antebraço-mão, sentado	<i>Elbow - Fingertip</i>	-0,1	40.0	-0,2	42.7	0,0	46.7
Largura máxima do pé descalço	<i>Foot Breadth</i>	-0,1	8.3	0,0	9.0	0,0	9.9
Comprimento máximo do pé descalço	<i>Foot Length</i>	0,0	21.7	0,0	23.6	0,0	25.7
Largura da mão, no polegar	<i>Hand Breadth</i>	0,0	8.1	0,0	8.8	0,0	9.4
Comprimento máximo da mão	<i>Hand Length</i>	0,1	16.0	0,0	17.1	0,0	18.4
Largura bieurion	<i>Head Breadth</i>	0,0	13.9	0,0	14.8	0,0	15.6
Profundidade glabella-opisthokranion	<i>Head Length</i>	0,0	17.2	0,0	18.3	0,0	19.3
Largura do quadril, em pé	<i>Hip Breadth</i>	0,0	30.5	0,0	33.1	0,0	37.3
Distância entre pupilas	<i>Interpupil</i>	-0,5	5.5	-0,4	6.0	0,0	6.7
Comprimento do braço	<i>Shoulder - Elbow</i>	-0,2	32.1	-0,3	35.0	0,0	39.0
Altura do ombro, sentado	<i>Sitting Acromial</i>	1,7	55.7	0,0	60.0	3,4	65.2
Altura do nível dos olhos, sentado	<i>Sitting Eye</i>	-5,1	67.5	-2,3	72.6	0,0	77.5
Altura da cabeça, sentado	<i>Sitting Hgt.</i>	0,3	80.3	0,0	85.3	0,0	90.3
Altura do joelho, sentado	<i>Sitting Knee</i>	0,0	47.4	0,1	50.7	0,0	54.3

As diferenças encontradas são consequência da interdependência de medidas. As maiores diferenças estão presentes na “Distância entre pupilas” (*interpupil*), devido esta dimensão ser diretamente dependente da dimensão “Largura Bieurion” (*Head Breadth*), isto é, o *software* não permite que as duas variáveis sejam inseridas, forçando ao usuário decidir qual dimensão é preferencial. Esta relação ocorre também entre a “Profundidade nádegas-joelho, sentado” (*Buttock – Knee*) e “Altura do ombro, em pé” (*Acromion Height*).

Tais divergências ocorrem devido ao fato das dimensões do corpo de um indivíduo não serem perfeitamente correlacionadas no mesmo percentil (PANERO e ZELNIK, 2002). Assim, para a construção de manequins tridimensionais apenas algumas dimensões chaves podem ser estabelecidas dentro de um determinado percentil (PASTURA, 2000).

As mesmas dificuldades encontradas na construção do manequim Jack, a partir das variáveis da população local, verificaram-se quando da tentativa com *software* ERGO e CATIA (TOSSETO e MENEGON, 2008), indicando que, apesar de não existir um padrão para a construção desses manequins, os programas seguem lógicas similares, associando à algumas variáveis chaves, proporções que definem outras dimensões (lineares e perimétricas), relacionadas aos diferentes segmentos corpóreos.

Do trabalho desenvolvido por Braatz et al. (2002), derivam dois alertas para aqueles que tenham interesse na aquisição dessa tecnologia:

- a) faz-se necessário que os fornecedores de *software* de simulação humana explicitem os modelos conceituais utilizados na elaboração dos manequins; e,
- b) faz-se necessário o acesso ao código fonte que dá origem ao humano digital, para a efetiva utilização de dados relativos à população brasileira na confecção dos manequins.

Por outro lado, a utilização, nos estudos de caso apresentados, de modelos humanos digitais criados a partir de dados antropométricos de uma amostra da população local (BRASIL, 2001), é um avanço para os usuários da tecnologia da simulação humana e sistemas CAD de modelagem humana no Brasil. Conforme foi possível demonstrar, tanto no desenvolvimento do balcão de atendimento, quanto no de um posto de manufatura, esses manequins podem ser utilizados nas diversas etapas de análise de ambientes existentes, como na concepção e validação das situações de trabalho futuras.

4.3 Modelagem Tridimensional de Ambientes Digitais

Como visto no Capítulo 2, a modelagem dos ambientes no Jack pode ocorrer internamente ao *software* ou através de programas computacionais de modelagem tridimensional, com destaque para as ferramentas CAD. A primeira opção é extremamente limitada, pois apresenta poucos recursos de modelagem, estando disponíveis apenas formas básicas (cubo, pirâmide, cilindros, entre outros). Outra possibilidade interna é o uso da biblioteca existente com objetos previamente modelados. A restrição dessa opção está na quantidade e qualidade dos modelos disponíveis.

Dessa forma, é praticamente inviável imaginar uma simulação de um ambiente sem a utilização de outro *software* para modelagem deste. Para tal, o Jack apresenta uma lista de extensões de arquivos aceitos para importação, incluindo VRML, IGES e STL, por exemplo.

A cerca da modelagem importada é importante salientar o desempenho demonstrado pelo *software*, mesmo instalado em computadores pessoais (PC), com processadores simples e sob plataforma *Microsoft Windows*. Nas simulações desenvolvidas nos casos 1 e 2, a presença de modelagens complexas não alterou a boa performance, sem aumento sensível do tempo de processamento, de *rendering* ou travamento da simulação.

A importância da modelagem dos ambientes em busca de níveis melhores de detalhamento e acabamento pode ser comparada à influência da aparência do manequim humano digital na percepção e avaliação dos usuários dessa tecnologia discutida no Capítulo 2. Dessa forma, ambientes com aparências realistas facilitam a compreensão e a comunicação entre os diversos atores envolvidos no processo de projeto.

4.4 Usabilidade e o Processo de Simulação Humana no JACK

Um dos primeiros desafios para novos usuários da ferramenta utilizada neste trabalho é o conflito de usabilidade, principalmente para pessoas acostumadas com outros programas de computação gráfica, como por exemplo, AutoCAD e 3D Studio. As lógicas de interface, comandos e formas de salvar, importar e exportar, entre outras, são exclusivas no

software Jack, fazendo com que usuários experientes em outras tecnologias necessitem um tempo mínimo para sua aprendizagem e domínio.

O processo de simulação humana é construído conforme as especificidades de cada projeto, procurando atender aos objetivos e restrições impostos. Nesta construção poderão ser utilizados os diversos recursos disponibilizados pelo *software*, conforme visto no Capítulo 2, principalmente através do uso de posturas pré-definidas, sistemas de ajuste das juntas, controle humano, ajuste das mãos, campo de visão e animações.

Outra importante consideração a respeito do processo de simulação humana é a utilização ou não de animações. Essa forma dinâmica de representação é altamente recomendável, por demonstrar a relação do tempo durante a execução das atividades. No entanto é exponencial o aumento de dificuldade e tempo necessário, quando comparada à simulação exposta através de diversas imagens estáticas.

Essa dificuldade ocorre tanto pela interface e lógica específicas do *software* quanto pela necessidade de ajustar os objetos e manequins, o que pode consumir um elevado tempo, conforme o nível de detalhamento desejável. Nas aplicações demonstradas nesta pesquisa, todas foram animadas e simuladas em tempo real, sendo estimada uma proporção média consumida de 10 horas de trabalho, com duas pessoas capacitadas, para cerca de 30 segundos de simulação (com o nível de detalhamento apresentado).

Nos casos apresentados, a questão da usabilidade esteve bastante presente, exigindo um alto grau de atenção e dedicação dos projetistas, principalmente no caso 2, onde diversos elementos (subsistemas e o modelo humano digital) foram animados simultaneamente com o objetivo de prever a atividade futura provável e permitir a confecção de análises.

4.5 Considerações sobre as Ferramentas de Análise disponíveis

Os programas computacionais de simulação humana apresentam como característica crescente a disponibilização de ferramentas de análise. Estas, na maioria das vezes, são baseadas em ferramentas existentes e de uso comum em análises ergonômicas com abordagem dos fatores humanos. Entre as ferramentas deste gênero, citadas no Capítulo 2, destacam-se o RULA, NIOSH e OWAS. No entanto, somente estão disponíveis em versões completas do *software*.

Nas aplicações desenvolvidas utilizou-se a versão *Classic Jack 2.2i*, a qual possui apenas análises de menor complexidade como de torque e força, zonas de alcance, detecção de colisões e mensuração de distâncias. Das análises citadas destaca-se a utilidade da determinação dos envelopes de alcance e de detecção de colisões, ambas aplicadas nos projetos desenvolvidos.

Com relação às primeiras análises, de maior complexidade e que seguem padrões conhecidos dos ergonomistas, conclui-se que o uso delas deve ocorrer de forma cautelosa e criteriosa. Alguns pontos que considerados importantes sobre esse aspecto são:

- a) o analista deve possuir uma boa compreensão sobre o método/ferramenta;
- b) é desejável experiência do analista com o método em sua aplicação tradicional;
- c) a análise com base na simulação deve ser acompanhada por pessoas que conheçam bem o processo produtivo e situações de referência;
- d) os resultados das análises devem ser questionados quanto à fidelidade ao método e às aproximações realizadas durante os processos de modelagem, tanto humana quanto do ambiente.

De qualquer forma recomenda-se uma “calibração” da ferramenta pelo analista, por meio de análises de um mesmo posto, sob as mesmas condições, em ambiente digital (com o uso do *software*) e físico (aplicação tradicional).

É importante salientar que, mesmo sendo uma forma de análise mais prática, menos dispendiosa e com um menor nível de perturbação dos ambientes produtivos, tais ferramentas, mesmo sendo baseadas em padrões reconhecidos e legitimados, não permitem eliminar a figura de um ergonomista, o qual vai até o local de trabalho sob intervenção para conhecer o ambiente, compreender o contexto e interagir com os trabalhadores, buscando revelar os verdadeiros condicionantes da atividade.

Das ferramentas de análise, presentes na versão básica, destaca-se uma opção com grande potencial de contribuição em análises de postos de trabalho é a antecipação do campo visual, por meio do *View Cones* (cones de visão para cada olho) e do *Eye View*. O ângulo dos cones pode ser configurado conforme a necessidade do usuário, sendo que o manual do *software* (UGS, 2004) afirma que o valor de 40 graus é um ângulo ideal para o posicionamento de objetos de uso principal. Para Farrel (2005, p. 47) a acuidade visual é praticamente zero acima de 35 graus e é máxima entre 0 e 15 graus, conforme Figura 4-1. No Apêndice A tais ferramentas são abordadas em um maior nível de detalhe.

Pode-se concluir que um risco presente nas aplicações desenvolvidas com o uso desse tipo de ferramenta é o reducionismo da situação global, minimizando a relevância dos aspectos organizacionais e cognitivos situados no contexto e que, geralmente, não estão presentes em modelos virtuais. Isto é, a modelagem para uma simulação nunca comportará todos os aspectos organizacionais (influência de turnos de trabalho, definição de equipes, formas de gestão e cobrança de resultados, entre outros) e, principalmente, aspectos cognitivos (nível de atenção demandada, processo de tomada de decisão, memória, entre outros).

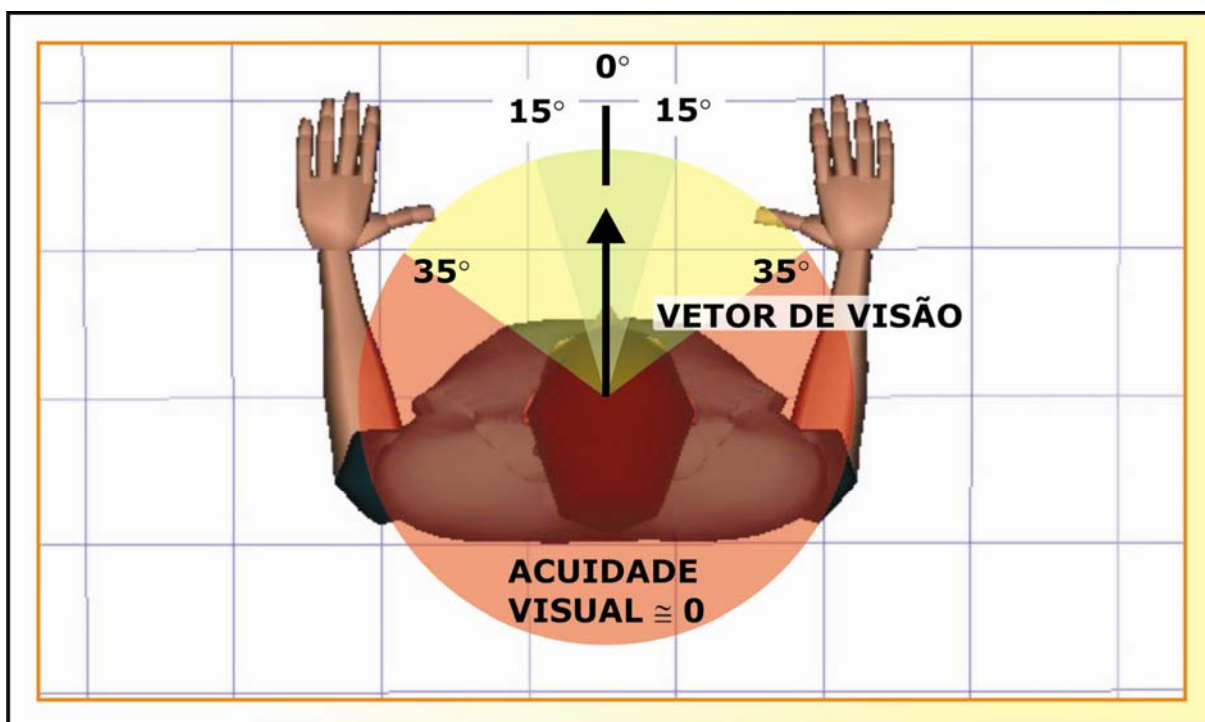


Figura 4-1: Ângulos de acuidade visual máxima e mínima. Adaptado de Farrel (2005).

Isso agrava-se pela possibilidade de o analista não conhecer a fundo o local sob análise e não ter acesso a pessoas que trabalham e conhecem as principais dificuldades que encontram no seu dia-a-dia, isto é, a simulação é altamente dependente da visão do trabalho que o usuário dessa tecnologia possui ou tem a sua disposição. Tais dificuldades influenciam diretamente na determinação da atividade futura provável a ser simulada

Nesse sentido a importância da complementaridade de protótipos físicos, além da prototipagem digital, permite a interação do usuário/trabalhador com o posto de trabalho em projeto, assim como com os analistas e projetistas, sendo fundamental para validar e melhorar uma série de aspectos “invisíveis” em ambiente digital. Essa experiência de interação não pode ser substituída por ferramentas computacionais, por mais avançadas que possam ser, visto a riqueza existente na interação física com um protótipo, revelando

sensações, percepções e detalhes, tanto por parte daqueles que concebem, quanto daqueles que usam.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões da pesquisa, considerando, em particular, as contribuições do ponto de vista da simulação humana para o projeto de postos de trabalho. Também são exploradas as limitações da ferramenta e da pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentada na introdução deste trabalho, a principal hipótese confirmada foi a de que a simples aquisição de uma licença de *software* e a presença de um profissional habilitado para operá-lo não permite a realização de simulações, projetos e análises em um nível satisfatório no que se refere às considerações ergonômicas. As aplicações estudadas, juntamente com os demais estudos desenvolvidos ao longo dos últimos dez anos (BRAATZ et al., 2002; BRAATZ et al., 2006; BRAATZ et al., 2007; MENEGON et al., 2004; TONIN et al., 2007), apontam que essa ferramenta pode contribuir em um processo de projeto, porém deve estar contextualizada com métodos, conhecimentos e outras ferramentas que viabilizem esse potencial de contribuição.

Sob a perspectiva dos objetivos específicos orientadores do trabalho é possível concluir que obteve-se êxito na criação e disponibilização de conhecimentos sobre uma tecnologia relativamente nova no contexto mundial e pouco conhecida no Brasil, seja em termo da revisão bibliográfica quanto da apresentação e discussão das aplicações, principalmente pelo fato dessas serem contextualizadas por outros métodos e ferramentais.

Com relação ao objetivo de investigar as contribuições de um ferramental da corrente ergonômica americana de fatores humanos, dentro de um contexto da ergonomia centrada na atividade, obteve-se como resultado a proposição de um contexto para alavancar as possibilidades de contribuição e adoção da abordagem definida por Daniellou (2002) que trata da utilização de situações de referência e simulações para antecipar a atividade futura provável, visando projetos de postos de trabalho.

5.1 Contribuições da simulação humana computacional no projeto de situações produtivas

A aplicação de simulação no processo de projeto, durante um estudo ergonômico, deve ter fundamentação conceitual e metodológica para obter resultados efetivos (DANIELLOU, 2002; MENEGON et al., 2004).

Nesses termos, a presente pesquisa defende a linha definida por Daniellou (2002) na qual os elementos do modelo da racionalidade técnica e do modelo de negociação dos constrangimentos podem ser trabalhados em conjunto. Dessa forma também acredita-se que a ergonomia, e nesse caso específico, com o apoio da simulação humana digital, deve influenciar os processos de projeto, para favorecer uma concepção das situações de trabalho eficaz e compatível com o bem-estar dos trabalhadores, através de uma ação precoce e ampla, definida pelos objetivos da intervenção ergonômica.

Esse tipo de ação sugere a proposição de uma abordagem contextualizada para maximizar a potencialidade de contribuições de um *software* de modelagem e simulação humana digital durante o processo de projeto de situações produtivas. Essa contextualização pode ser observada na Figura 5-1.

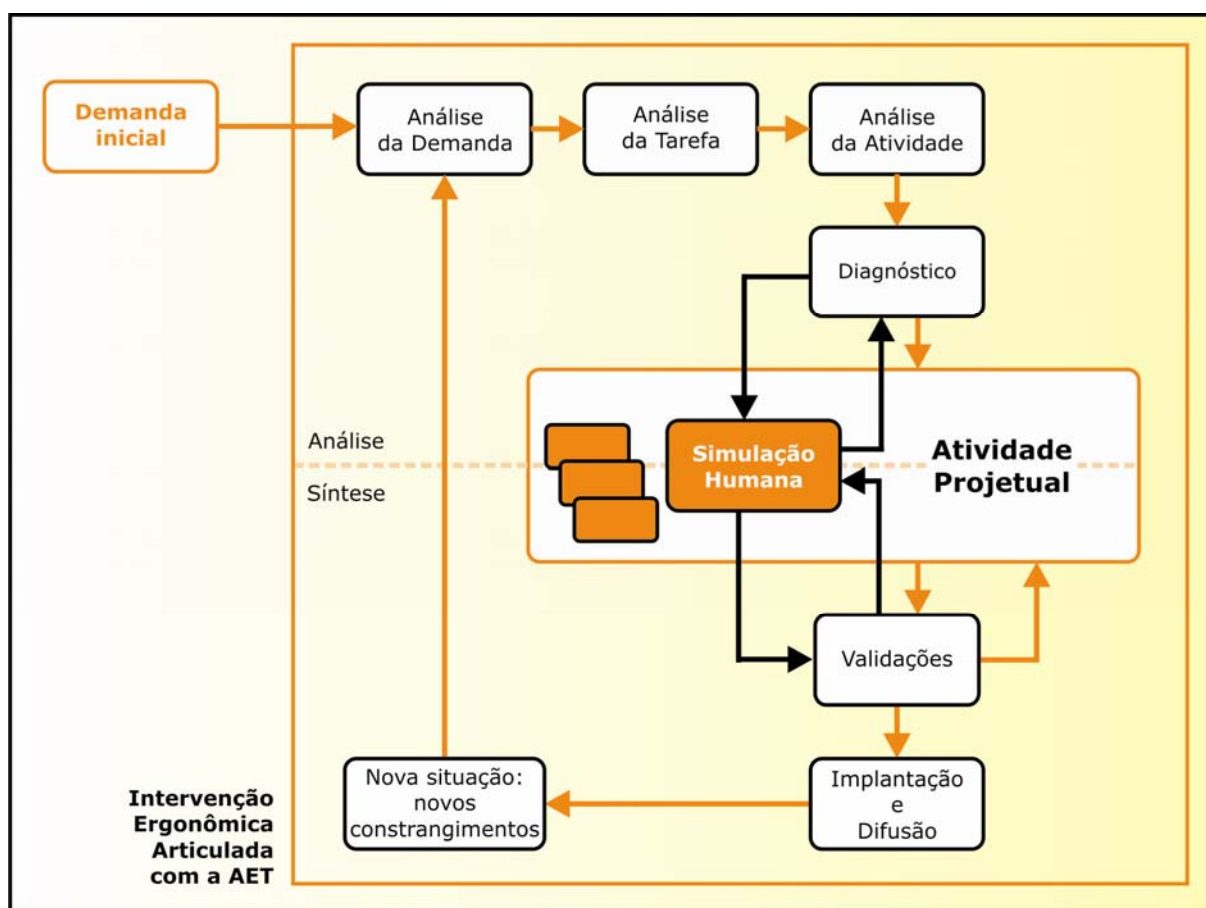


Figura 5-1: Contextualização da contribuição da simulação humana em um processo de intervenção ergonômica.

A ilustração sugere que, a partir de uma demanda inicial, a intervenção ergonômica busca a compreensão e construção de um diagnóstico por meio da AET, para, em seguida, iniciar formalmente as atividades relacionadas a projeto.

Dentro desse contexto, a **simulação humana** serve como ferramenta de apoio à **atividade projetual**, permitindo criar diferentes cenários e confeccionar análises a partir do

diagnóstico e compreensão obtidos nas etapas anteriores da AET (**análises da demanda, tarefa e atividade**). Por outro lado, serve como ferramenta de comunicação e **validação** do próprio **diagnóstico** e dos projetos desenvolvidos, seja por meio de análises biomecânicas ou pela percepção e participação dos atores envolvidos no processo.

A atividade projetual deve utilizar-se das validações baseadas tanto em simulações humanas, quanto em outras formas de avaliação (análises biomecânicas e questionários de percepção, por exemplo), para gerar as especificações técnicas que resultarão na implantação e difusão da nova situação produtiva.

O processo participativo, seja auxiliando a compreensão da atividade, ou participando diretamente no projeto, implica em confrontações de diferentes mundos-objeto, os quais necessitam de um espaço de discussão e de construção de consensos, acordos e deliberações no decurso do projeto (BUCCIARELLI, 1996).

Tal compreensão demanda mecanismos que permitam a integração do grupo na construção coletiva do problema de projeto e do campo de soluções possíveis, partindo da realidade da situação e considerando as diferentes interpretações dos envolvidos (operadores dos postos de trabalho, chefias, gerências, pesquisadores, entre outros), criando espaços para tomadas de decisões e validações (MENEGON, 2003).

Ainda nessa linha, Torres (2007) afirma que a concepção de instalações industriais ocorre em grupos participativos, com a ocorrência de atividades desestruturadas e onde mundos-objetos negociam para manifestar parte de sua visão. Para o autor, cada mundo-objeto, ao entrar em contato com outra solução estruturada, pode estabelecer um diálogo em que as diferenças explicitam pontos críticos importantes, podendo ser tratadas de maneira preventiva.

É importante observar que a possibilidade de contribuição da tecnologia sob estudo está diretamente relacionada à qualidade das relações das diferentes etapas, principalmente, entre a atividade projetual e as análises ergonômicas. Por tal razão, conclui-se que *o cenário ideal de uma intervenção dessa natureza deva contar com os projetistas e ergonomistas participando ativamente, desde as primeiras análises até as validações do projeto desenvolvido, do processo de implantação e difusão dos artefatos concebidos, sendo altamente recomendável uma nova análise do ambiente de trabalho transformado, pois este irá revelar novos estrangimentos, configurando um ciclo contínuo.*

5.2 Limitações da ferramenta e dificuldades operacionais

Os resultados apresentados mostram que a utilização dessa tecnologia, de forma estruturada e baseada conceitualmente, pode ser considerada um instrumento auxiliar na busca pela consideração antecipada de questões ergonômicas relativas ao ser humano e sua interação com o ambiente. No entanto, torna-se necessária a compreensão de que tal ferramenta é própria da ergonomia clássica anglo-saxônica, de caráter altamente tecnicista, com ênfase em fatores biomecânicos, antropométricos e geradora de análises quantitativas.

Nesse sentido, uma questão que deve sempre ser considerada, nesse tipo de simulação, é que os “trabalhadores digitais fazem somente o que nós pedimos para eles fazerem”.

As dificuldades relacionadas aos dados antropométricos e ao processo de modelagem humana também foram abordadas no capítulo anterior, tendo como base as aplicações práticas desenvolvidas. Como visto, a falta de pesquisas antropométricas atualizadas e adequadas ao uso para simulação humana, tanto com relação à abrangência da população considerada, quanto às variáveis levantadas, pode ser considerada a principal barreira para usuários dessa tecnologia nesse aspecto. Outro desafio relevante é a modelagem dos manequins digitais humanos que possuem lógicas internas fechadas e necessitam de procedimentos complexos e extensos para obter resultados satisfatórios e validar os manequins gerados.

Com relação ao processo de simulação humana e criação de animações, as dificuldades que envolvem esse processo são salientadas pela inexistência de versões de visualização do Jack, obrigando que o manuseio dos arquivos, gerados pelo *software*, somente possam ser realizados nos computadores que contenham a licença do mesmo. Como na maioria das vezes torna-se inviável o transporte do computador para realização de reuniões e visitas técnicas aos locais sob projeto, compromete-se a participação do grupo de trabalho na construção das simulações, tornando necessária a exportação da simulação no formato de imagens e vídeos.

Além das limitações e dificuldades citadas, um aspecto que inibe a adoção dessa tecnologia em um maior número de empresas e instituições é a baixa difusão e possibilidade de troca de informações e experiências com outras empresas, instituições e usuários. Esse comportamento com relação a outras ferramentas computacionais é cada vez mais comum e ocorre, formalmente, em feiras e congressos e, de maneira informal, através de

fóruns e *sites* de internet. Uma possibilidade para reverter tal quadro, e que já ocorre internamente ao departamento onde se encontra o grupo Ergo&Ação, é a maior presença no meio universitário, buscando apresentar tal tecnologia durante a formação dos profissionais que irão atuar nas áreas de ergonomia, projetos de produto e de postos de trabalho.

Uma das razões que podem ser citadas como responsável por essa baixa adoção, além da inexistência de versões de demonstração ou acadêmicas, é o custo inicial de uma licença do *software* para uma estação de trabalho, que ultrapassa cem mil reais.

Por fim, questões como usuários bem treinados, necessidade de *know-how* nas áreas de projeto, ergonomia, biomecânica e computação, além da capacidade de análise e síntese dos resultados gerados, são requisitos necessários, e, portanto, desafios para utilização desta tecnologia.

5.3 Limitações e continuidade da pesquisa

Pode-se considerar que a presente pesquisa possui duas limitações bem claras e distintas. A primeira faz referência aos estudos de caso apresentados, pois possuem características muito específicas, tanto no que diz respeito às empresas, quanto ao modo que o processo de projeto ocorreu. No entanto, acredita-se que esse trabalho pode servir como referência conceitual, teórica e prática, auxiliando a compreensão e concepção de outras situações e ambientes produtivos.

A segunda limitação diz respeito ao uso restrito de apenas um *software*, sem a possibilidade de comparação prática entre diferentes programas computacionais. Apesar disso, acredita-se que os resultados obtidos são úteis, por analogia, a outros programas computacionais, essencialmente, no que se refere à discussão da contextualização da contribuição dessa tecnologia em uma intervenção ergonômica.

De qualquer forma, permanece o limite temporal para as conclusões levantadas, fundamentalmente, devido ao rápido avanço na área de tecnologias computacionais e pelas estratégias definidas pelas grandes empresas de *software*, no que se refere tanto a aquisições de *software* concorrente, atualizações (*upgrades*), quanto às atuais fusões com outros programas e pacotes computacionais, criando sistemas computacionais compostos por módulos que interagem entre si.

No que tange à continuidade desta pesquisa, pretende-se eliminar a limitação criada com o foco em apenas uma ferramenta computacional, elevando a discussão para campos teóricos, os quais, independentes da evolução da tecnologia, poderão ser aplicados no desenvolvimento de projetos que contemplem a atividade com as ferramentas disponíveis. Vislumbra-se, também, a construção de conhecimentos a respeito da concepção de novas unidades produtivas, a partir de autores como Daniellou (2002) e Garrigou et al. (2001) que propõem o uso de situações de referência e simulação da atividade futura provável, para inserção eficaz do ergonômista no processo de concepção. A Figura 5-2 ilustra uma articulação metodológica que se pretende discutir em futuras pesquisas e que, com relação ao modelo apresentado por Garrigou et al. (2001) na Figura 2-9, possui diferentes relacionamentos.

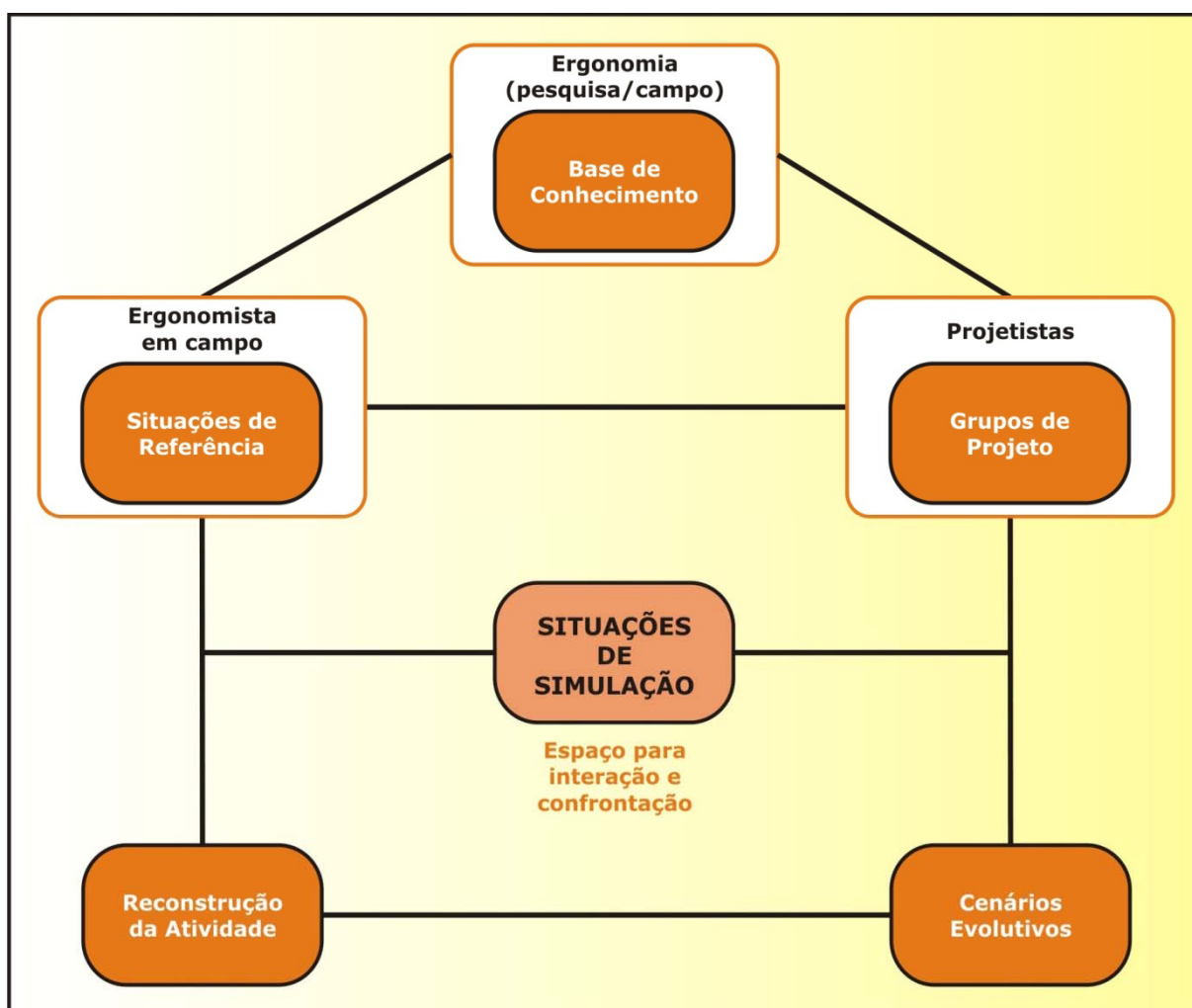


Figura 5-2: Articulação metodológica e conceitual visando a condução de processos de projeto.

A **Base de Conhecimento** representa um *locus* de acúmulo de referências derivadas das experiências projetuais e dos estudos de ergonomia na indústria. Os **Grupos de Projeto** representam os diferentes atores sociais que interagem na concepção das situações de

trabalho futuras, oriundos de diversas áreas técnicas especializadas. A intermediação entre a base de conhecimento disponível e os grupos de projeto ocorre através de treinamentos e cursos específicos para tais grupos.

No entanto, é importante salientar que, ao contrário do modelo definido por Garrigou et al. (2001), onde os autores pressupõem que os projetistas possuem os conhecimentos sobre o homem no trabalho, esta consideração não é verificada nas experiências práticas vivenciadas. Isso ocorre devido às preocupações e objetos de interesse que tais profissionais possuem, isto é, cada um com seu mundo-objeto.

Faz-se necessária, portanto, a presença do ergonomista que conheça as **Situações de Referência** e esteja envolvido no processo de projeto para fornecer tais conhecimentos aos projetistas conforme o andamento do processo e retro-alimentando a base. Ainda na articulação proposta, a **Reconstrução da Atividade** designa as pesquisas que visam recompor, a partir das análises pontuais, o conjunto de condicionantes da atividade, e possibilitam a construção de diversos **Cenários Evolutivos** articulando ergonomistas e projetistas durante as diferentes etapas do processo de projeto.

Tais cenários são de fundamental importância e necessitam de maior atenção por parte dos ergonomistas e projetistas. A eficiência na geração conceitual, desenvolvimento preliminar e análise de cada cenário são determinantes para o sucesso da articulação proposta em projetos com restrição de tempo. Tal perspectiva representa uma das principais limitações do *software* Jack no projeto de situações produtivas de forma articulada com outros métodos, como a AET, por exemplo, e pela limitação da participação dos diversos interessados no projeto durante a concepção da simulação.

Nesse contexto, as **Situações de Simulação** constituem os momentos específicos em que ergonomistas e os grupos de projeto, gestores e operadores, isto é, os *stakeholders*, interagem sobre o cenário de simulação, estabelecendo-se assim, um espaço apto e benéfico para interações e validações, seja através de protótipos e representações físicas ou maquetes, protótipos e simulações computacionais, como, por exemplo, a modelagem e simulação humana digital.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-MALEK, K. et al. Towards a new generation of virtual humans. **International journal of human factors modelling and simulation**, v. 1, n. 1, p. 02-39, 2006.

ASSMANN, E.; RANEZANI, H. The use of virtuality in car development. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

BERTONCELLO, D. et al. Utilização de instrumento para caracterização de fatores de risco: resultados de uma aplicação em larga escala em linhas de produção. In: ABERGO, 13, 2004, Fortaleza, Ceará, Brasil. **Anais...** Fortaleza: ABERGO, 2004. CD-ROM.

BRAATZ, D. et al. Aplicação de dados antropométricos bidimensionais na construção de manequins humanos tridimensionais. In: ABERGO, 12, 2002, Recife, Pernambuco, Brasil. **Anais...** Recife: ABERGO, 2002. CD-ROM.

BRAATZ, D. et al. Aplicações de tecnologia de simulação humana em projetos de situações produtivas. In: ENEGEP, 27, 2007, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. **Anais...** Foz de Iguaçu: ENEGEP, 2007. CD-ROM.

BRAATZ, D. et al. Avaliação da aplicação de modelagem e simulação humana em projetos de postos de trabalho em estudo ergonômicos. In: ABERGO, 14, 2006, Curitiba, Paraná, Brasil. **Anais...** Curitiba: ABERGO, 2006. CD-ROM.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Instituto Nacional de Tecnologia. **Manual de aplicação dos dados antropométricos do Ergokit**, Rio de Janeiro, 1995. CD-ROM.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Manual de aplicação da norma regulamentadora 17**. 2. ed. Brasília: MTE/SIT, 2002.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego; Instituto Nacional de Tecnologia; **Pesquisa antropométrica dos empregados ocupados nos setores da produção e montagem da Embraer**. Rio de Janeiro, 2001. CD-ROM.

BRASIL. Ministério do Trabalho; Portaria MTPS / GM nº. 3751 de 23 de novembro de 1990. Ltr.54-12/1474-NR17- Ergonomia. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1990.

BUBB, H. Progresses on the way to a dynamic model. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

BUCCIARELLI, L. **Designing engineers**. Massachusetts: MIT press, 1996. 230 p.

CAMAROTTO, J.A. **Estudo das relações entre o projeto de edifícios industriais e a gestão da produção**. 1998. 246 p. Tese (Doutorado em Arquitetura Industrial) - FAU, USP, São Paulo, 1998.

CASTILLO, J. J.; VILLENA J. (Org.). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa: Dinalivro, 2005. 431 p.

CENTER FOR ERGONOMICS. **3DSSPP User's manual**. Ann Harbor: University of Michigan, 2008. 120 p. Disponível em: <<http://www.engin.umich.edu/dept/ioe/3DSSPP/download.html>>. Acesso em: 01/mar/2008.

CHAFFIN, F. B.; ANDERSON, G. B. J.; MARTIN, B. J. **Biomecânica ocupacional**. Belo Horizonte: Ergo, 2001. 570 p.

CHEREDNICHENKO, A.; ASSMANN, E.; BUBB, H. Experimental study of human ingress movements for optimization of vehicle accessibility. In: IEA, 16, 2006, Maastricht. **Proceedings...** Maastricht: IEA, 2006. CD-ROM.

CHOI, C. et al. Comparison of visibility measurement techniques for forklift truck design factors. **Applied ergonomics**, v. 40, n. 2, p. 280-285, 2009.

COUTU, E.; MARGARITIS, A.; HACHEZ, G. Validation of the anthropometric data acquisition module of safework. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

DANIELLOU, F. A análise da atividade futura e a concepção de instalações externas. In: DUARTE, F. (Org.). **Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: Lucerna, 2002. p. 75-83.

DANIELLOU, F. A análise do trabalho: critérios de saúde, critérios de eficácia económica. In: CASTILLO, J. J.; VILLENA J. (Org.). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa: Dinalivro, 2005. p. 233-245.

DAS, B.; SENGUPTA, A. K. Industrial workstation design: a systematic ergonomics approach. **Applied ergonomics**, v. 27, n. 3, p. 157-163, 1996.

DASSAULT SYSTÈMES. **Catia V5R18 fact sheet**. Disponível em: <<http://www.3ds.com>>. Acesso em: 01/mar/2008.

DEJOURS, C. **O fator humano**. Rio de Janeiro: FGV, 2002.

DOPLER, F. Trabalho e saúde. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. p. 47-58.

DUARTE, F. Complementaridade entre ergonomia e engenharia em projetos industriais. In: _____ (Org.). **Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: Lucerna, 2002. p. 11-21.

ERGO&AÇÃO. **Ergonomia e projeto**. São Carlos: UFSCar/DEP, v.1, 2003b. 50p. Disponível em: <<http://www.simucad.dep.ufscar.br>>. Acesso em: 01/mar/2008.

ERGO&AÇÃO. **Fundamentos de ergonomia**. São Carlos: UFSCar/DEP, 2003a. 32p. Disponível em: <<http://www.simucad.dep.ufscar.br>>. Acesso em: 01/mar/2008.

ERIKSSON, J. **Possibilities and problems in using digital human models in ergonomics**. Lund: Dept. of Design Sciences; Lund Institute of Technology. Disponível em: <<http://www.simucad.dep.ufscar.br>>. Acesso em: 01/mar/2008.

FALZON, P. Natureza, objetivos e conhecimentos da ergonomia. In: _____ (Ed.). **Ergonomia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. p. 03-19.

FARREL, K. **Kinematic human modeling and simulation using optimization-based posture prediction**. 2005. 93 p. Dissertação (Mestrado). The University of Iowa, Iowa, 2005.

FEYEN, R. et al. Computer-aided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design. **Applied ergonomics**, v. 31, n. 3, p. 291-300, 2000.

FONTES, A. R. M. et al. Projeto de guichê de atendimento contextualizado pela análise ergonômica do trabalho. **GEPROS gestão da produção, operações e sistemas**, v. 2, p. 111-124, 2006.

FORD. **Press release**. Disponível em: <<http://www.ford.com>>. Acesso em: 01/jul/2008.

GARRIGOU, A. et al. Contribution et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception. **Pistes**, Montreal, v.3, n.2, 2001. Disponível em: <<http://www.pistes.uqam.ca>>. Acesso em: 01/ jul/2008.

GIRONIMO, G.; LANZOTTI, A.; VANACORE, A. Concept design for quality in virtual environment. **Computers & graphics**, v. 30, p. 1011-1019, 2006.

GM. **Press Release**. Disponível em: <<http://www.gm.com>>. Acesso em: 01/ jul/2008.

GODWIN, A. A. et al. Virtual design modifications yield line-of-sight improvements for LHD operators. **International journal of industrial ergonomics**, v. 38, p. 202-210, 2008.

GODWIN, A.; EGER, T. Using virtual computer analysis to evaluate the potential use of a camera intervention on industrial machines with line-of-sight impairments. **International journal of industrial ergonomics**, v. 39, n. 1, p. 146-151, 2008,

GOMES DE SÁ, A.; ZACHMANN, G. Virtual reality as a tool for verification of assembly and maintenance processes. **Computers & graphics**, v. 23, p.389-403, 1999.

GUÉRIN, F. et al. **Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 200 p.

HANSON, L. Computerized tools for human simulation and ergonomic evaluation of car interiors. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

HAPPEE, R.; VERVER, M. M.; LANGE, R. Simulation of human seated postures and dynamic seat interaction in impact conditions. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

HARTUNG, J.; BALZULAT, J.; BUBB, H. an experimental setup to parameterize and simulate upholstered seats. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

HELIN, K. et al. **OSKU digital human model in the participatory design approach**: a new tool to improve work tasks and workplaces. Tampere: Technical Research Centre of Finland, 2007. 40 p. Disponível em: <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2007/W83.pdf>>. Acesso em: 01/mar/2008.

HUBKA, V.; EDER, E. **Design science**: introductions to the needs, scope and organization of engineering design. London: Springer, 1996. 251 p.

HUMANCAD. **Nexgen ergonomics**. Disponível em: <<http://www.nexgenergo.com>>. Acesso em: 01/mar/2008.

IEA - INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. **What is ergonomics?** Disponível em: <<http://www.iea.cc/>>. Acesso em: 13/out/2008.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. 2ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 614 p.

JACKSON, M. A participação dos ergonomistas nos projetos industriais. **Produção**, São Paulo: n. especial, pp. 61-70, 2000.

JAYARAM, U. et al. Introducing quantitative analysis methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations. **Computers in industry**, v. 57, p. 283–296, 2006.

JONES, P. R. M. Three-dimensional surface anthropometry: applications to the human body. **Optics and lasers in engineering**, v. 28, p. 89-117, 1997.

LÄMKULL, D.; HANSON, L.; ÖRTENGREN, R. The influence of virtual human model appearance on visual ergonomics posture evaluation. **Applied ergonomics**, v. 38, n. 6, p. 713-722, 2007.

LARING, J.; FALK, K. J.; ÖRTENGREN, R. Computer aided workplace design: an approach to create a tool for the production engineer. **International journal of industry ergonomics**, v. 17, p. 323-330, 1996.

LEPLAT, J.; HOC, J. M. Tarefa e actividade na análise psicológica de situações. In: CASTILLO, J. J.; VILLENA J. (Org.). **Ergonomia**: conceitos e métodos. Lisboa: Dinalivro, 2005. p. 197-211.

LIMA, F. P. A.; JACKSON, J. M. F. Prefácio à edição brasileira. In: DANIELLOU, F. (Org.). **A ergonomia em busca de seus princípios**: debates epistemológicos. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

LINNER, S.; ROSSGODERER, U.; WUNSCH, A. Human modeling in the context of the digital factory. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

LOCZI, J. Application of the 3D CAD Manikin RAMSIS to heavy truck design. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

MACLEOD, I. S. Real-world effectiveness of ergonomic methods. **Applied ergonomics**, v. 34, n. 5, p. 465–477, 2003.

MARCOS, P. et al. Computer simulation for ergonomic improvements in laparoscopic surgery. **Applied ergonomics**, v. 37, n. 3, p. 251–258, 2006.

MÁSCULO, F. S. Ergonomia, higiene e segurança do trabalho. In: BATALHA, M. O. (Org.). **Introdução à engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p. 107-133.

MATTILA, M. Computer-aided ergonomics and safety: a challenge for integrated ergonomics. **International journal of industrial ergonomics**, v. 17, n. 4, p. 309-314, 1996.

MENEGON, N. L. et al. Ações ergonômicas em 10 passos: programa de adequação ergonômica dos postos de trabalho nas unidades industriais da Embraer. In: ABERGO, 13, 2004, Fortaleza, Ceará, Brasil. **Anais...** Fortaleza: ABERGO, 2004. CD-ROM.

MENEGON, N. L. et al. Pesquisa Antropométrica Embraer. In: ABERGO, 12, 2002, Recife, Pernambuco, Brasil. **Anais...** Recife: ABERGO, 2002. CD-ROM.

MENEGON, N. L. **Projeto de processos de trabalho: o caso da atividade do carteiro**. 2003. 259 p. Tese (Doutorado em Produto). COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

MONTMOLLIN, M. Ergonomias. In: CASTILLO, J. J.; VILLENA J. (Org.). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa: Dinalivro, 2005. p. 103-111.

PAHL, F; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. 2ed. London: Springer, 1996. 617 p.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores: um livro de consulta e referência para projetos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002. 320 p.

PASTURA, F. C. H. **Avaliação da criação e da difusão do banco de dados antropométricos e biomecânicos ERGOKIT**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

PHILLIPS, C. B.; BADLER, N. I. Interactive behaviors for bipedal articulated figures. **Computer graphics**, v. 25, n. 4, p. 359-362, 1991.

PORTER, J.M. et al. Computer aided ergonomics and workspace design. In: Wilson, J.R.; Corlett, E.N. (Eds.). **Evaluation of human work: a practical ergonomics methodology**. 2.ed. London: Taylor and Francis, 1995. pp. 574-620.

PUGH, D.S. **Total design: integrated methods for successful product engineering**. Wokinghan: Addison-Wesley Publishers Ltd; 1991, 278 p.

RAMSIS. **Human solutions**. Disponível em: <<http://www.human-solutions.com>>. Acesso em: 01/mar/2008.

SAFEWORK. **Dassault-Systèmes**. Disponível em: <<http://www.simucad.dep.ufscar.br>>. Acesso em: 01/mar/2008.

SAMMIE. **User's manual**. Loughborough: Loughborough University. Disponível em: <<http://www.safework.com/>>. Acesso em: 01/mar/2008.

SANTOS, J. et al. Using ergonomic software in non-repetitive manufacturing processes: a case study. **International journal of industrial ergonomics**, v. 37, n. 3, p. 267-275, 2007.

SEIDL, A. The ergonomic tool ANTHROPOS in virtual reality –requirements: methods, and realization. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

STEPHENS, A.M.; CHIANG, C.; JOSEPH, B. Human simulation and motion capture technology in the development of an ergonomic strategy. In: IEA, 16, 2006, Maastricht. **Proceedings...** Maastricht: IEA, 2006. CD-ROM.

SUNDIN, A.; CHRISTMANSSON, M.; ÖRTENGREN, R. Methodological differences using a computer manikin in two case studies: bus and space module design. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

TERSAC, G. MAGGI B. O trabalho e a abordagem ergonômica. In: DANIELLOU, F. (Org.). **A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004, p. 79-104.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**, 8. ed. São Paulo: Cortez, 1996. 132 p.

TONIN, L. A. et al. Aplicação de ferramenta computacional de simulação humana no projeto de uma mesa embaladora manual. In: ENEGEP, 27, 2007, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. **Anais...** Foz de Iguaçu: ENEGEP, 2007. CD-ROM.

TORRES, I. **Um formalismo relacional para o desenvolvimento de arranjo físico industrial**. 2007. 205 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). PPGE/DEP Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 2007.

TOSETTO, T.; MENEGON, N.L. Aplicação de dados antropométricos e variáveis biomecânicas na construção de bibliotecas de posturas para utilização em ambiente simulado. In: ENEGEP, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008. CD-ROM.

TRIEB, R. et al. 3D body scanning: systems, methods, and applications for automatic interpretation of 3D surface anthropometrical data. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

UGS. **JACK user manual version 4.1**. UGS Siemens. 2004. 143 p. CD-ROM.

UGS. **Tecnomatix**. Disponível em: <<http://www.ugs.com/products/tecnomatix/>>. Acesso em: 12/jan/2008.

VSR. **The virtual soldier research: digital human modeling and virtual reality for FCS**. Iowa: Program Center for Computer-Aided Design; College of Engineering; University of Iowa, 2004. 37 p. Technical Report No. VSR-04.02.

WILSON, J. R. Fundamentals of ergonomics in theory and practice. **Applied ergonomics**, v.31, n. 6, p. 557-567, 2000.

WILSON, J. R. Virtual environments applications and applied ergonomics. **Applied ergonomics**, v. 30, n. 1, p. 3-9, 1999.

WISNER, A. A metodologia em ergonomia: de ontem a hoje. In: CASTILLO, J. J.; VILLENA J. (Org.). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa: Dinalivro, 2005. p. 367-386.

WISNER, A. Questões epistemológicas em ergonomia e em análise do trabalho. In: Daniellou, F. (Org.). **A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. p. 30-53.

ZANONI, L. C. **Modelagem Humana Digital**. São Carlos: DEP/UFSCar. 27 p. Disponível em: <<http://www.simucad.dep.ufscar.br>>. Acesso em: 01/mar/2008. (Apresentação).

ZIOLEK, S. A.; KRUIHOF, P. C. J. Human modeling & simulation: a primer for practitioners. In: HFES, 44, 2000, San Diego, USA. **Proceedings...** San Diego: HFES, 2000. CD-ROM.

7 APÊNDICE A – descrição do software de modelagem e simulação humana JACK

Jack é uma ferramenta gráfica digital que permite simulações de vários parâmetros de situações reais de trabalho, visando o ambiente e, principalmente, a figura humana. Desta forma, o *software* é especialista na criação de “mundos virtuais”, através da criação de ambientes digitais tridimensionais que interagem com humanos digitais. Conforme apresentado no manual do usuário, da versão 4.1 (UGS, 2004), Jack destaca-se pelas seguintes aplicações:

- a) criação e visualização de *mock-ups* digitais de projetos;
- b) análises ergonômicas de projetos;
- c) estudo dos fatores humanos em postos de trabalhos simulados;
- d) avaliação de operações de manutenção;
- e) treinamento de usuários (operadores e manutenção).

O *software*, ao longo das duas últimas décadas, vem se aperfeiçoando na modelagem da figura humana, sendo este seu principal objetivo. As principais características presentes nas versões mais atuais, segundo seu fornecedor, são:

- a) sistema de modelagem de figuras articuladas: dados hierárquicos, um conjunto completo de biblioteca, constrangimentos ativos, detecção de colisões, simulação cinemática e dinâmica em tempo real;
- b) corpo humano: escalonamento antropométrico baseado em banco de dados ou em medições específicas; alta fidelidade cinemática de articulações complexas e modelo com mão e coluna plenamente articulados; agarra de forma automática objetos obedecendo contornos com precisão, biblioteca com inúmeras formas de agarrar (com diferentes posicionamentos dos dedos e articulações), locomoção a pé em trajetos, coordenação do conjunto cabeça-olho e comportamentos de equilíbrio postural;
- c) visualização em tempo real do ambiente: visualização interativa, em várias janelas, com luzes, câmeras, texturas e espelhos;
- d) completa renderização e animação do sistema: animação baseada em metas e produção frame a frame de forma automatizada de arquivos de filme;

- e) diversas extensões: linguagem macro, sistema de módulos, menus personalizáveis, e sistema embutido de programação em Python e Tcl/Tk;
- f) suporta sistema de realidade virtual completo: capacidade de imersão; suporta monitoramento integral em tempo real de movimentos do corpo, estéreo ativo e passivo; suporta *head-mounted displays* (HMDs – capacete para imersão) e *CyberGlove* (luva que coleta dados de posicionamento dos segmentos da mão).

A seguir são apresentadas as principais funcionalidades do *software*, sua interface, as opções disponíveis para modelagem de objetos e de manequins e, por fim, as simulações e análises disponíveis.

7.1 Interface Gráfica

O ambiente gráfico é composto de dois elementos, como mostrado na Figura 7-1. Em primeiro lugar, uma barra de controle que, por padrão, está localizada na parte superior da tela. A barra é composta por vários elementos, incluindo uma série de menus suspensos para a criação e edição de objetos e seres humanos, juntamente com ferramentas para a análise do trabalho. Além da barra de controle, existe uma janela gráfica que mostra uma visão do ambiente. Conforme necessário, janelas extras podem ser adicionadas para fornecerem diferentes pontos de vista do ambiente (BLANCHONETTE, 2006).

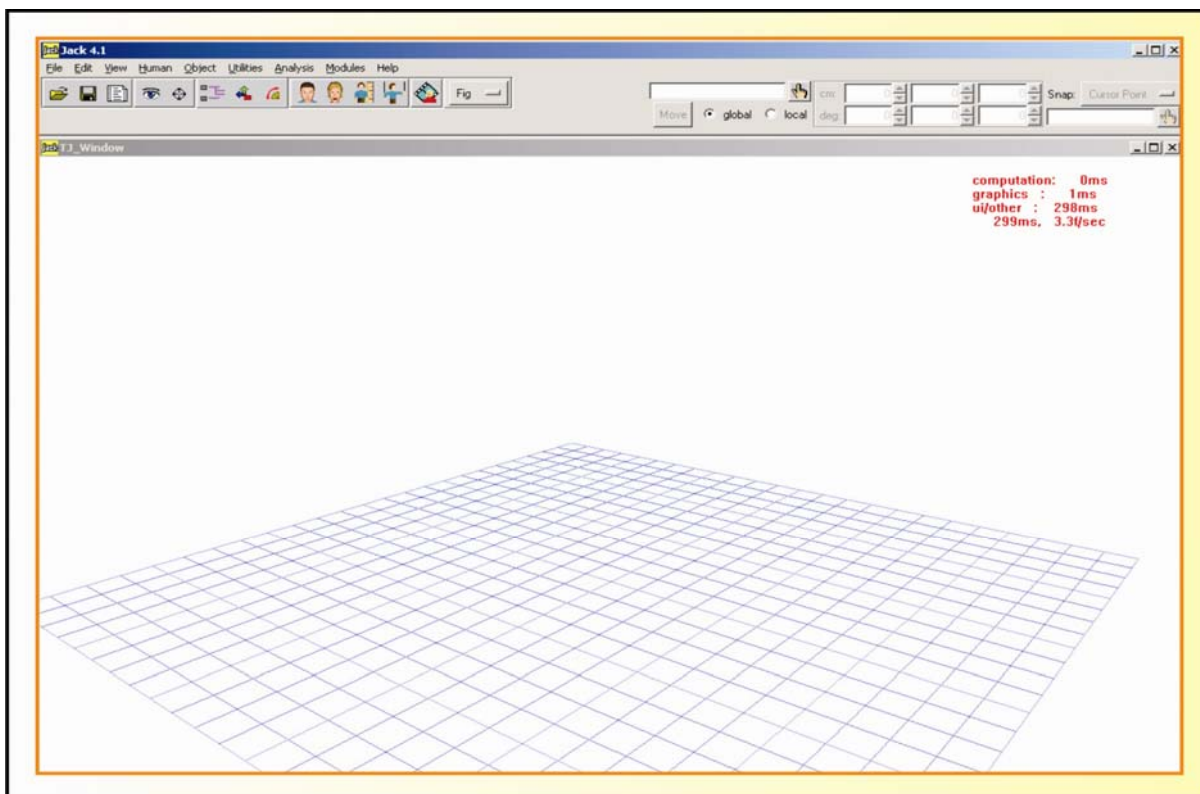


Figura 7-1: Interface gráfica do *software* Jack 4.1.

Uma das principais características de usabilidade é a forma de interação através do mouse. Para mover uma figura ao longo dos eixos X e Y, é necessário segurar o botão esquerdo do mouse e o botão direito, respectivamente. Para mover a figura para cima ou para baixo (ao longo do eixo Z), necessita-se usar o botão do meio. Uma seta vermelha indica a direção do movimento selecionado. Para rodar uma figura em torno de qualquer eixo, é utilizada a tecla “Shift” juntamente com um dos três botões do mouse. A referência (XYZ) pode ser relativa a uma referência global ou uma referência local, específica de um objeto.

A mesma lógica de interação é utilizada para alteração das vistas da janela gráfica. Desta forma, funções como *pan*, *zoom* e rotação de câmera são acionados pelos botões do mouse em conjunto com as teclas “Ctrl” e “Shift”.

A seleção de objetos pode ser realizada através de uma janela com todos os objetos e hierarquias ou ainda, através do mouse, configurando qual o tipo de objeto que se deseja selecionar. Essa definição tem como opções, por exemplo, seleção de figuras (de forma global) ou seleção específica de segmento, nó ou junta de uma figura.

7.2 Modelagem de Ambientes Virtuais 3D

A criação e a representação do espaço físico em computadores podem ser consideradas como o primeiro passo para a simulação humana e para a realidade virtual. Tal fato veio a ser incorporado à engenharia devido, principalmente, às ferramentas CAD, as quais vêm se renovando e conquistando espaço a cada dia.

Para a simulação de um “mundo digital” as características do ambiente são decisivas, influenciando positiva ou negativamente a percepção dos usuários do *software*, ergonomistas, projetistas e, principalmente, os futuros usuários do local simulado.

A seguir são apresentados tanto os recursos próprios do *software*, quanto a forma de integração com ferramentas CAD.

7.2.1 Recursos de modelagem do *software* Jack

Com vistas à modelagem de ambientes tridimensionais, o *software* apresenta duas opções para criação e inserção de objetos. A primeira forma é a criação de objetos simples, pré-definidos, possibilitando apenas a definição de características geométricas como altura, profundidade, raio, entre outras, conforme a Figura 7-2. Os objetos possíveis de serem criados desta maneira são esferas, cubos, prismas com base retangular, cilindros e cones. O objeto criado é inserido na origem do sistema de coordenadas.

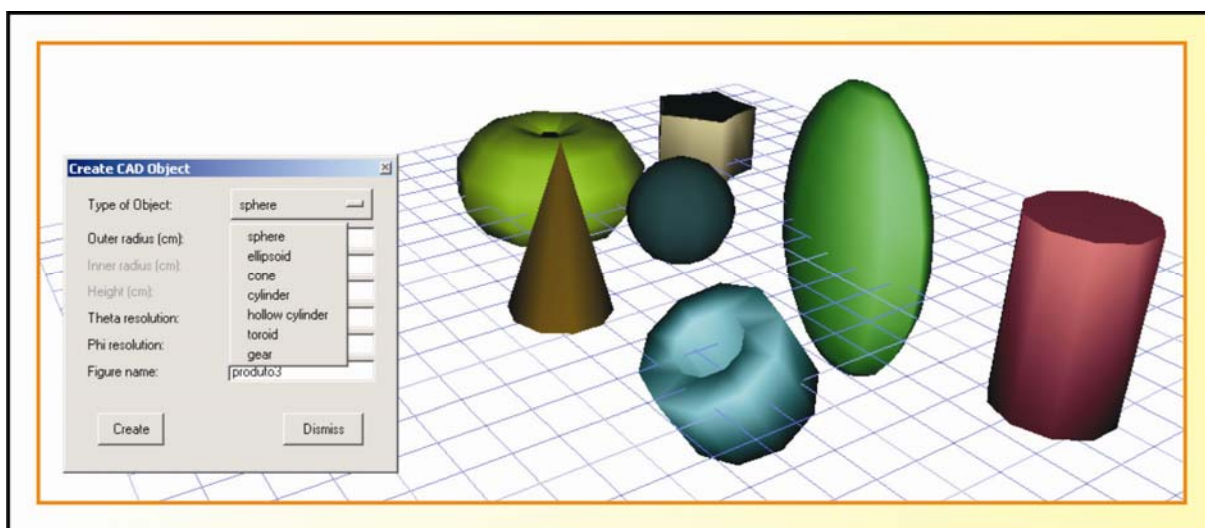


Figura 7-2: Janela de criação de objetos geométricos simples no Jack.

A outra opção para a construção de ambientes é a utilização da biblioteca existente. Esta apresenta alguns objetos típicos para simulações, como por exemplo, cadeiras, mesas, monitores, ferramentas manuais entre outros. A biblioteca é organizada por categorias, como mobiliário, ferramentas, formas primitivas e partes automotivas. A Figura 7-3 ilustra a inserção de um objeto a partir da biblioteca. Existe ainda a opção de incluir arquivos na biblioteca através do botão “*Manage Installed Files*”.

Apesar da diversidade apresentada pela biblioteca e as diferentes formas geométricas que o *software* permite criar, ambientes digitais 3D para interação com manequins necessitam, na maioria das vezes, de uma ampla e detalhada gama de objetos. Para suprir este déficit na modelagem, o *software* permite a importação de modelos complexos, criados em outras plataformas, principalmente em programas computacionais CAD.

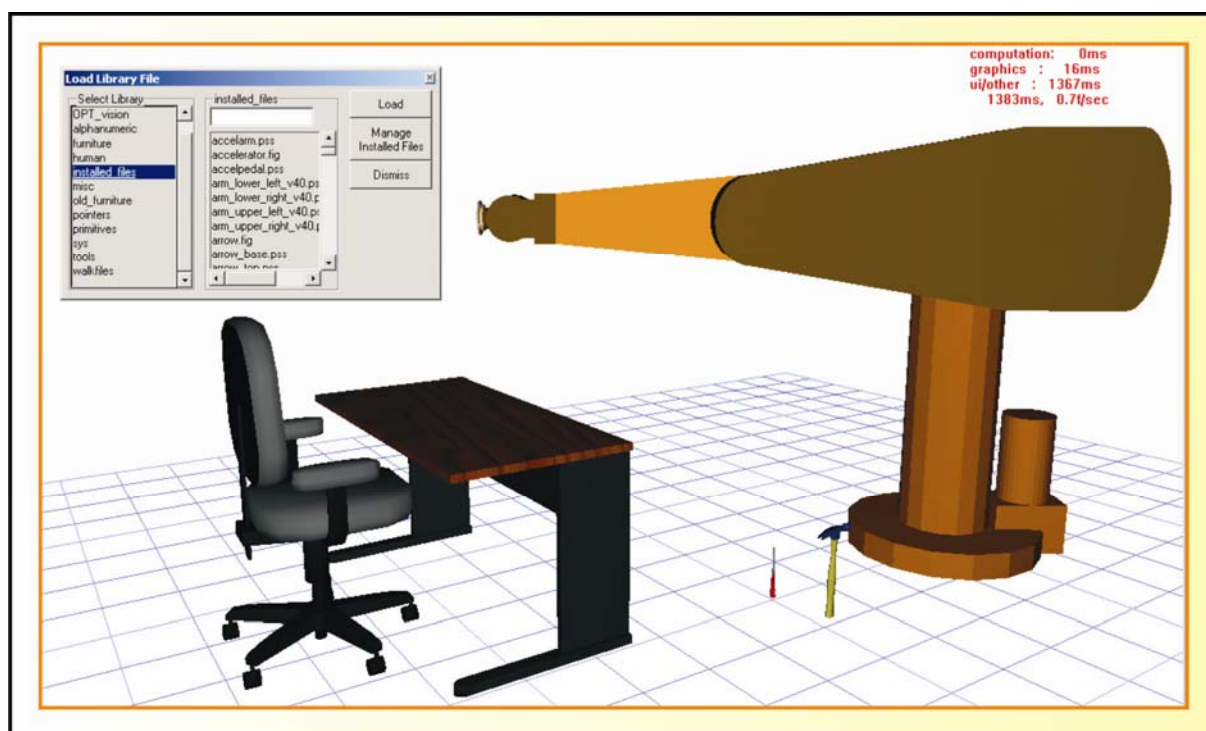


Figura 7-3: Inserção de objetos através da biblioteca disponível.

7.2.2 Importação de modelagem em CAD

Uma variedade de formatos de arquivo pode ser importada para o ambiente da simulação humana. O *software* permite ao usuário uma série de opções ao importar um

modelo (dependendo do tipo de arquivo a ser importado), como a posição e orientação do objeto, exibir linhas e pontos ou apenas superfícies, bem como o nome do arquivo e a localização dos dados.

O Jack 4.1 suporta importações de diversos formatos de arquivos. Os principais são:

- a) IGES (*Initial Graphics Exchange Standard*);
- b) VRML (*Virtual Reality Markup Language*);
- c) STL (*c*);
- d) Inventor 2.1 (.iv);
- e) Deneb IGRIP 1.2 parts (.igp).

Apesar de a lista ser extensa, é comum não conseguir importar os modelos diretamente do *software* original de criação. Isto ocorre porque o formato original do arquivo não é reconhecido (por exemplo, o formato DWG do AutoCAD) e devido à impossibilidade de exportação deste arquivo para um dos formatos possíveis.

Uma das formas de contornar esse tipo de dificuldade é adotar um terceiro *software* que permita a migração de um padrão não reconhecido para um dos formatos aceitos pelo Jack. A experiência com o uso desse *software*, aliada ao pré-domínio de algumas ferramentas de computação gráfica, permitiu definir um roteiro para importação de modelos com uma alta taxa de sucesso. A Figura 7-4 apresenta este roteiro.

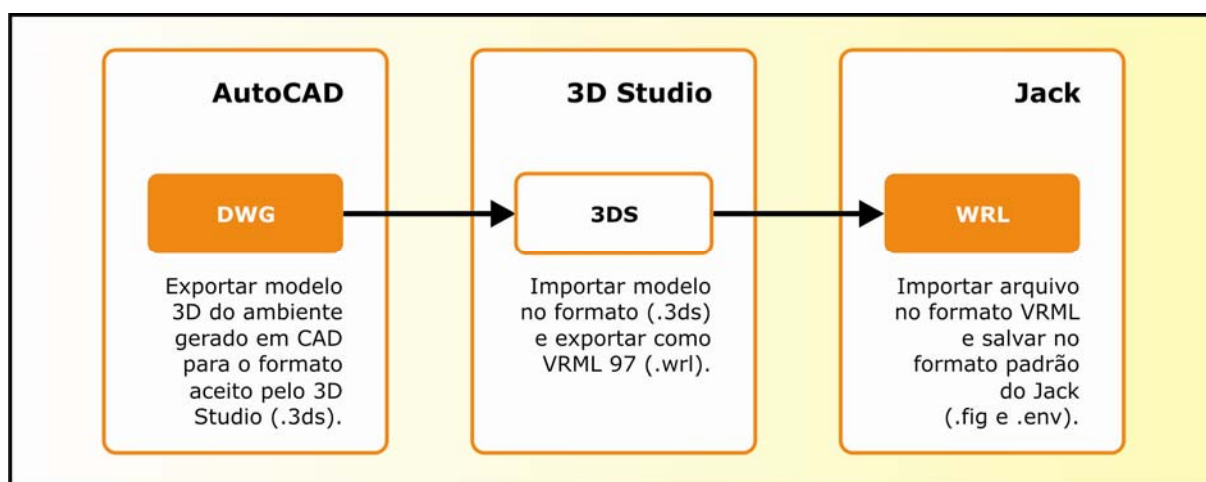


Figura 7-4: Passos para importação de modelo gerado em *software* CAD.

Ao longo deste processo, algumas considerações poderão minimizar a ocorrência de problemas e melhorar o desempenho e a qualidade da modelagem importada, como a escala do desenho original, localização na origem dos eixos *xyz* e o uso adequado dos *layers* (camadas).

Após a criação do ambiente, o próximo passo é “povoar” o mundo digital com manequins humanos digitais, por meio da modelagem humana.

7.3 Modelagem Humana

O processo de modelagem humana é determinante para eficiência da utilização das técnicas de simulação humana digital. Para que os resultados de simulações possam ser considerados válidos, é necessário que essa modelagem aproxime-se o quanto mais possível da realidade.

Como foi caracterizado anteriormente, o manequim do Jack é composto por 71 segmentos que fazem a representação da estrutura esquelética. Para representar o envoltório do esqueleto - como os músculos, pele, roupas e cabelo - o manequim apresenta 5182 polígonos. Atualmente o *software* Jack é considerado um dos melhores do mundo em modelagem humana, devido à complexidade que o *software* vem obtendo a cada nova versão. Na Figura 7-5 é possível observar a evolução do manequim.

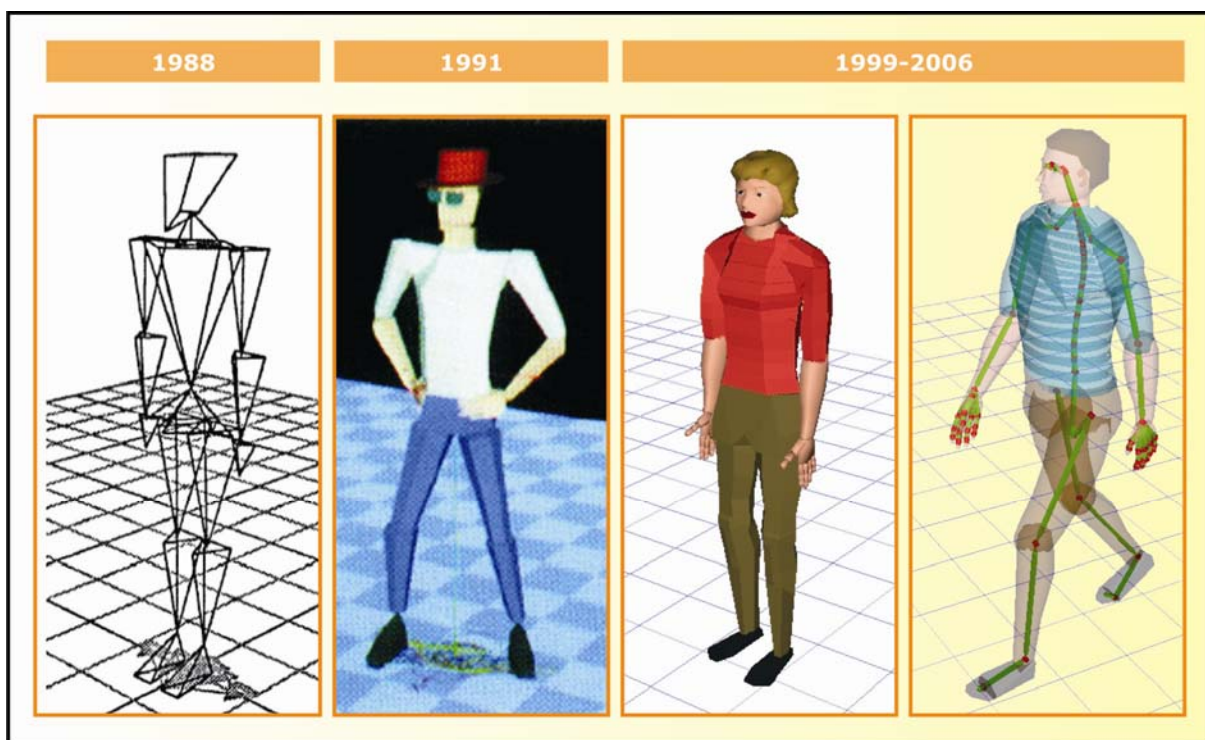


Figura 7-5: Evolução do manequim digital do Jack ao longo de suas versões.

O modelo pode suportar a cinemática inversa (*inverse kinematic*), característica que permite que um movimento executado no braço, por exemplo, reflita em um movimento

do ombro e assim por diante. A cinemática inversa procura determinar os valores das coordenadas articulares a partir da definição da localização do extremo do membro. O número de juntas do modelo busca representar a real estrutura do corpo humano, contendo simplificações em alguns pontos. Todas as juntas podem ser configuradas com os referidos graus de liberdade, assim como valores máximos e mínimos para cada DOF.

7.3.1 Dados antropométricos

As variáveis de entrada do *software* Jack, ilustradas na Figura 7-6, são:

- a) estatura;
- b) altura do nível dos olhos, em pé;
- c) altura do ombro em pé;
- d) altura do cotovelo fletido, em pé;
- e) altura do trochanter, em pé;
- f) alcance inferior máximo, em pé;
- g) altura da cabeça, sentado;
- h) altura do nível dos olhos, sentado;
- i) altura do ombro, sentado;
- j) altura do cotovelo fletido, sentado;
- k) altura das coxas, sentado;
- l) altura do joelho, sentado;
- m) alcance frontal máximo, sentado;
- n) comprimento antebraço-mão, sentado;
- o) profundidade do tórax, sentado;
- p) profundidade nádegas-joelho, sentado;
- q) largura do tórax entre axilas, sentado;
- r) comprimento interarticular ombro-cotovelo;
- s) comprimento interarticular cotovelo-punho;
- t) comprimento trochanter-joelho;
- u) comprimento interarticular joelho-tornozelo;
- v) comprimento máximo da mão;
- w) comprimento do membro superior.

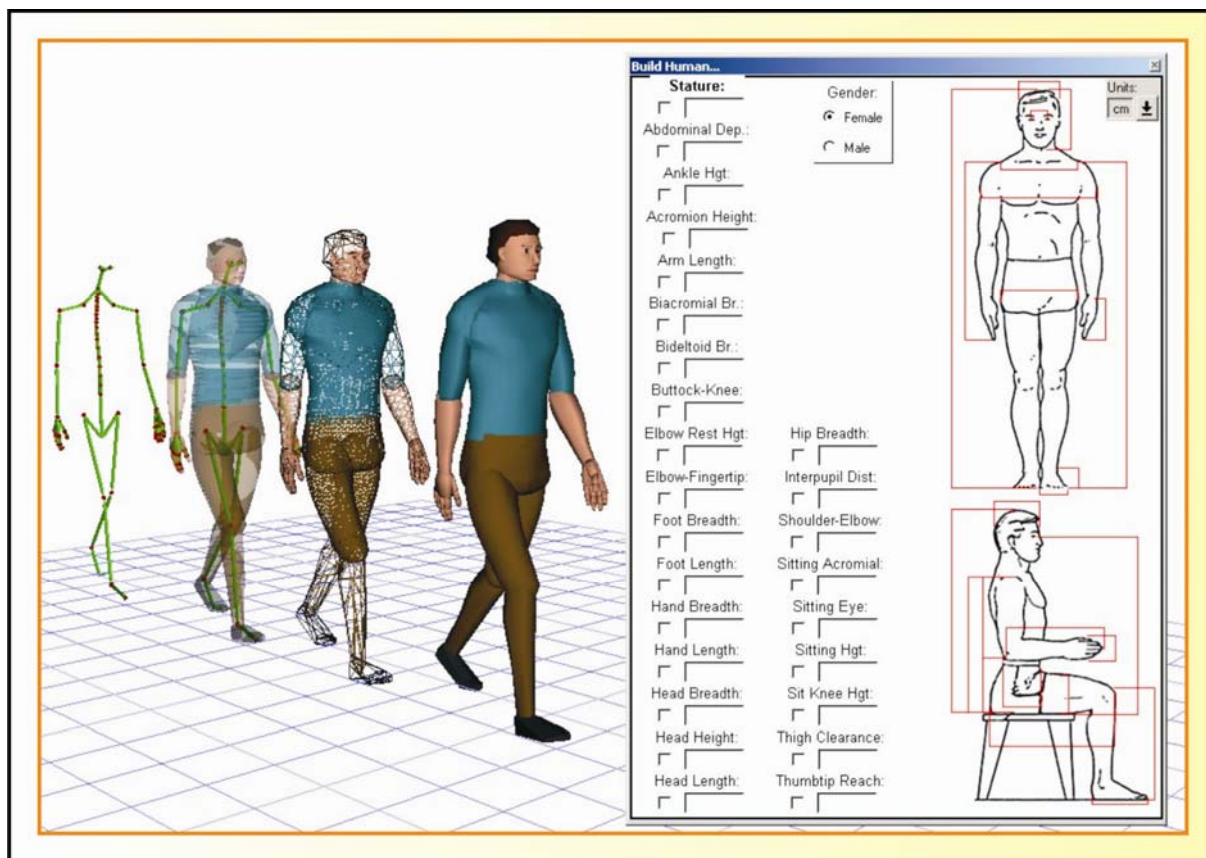


Figura 7-6: Variáveis antropométricas aceitas pelo Jack.

7.3.2 Construção de manequins humanos digitais

No *software* Jack há a possibilidade da caracterização do manequim de duas maneiras distintas, a *Construção Básica (Basic Scaling)* e a *Construção Avançada (Advanced Scaling)*. A forma básica possui um mecanismo semiautomático para definição de dados antropométricos. Após a definição do sexo, os valores da *altura* e do *peso* para o modelo são inseridos manualmente e os demais segmentos do corpo são escalados automaticamente, baseados nos dois valores informados. Essa é uma opção prática e simples de construção de manequins digitais; a janela correspondente a esta opção pode ser visualizada na Figura 7-7.

É possível observar na figura que ainda existe a opção “*Child*” para modelos digitais de crianças (definido a partir da idade em anos, porém ignorando o sexo) e as opções de “*Percentile*”, onde, selecionando o percentil desejado, é possível trabalhar com tamanhos representativos típicos da população. Esses percentis têm como referência o banco de dados original do *software*.

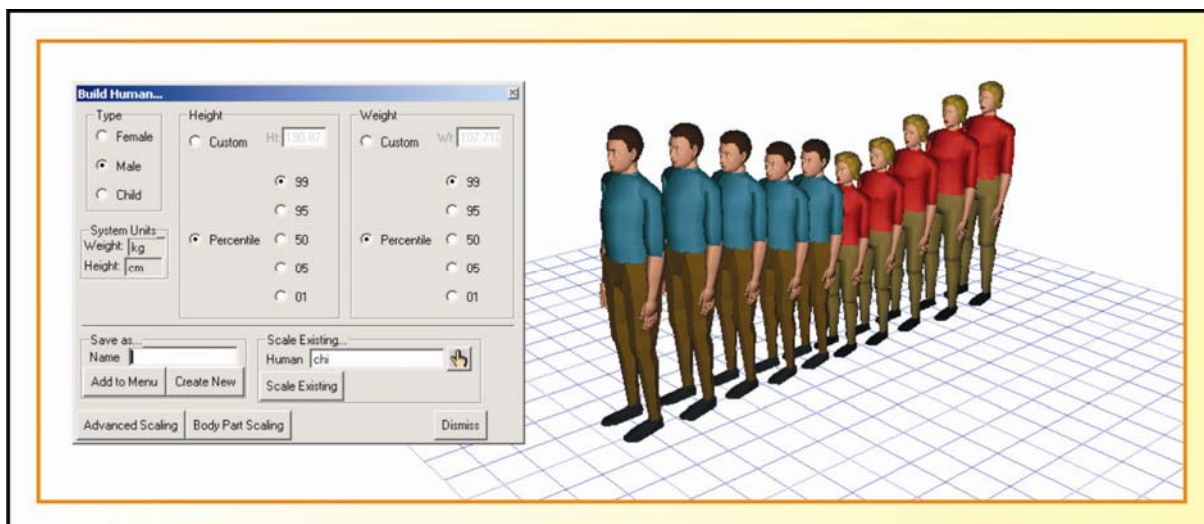


Figura 7-7: Janela “Build Human” para “Basic Scaling” com modelos humanos no Jack.

A construção básica, apesar da facilidade, não atende completamente aos usuários de simulação e projetistas de produtos, de postos de trabalho e de outros sistemas que envolvem o ser humano, principalmente se a análise e/ou validação a ser realizada envolve medições ou possibilidade de interferência na ordem de poucos centímetros. Isso ocorre devido ao cálculo aproximado realizado pelo *software* para representar o corpo humano, quando são considerados somente três fatores (sexo, peso e estatura). A aproximação pode resultar numa diferença significativa entre dimensões geradas pelo *software* e dimensões levantadas em pesquisas antropométricas.

A construção avançada permite o controle manual das variáveis de entrada com dados antropométricos. As dimensões de cada segmento do corpo podem ser incorporadas manualmente, para gerar um modelo antropométrico específico. Apesar da maior complexidade na construção, somente através dela é possível criar um modelo humano preciso e apto para ser utilizado na avaliação de ambientes onde o homem é fator chave na concepção do projeto.

A interface de entrada do Jack 4.1 possibilita a entrada de vinte e quatro variáveis do corpo humano, como pode ser observado na Figura 7-8.

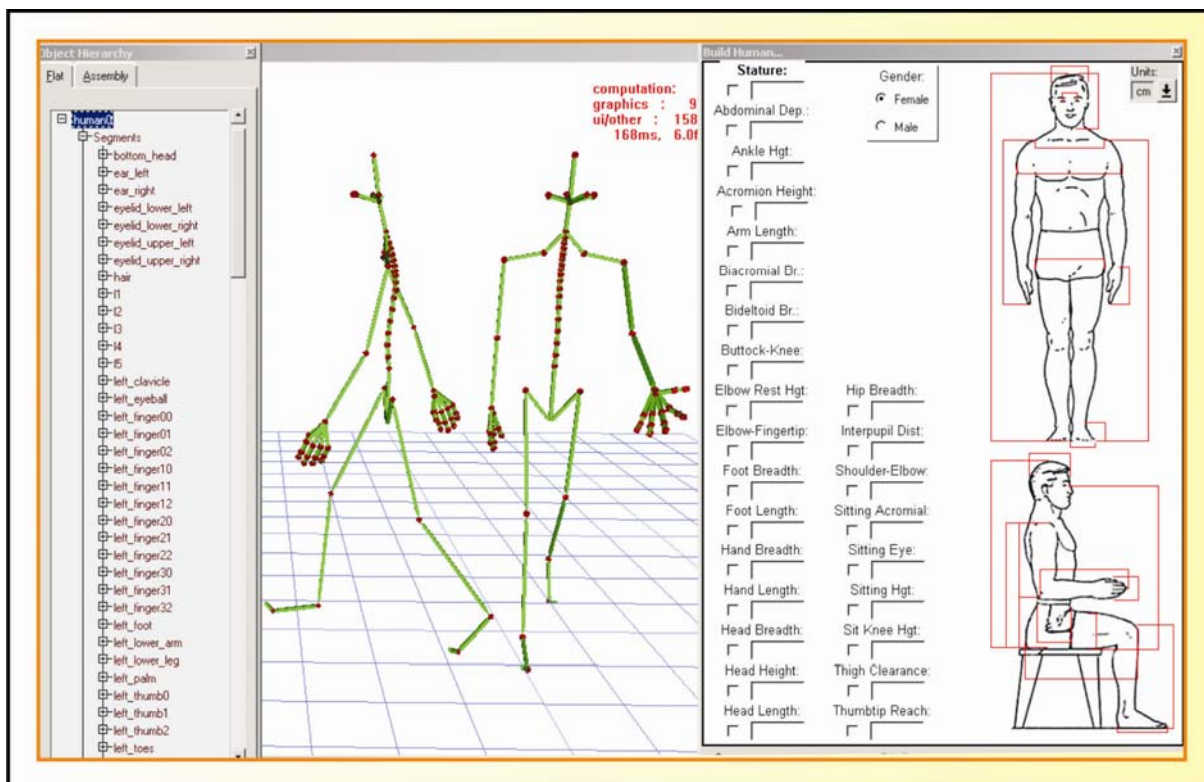


Figura 7-8: Janela “Build Human- Advanced Scaling” no Jack 4.1.

É importante observar que fatores como idade, sexo, dimensões antropométricas e questões musculares afetam a amplitude dos movimentos e, conseqüentemente, definem a capacidade de um indivíduo realizar uma tarefa mecânica.

7.4 Processo de Simulação Humana

O processo de simulação humana consiste em posicionar, movimentar e controlar o manequim de modo que este possa interagir com o meio no qual está inserido, da forma mais realista possível. Apresenta-se, em seguida, as principais formas de manipular um modelo humano digital no Jack.

7.4.1 Posturas pré-definidas

Para facilitar a manipulação dos modelos humanos, o Jack possui uma biblioteca de posturas pré-definidas. Ao utilizar estas posturas, cabe ao usuário do *software* o ajuste refinado da posição do manequim. A biblioteca possui, atualmente, 28 posturas pré-definidas; algumas delas estão ilustradas na Figura 7-9.

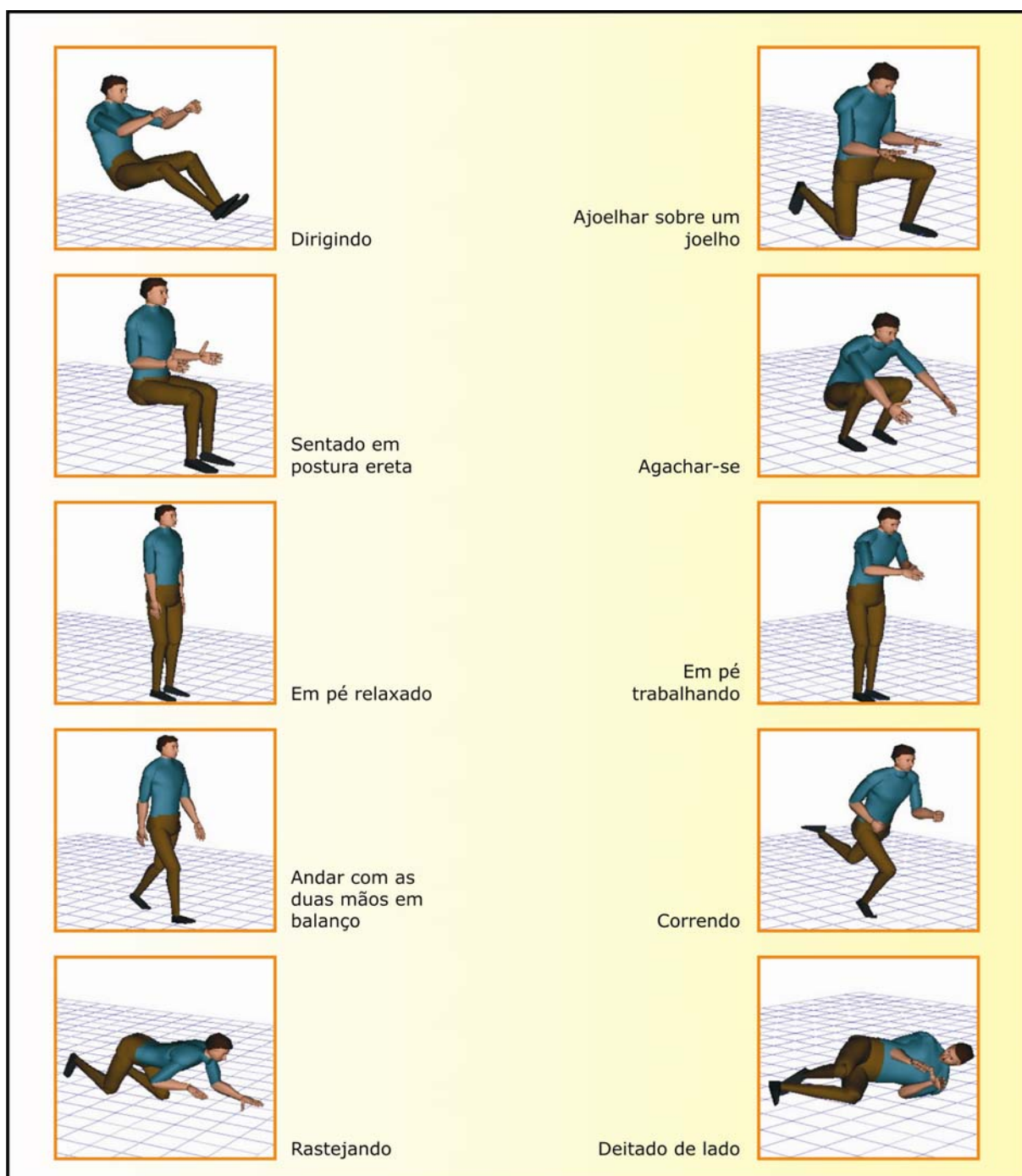


Figura 7-9: Principais posturas pré-definidas no Jack.

O *software* permite salvar posturas definidas pelo usuário, para uso posterior, visando a melhoria do desempenho do processo de simulação, principalmente, para posturas recorrentes e específicas.

7.4.2 Sistema de ajuste de juntas

Para definir uma postura de um modelo com maior precisão, o Jack possui um sistema de ajuste de juntas que possibilita a entrada de coordenadas para o posicionamento de cada junta do corpo do modelo. As juntas podem ser controladas em um, dois ou nos três eixos (xyz), conforme a disponibilidade e configuração da estrutura biomecânica. Na Figura 7-10 as juntas selecionadas são o ombro e o cotovelo esquerdo do manequim. É possível observar que para cada junta existem eixos com faixas de ajuste dos graus de liberdade.

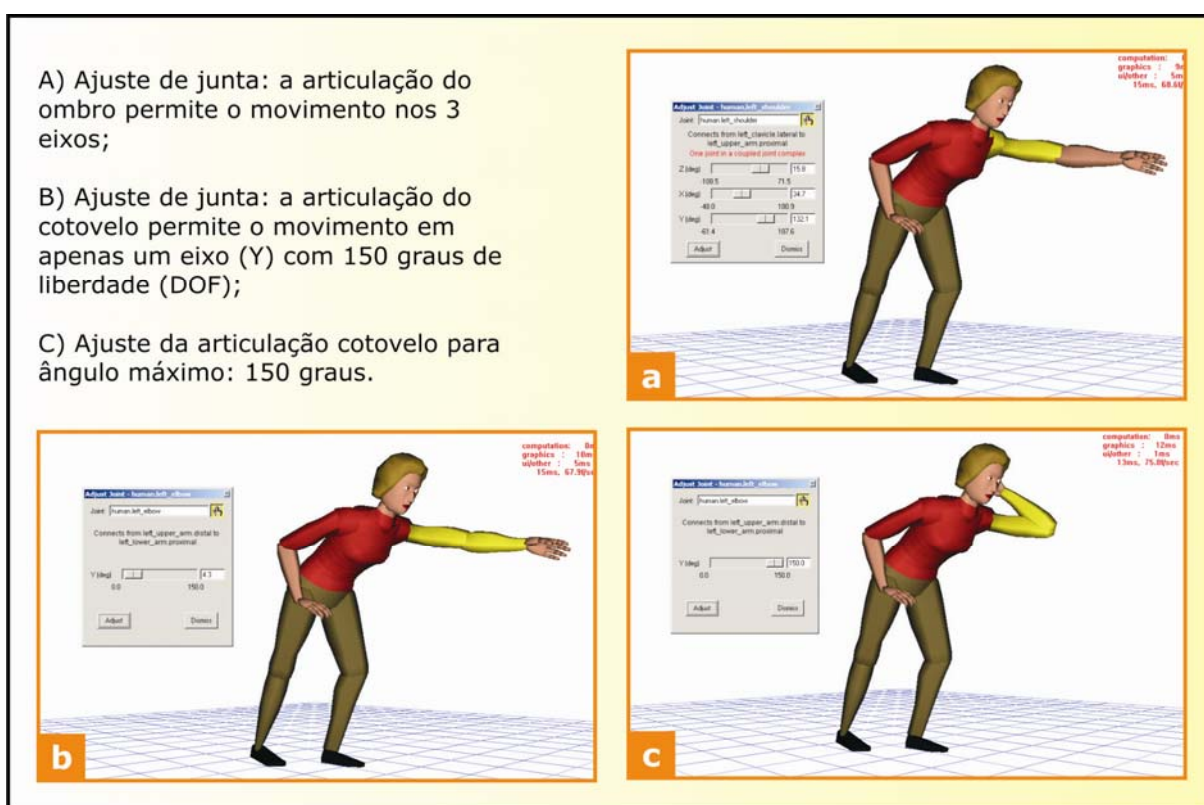


Figura 7-10: Ajuste fino das juntas conforme os graus de liberdade do manequim.

Cada junta dispõe de um número específico de graus de liberdade e uma amplitude para cada tipo de movimento. São consideradas ainda as limitações ocasionadas pelo posicionamento de outras partes relacionadas à junta que se pretende ajustar (lógica da cinemática inversa).

7.4.3 Sistema de controle humano

Com a grande quantidade de juntas e respectivos eixos que o manequim possui, seria trabalhoso fazer um ajuste completo do corpo humano. Para auxiliar e agilizar esta tarefa, o sistema de controle humano permite manipular partes do corpo do modelo, alterando diversos conjuntos de juntas e segmentos simultaneamente.

Na mesma janela, o *software*, além da manipulação, também permite definir o comportamento esperado dos movimentos do manequim, isto é, quais articulações estarão envolvidas e o impacto sobre o restante do corpo, conforme Figura 7-11.

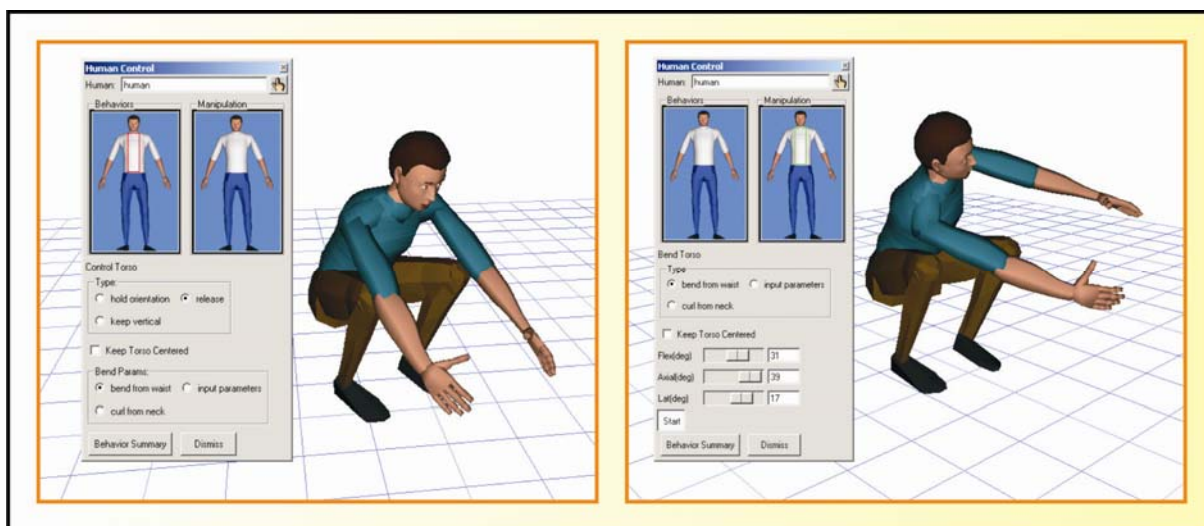


Figura 7-11: Janela para controle humano com painéis de comportamento (esquerda) e manipulação (direita).

As partes que podem ser manipuladas através do painel de *controle humano* (*human control*) são os braços, através de um ponto central da palma da mão, os pés, o centro de massa e pélvis, o conjunto cabeça-olhos, os ombros, o torso e o controle de “*behavior balance*” (opção na qual o modelo busca manter o centro de massa equilibrado).

7.4.4 Sistemas de ajuste das mãos

Como visto anteriormente, o manequim digital é um modelo simplificado do corpo humano, no entanto, duas partes dessa estrutura biomecânica humana foram dotadas de um alto nível de complexidade e aproximação com o real: a coluna e as mãos. Assim,

configurar um simples aperto de mãos requer posicionar e ajustar cerca de 15 juntas em diferentes eixos (para apenas uma das mãos). Para simplificar esse procedimento, o Jack dispõe de recursos específicos para o ajuste das mãos. Um destes recursos é uma biblioteca de posições pré-definidas que podem auxiliar o usuário no posicionamento dos dedos e mão (*shape hand*), conforme pode ser visualizado na Figura 7-12.

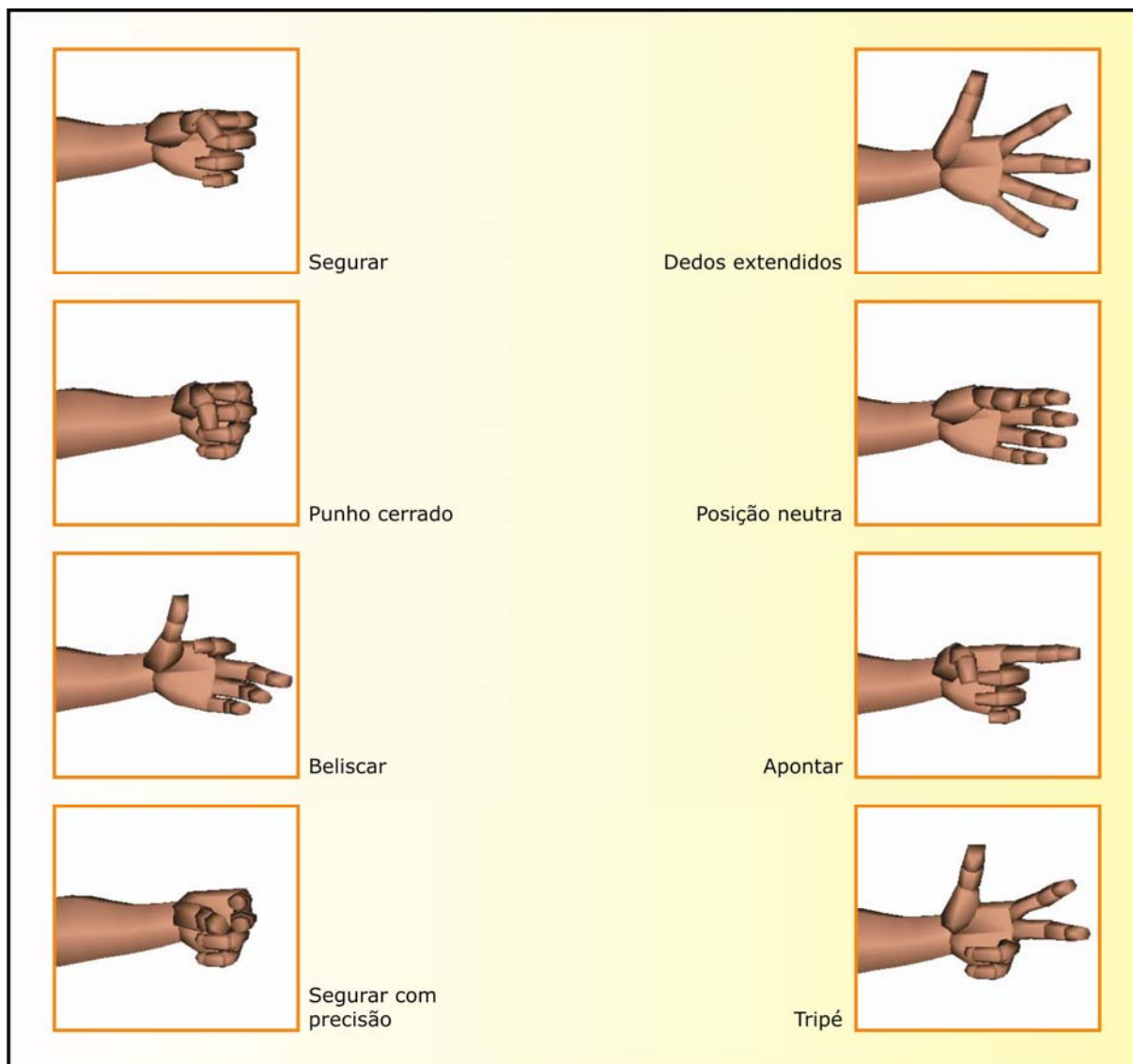


Figura 7-12: Algumas opções de *shape hand*.

Outro recurso para ajuste das mãos é o *Automatic Grasp* que permite reconhecer segmentos de um objeto próximo à mão do manequim e ajustar automaticamente as juntas dos dedos de forma que “agarre” esse objeto. O comando requer que o usuário especifique o objeto a ser agarrado, qual a mão (esquerda ou direita) e a forma como irá agarrar. Durante o movimento da mão o *software* monitora a possibilidade de colisão dos dedos com o objeto, de forma que os segmentos humanos fiquem o mais próximo possível sem “entrar” no objeto.

7.4.5 Sistemas de controle e visualização do campo de visão

Uma das ferramentas mais utilizadas na simulação humana, a percepção do campo de visão dos modelos humanos permite aos projetistas, futuros usuários e interessados em geral no projeto em desenvolvimento, conhecer, com alto nível de precisão, o que será visualizado por diferentes pessoas (representadas pelos percentis) no produto ou posto de trabalho sob simulação. O Jack possui dois sistemas para controle do campo de visão do manequim e visualização desse campo.

Primeiramente o sistema que exibe o campo de visão (*Eye View*) do manequim, na interface do *software* ou em uma janela independente, isto é, além da janela tradicional de trabalho, o usuário pode criar outras janelas com o campo de visão dos manequins. Desta forma, qualquer alteração de projeto ou de localização poderá ser visualizada pelo ponto de vista dos manequins.

A Figura 7-13 ilustra a janela com o sistema *Eye View* para visualização do campo de visão.

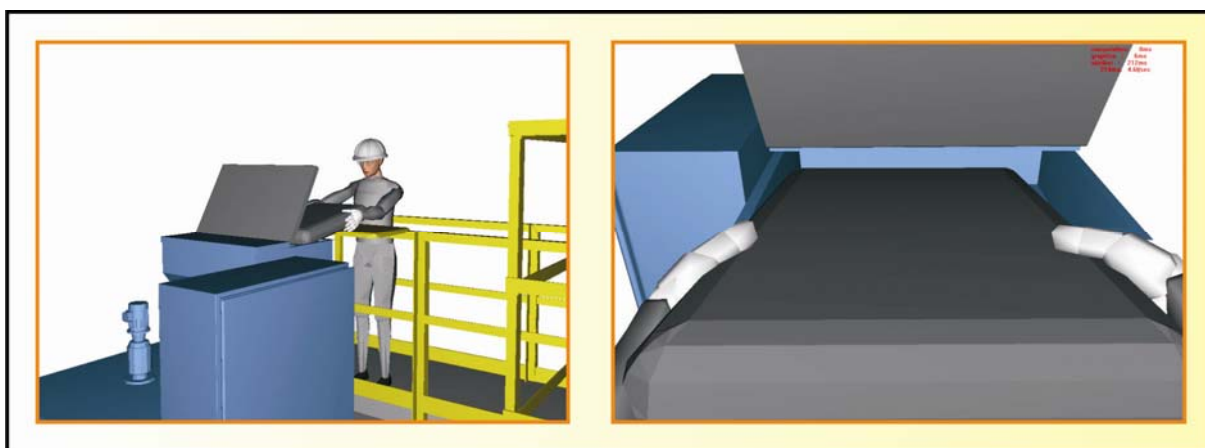


Figura 7-13: Ilustração de campo visual de manequim.

Outra opção é a exibição dos cones de visão a partir do comando *View Cones*. A Figura 7-14 apresenta essa opção, a qual permite ao usuário definir o ângulo de abertura do campo visual e distância do cone.



Figura 7-14: Exibição do cone de visão e campo visual no detalhe.

7.4.6 Animações da Simulação Humana

Um importante recurso do *software* é o sistema de animação, o qual permite que situações sejam simuladas de forma dinâmica ao longo de um tempo determinado. As alterações no ambiente e as interações deste com manequins digitais, ao longo do tempo, são consideradas como uma quarta dimensão (alguns pesquisadores utilizam o termo 4D) e possibilitam aos projetistas uma visão ampla sobre o projeto em estudo, aproximando-o ainda mais do real. A animação também tem uma importância muito grande no processo de validação junto aos clientes e/ou futuros usuários dos sistemas produtivos sob projeto.

Sem o recurso da animação, o responsável pela simulação está limitado a apenas uma manipulação interativa por vez e sem opção de registrá-la (gravar para reproduzir futuramente).

O sistema de animação do Jack trabalha com uma lógica semelhante à maioria dos programas de animação gráfica. Os movimentos podem ser atribuídos aos objetos, principalmente, de duas maneiras:

- a) estabelecendo-se dois estados, um inicial e outro final, e um tempo de duração para a transição entre estados (além de algumas outras opções secundárias);
- b) utilizando-se um “caminho” (*Path*) que indica por onde o objeto irá se deslocar e o tempo de duração do percurso.

O *software* possui um sistema específico para a animação de modelos humanos e outro para a animação de objetos. Para animar os manequins, o módulo de animação apresenta as seguintes opções no menu *Human*:

- a) braço;
- b) torso;
- c) pélvis;
- d) pé;
- e) passo;
- f) cabeça;
- g) olho;
- h) equilíbrio;
- i) calcanhar;
- j) andar linearmente;
- k) andar em caminho;
- l) pose;

O módulo de animação permite também exportar os resultados da animação como um filme (compatível com *Windows Media Player*, por exemplo), por meio de uma sequência de *frames* (cenas estáticas) ou como imagens individuais. Essas saídas podem ser configuradas de acordo com a resolução desejada e com as janelas na qual se baseará a visualização da animação.

7.5 Ferramentas de Análise

Ao avaliar a concepção de um produto ou posto de trabalho, como um carro ou interior de uma cabine, diferentes questões devem ser consideradas. O analista deve garantir que a população possa alcançar todos os controles, o campo adequado de visão interna e

externa e a possibilidade de executar as tarefas especificadas sem impedimentos. Para realizar uma avaliação ergonômica do trabalho virtual, Jack fornece ferramentas ao usuário.

Através de observação e análise de postos de trabalho, é possível identificar posturas e movimentos (considerando seu tempo de duração e repetições) que ofereçam riscos de danos à saúde do trabalhador. No Jack, essas ferramentas e métodos de análise são embasados por diferentes estudos, permitindo que a análise seja feita com maior rapidez e precisão pela interação homem-ambiente e que alguns dados sejam obtidos automaticamente. Alguns dos principais métodos e análises biomecânicas disponíveis no Jack 4.1 são:

- a) análise de torque e força;
- b) RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*);
- c) NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health – Lifting equation*);
- d) OWAS (*Ovako Working Posture Analysing System*);
- e) análise de fadiga;
- f) gasto de energia metabólica.

Destas ferramentas de análise, a única disponível na versão básica do *software*, a *Classic Jack*, é a análise de torque e força. Esta pode ser realizada em partes do corpo (braços, pernas, coluna), por junta específica ou de forma global.

Além das análises biomecânicas, o *software* possui análises de zona de alcance (envelopes), detecção de colisões, mensuração de distâncias e cálculo da mínima distância entre diferentes objetos.

A análise com envelopes de zonas de alcance são análises recorrentes que os usuários de programas computacionais de modelagem e simulação humana utilizam. Essa preferência decorre da facilidade em interpretar os resultados, principalmente na comparação dos envelopes dos modelos digitais humanos de diferentes percentis. Na Figura 7-15 é possível observar envelopes de alcance de um manequim masculino atuando em uma plataforma.

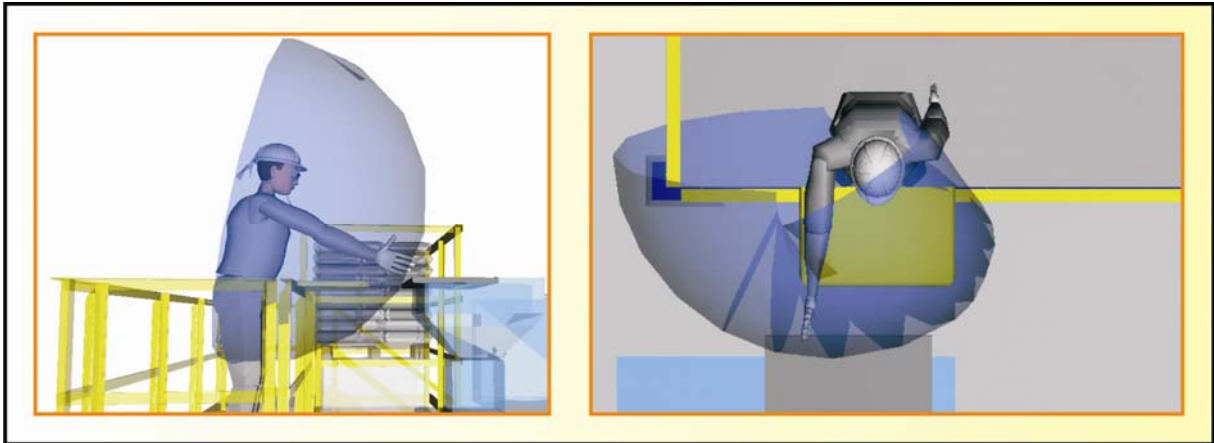


Figura 7-15: Análises a partir de envelopes de alcance.

Apesar das facilidades e vantagens citadas sobre as ferramentas de análise, é importante salientar que existe uma série de problemas e cuidados a serem tomados durante a aplicação dessas ferramentas (ver Capítulo 4).