

UMA PROPOSTA DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO AO  
PROJETO DE PRODUTOS

Dário Campos Furtado

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

Aprovada por:

---

Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D.Sc.

---

Prof. José Stockler Canabrava Filho, D.Sc.

---

Prof. Maria Egle Cordeiro Setti , D.Sc.

---

Prof. Domingos Manfredi Naveiro , D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
FEVEREIRO DE 2005

FURTADO, DÁRIO CAMPOS

Uma Proposta de Ferramenta Computacional  
para Auxílio ao Projeto de Produtos [Rio de  
Janeiro] 2005.

VII, 100 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,  
Engenharia de Produção, 2005)

Tese - Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, COPPE

1. Sistema CAD para Auxílio ao Projeto  
Ergonômico.

I. COPPE/UFRJ II. Título ( série )

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador não só pela paciência e pela força, mas, muito mais do que isto, pela gentileza no tratamento e pelos ensinamentos que trilharam meus caminhos para conclusão deste trabalho.

Aos professores do ITOI, Marcos, Anne Marie, Thiollent pelas aulas brilhantes e ao saudoso prof. Miguel de Simoni, com quem aprendi a encarar a engenharia de produção de outra maneira.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção da UFJF, Romir, Vanderli, Marcos. Que sempre me incentivaram a buscar esta conquista.

Aos meus colegas de mestrado, especialmente ao Ricardo com quem dividi as viagens Juiz de Fora/Rio e as horas de estudo, dedicação e companheirismo.

Aos meus sócios, funcionários e estagiários da DynamicCAD, em especial ao Marcelo e Fábio que muito me ajudaram nos desafios de voltar a codificar um programa de computador depois de alguns anos só projetando sistemas.

A minha família, irmãs, sobrinhos, pelo apoio e pela força.

À minha mãe, pelo exemplo de vida e de luta.

Ao meu pai, de quem a cada dia estou mais próximo.

À Márcia, luz da minha vida.

À Maria Clara, que nem bem chegou e já ilumina minhas conquistas.

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

## UMA PROPOSTA DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO AO PROJETO DE PRODUTOS

Dário Campos Furtado

Fevereiro/2005

Orientador: Ricardo Manfredi Naveiro

Programa: Engenharia de Produção

Este trabalho é uma proposta de software gráfico para o desenvolvimento de produtos. Seu foco está no desenvolvimento de funcionalidade gráfica exigida para a análise antropométrica de postos de trabalho. O software para análises 2D, batizado de ergoCAD, foi concebido com um “*kernel*” gráfico desenvolvido em Visual C++, acessado por um módulo de interface com o usuário programado em Visual Basic. O software possui uma interface gráfica que possibilita as principais análises de adequação antropométrica a partir de arranjos de postos de trabalho desenhados em 2D.

Seu campo de aplicação é amplo e a filosofia de desenvolvimento foi a de utilizar primordialmente códigos do tipo “*shareware*” de uso livre (sem “*royalties*”), como forma de se obter uma ferramenta de baixo custo e de livre acesso às pequenas e médias empresas, assim como a universidades e escolas de engenharia e desenho industrial e desta forma, disponibilizar um software com requisitos suficientes para suprir suas necessidades primárias relativas a introdução dos conceitos de ergonomia de concepção no processo de projeto de produtos.

O trabalho identifica e discute as características dos principais softwares comerciais existentes no mercado, destacando sua evolução e o que é realizado pelo ergoCAD. Em seguida apresenta os conceitos de ergonomia que serão utilizados no desenvolvimento do software. Para concluir mostramos a metodologia de desenvolvimento do ergoCAD e um exercício prático de sua aplicação, baseado em trabalhos aplicados na disciplina Projeto de Produto, ministrada na escola de engenharia da UFRJ.

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

## A COMPUTATIONAL TOOL PROPOSAL TO PRODUCT PROJECT SUPPORT

Dário Campos Furtado

February/2005

Advisor: Ricardo Manfredi Naveiro

Department: Production Engineering

This paper is a proposal of a graphic software to product development. Its focus lies on the development of graphic functionality demanded for anthropometric analysis of work stations. The 2D analysis software, named ergoCAD, was conceived with a graphic "kernel" developed in Visual C++, accessed by an user interface module programmed in Visual Basic. The software has a graphic interface that makes possible the main anthropometric adjustments analysis from work stations arrangements draw in 2D.

Its application field is large and the development philosophy was to mainly use "shareware" like codes of free access (no "royalties"), to obtain a low cost and free access tool to small and medium enterprises, universities, and to engineering and industrial drawing schools alike, and in that way, to make possible a software with sufficient requirements to supply the primary needs relative to the ergonomics conception concepts in the process of products projects.

The work identifies e discusses the characteristics of the main commercial softwares in the market, pointing out their evolution and what is realized by ergoCAD. After that it presents the ergonomics concepts that will be used in the software development. To finish we show the ergoCAD's development methodology and a practical exercise of its application, based on works applied in the Product Project discipline, taught on the UFRJ's engineering school.

## ÍNDICE

– <b>Folha de rosto</b>	i
– <b>Ficha catalográfica</b>	ii
– <b>Agradecimentos</b>	iii
– <b>Resumo</b>	iv
– <b>Abstract</b>	v
– <b>Índice do texto</b>	vi
Introdução	01
Antecedentes	03
Justificativa	06
Objetivo	13
Metodologia do Trabalho	14
Capítulo I - O Desenvolvimento de Projeto de Produto	15
- I.1 - A atividade de projeto: o que a caracteriza e conhecimentos necessários.	15
- I.1.1 - Aspectos profissionais.	17
- I.1.2 - Aspectos relativos ao ensino/aprendizagem.	18
Capítulo II – Ergonomia	22
- II.1 - O projeto de ergonomia	22
- II.2 - Os diferentes tipos de ergonomia	25
- II.3 - Dados antropométricos e biomecânicos	26
- II.4 - O ERGOKIT	27
- II.5 - Antropometria dinâmica	28
- II.5.1 - Movimentação da cabeça	28
- II.5.2 - Movimentação das mãos	29
- II.5.3 - Movimentação dos braços	30
- II.5.4 - Movimentação dos antebraços	30
- II.5.5 - Movimentação das pernas	31
- II.6 - Envolvimentos de alcance e conforto	32
- II.7 - Visibilidade do objeto de trabalho	33

- II.8 - Sistema homem-máquina	34
- II.9 - Ambiente geral	36
- II.10 - Problemas relativos a ergonomia	37
- II.11 - Etapas de um projeto de ergonomia	38
Capítulo III – Ferramentas Computacionais de Apoio ao Projeto de Produto	42
- III.1 - O auxílio informatizado a atividade de projeto: Da introdução do computador pessoal aos dias de hoje.	42
- III.2 - A utilização das ferramentas computacionais no processo de projeto: Benefícios e dificuldades de aplicação da tecnologia.	50
- III.3 - O ergoCAD.	53
Capítulo IV – O ergoCAD	56
- IV.1 - O que é o ergoCAD ?	56
- IV.2 - Quais etapas do projeto de ergonomia poderão ser auxiliadas pelo programa.	59
- IV.3 - Exemplo de aplicação: Análise Ergonômica do Projeto da Cabine de uma Empilhadeira.	61
Capítulo V – O ergoCAD: Aspectos Técnicos e de Implementação	67
- V.1 – Fluxograma de implementação	69
Conclusões	78
Considerações finais sobre o ergoCAD	80
Referências Bibliográficas	82
Apêndice A – Tutorial do ergoCAD	85
Apêndice B – Glossário	90

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a dissertação referente a elaboração de uma ferramenta CAD para auxílio ao projeto e ensino de projeto focado na análise ergonômica de postos de trabalho. Inicialmente procede-se com uma apresentação das metodologias de ensino de engenharia e as abordagens teórico-pedagógicas necessárias para a realização deste trabalho.

A partir deste ponto procede-se com uma análise sobre a atividade de projeto de produtos industriais, buscando caracterizá-la, definir através das metodologias mais usuais quais procedimentos estão presentes e quais tipos de conhecimento os projetistas utilizam com maior frequência para realizar a contento a atividade projetual. Em seguida é apresentado um breve histórico da utilização dos recursos computacionais de apoio a atividade de projeto, procurando definir, sem muito rigor, o momento do seu surgimento e a aplicação original a qual se destinou com o intuito de traçar uma linha histórica da evolução das ferramentas computacionais e em especial dos sistemas CAD. É importante ressaltar que esta linha histórica não tem o intuito de precisar datas de lançamento nem versões de sistemas específicos e sim tentar mostrar a evolução dos sistemas de modo gradativo e complementar, pois frequentemente o início de utilização de determinada tecnologia difere do lançamento de uma versão comercial de um sistema computacional que a suporte. Na sequência procura-se identificar segmentos dentro do processo de realização do projeto onde as ferramentas computacionais disponíveis nos dias de hoje são mais efetivas, onde ainda pouco contribuem e mesmo identificar segmentos onde sua utilização não influencia de forma significativa as atividades relacionadas com o processo de projeto, e assim sinalizar a direção em que percebe-se sua evolução.

A partir deste ponto parte-se então para introdução dos conceitos necessários para o desenvolvimento de análises ergonômicas e as premissas necessárias para o projeto. Finalmente são apresentados os tópicos relacionando a ergonomia com o projeto de engenharia em si e os conceitos e hipóteses básicas relevantes para o desenvolvimento da ferramenta proposta. Então apresenta-se uma breve descrição das funcionalidades do sistema e sua relevância para execução das análises ergonômicas propostas e a delimitação exata de onde se enquadra o presente trabalho no escopo da engenharia de produção.

## ANTECEDENTES

Atualmente o ensino do desenho técnico de engenharia, na maioria das faculdades do país, é embasado fundamentalmente em aulas expositivas. A gradativa mudança do sistema tradicional para a utilização de recursos mais atuais, como o CAD (do inglês, Computer Aided Design - Projeto Auxiliado por Computador) tem encontrado obstáculos referentes a obtenção de um sistema com ferramentas voltadas para o ensino/aprendizado de conteúdos básicos e/ou aplicados na expressão gráfica de projetos de engenharia (arquitetura, hidráulica, elétrica e de estruturas...). As disciplinas dos currículos atuais são estruturadas com base no ensino de softwares CAD que, apesar de contarem com inúmeros recursos para automação do projeto, não apresentam ferramentas primárias para o entendimento de conceitos básicos de desenho nem de ferramentas aplicadas a execução de projetos de determinada disciplina específica, além de apresentarem um elevado custo, dificultando assim sua aquisição pelas entidades de ensino e a conseqüente “*distribuição*” desta ferramenta para servir de base para um curso realizado à distância ou a atividades extra-classe desenvolvidas pelos alunos.

Na atividade de desenvolvedor, o autor deste trabalho tem criado softwares voltados ao mercado profissional, através de soluções para a automatização de projetos de engenharia e arquitetura, integrando sistemas específicos a plataformas CAD já consagradas no mercado. Ao longo de mais de 7 (sete) anos de atuação no ramo de softwares técnicos para os setores de Arquitetura, Engenharia e Construção Civil, foi constatado através de pesquisas realizadas junto a clientes corporativos ou acadêmicos, a necessidade de disponibilizar a este tipo de “*cliente*” sistemas CAD de baixo custo aplicados a determinados tipos (ou nichos) de projeto que suportassem funcionalidades que as tornassem passíveis de serem utilizadas tanto pelos profissionais de projeto,

presentes nas pequenas e médias empresas, quando por professores e alunos de cursos de graduação ou profissionalizantes para se adequarem as exigências necessárias para a inserção dos futuros profissionais no mercado de trabalho.

Atualmente, nas instituições que promovem algum tipo de interação entre as disciplinas relativas a expressão gráfica e as ferramentas computacionais, o ensino do desenho técnico de projeto nas faculdades de engenharia no Brasil é, no geral, embasado em softwares importados, cujo alto custo inviabiliza sua aquisição pelas instituições de ensino, e mesmo quando adquiridas legalmente pelas universidades, não são passíveis de uso pelos alunos em outros locais a não ser dentro dos laboratórios da própria escola.

Como professor na Universidade Federal de Juiz de Fora ministrando as disciplinas de desenho técnico básico, desenho arquitetônico e desenho auxiliado por computador para os cursos de engenharia civil, elétrica, de produção e arquitetura o autor tem buscado a gradativa introdução das técnicas computacionais dentro do sistema de ensino tradicional, principalmente com a incorporação do conteúdo relativo ao CAD mas, devido a falta de características voltadas para o ensino, têm sido encontradas dificuldades para compreensão destes softwares por parte dos alunos tanto nas disciplinas iniciais do curso quanto nas disciplinas chamadas “profissionalizantes” ou aplicadas. Outro fator que despertou o interesse do autor para esta realização foi o fato de um número considerável de alunos apresentarem algum nível de dificuldade na utilização dos instrumentos usuais de desenho técnico de engenharia, dificuldade esta, responsável muitas vezes pelo desinteresse apresentado no decorrer do curso e não raramente, por grande parte da evasão destes alunos no decorrer do período.

A análise deste cenário, juntamente com a experiência pessoal, veio a despertar a motivação pessoal do autor para o desenvolvimento de um sistema que exemplifique

como implementar soluções em software de baixo custo (ou livre distribuição) que possam ser utilizadas pelas pequenas e médias empresas de projeto e por professores e alunos de engenharia para a devida capacitação dos futuros profissionais de projeto.

## JUSTIFICATIVA

Independentemente da metodologia de projeto adotada, pode-se constatar que atualmente as tarefas necessárias para o desenvolvimento do projeto de produtos, cada vez mais, são dirigidas para a prática computacional. Seguindo esta tendência pode-se dizer que a tecnologia é parte integrante do processo do projeto sendo totalmente inviável ou até mesmo impossível considerar o processo de desenvolvimento do projeto sem a sua utilização nos dias de hoje. Baseando-se nesta consideração, discute-se neste ponto a universalização do acesso a estas tecnologias, de maneira a analisar como este acesso tem sido feito até os dias de hoje e quais são as consequências da sua utilização ou não, nos aspectos profissionais e de ensino.

Atualmente, pode-se constatar com facilidade que o custo do acesso a tecnologia caiu consideravelmente nos últimos 15 anos. Uma estação CAD por exemplo que na década de 80 era composta de uma estação gráfica, um software CAD proprietário e um dispositivo de apontamento custava cerca de U\$ 500.000,00 (quinhentos mil dólares) e estava presente somente em grandes empresas (FILHO, 1997). Comparativamente, hoje tem-se uma estação CAD composta de um micro pessoal (PC ou equivalente) rodando um sistema operacional gráfico de última geração (Windows, Linux, UNIX etc...) e uma plataforma CAD não proprietária podendo ser uma plataforma vertical ou horizontal<sup>1</sup> custando cerca de U\$ 5.000,00 (cinco mil dólares). Este cenário, a priori, pode nos levar a concluir que o acesso a tecnologia CAD passou a ser praticamente universal, uma vez que o custo para sua implementação caiu 100 vezes nas últimas décadas. Uma empresa que nos anos oitenta teria de investir U\$ 1.000.000,00 (um milhão de dólares) para

---

<sup>1</sup> Quando uma plataforma CAD pode ser aplicada em diversas áreas de projeto (arquitetura, eletrificação, projeto mecânico, eletrônico etc...) é denominada plataforma “horizontal” por abranger diversos tipos de aplicação. Quando a plataforma CAD é específica para um determinado tipo de projeto esta é denominada “vertical”.

implementar duas estações CAD, atualmente com o mesmo investimento, implantaria 200 (duzentas) estações, usufruindo com certeza de uma produtividade muito maior. Será esta a conclusão correta ? Tal cenário universalizou realmente o acesso a tecnologia CAD ?

Pode-se analisar sob dois prismas esta mesma situação:

- Para as grandes empresas tal redução foi fundamental para a melhoria e redução do tempo dispendido durante o ciclo do PRP – Processo de Realização do Projeto. Pode-se citar por exemplo a indústria automobilística onde o tempo gasto desde o início do projeto e o lançamento do automóvel no mercado consumia 6,5 (seis anos e meio) no início da década de noventa e atualmente gasta-se cerca de 3 anos (três anos) (MEDINA, 2000). Esta situação configura claramente um grande facilitador de acesso às tecnologias, onde as grandes empresas procuraram investir recursos para sua modernização e facilitar o acesso dos funcionários para sua utilização, fatores estes fundamentais para o desenvolvimento da indústria nos últimos anos.
- Concomitantemente a implantação “em massa” pelas grandes empresas, das tecnologias aplicadas ao processo de projeto, deve-se analisar as mudanças ocorridas no setor de projeto de produtos nos últimos anos de maneira a constatar alguns aspectos fundamentais para a compreensão de uma das justificativas para a elaboração desta dissertação. Nos últimos anos observa-se uma proliferação de empresas médias e pequenas responsáveis pela prestação de consultoria, desenvolvimento de projetos ou etapas de projeto e serviços complementares tais como documentação ou validação de projetos de produtos. Tal proliferação iniciou-se nos anos noventa fundamentalmente

com a implantação de conceitos administrativos tais como a terceirização, reengenharia ou *downsizing* que foram implementados por grande parte das grandes empresas com o objetivo principal de reduzir custos fixos e de pessoal. Grande parte das empresas que surgiram ao redor desta iniciativa foi formada por funcionários e ex-funcionários dos setores de projeto destas grandes empresas, que de alguma forma já possuíam algum tipo de conhecimento relativo a utilização de tecnologia computacional aplicada ao processo de projeto. Desta maneira, para estas empresas o acesso a tecnologia CAD era fundamental para a prestação do serviço para a qual fora criada. O problema era que a realidade destas empresas era outra, em geral eram pequenas empresas baseadas fundamentalmente no conhecimento adquirido pelos fundadores durante anos de trabalho no desenvolvimento de projetos e, em geral, sem nenhum aporte de capital que não o dos próprios sócios. Tal configuração levou a criação de empresas com grande capacidade de produção e conhecimento (sobretudo o tácito) mas com condições bastante limitadas para o investimento em tecnologia. Analisando o setor de AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção Civil, por exemplo, vê-se uma configuração parecida. Grande parte dos prestadores de serviço em projeto para o setor são compostos por escritórios pequenos ou médios, ou mesmo por profissionais liberais que fazem do desenvolvimento de projetos sua principal atividade profissional (arquitetos, engenheiros calculistas, projetistas de instalações hidráulicas e elétricas etc...). Nos últimos anos, devido a diversos fatores, o preço real do projeto sofreu queda significativa. Os escritórios se vêm obrigados a produzir muito mais e por um preço menor do que anteriormente, devido principalmente a pressão exercida pelos

contratantes. Esta situação levou a uma incompatibilização real entre o valor que se é recebido pelo projeto e as necessidades de investimento em tecnologia, sobretudo CAD, necessárias para a manutenção e/ou aumento da produtividade da empresa. Com base nesta perspectiva, estas empresas ou profissionais se viam em uma situação especialmente delicada: necessitavam da utilização da tecnologia para a manutenção da qualidade e produtividade necessárias para o desenvolvimento de seus serviços, mas não tinham condições de arcar efetivamente com o investimento necessário para implantação e manutenção dos equipamentos, treinamento e softwares legalizados para tal. Sob este ponto de vista pode-se afirmar que o acesso a tecnologia não se universalizou, ou seja, temos com certeza, diversos segmentos onde sua utilização não é devidamente implementada e/ou legalizada.

Dotar o profissional de uma empresa com o equipamento mais avançado e as ferramentas em software mais modernas sem arcar com o investimento devido é injusto. Não se pode construir um ambiente de livre competição onde de um lado temos empresas que arcam com os investimentos necessários e pagam devidamente os impostos e taxas referentes à aquisição dos itens tecnológicos necessários para sua produtividade e de outro, empresas que não arcam com estes custos competindo em igualdade de condições. Portanto, em termos de acesso a tecnologia, deve-se buscar alternativas que possam ser oferecidas, a um custo compatível, de maneira a dotar as pequenas e médias empresas de condições legais e justas de atuarem e competirem neste mercado. Muitos desenvolvimentos neste sentido têm surgido ao longo dos anos, podem-se destacar como os mais expressivos o surgimento do sistema operacional

Linux®, que buscou trazer ao mercado de computadores pessoais uma alternativa aos sistemas de código proprietário e o GNU® – General Public Software, que distribui no mundo inteiro softwares para as mais diversas aplicações via código aberto, passível de alteração por parte de seus usuários. Tais iniciativas vieram a contribuir muito para a redução do custo de propriedade sobre a tecnologia dos computadores pessoais, alguns nichos de mercado são hoje totalmente satisfeitos por estas iniciativas. Temos hoje pacotes de software para escritório e provimento de internet e redes por exemplo, que possuem um custo<sup>2</sup> muito mais acessível do que há alguns anos atrás, isto em grande parte promovido pela competição com softwares livres ou de baixo custo. Para as atividades relacionadas diretamente ao projeto de produtos tais iniciativas têm contribuído para a redução do custo de propriedade para alguns segmentos específicos, podemos citar aqui os sistemas de compartilhamento de informações via internet por exemplo, que se beneficiaram basicamente da estrutura proporcionada pelo provimento baseado em Linux® para se estabelecer como um sistema de alta performance e de baixo custo de propriedade e manutenção. Os sistemas CAD, em geral, ainda não se beneficiaram diretamente com tais iniciativas, apesar de se observar o surgimento de diversas inovações que buscam prover o segmento com soluções de baixo custo, ou mesmo de software livre, ainda não conseguiram sistemas a altura dos disponíveis comercialmente, visto que, em média as plataformas CAD comerciais disponíveis no mercado tem pelo menos 10 ou 15 anos de desenvolvimento, sendo que as mais “antigas” vêm sendo desenvolvidas e atualizadas desde a década de oitenta, portanto há mais de 20 anos.

---

<sup>2</sup> Deve-se contabilizar como custo também o investimento em capacitação e treinamento da equipe atual e para futuras contratações para utilização de uma nova plataforma de software. Custos estes que geralmente não são computados quando da análise dos sistemas a serem adotados.

Este desenvolvimento contínuo é um dos principais responsáveis pela versatilidade e eficiência dos softwares CAD atuais e isto não é fácil de se conseguir em pouco tempo de desenvolvimento.

Há hoje em dia diversas iniciativas que buscam prover alguns setores específicos, podemos citar a Opendesign ([www.opendesign.com](http://www.opendesign.com)) que disponibiliza código fonte para acesso a formatos CAD específicos das plataformas comerciais, através deles o desenvolvedor de software pode ler e escrever arquivos de projeto compatíveis com as principais plataformas CAD do mercado. Outra iniciativa neste sentido é o LinuxCAD® ([www.linuxcad.com](http://www.linuxcad.com)) que oferece uma plataforma CAD, funcionando sobre o sistema operacional Linux® com baixo custo de investimento. Por fim podemos citar o ITC – IntelliCAD® Technology Consortium ([www.intellicad.org](http://www.intellicad.org)) que disponibiliza o código fonte da plataforma IntelliCAD® a todos os associados comerciais do grupo possibilitando que cada um desenvolva suas soluções de projeto baseadas na plataforma IntelliCAD® que fundamentalmente é colocada no mercado como uma plataforma de baixo custo de propriedade. Tais iniciativas começam a tornar mais fácil o acesso a tecnologia promovendo uma crescente universalização do seu uso. Ainda se está longe desta realidade uma vez que estas são iniciativas pontuais e não coordenadas, pecando ainda por incompatibilidades com os formatos CAD mais atuais e tornando o desenvolvimento colaborativo mais trabalhoso, uma vez que neste caso são adotadas soluções em software diferentes entre as empresas atuantes no projeto. Tais fatores dificultam a penetração destas soluções em mercados corporativos (onde já são adotadas soluções de mercado) e isto ainda causa um descompasso entre as grandes empresas e as pequenas e médias empresas de consultoria e projeto. O objetivo principal desta dissertação é exemplificar como é possível atuar no fornecimento de tecnologia para empresas e profissionais de projeto através da elaboração de sistemas CAD simples

que resolvam determinadas tarefas necessárias durante a elaboração do projeto de produtos. Assim foi desenvolvido o ergoCAD, um CAD 2D com recursos simples que visa promover análises ergonômicas simplificadas para o desenvolvimento projeto de produtos, fundamentalmente para análise de postos de trabalho. O ergoCAD é um exemplo de implementação, não podendo ser caracterizado como um CAD completo para ergonomia e sim como um protótipo exemplificando como os desenvolvedores de sistemas podem atuar no provimento de soluções de baixo custo (ou software livre) para o segmento de projeto. O ergoCAD é um software de livre distribuição que visa proporcionar a alunos e profissionais de engenharia, arquitetura e desenho industrial uma ferramenta simples com recursos limitados mas que já possui os recursos necessários para sua utilização na elaboração de análises ergonômicas e que gradativamente pode ser aprimorada e desenvolvida.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um software CAD básico que integre ferramentas simples para auxílio ao projeto e ensino do projeto de ergonomia de postos de trabalho, englobando características usuais já presentes e utilizadas pelos profissionais de projeto nas chamadas “plataformas CAD comerciais”.

Aliado a este objetivo principal pretende-se disponibilizar outros que de maneira indireta contribuem para a completude do trabalho proposto. Os objetivos secundários a serem alcançados com este trabalho são:

- Melhoria geral do processo de ensino-aprendizado com o uso do ergoCAD. A facilidade proporcionada pela interface de trabalho e a funcionalidade disponibilizada pelo software incentivam o aluno a realização das suas tarefas.
- Incentivo ao autoaprendizado (característica essencial ao engenheiro), já que os alunos poderão ser incentivados a aprenderem a utilizar o software sozinhos e iniciarem por conta própria as primeiras experiências no tocante as análises ergonômicas.
- Facilitar o acesso do aluno ao material didático e as fontes de consulta externas através da criação de um ambiente web a ser disponibilizado para distribuição do software e dos conteúdos relativos a ele.

## METODOLOGIA

No capítulo I procura-se conceituar as disciplinas envolvidas no projeto de produto, os conhecimentos necessários, procede-se com uma análise dos aspectos profissionais mais importantes para cada etapa do projeto na atualidade que é complementada com algumas considerações sobre questões que envolvem aspectos de ensino e aprendizagem.

Em seguida, no capítulo II, são apresentados os tópicos específicos relativos à ergonomia. Conceitua-se o projeto de ergonomia e os conhecimentos necessários para sua elaboração. Procede-se com a análise dos conceitos de antropometria e biomecânica, necessários as determinações dos envoltórios de alcance e campo de visão, conceitos estes utilizados para elaboração da ferramenta computacional que ilustra este trabalho. Finalizando o capítulo identificam-se os componentes do sistema homem-máquina e os intervenientes do ambiente que influenciam no projeto.

O capítulo III inicia-se com um breve histórico sobre a evolução dos sistemas computacionais para auxílio a projeto. Descreve-se o surgimento dos primeiros sistemas CAD e os demais tipos de software e hardware para apoio ao projeto que surgiram a partir deles. Finalizando o terceiro capítulo é apresentado o ergoCAD.

No capítulo IV é descrito o ergoCAD, o protótipo de software que foi implementado com o intuito de exemplificar a aplicação de um sistema de fácil utilização para auxílio as análises ergonômicas necessárias para elaboração de projeto de postos de trabalho. No capítulo V é descrito o desenvolvimento do ergoCAD.

Finalmente, procede-se com as conclusões e considerações finais obtidas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, São identificadas algumas limitações do sistema assim como algumas possibilidades para desenvolvimentos futuros.

## CAPÍTULO I

### O DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE PRODUTO

#### **I.1 - A atividade de projeto: o que a caracteriza e conhecimentos necessários.**

A atividade de projeto é caracterizada, segundo ULMAN (1967), por “*criar o artificial*”, desta forma pode-se dizer que o surgimento de uma atividade de projeto está intrinsecamente relacionada com o processo de criação ou concepção de algo novo. O ato de criar ou conceber tem atividades precedentes e obedece a processos que necessitam de conhecimentos específicos dos profissionais envolvidos no processo de realização do projeto (PRP).

Segundo a metodologia de ULRICH & EPPINGER (1995), a análise do PRP sempre deve observar três dimensões principais: mercado, projeto e produção. Na primeira etapa descrita para sua metodologia, que ULRICH & EPPINGER (1995), denominam de desenvolvimento da concepção, a dimensão mercado surge prioritariamente através da identificação das necessidades e identificação dos produtos líder. Após a identificação do problema de projeto (necessidade), a metodologia aborda as demais atividades que completam o desenvolvimento da concepção: geração de conceitos preliminares, estudo da viabilidade destes conceitos, estimativa de custos de manufatura, análise financeira, análise de patentes e aspectos legais. Por se tratar de uma metodologia mais genérica NAVEIRO (2001), pode-se com alguma facilidade transpô-la para outras atividades que não a de projeto de produtos industriais.

Algumas das atividades descritas que complementam o desenvolvimento da concepção são plenamente satisfeitas através de conhecimentos formais obtidos via treinamento técnico usual do projetista. Análises financeiras e estimativas de custo por

exemplo, podem ser realizadas por qualquer pessoa capacitada com treinamento específico para exercer tal função. Não há, neste ponto, a presença de fatores que exijam extrema criatividade ou poder de decisão baseado em conhecimentos não técnicos ou instrucionais. Não pretende-se aqui diminuir a importância da prática profissional nestas atividades, uma vez que um profissional experiente em análises e estimativas financeiras por exemplo, será capaz, com certeza, de realizar tal atividade de maneira mais simples e rápida do que se comparado com um recém formado ou recém contratado para tal função. O fato é que, mesmo o profissional menos experiente terá total condição de realizar a contento uma atividade que é caracterizada fortemente por necessidades de conhecimentos formais, exatos e matemáticos, o que não se aplica ao processo de projeto, uma vez que os tipos de conhecimentos necessários são mais vastos e quase sempre complementares, como pretende-se mostrar a seguir.

Dentro do desenvolvimento da concepção bem como em todas as outras etapas do PRP há a presença de atividades em que os conhecimentos instrucionais, técnicos ou o chamado conhecimento usual têm menos peso que outro tipo de conhecimento adquirido ao longo dos anos. Segundo NAVEIRO (2001), “*projetar se aprende projetando*” e para tal há a necessidade do acúmulo de conhecimentos não usuais que são obtidos ao longo do exercício da vida profissional que são denominados conhecimentos tácitos. Dentro do universo de projeto destacam-se três tipos básicos deste conhecimento: conhecimento para gerar idéias, conhecimento para avaliar conceitos e conhecimento para estruturar o processo de projeto.

O processo de geração de idéias é utilizado para elaboração de conceitos preliminares para a solução do problema de projeto. Para projetos de produtos industriais tais conceitos são elaborados, em geral, através de associações com outros produtos já existentes, ou através de pesquisa em bases de dados de patentes.

### **I.1.1 - Aspectos profissionais.**

Para as pequenas e médias empresas, baseado nos conceitos abordados nesta dissertação, principalmente conforme descrito na justificativa, pode-se visualizar claramente que o acesso à tecnologia não é universalizado. As pequenas empresas, instituições técnicas e tecnológicas não têm o mesmo nível de acesso a tais tecnologias. Atualmente este acesso ainda é extremamente dispendioso. Tais dificuldades, tidas como de “implantação” são potencializadas ao se levar em conta os investimentos contínuos necessários para manutenção e desenvolvimento desta tecnologia. O custo para atualização constante dos equipamentos, softwares e peopleware<sup>1</sup> são atualmente os principais obstáculos para a adoção de uma linha dentre as tecnologias CAD disponíveis no mercado. Muitas empresas simplesmente descartam a adoção de uma determinada linha de trabalho simplesmente por considerar inviável a adoção dos programas de suporte e atualização ofertados pelos desenvolvedores de sistemas. Não são consideradas outras opções, como por exemplo, a adoção de softwares de baixo custo ou uma análise detalhada de suas reais necessidades de suporte e atualizações contínuas. Com base neste quadro, tais empresas e/ou instituições acabam por optar pela não legalização de seus sistemas. Este quadro traz desvantagens para tais empresas. A não opção pela adoção de tecnologias legalizadas traz a tona vários tipos de problemas: dimensionamento inadequado de recursos, treinamentos ineficientes, difícil acesso às versões mais atuais dos sistemas, subutilização da tecnologia implementada etc... Estes problemas repercutem diretamente na utilização dos sistemas ligados ao setor de projeto e tendem a refletir no projeto gerado.

---

<sup>1</sup> Peopleware: parte do conjunto Hardware+Software+Peopleware responsável pelos recursos humanos, ou seja é a parte humana na interface homem-máquina.

Esta dissertação foi elaborada com o intuito de se exemplificar a possibilidade de serem disponibilizadas soluções em software eficientes, que atendam as necessidades dos projetistas de produto. Portanto introduz-se neste ponto uma pequena análise dos sistemas para ergonomia disponíveis hoje para aplicação no desenvolvimento de análises antropométricas e/ou biomecânicas. A maioria dos softwares disponíveis relativos à ergonomia é destinada principalmente ao desenvolvimento de programas de exercícios preventivos de doenças ocupacionais ou lesões por esforço repetitivo (LER). Assim sendo, para o setor de projeto, praticamente não há opções de software de baixo custo, acessíveis as pequenas empresas e instituições educacionais ou tecnológicas. Com exceção de alguns poucos softwares comerciais não foi encontrada até o momento uma opção em software para análises ergonômicas que esteja ao alcance de tais instituições. Baseado nesta necessidade nasceu o ergoCAD. Deste modo acredita-se na implementação de uma alternativa ao alcance das pequenas empresas que preencha esta lacuna e possibilite aos projetistas utilizarem recursos computacionais de maneira similar ao que se pratica hoje nas grandes empresas.

### **I.1.2 - Aspectos relativos ao ensino/aprendizagem.**

O processo informatizado de desenvolvimento de projetos, atualmente amplamente suportado pelas plataformas CAD mais modernas, tem conduzido os projetistas a atividades de concepção/experimentação baseadas fundamentalmente no desenvolvimento de modelos 3D. Através deles os projetistas não mais utilizam primitivas gráficas tais como linhas ou círculos e sim recursos para modelamento do tipo união, subtração, intersecção etc...

Neste ponto, observa-se um problema em potencial muito claro, relacionado a atividade de ensino de projeto. Alunos dos cursos de engenharia, arquitetura e desenho

industrial aprendem nas fases iniciais do curso, técnicas que contemplam o processo de projeto de duas dimensões já que, sem o uso da tecnologia, utilizar-se de técnicas complexas para projeto 3D no início destes cursos seria inviável, principalmente pela quantidade de tempo demandada para execução dos trabalhos. Desta forma há claramente uma descontinuidade no processo de aprendizado de projeto nas universidades brasileiras, visto que poucas delas se preocupam em atualizar o currículo visando à implementação de recursos computacionais de auxílio ao projeto dentro de suas grades curriculares. Há aqui um tipo de conhecimento, demandado pelo mercado, que os profissionais que se formam atualmente não estão recebendo nos cursos de graduação e os profissionais já atuantes no mercado, que necessitam de atualização, também têm dificuldade de obter. Tal situação fica particularmente preocupante ao se observar que poucas iniciativas tem sido tomadas para reverter este quadro, uma vez que a realização de projetos utilizando-se recursos de modelamento vem apresentando vantagens claras se comparadas com o sistema tradicional, pode-se citar algumas: redução no tempo de projeto, redução do custo da obtenção de protótipos, maior precisão (uma vez que se tem um modelo real do objeto), maior controle sobre o que está sendo projetado (visualização em diversos ângulos, geração de cortes e seções parciais), maior integração (o modelo digital é útil para diversas fases do empreendimento envolvendo diversos setores) e a redução ou eliminação da necessidade de modelos físicos.

Pode-se citar como exemplo as disciplinas relativas à análise e dimensionamento estrutural para empreendimentos da construção civil. Nas disciplinas de concreto armado ou estruturas metálicas ministradas na maioria das universidades brasileiras os alunos de graduação se vêm frente ao desafio de definir um sistema estrutural, definir seus mecanismos de apoio, montar as equações que a descrevem, montar a matriz de

rigidez, resolvê-la, obter os esforços atuantes e depois com base nestes esforços partir para a escolha ou dimensionamento das peças (vigas, pilares, contraventamentos etc...) que irão compor a estrutura. Tal procedimento era utilizado pelos escritórios de cálculo na década de 60, sendo que atualmente a realidade das empresas de projeto é totalmente diferente. Hoje em dia os escritórios de cálculo demandam muito mais por profissionais capazes de montar o modelo estrutural corretamente utilizando um software específico, de maneira a testar diversas alternativas para o mesmo problema estrutural, resolver esta estrutura e interpretar os resultados fornecidos pela ferramenta computacional. Isto não quer dizer que o profissional moderno não necessite saber sobre a metodologia matemática envolvida, isto é parte da formação profissional, mas tal situação demonstra claramente uma necessidade do mercado que os profissionais advindos da maioria das universidades brasileiras não estão preparados para suprir.

Este descompasso observado entre o que é ensinado nas faculdades e universidades brasileiras e o que é demandado pelo mercado é um dos principais problemas que o futuro profissional de projeto encontra na tentativa de se introduzir no mercado de trabalho. Em geral os profissionais recém formados são incorporados nas equipes de projeto das empresas muito mais pela sua capacidade de interação com softwares de projeto (CAD, KAD ou sistemas para projeto colaborativo) do que pelo seu conhecimento específico sobre projeto ou metodologias de projeto. Este quadro demonstra uma situação curiosa, pois os conteúdos assimilados durante sua vida acadêmica não serão, em geral, os responsáveis diretos pela sua inserção no mercado de trabalho. Para estes profissionais torna-se necessário a busca constante para capacitação complementar, através de cursos e/ou treinamentos dirigidos a utilização de sistemas CAD específicos, muitas vezes ministrados por profissionais que não tem nenhuma

relação direta com a prática de projeto, sendo tais cursos totalmente desmembrados dos conteúdos ministrados nos seus cursos de graduação.

Segundo OLIVEIRA (2000), dentre as principais críticas feitas ao modelo atual de organização dos cursos de graduação, podem-se destacar as referentes a formatação curricular, onde predominam estruturas fragmentadas que na maioria dos casos são ministradas sem a necessária contextualização junto à especialidade a que devem atender. Esta situação é particularmente problemática no tocante a capacitação dos estudantes na utilização de ferramentas computacionais de auxílio a projeto. Sem a contextualização necessária os alunos se vêem praticamente como “repetidores de comandos” não tendo condições de incorporarem as inovadoras potencialidades dos softwares na resolução de problemas reais de projeto. Ainda segundo OLIVEIRA (2000), este problema é potencializado pela falta de condições dos próprios docentes e seu despreparo para estruturação das disciplinas no tocante a adequada contextualização dos conteúdos tecnológicos ao ambiente profissional de desenvolvimento de projetos.

Tal quadro deve ser tomado como referência para alterações significativas na maneira como os discentes e docentes tem trabalhado atualmente com os recursos tecnológicos de apoio ao projeto. Objetivando assim o desenvolvimento de alternativas para contribuir com estas mudanças através de novas metodologias de ensino, mais adequadas ao projeto como é realizado hoje, ou através de ferramentas de apoio que possam facilitar ou mesmo viabilizar outras abordagens sobre os conteúdos relativos ao projeto de produto.

## CAPÍTULO II

### ERGONOMIA

#### II.1 - O projeto de ergonomia

Segundo a ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia, a palavra *Ergonomia* deriva do grego Ergon [trabalho] e nomos [normas, regras, leis]. Trata-se de uma disciplina orientada para uma abordagem sistêmica de todos os aspectos da atividade humana. Para darem conta da amplitude dessa dimensão e poderem intervir nas atividades do trabalho é preciso que os ergonomistas tenham uma abordagem holística de todo o campo de ação da disciplina, tanto em seus aspectos físicos e cognitivos, como sociais, organizacionais, ambientais, etc. Frequentemente esses profissionais intervêm em setores particulares da economia ou em domínios de aplicação específicos. Esses últimos caracterizam-se por sua constante mutação, com a criação de novos domínios de aplicação ou do aperfeiçoamento de outros mais antigos.

Para VILLAROUCO (2002), ergonomia é o ramo da ciência que trata da realização do trabalho pelo homem e ocupa-se da provisão de condições adequadas ao desenvolvimento de suas tarefas e atividades. Desta maneira o projeto de ergonomia trata dos problemas advindos da não adequação, em tempo de projeto, dos bens e produtos projetados ao homem. É importante ressaltar neste ponto que o objetivo do projeto de ergonomia é antever problemas de adequação do objeto projetado ao homem e não em sentido inverso. Ainda segundo VILLAROUCO (2002) *“a ergonomia age neste sentido, divergindo frontalmente de algumas práticas que, ainda hoje, insistem em adaptar o homem ao trabalho, muitas vezes realizado em ambientes que conduzem a insatisfações das mais diversas origens.”*

A ergonomia é uma ciência fundamentalmente multidisciplinar. Não há como se caracterizar uma área do conhecimento específica que contemple a formação completa

de um indivíduo como ergonômista. Desta forma é natural se imaginar um engenheiro ergonômista, um médico ergonômista, um psicólogo ergonômista e assim por diante, onde cada um trabalhará a ergonomia, em maior ou menor parte, dentro do seu campo de formação específico. Assim sendo, segundo VIDAL (2002), *“Podemos caracterizar a ergonomia como uma disciplina que busca articular conhecimentos sobre a pessoa, sobre a tecnologia e a organização para sustentar sua prática de mudança dos determinantes e condicionantes da atividade profissional e do uso e manuseio de produtos ou sistemas.”*

Para DUARTE (2000) a ergonomia, no início, era utilizada numa perspectiva de diagnóstico de condições de trabalho e até de denúncia das condições de trabalho a que estavam submetidos os trabalhadores, mas atualmente surge outra perspectiva para a complementaridade entre as disciplinas: a participação dos ergonômistas nos projetos de desenvolvimento tecnológico, automação, modernização tecnológica ou concepção de novos ambientes, bens ou produtos. Baseado nesta visão procura-se salientar a importância do ergonômista dentro de uma equipe de projeto, onde sua participação venha a ser primordial no tocante a prevenção e solução de problemas de projeto envolvendo a adequação do produto ou ambiente projetado ao homem. Segundo VIDAL (2002) é importante que o ergonômista deixe de contribuir da maneira multidisciplinar clássica – cada um com sua contribuição segmentada – e passem a interagir face ao problema a tratar, por exemplo:

- Custo de doenças ligadas ao trabalho.
- Inadequação dos postos ou ambientes de trabalho.
- Qualidade insatisfatória dos produtos.
- Confiabilidade insuficiente dos processos de produção.

- Ineficiência dos métodos de produção, de formação e de inspeção.
- Defeitos dos produtos.
- Funcionamento inadequado de equipamentos e softwares.

Tais questões apresentadas acima possuem extrema relevância quando analisadas do ponto de vista da ergonomia. Ao se verificar com cuidado vê-se que alguns dos pontos apresentados são de fundamental importância para o sucesso dos produtos e outros devem ser minuciosamente analisados para se entender, ergonomicamente falando, os problemas ocorridos, o insucesso ou sucesso parcial de determinados projetos de produto. As soluções para os problemas apontados acima, em tempo de projeto, demandam o conhecimento da realidade de trabalho e utilização dos produtos e isto vem se tornando, cada vez mais, um ponto estratégico para o êxito dos projetos na medida em que possibilita antecipar problemas que os futuros usuários irão enfrentar. Para DANIELLOU (1998) há uma constatação inerente às questões ergonômicas quanto aplicadas a projetos de produtos ou ambientes de trabalho (mais especificamente projetos industriais), frequentemente são subestimadas as necessidades reais dos futuros usuários, impedindo que se utilize o produto em toda a sua potencialidade ou, no caso de projetos de linhas de produção, que o trabalho se realize em condições de segurança e eficiência. Para isso ocorrem principalmente dois fatores:

- A complexidade decorrente de se levar em consideração o fator humano dentro de uma situação de projeto.
- Normalmente os projetistas supõem que sua representação do ambiente é idêntica à daqueles que irão utilizar seus produtos ou que irão operar o sistema de produção. A não consideração da lógica de utilização reforça as

dificuldades de adaptação e aumenta o risco de acidentes e incidentes técnicos.

## **II.2 - Os diferentes tipos de ergonomia**

Habitualmente divide-se os tipos de ergonomia em duas maneiras diferentes. Na primeira tem-se o que pode ser chamado de ergonomia de correção e ergonomia de concepção. Na segunda diferencia-se ergonomia dos meios de produção e ergonomia do produto.

A ergonomia de correção visa melhorar as condições de trabalho já existentes e é, na maioria das vezes, parcial, uma vez que se torna extremamente oneroso, do ponto de vista econômico, pois qualquer interveniência em um equipamento ou ambiente já constituído tende a ser muito mais trabalhosa e cara do que se comparado com uma modificação em tempo de projeto. LAVILLE (1977), cita o exemplo da tentativa de diminuir o ruído de uma determinada máquina, “*o controle do ruído de uma máquina já fabricada é mais difícil de fazer, menos eficaz e mais custoso do que quando a máquina ainda está em fase de projeto*”. A ergonomia de concepção, ao contrário da de correção, visa introduzir eficazmente os conhecimentos adquiridos sobre o homem e sua maneira de trabalhar desde o projeto do ambiente de trabalho, passando pelos instrumentos utilizados, maquinário e também dos sistemas de produção.

A ergonomia dos meios de produção tende a introduzir os conceitos do homem no trabalho para o projeto dos sistemas produtivos, procurando sempre adequar os mecanismos de trabalho à maneira de trabalhar do homem. A ergonomia do produto é na verdade uma maneira de se conceber o objeto fabricado considerando-se os dados ergonômicos correspondentes ao número de consumidores.

### II.3 - Dados antropométricos e biomecânicos

Introduz-se neste tópico a discussão sobre os problemas dimensionais que afetam o trabalho. Como a ergonomia preocupa-se com tais problemas, que envolvem o sistema homem-máquina, foram desenvolvidos estudos com o intuito de medir as distâncias interarticulares e definir alcances máximos e de conforto dos membros, procurando assim definir medidas base para auxílio ao projeto de sistemas e ambientes de trabalho adequados a utilização humana. Os dados para tal foram divididos em dados antropométricos e dados biomecânicos.

**Dados antropométricos:** Basicamente os dados antropométricos são constituídos de medidas dos segmentos ósseos e das distâncias interarticulares. Tais medidas definem os alcances máximos que juntamente com os dados biomecânicos, permitem determinar os centros de rotação dos segmentos corporais.

**Dados biomecânicos:** As amplitudes máximas dos movimentos articulares já foram medidas e atualmente já são conhecidas. Tais medidas têm utilidade limitada, pois o homem tolera o movimento em tais amplitudes por um curto período de tempo. Em contrapartida foram definidas também as chamadas amplitudes de conforto, amplitudes estas que são adequadas ao trabalho humano por um período maior de tempo.

Os dados antropométricos e biomecânicos foram obtidos, ao longo do tempo, baseados em levantamentos estatísticos com base em uma determinada população de análise e variam conforme o sexo, idade e origem do sujeito em estudo. Segundo LAVILLE (1977), *“a variabilidade das dimensões de uma população é tal que frequentemente não se pode levar em conta as medidas que se referem à totalidade dos indivíduos. Em geral, procura-se obter um valor do índice de variação que abranja 90% da população, relevando então a dimensão dos 5% menores e 5% maiores”*.

Da mesma forma que se observou a grande variabilidade entre os dados levantados em uma mesma população, é importante destacar que os coeficientes de correlação entre as medidas dos diferentes segmentos corporais são, em geral, muito baixos. Apesar disto há registro de autores que procuraram estabelecer relações médias entre a estatura e os diversos segmentos interarticulares, como ilustra a figura a seguir:

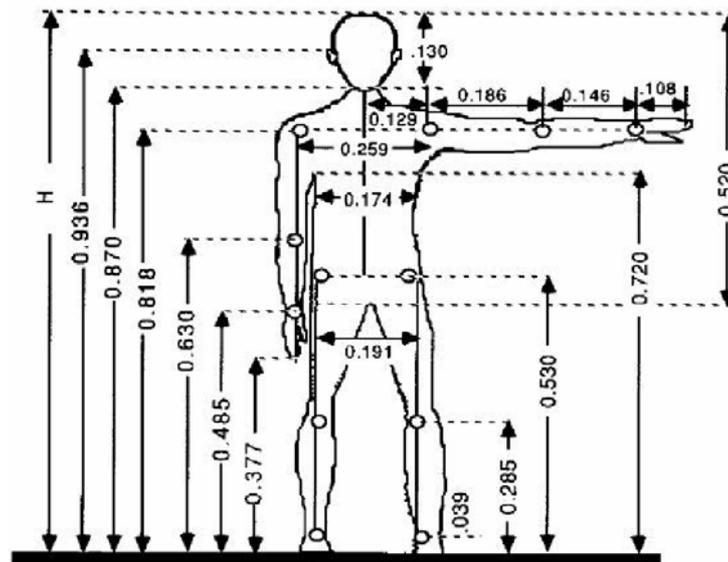


Figura II.1 – Relações entre as dimensões intersegmentares e a estatura.  
DRILLIS E CONTINI (1981)

## II.4 - O ERGOKIT

Dentre as iniciativas nacionais para o levantamento de dados antropométricos e biomecânicos destaca-se o ERGOKIT. O ERGOKIT é um “Kit” para auxílio a análises antropométricas elaborado pelo INT – Instituto Nacional de Tecnologia, composto de um software aplicativo contendo a descrição das inúmeras variáveis medidas nas pesquisas realizadas, um manual de utilização do sistema, um manual contendo os procedimentos básicos para aplicação dos dados antropométricos, gabaritos contendo os ângulos de visualização característicos para as posições sentadas e de pé, gabaritos com “layout” dos manequins humanos em escalas 1:5 e 1:10 e manequins articulados em 2D

confeccionados em acrílico. O ERGOKIT é destinado a auxiliar os profissionais de projeto de produto na aplicação das análises antropométricas na sua atividade projetual e foi baseado neste material que foram realizados os desenvolvimentos para elaboração do software que compõe o presente trabalho.

## **II.5 - Antropometria dinâmica**

A antropometria dinâmica é a parte da ergonomia que procura analisar a relação entre os limites da movimentação das partes do corpo humano e as tarefas profissionais as quais o sujeito está submetido. Desta maneira, nos projetos de máquinas, equipamentos, painéis de instrumentos etc..., deve-se denotar uma atenção especial para que os dispositivos necessários para realização do trabalho estejam ao alcance do trabalhador e que possam ser acionados ou observados de maneira fácil, segura e eficiente. Para tanto é necessária a definição de limites para a movimentação das diversas partes do corpo mais solicitadas em tarefas profissionais.

### **II.5.1 - Movimentação da cabeça**

Para projetos de cabines, painéis de instrumentos ou outros projetos onde a visualização do ambiente ou dos instrumentos é fundamental é imprescindível a determinação do conveniente posicionamento dos controles para que o operador possa abranger toda a amplitude visual necessária com movimentos simples e suaves de cabeça, sem a necessidade de se “forçar” uma determinada posição.

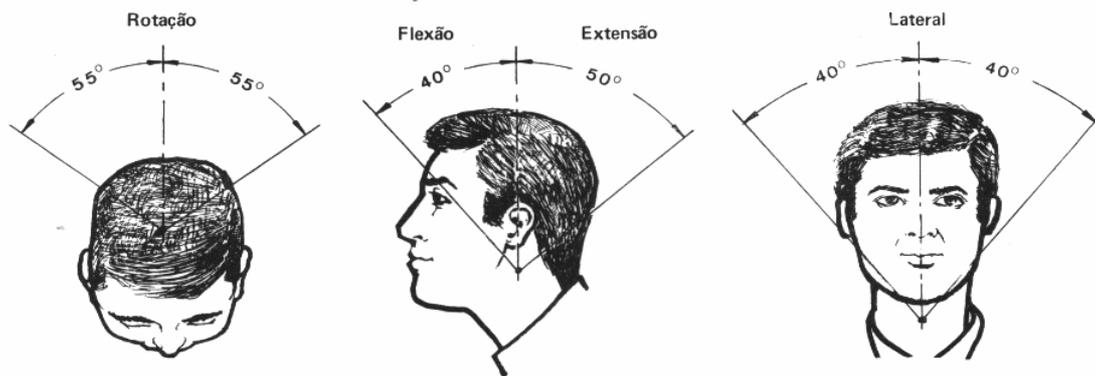


Figura II.2 – Limites para movimentação da cabeça.  
VERDUSSEN (1978)

### II.5.2 - Movimentação das mãos

As mãos são sem dúvida a parte do corpo mais solicitada no trabalho. Elas são necessárias tanto para o acionamento da maioria dos controles de máquinas como também para a utilização de diversas ferramentas de trabalho. Desta maneira, na fase de projeto, os painéis, dispositivos de acionamento e controle e as ferramentas devem ser pensados de maneira a permitir a utilização pelo homem por um período de tempo adequado minimizando os aspectos de cansaço e fadiga do operador.

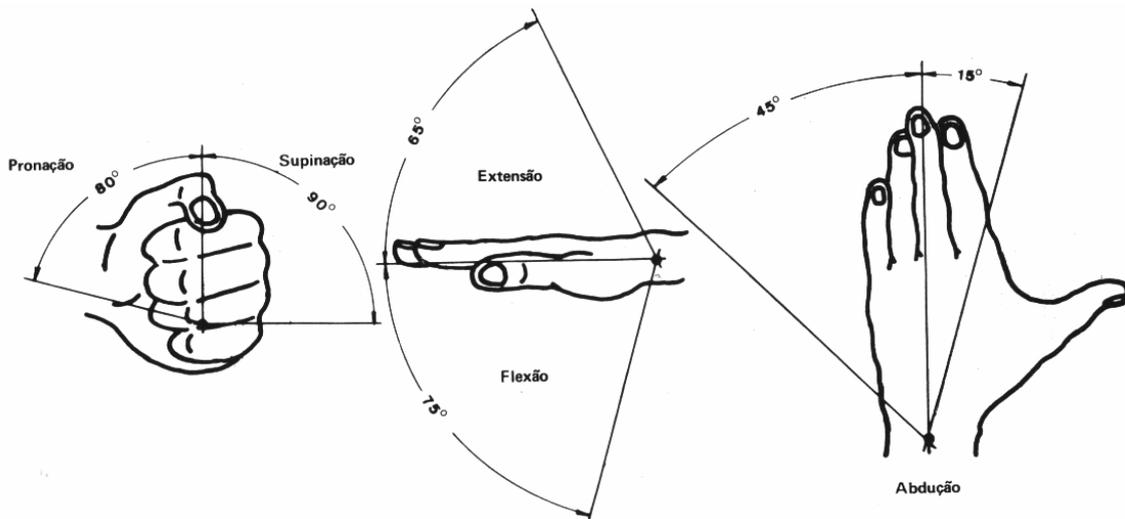


Figura II.3 – Limites para movimentação das mãos.  
VERDUSSEN (1978)

### II.5.3 - Movimentação dos braços

Em relação a movimentação dos braços, os dispositivos de comando e acionamento devem ser projetados de forma a permitir o alcance dos braços, dentro do seu raio normal de ação, sem que o operador precise se curvar ou adaptar sua postura de trabalho de forma a alcançar tais dispositivos.

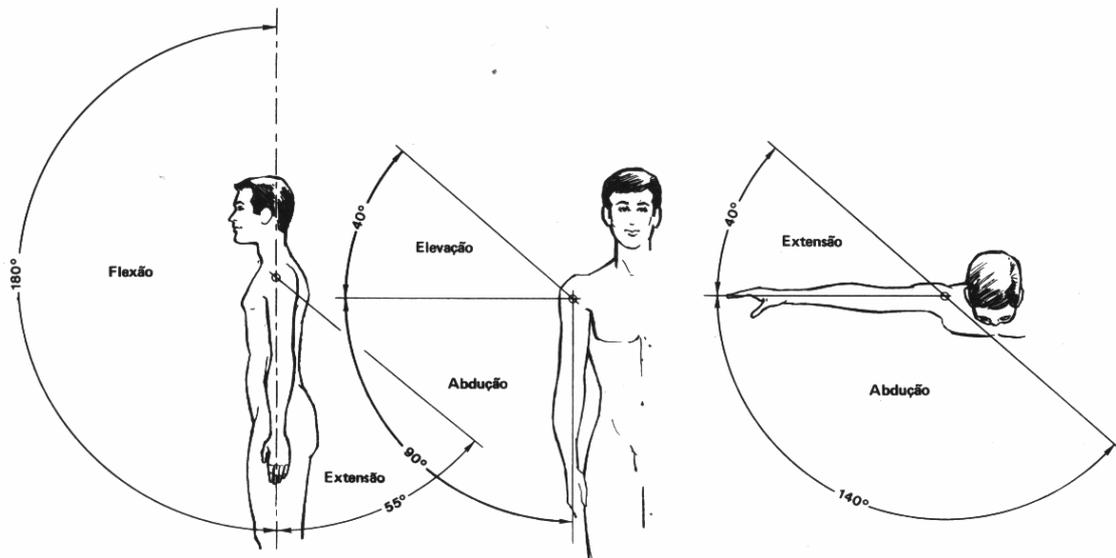


Figura II.4 – Limites para movimentação dos braços.

VERDUSSEN (1978)

### II.5.4 - Movimentação dos antebraços

Num projeto ideal, o operador deve alcançar todos os dispositivos necessários para o seu trabalho somente através dos movimentos dos antebraços. Esta configuração permite um maior rendimento e menor fadiga.

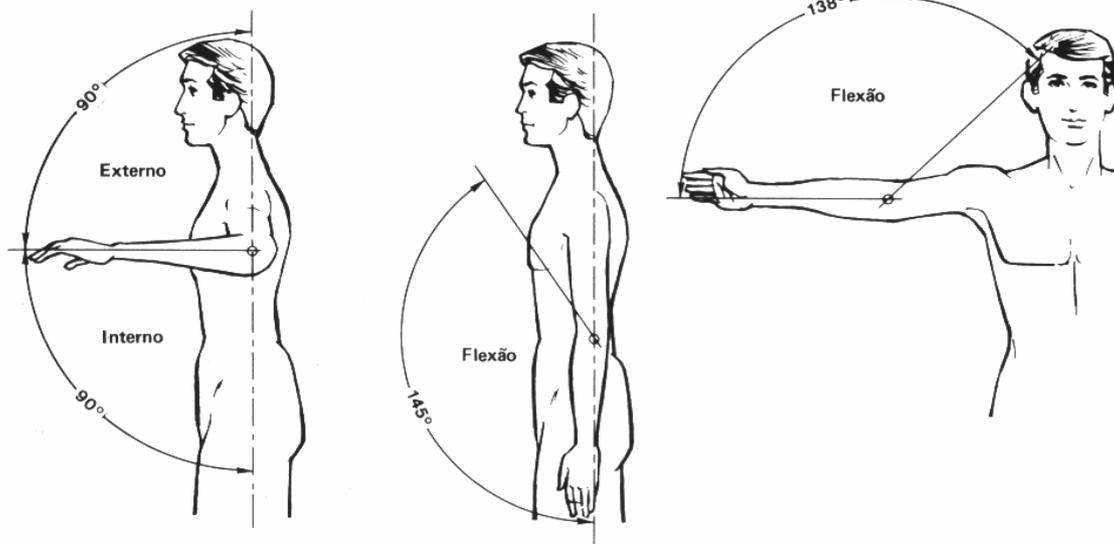


Figura II.5 – Limites para movimentação dos antebraços.  
VERDUSSEN (1978)

### II.5.5 - Movimentação das pernas

É necessário o estudo da amplitude dos movimentos das pernas, uma vez que no projeto de dispositivos de controle e acionamento é comum necessitarmos de itens que sejam acionáveis pelos pés. No geral tal necessidade é específica para comandos de fácil acionamento uma vez que podemos exercer mais força com as pernas, mas em contrapartida, elas não nos oferecem tanta precisão e controle quanto as mãos.

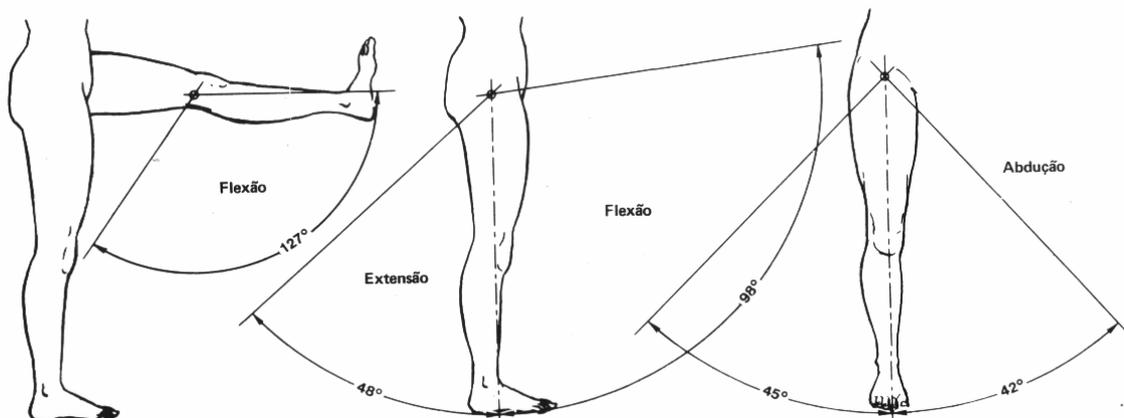


Figura II.6 – Limites para movimentação das pernas.  
VERDUSSEN (1978)

## II.6 - Envoltórios de alcance e conforto

No projeto de dispositivos e estações de trabalho é imprescindível considerar os dados antropométricos e biomecânicos que envolvam as amplitudes dos movimentos normalmente realizados pelo operador na utilização do objeto projetado. Tais dados são denominados envoltórios de alcance ou dimensões funcionais do corpo. Segundo NAVEIRO (1983) estes envoltórios podem ser definidos como superfícies “varridas” pelos membros ao se deslocarem nos planos sagital, frontal e transversal. Ainda segundo NAVEIRO (1983), “o envoltório ótimo é um subconjunto do envoltório de alcance. Sua determinação é feita utilizando-se as relações angulares entre os diversos segmentos corporais considerados de conforto”.

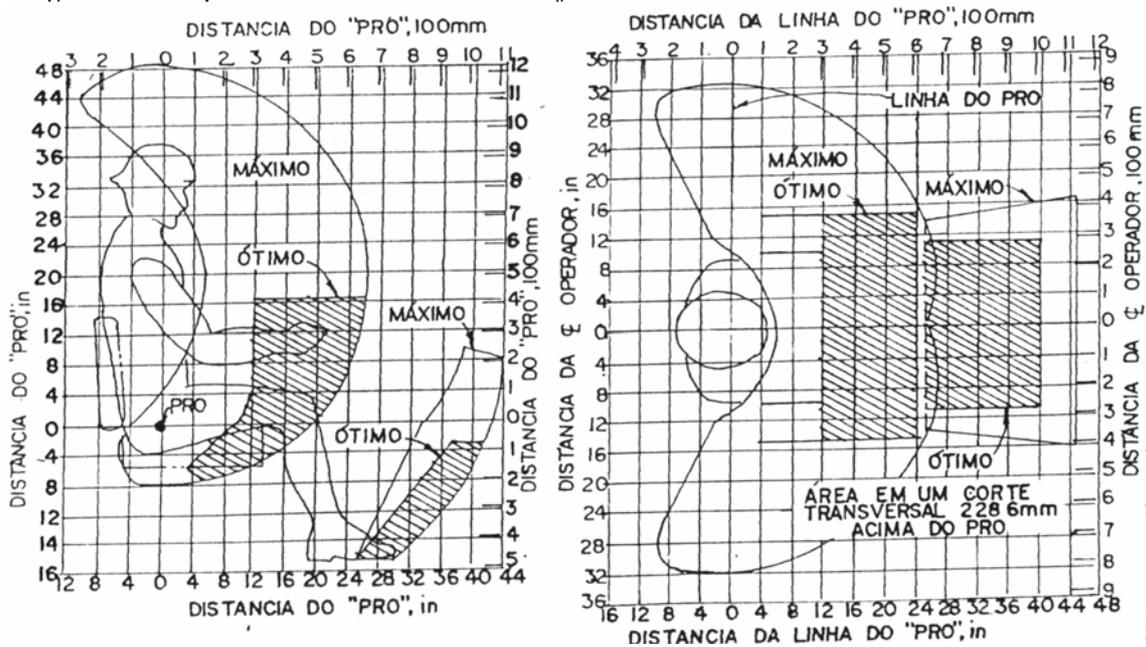


Figura II.7 – Envoltórios de alcance para o projeto de uma cabine para veículos “fora de estrada”.  
NAVEIRO (1983)

## II.7 - Visibilidade do objeto de trabalho

Outro fator importante a ser considerado no projeto de dispositivos e estações de trabalho é no tocante a visibilidade do objeto de trabalho. Durante a etapa de projeto é necessária uma correta análise do posicionamento do sujeito e da consequente adequação do ente projetado ao campo de visão do operador.

O campo de visão apresenta duas áreas de características funcionais distintas: o campo de visão binocular e o periférico. O campo de visão periférico é caracterizado pela perda de percepção e profundidade o que o leva, na maioria das vezes, a ser descartado em termos de projeto. Mas mesmo dentro do campo de visão binocular não ocorre uniformidade no tocante a percepção da forma, cor e movimento, sendo maior a capacidade nas áreas mais próximas à linha de visada principal (vide figura II.8). Segundo NAVEIRO (1983), a maioria dos autores adota  $60^\circ$  como campo de visão útil para projeto. Os campos de visão podem ser ampliados através dos movimentos dos olhos e da cabeça, conforme pode ser observado na figura a seguir:

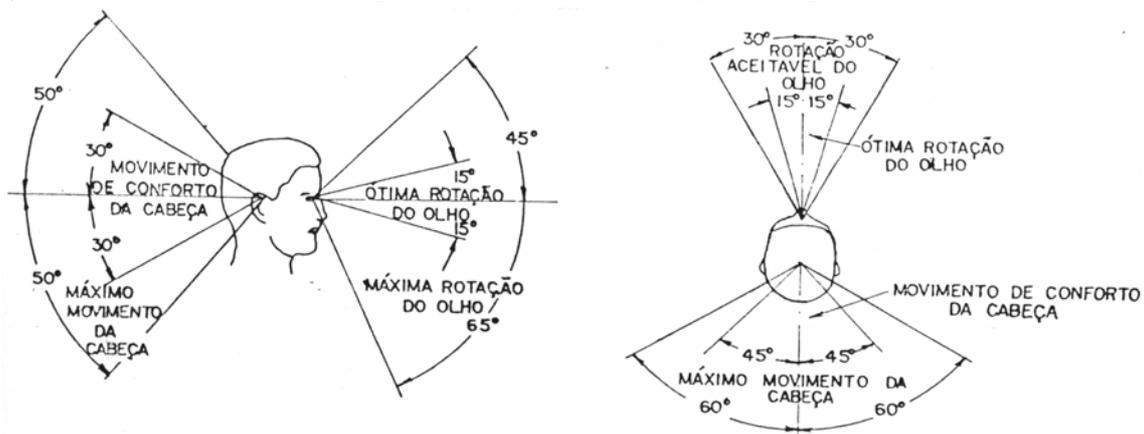


Figura II.8 – Campo de visão máximo e de conforto.

NAVEIRO (1983)

## II.8 - Sistema homem-máquina

Durante a elaboração de qualquer projeto de produto, na etapa da definição do processo industrial utilizado, a equipe envolvida deverá considerar as interfaces do sistema homem-máquina adotado, uma vez que o acionamento do processo dependerá fundamentalmente deste sistema.

No sistema homem-máquina, ambos os componentes atuam tanto como processadores de dados como controladores do processo. Analisando os componentes do sistema podemos verificar tipos de atividades onde cada um deles se sobressai<sup>1</sup>:

(1) – Como processadores de dados:

- O homem é superior a máquina:

[a] – Tem capacidade de decidir, julgando e resolvendo situações imprevistas.

[b] – Pode resolver situações não codificadas, isto é, não se restringe ao previsível.

[c] – Não requer programação, desenvolvendo seus próprios programas, à medida que se fazem necessários.

- A máquina é superior ao homem:

[a] – Não está sujeita a fadiga nem a fatores emocionais.

[b] – As decisões de rotina são mais confiáveis, pois são programadas.

[c] – Seleciona muito mais rapidamente as informações e os dados necessários.

[d] – Pode memorizar, com exatidão, um número muito maior de dados.

(2) – Como controladores do processo:

---

<sup>1</sup> Adaptado de VERDUSSEN (1978)

Para atuação como controlador de processo, as máquinas, de um modo geral, têm desempenho superior ao do homem, pois este:

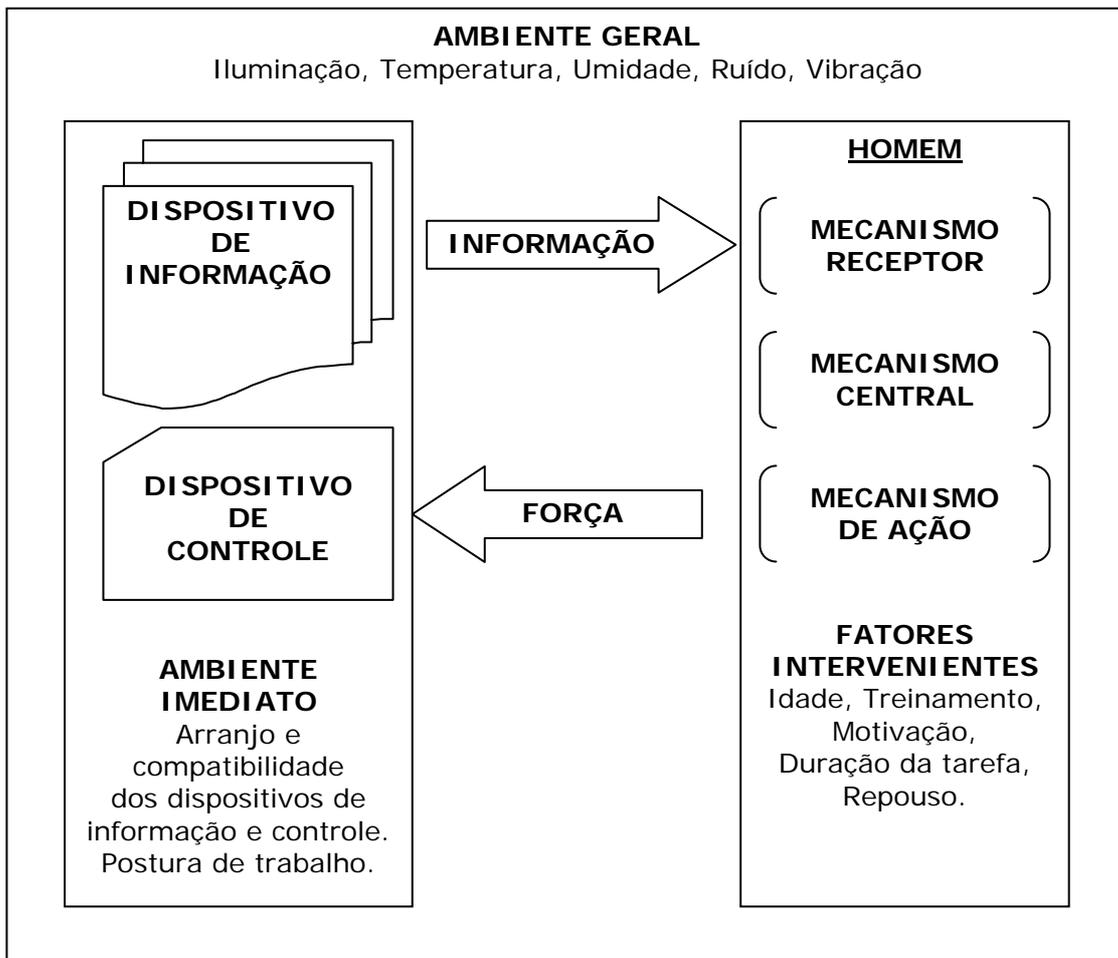
[a] – Está sujeito a fadiga e a fatores ambientais.

[b] – Tem força bastante limitada.

[c] – Só pode exercer uma força por um determinado período de tempo.

[d] – Leva mais tempos entre o instante de uma tomada de decisão e o acionamento do controle.

### QUADRO REPRESENTATIVO DO SISTEMA HOMEM-MÁQUINA



Quadro II.1 - O homem como componente de um sistema fechado. Adaptado de NAVEIRO (1983).

Analisando o diagrama anterior, verifica-se que as análises antropométricas, abordadas nesta dissertação, estão presentes na interface **DISPOSITIVO DE INFORMAÇÃO/MECANISMO RECEPTOR**, através da análise da correta adequação de tais dispositivos de informação aos sentidos da percepção humana, que no caso do ergoCAD implementa a análise do campo de visão para verificação da visibilidade adequada dos dispositivos de informação. Estão presentes também na interface **MECANISMO DE AÇÃO/DISPOSITIVO DE CONTROLE**, através das análises de adequação e posicionamento dos dispositivos de controle aos mecanismos de ação humanos, pela implementação no ergoCAD das análises de alcance máximo e efetivo dos membros superiores.

## **II.9 - Ambiente geral**

Pode-se observar no quadro II.1 a inserção do sistema homem-máquina no que se denomina ambiente geral. O ambiente geral é na verdade o ambiente aonde são realizadas as tarefas laborais, ou seja, o ambiente de trabalho. Um local de trabalho deve ser sadio e agradável, o ser humano precisa encontrar neste ambiente condições capazes de lhe proporcionar proteção e satisfação no trabalho. Para VERDUSSEN (1978), *“Um ambiente de trabalho é o resultado de um complexo de fatores, materiais ou subjetivos, todos importantes e que, tantas vezes, são tão fáceis de serem atendidos”*. Tal afirmação nos leva a discutir quais destes fatores podem ser realmente discutidos dentro do campo da ergonomia e dentre estes quais são realmente os mais importantes e quais seriam tidos como de menor impacto no ambiente de trabalho. Segundo VERDUSSEN (1978) tais fatores são divididos em principais e secundários e classificados da seguinte forma:

(1)- Principais

[a] – Temperatura

[b] – Iluminação

[c] – Ruídos

[d] – Vibrações

[e] – Odores

[f] – Cores

(2)- Secundários:

[a] – Arquitetura

[b] – Relações humanas

[c] – Remuneração

[d] – Estabilidade

[e] – Apoio social

Dentro do escopo deste trabalho não estão incluídas análises relativas a influência do ambiente geral, não pretende-se portanto abordá-las mais minuciosamente uma vez que este trabalho procura se concentrar em análises antropométricas, as quais estão intrinsecamente relacionadas com o Ambiente Imediato abordado no quadro II.1.

## **II.10 - Problemas relativos a ergonomia**

A falta de uma análise mais aprofundada no tocante a aspectos ergonômicos é sem dúvida uma das responsáveis pelos problemas relativos a adaptação dos produtos e ambientes ao homem e as consequências para sua saúde. Dentre os problemas mais comuns, relacionados ao trabalho, que afetam a saúde do trabalhador pode-se destacar as lesões por movimentos repetitivos – LMR, as lesões músculo-esqueléticas – LME, os distúrbios ósteo-musculares relacionados ao trabalho – DORT e finalmente as lesões por esforço repetitivo – LER, o tipo de lesão mais comum a que estão submetidos os trabalhadores na sua atividade laboral. Dois tipos comuns das LER são a distensão muscular no pescoço, ombros e costas, por permanecer sentado por tempo prolongado e, as lesões articulares e musculares devido à excessiva repetição de movimentos.

Algumas estatísticas vêm indicando os problemas relativos ao trabalho como uma das maiores preocupações da indústria em função da sua alta incidência,

GUIMARÃES (2003), trazendo consequências extremamente negativas, inclusive do ponto de vista econômico. Segundo WINKEL e WESTGAARD (1996) só os problemas de saúde ocupacional relacionados com a DORT representaram um custo de 3 a 5% do Produto Interno Bruto de países como a Suécia, Dinamarca, Noruega e Finlândia.

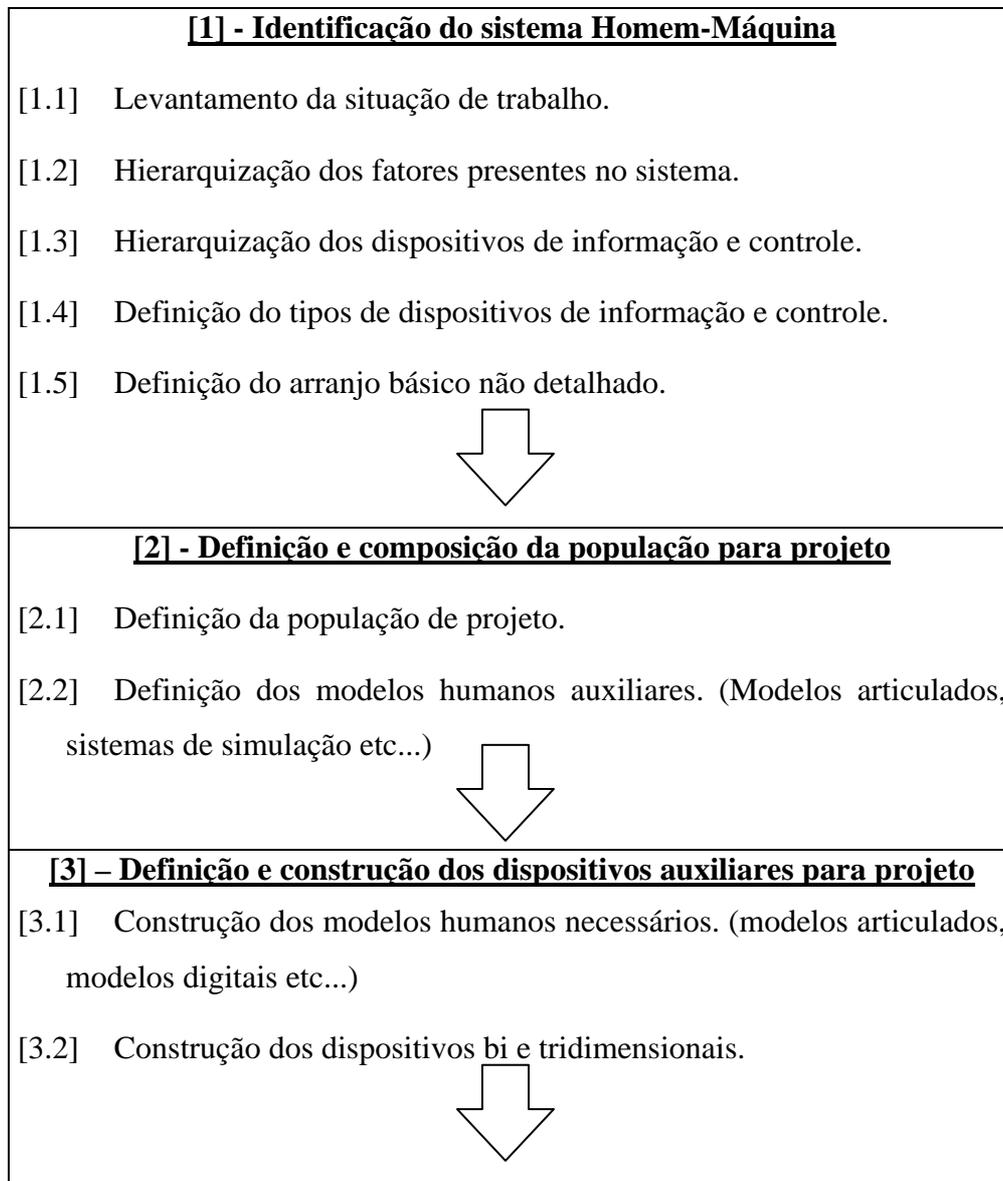
Boa parte destes problemas pode ser minimizada através da sua prevenção ainda em tempo de projeto, seja através da correta análise da maneira como os usuários utilizarão o produto, e as consequentes alterações de projeto que se fizerem necessárias a partir desta análise, ou pela correta adequação de um ambiente a atividade de trabalho, através da elaboração de um projeto/layout que considere a maneira real de como será o comportamento do trabalhador, face ao ambiente de trabalho, em fase de produção.

## **II.11 - Etapas de um projeto de ergonomia**

Todos os tipos de projetos que envolvam a utilização humana devem ser providos em suas etapas de análises referentes à ergonomia, uma vez que sua adequação ao ser humano é fator primordial para o sucesso do seu desenvolvimento. Um projeto de ergonomia pode ser elaborado visando diversas finalidades específicas. Pode-se ter por exemplo, o projeto de um layout de uma linha de montagem, o projeto de layout de escritório, o projeto de um cockpit de um automóvel, o projeto de uma estação de trabalho digital, o projeto da forma de um telefone celular, enfim, devido a gama de opções possíveis é difícil de se delimitar onde e quando a ergonomia deve ser aplicada em cada uma das situações exemplificadas.

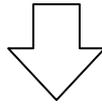
Pode-se, de uma maneira geral, definir algumas etapas que deverão ser consideradas em qualquer projeto de ergonomia, mesmo que na prática a maneira pela

qual se realizará cada etapa possa variar de acordo com o tipo de projeto. Observe o quadro II.2 mostrado a seguir.



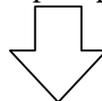
**[4] - Determinação da postura de trabalho**

- [4.1] Levantamento das exigências relacionadas aos sentidos (visão, audição etc...).
- [4.2] Levantamento das exigências quanto ao alcance (alcances máximos e efetivos dos membros inferiores e superiores).
- [4.3] Determinação da posição e das características do mecanismo de suporte a o sujeito (cadeira, banco, bancada etc...).
- [4.4] Escolha do ponto de partida para posicionamento do sujeito.



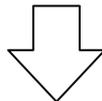
**[5] - Dimensionamento básico da estação de trabalho**

- [5.1] Levantamento das exigências relacionadas aos sentidos (visão, audição etc...).
- [5.2] Levantamento das exigências quanto ao alcance (alcances máximos e efetivos dos membros inferiores e superiores).
- [5.3] Determinação da posição e das características do mecanismo de suporte ao sujeito (cadeira, banco, bancada etc...).
- [5.4] Escolha do ponto de partida para posicionamento do sujeito.



**[6] – Dimensionamento detalhado da estação de trabalho**

- [6.1] Levantamento das características operacionais dos dispositivos.
- [6.2] Verificação da compatibilidade entre as características da estação de trabalho com o posicionamento do sujeito e as características operacionais dos dispositivos.



**[7] - Testes para avaliação do projeto**

- [7.1] Realização de testes utilizando-se modelos computacionais.
- [7.2] Realização de testes utilizando-se modelos físicos.

Quadro II.2 - Adaptado de NAVEIRO (1983)

O quadro anterior procura traçar de forma sucinta um resumo das etapas necessárias para uma correta análise ergonômica em projetos de produto. Ele foi elaborado tomando-se como base o projeto de equipamento automotivo. Mesmo adaptado é natural se imaginar que ocorrerão situações onde as etapas descritas no quadro não serão suficientes, necessitando-se neste caso de complementações para o atendimento a determinadas necessidades específicas, bem como também é natural se imaginar que para alguns tipos de projeto não será necessário percorrer todas as etapas descritas. Tais decisões são de caráter estratégico e cabe a equipe de projeto definir quais tipos de análises serão efetuadas para a correta viabilização ergonômica do produto ou ambiente projetado.

## CAPÍTULO III

### FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO AO PROJETO DE PRODUTO

#### III.1 - O auxílio informatizado a atividade de projeto: da introdução do computador pessoal aos dias de hoje.

Historicamente os primeiros programas para auxílio ao processo de projeto eram compostos de editores gráficos rudimentares que dispunham de um pequeno conjunto de ferramentas para desenho de entidades gráficas fundamentais tais como linhas, pontos, arcos e círculos. Com o avanço da informática tais sistemas começaram a ganhar recursos visando a complementação do ferramental necessário para se passar a utilizar totalmente o computador para a confecção dos desenhos constituintes do projeto. Foram implementados recursos de texto, hachuras, cotas, blocos, recursos de edição tais como mover, copiar e apagar entidades de desenho, enfim, toda uma estrutura para que o profissional pudesse vir a utilizar totalmente os recursos digitais para o desenho do projeto. Tais sistemas foram denominados “desenhadores”, ou seja, ferramentas para auxílio ao desenho e representação gráfica. A partir da introdução de tal tecnologia a confecção digital dos desenhos tornou-se padrão nas mais diversas áreas de projeto e o termo CAD (Computer Aided Design – Desenho/Projeto Auxiliado por Computador) é colocado como sinônimo deste procedimento até os dias de hoje. Nesta primeira “onda” de sistemas pode-se destacar como precursor o AutoCAD®, cuja primeira versão para computadores pessoais foi lançada no início da década de 80.

A tecnologia foi logo incorporada pelas empresas, principalmente pelo rápido desenvolvimento que ela proporcionava a atividade de desenho, pois a cada nova “prancha” não era necessário todo um redesenho. Com os recursos de cópia e edição,

cada novo desenho era elaborado a partir de partes retiradas de vários outros, acelerando assim todo o processo. Como a atividade de desenho na maioria dos projetos é caracterizada pela alta repetitividade das representações gráficas, a informatização tornou-se praticamente obrigatória, “forçando” os profissionais de projeto a se adequarem rapidamente a nova realidade colocada.

A partir dos desenhadores os sistemas CAD foram evoluindo gradativamente ao longo dos anos. Logo chegaram ao mercado os primeiros sistemas comerciais que contemplavam o projeto de peças parametrizadas, ou seja, editores gráficos “parametrizadores”. Tais sistemas vieram somar agilidade aos processos baseados em desenhos esquemáticos, desta forma, projetos com desenhos muito semelhantes e com variáveis geométricas bem definidas eram refeitos em questão de segundos apenas alterando-se uma ou outra variável parametrizada. A partir da alteração destas variáveis todo um conjunto de desenhos era automaticamente feito pelo software, cabendo ao projetista somente a atividade de análise e verificação do resultado gerado. Os primeiros sistemas exclusivos para o projeto mecânico se utilizavam desta tecnologia.

Mais recentemente temos observado uma evolução dos sistemas de projeto mecânico para a construção de modelos tridimensionais, através dos chamados “modeladores”. Softwares mais modernos contemplam não somente o processo de desenho como anteriormente. Neles todo o processo de obtenção de uma representação gráfica do produto em projeto é feita automaticamente em três dimensões, ou seja, deixam de existir comandos para a construção de linhas e círculos e entram em cena ferramentas para a construção de cones, cilindros, esferas entre outras primitivas tridimensionais. Tais construções juntamente com a utilização de recursos avançados de união, subtração, interseção e edição de sólidos fazem com que tal tipo de construção seja extremamente prática para os iniciados nesta tecnologia.

A partir do modelamento digital foi possível a integração dos sistemas computacionais com equipamentos para geração de peças reais. Esta integração é denominada CAM (Computer Aided Manufacture – Manufatura Auxiliada por Computador) e está presente hoje na maioria das indústrias para a elaboração de peças e mecanismos para as mais diversas utilizações. Os primeiros sistemas CAM começaram a existir mesmo antes do surgimento dos modeladores 3D. Eram sistemas utilizados para obtenção de peças planas, baseados geralmente em cortes, furos ou dobras em chapas metálicas. Com o advento da modelagem 3D e o avanço dos equipamentos destinados a confecção de componentes industriais, o CAM passou a ser utilizado para a construção de mecanismos mais elaborados, sendo introduzida sua utilização em processos para produção de peças fundidas com geometrias otimizadas e complexas. Atualmente, com o advento da prototipagem rápida, os recursos do CAM começaram a ser utilizados para a construção de protótipos físicos com alto grau de realismo, possibilitando análises precisas sobre o produto em projeto e até mesmo análises simultâneas entre áreas diversas como por exemplo a confecção de embalagens e projeto de logística concomitantemente com a realização do projeto do produto (engenharia simultânea).

Mais recentemente foram lançados no mercado sistemas para análise e simulação dos modelos construídos através dos modeladores. Estas análises propiciaram ao profissional de engenharia um controle quase total sobre o bem projetado. Atualmente, através deles, um engenheiro mecânico pode analisar tensões estáticas e dinâmicas atuantes em qualquer parte da peça projetada, e baseado nestas análises tomar decisões sobre o projeto, como por exemplo, optar pelo aumento da espessura em determinadas partes da peça para que esta venha a resistir aos esforços atuantes. Um engenheiro civil pode analisar toda a estrutura e verificar com precisão o

dimensionamento dos componentes estruturais, vigas, lajes e pilares baseado somente no modelo virtual criado por ele e com base nisto decidir sobre modelos ou esquemas estruturais que melhor atendam e que tragam mais economia na construção do empreendimento. Estes primeiros sistemas de análise estrutural foram evoluindo juntamente com a indústria da informática. Os primeiros sistemas datam da época “pré-CAD”, ou seja, muito antes do conceito de projeto auxiliado por computador que temos hoje. Devido principalmente a pouca capacidade de processamento os sistemas de análise eram pouco utilizados já que pouco acrescentavam ao processo de análise “manual” em uso pelos projetistas, e mesmo quando se mostravam viáveis, devido ao fraco desempenho dos equipamentos e sistemas da época, determinadas análises levavam horas, dias e até mesmo semanas para serem concluídas. A diferença fundamental das análises do passado para as realizadas hoje em dia não é nem a questão do poder de processamento e rapidez de resposta dos sistemas modernos e sim na questão chave em que os sistemas de antigamente faziam suas análises baseadas em dados textuais previamente inseridos pelo usuário e os sistemas atuais fazem estas análises baseados em um modelo gráfico, o que permite fácil edição e criação de soluções alternativas com alto grau de facilidade, possibilitando ao projetista simular várias alternativas para um mesmo problema de projeto.

As análises realizadas com o auxílio de ferramentas computacionais não se restringem apenas a estudos estruturais. Há aplicações de métodos numéricos que possibilitam análises em diversas etapas de projeto e em diversas áreas diferentes, pode-se citar por exemplo a análise da perda de carga em um projeto hidráulico que possibilite ao projetista uma melhor distribuição dos dutos e conexões de modo a minimizar tal perda, ou a análise do fluxo de ar em uma turbina de avião que permita ao

engenheiro definir um melhor posicionamento das “paletas” do mecanismo de modo a obter a menor resistência do ar possível.

Com a evolução dos sistemas CAD e equipamentos de informática, as respostas para as análises feitas no projeto ficaram cada vez mais rápidas, possibilitando ao projetista testar várias soluções para o mesmo problema de projeto. Baseado nisso começaram a surgir os primeiros sistemas que contemplavam também a simulação, além da análise, ou seja, a partir de uma série pré-definida de variáveis que definem um sequenciamento das operações realizadas pelo software, os programas de análise e simulação procedem com a análise do modelo, verificam as restrições e a seguir, baseando-se nos critérios definidos pelo projetista e nos resultados obtidos através da análise do modelo anterior, o sistema procede com uma nova análise só que desta vez em cima de um novo modelo, gerado a partir das condições obtidas anteriormente. Ao final de uma série destas análises o programa fornece ao profissional uma gama de soluções alternativas que atenderam as restrições colocadas. Tal processamento se caracteriza por uma atividade de simulação com diversas situações diferenciadas a que pode estar sujeito o produto projetado durante sua vida útil.

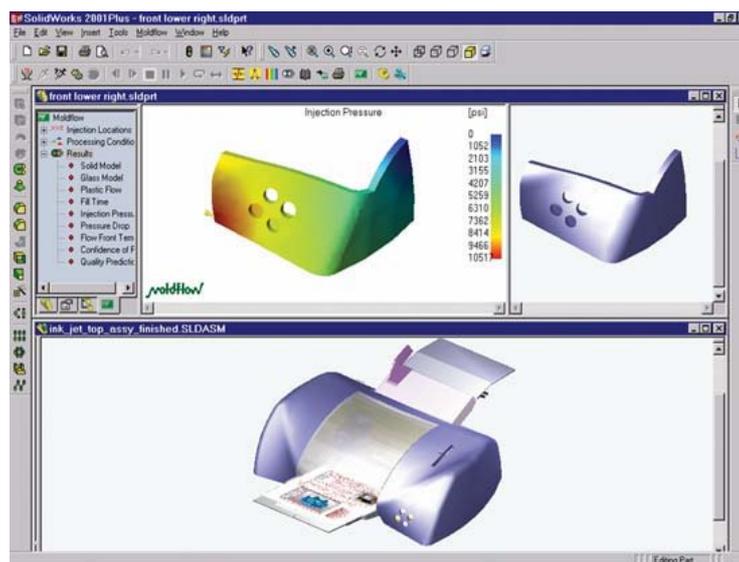


Figura III.1 – Tela do sistema SolidWorks+MoldFlow, sistema KAD para projeto de peças plásticas.

Com a incorporação cada vez maior de conhecimentos específicos às plataformas CAD começaram a surgir os sistemas denominados de KAD (Knowledge Aided Design – Conhecimento Aplicado ao Projeto) cuja principal característica que diferencia os sistemas desta classe é a incorporação em sistemas de projeto de conhecimentos relativos ao processo de elaboração, construção e ou fabricação em si, ou seja, tais soluções simulam e projetam não só o produto final isoladamente e sim fornece condições para os projetistas utilizarem como parâmetros norteadores variáveis obtidas nos processos de fabricação e que podem se mostrar imprescindíveis dependendo do tipo de produto em análise.

Outra gama de programas são os destinados a simulação visual e realidade virtual. Neste grupo se enquadram os programas para renderização, iluminação e visualização de elementos com acabamento fotorealístico além dos sistemas mais atuais de realidade virtual. Através deles o produto em projeto pode ser visualizado na tela do computador com todo o realismo que terá depois de pronto. Sistemas de realidade virtual são utilizados para análise do comportamento dos produtos em condições de uso e possibilitam o contato com o usuário antes mesmo da confecção de um protótipo. Na construção civil por exemplo, a realidade virtual possibilita o passeio virtual dentro da edificação e uma perfeita noção de organização e espaço no empreendimento em projeto. A realidade virtual no projeto de produtos industriais teve grande impulso pelo surgimento da tecnologia de prototipagem rápida, com ela os projetistas passaram a confeccionar protótipos físicos de peças em resina o que possibilita uma perfeita análise do conteúdo em projeto.

Paralelamente ao desenvolvimento dos sistemas CAD e demais tipos de sistemas abordados anteriormente foram se desenvolvendo sistemas destinados ao gerenciamento do processo de projeto. Tais softwares se caracterizavam pela utilização de modelos que

possibilitavam a representação do projeto através de um modelo de rede. Destaca-se aqui a técnica de PERT/CPM, desenvolvida na década de cinquenta e que é utilizada ainda hoje e suportada pela maioria dos softwares modernos. A partir dos anos sessenta a IBM desenvolveu o PCS, mais tarde substituído pelo PROJACS e PMS, tais sistemas foram os primeiros a suportarem a técnica de representação do projeto através do modelo de redes e foram amplamente utilizados até o final da década de oitenta. A partir daí, com o progresso da computação pessoal e o aumento do poder de processamento dos microcomputadores começaram a surgir sistemas bastante eficientes para o gerenciamento de projetos cujo fator custo/benefício se mostrou bastante atraente principalmente para as empresas de menor porte. Destaca-se atualmente o MS-Project, da Microsoft, cuja característica de facilidade de uso o transformou no programa para gerenciamento de projetos mais difundido no mercado mundial e atualmente possui características que fazem com que se torne competidor de sistemas mais elaborados e com custo consideravelmente mais altos. A seguir são apresentadas algumas características comuns aos sistemas de gerenciamento de projeto e que podem ser utilizadas como balizadores para uma análise crítica dos recursos apresentados:

- Devem ser baseados no modelo de diagramas de precedências, onde as tarefas do projeto são criadas na forma de blocos interligados.
- Devem utilizar tabelas como processo de entradas de dados.
- Devem utilizar relações de precedência entre tarefas tipo Fim-Início, Início-Início, Fim-Fim e Início-Fim.
- Devem permitir tarefas recorrentes (ocorrem de forma repetitiva). Ex: reuniões marcadas para todas as segundas-feiras.

- Devem permitir o estabelecimento de níveis hierárquicos, através de “tarefas de resumo”. Muito importante para criação de estruturas de decomposição do trabalho.
- Devem permitir o uso de subprojetos dentro de um projeto.
- Devem possuir recursos para filtrar e classificar tarefas.
- Devem possuir cálculo de tempo feito automaticamente e permitir o uso de datas programadas para determinadas tarefas.
- Devem permitir a ligação de recursos às tarefas do projeto.
- Devem permitir a redistribuição automática dos recursos (nivelamento automático e/ou manual de recursos).
- Devem permitir a ligação dos custos diretamente as tarefas na forma de custos fixos ou de custos dos recursos.

Com o constante crescimento da internet como ferramenta de comunicação e difusão do conhecimento começaram a surgir sistemas especialistas para o apoio a confecção de projetos utilizando-se sistemas distribuídos (redes), que possibilitam ou agilizam a execução de projetos colaborativos. Tal tecnologia tem sido hoje o principal alvo de fabricantes de desenvolvedores de software e a tendência para utilização da internet como plataforma base para o desenvolvimento de projetos tem sido cada vez mais estudada e utilizada. Atualmente as principais empresas de sistemas de projeto já disponibilizaram algum tipo de solução que contemple a utilização da internet para apoio a execução de projetos. Tais soluções têm foco na questão da colaboração, uma vez que com as ferramentas de comunicação já desenvolvidas, boa parte do problema já está resolvida. Cabe as empresas agora o desenvolvimento e estabelecimento de padrões

de sistemas e arquivos para que ocorra um fortalecimento da utilização deste recurso, uma vez que já conta-se com infraestrutura e conexões suficientes e em contínuo desenvolvimento. A atividade colaborativa utilizando sistemas distribuídos é forte impulsionadora da engenharia simultânea, já que, com o contato constante que a tecnologia proporciona, as equipes de projeto tem condições de se manterem “próximas” em atividade (mesmo que longe fisicamente) e executar etapas de projeto simultaneamente, possibilitando desta maneira, a redução do tempo gasto no processo de realização do projeto.

### **III.2 - A utilização das ferramentas computacionais no processo de projeto: benefícios e dificuldades de aplicação da tecnologia.**

Apesar de toda esta evolução os sistemas computacionais de auxílio ao processo de projeto ainda não conseguiram atingir de forma significativa a etapa de concepção. Esta etapa é fortemente caracterizada pelo processo de geração de idéias e desta forma, profundamente dependente da criatividade do profissional ou profissionais envolvidos. Especificamente para o projeto mecânico foram desenvolvidas plataformas CAD, ditas “inteligentes”, que conseguem reconhecer mecanismos “semi-projetados”, ou seja, um sistema já “pré-concebido” onde a obtenção de um novo mecanismo pode ser obtida através de uma decomposição e/ou agrupamento destes sistemas já existentes. Para tal tipo de ato conceptivo já existem tecnologias eficazes que permitem a “criação” de novos projetos de maneira totalmente auxiliada por computador, onde os projetistas agrupam e desagrupam componentes testando soluções parciais até partirem para uma fase de pré-projeto, análise e simulação baseando-se em algumas destas soluções pré-concebidas. Tal conceito é complexo e envolve em uma só etapa sistemas que foram evoluindo gradativamente com a história da computação. Podemos identificar em tais

soluções um núcleo CAD de modelamento espacial responsável pela geração/visualização do modelo obtido a partir destas combinações, a este núcleo deve estar acoplado comandos e bibliotecas de mecanismos específicos para determinado tipo de projeto, daí a denominação de plataformas verticais que tendem a atingir toda uma gama de etapas no desenvolvimento de projetos, buscando como “meta ideal” o atendimento como um todo das etapas que compõem o projeto específico de um determinado setor. Tal conceito é extremamente abrangente e nos dias atuais longe de ser satisfeito uma vez que, mesmo para setores onde tem se desenvolvido soluções muito abrangentes, os sistemas mais atuais ainda ficam devendo bastante em termos de etapas do projeto suportadas. Mas é uma tendência clara, visto que o valor percebido pelos usuários de um sistema de projeto é proporcional ao número de etapas que são suportadas por sua tecnologia. Atualmente praticamente todo sistema CAD de primeira linha possui características semelhantes que engloba um modelador tridimensional, que é utilizado tanto para o “esboço” dos primeiros modelos até a confecção de um modelo 3D amplamente detalhado e a obtenção de vistas planas deste modelo. Uma biblioteca básica de mecanismos específicos para os projetos da área a que se destina, como por exemplo: um sistema destinado a projeto de arquitetura deve possuir bibliotecas de entidades fundamentais básicas, tais como paredes, janelas, portas, telhados, vigas, pilares etc... Um sistema de projeto de tubulações industriais deve possuir uma ampla biblioteca de dutos, conexões, estruturas de sustentação e demais mecanismos básicos destinados a este tipo de projeto. Um módulo de detalhamento, com comandos para o detalhamento dos desenhos gerados e montagem das folhas para impressão. Além destas características algumas plataformas ainda disponibilizam sistemas on-line para projeto colaborativo, geração de arquivos para publicação na internet ou ainda entidades de desenho com recursos de *hiperlink*, onde o projetista clica em determinado elemento no

desenho e é levado automaticamente à página do fabricante daquele item, por exemplo. Complementarmente pode-se citar os sistemas onde a análise e simulação já começa a ser introduzida na plataforma CAD básica. Alguns softwares já contam com sistemas de análise por elementos finitos e de simulação de materiais por exemplo, onde é feita toda uma gama de análises em cima do modelo gerado dentro do mesmo software, possibilitando sua imediata alteração sempre que for encontrada alguma restrição não atendida pelo modelo. Todos os sistemas que englobam características como as descritas acima começam gradativamente a fazer parte do ambiente de trabalho do profissional de projeto e tem se difundido com muita rapidez, justamente pelo valor percebido por seus usuários no tocante a utilização de um mesmo sistema, com a mesma interface, mesmos comandos, mesmo layout e suportando, cada vez mais, uma maior gama de recursos de projeto.

Ainda nos dias de hoje pode-se perceber também claras restrições no tocante a completa integração dos recursos computacionais utilizados no processo de projeto. Sistemas modernos de gerenciamento ainda possuem pouca interface com os sistemas CAD utilizados constantemente pela engenharia por exemplo. Tal falta de interoperabilidade gera um distanciamento entre os processos de projeto e as atividades de gerenciamento. Com o advento da computação distribuída e da cada vez maior facilidade de acesso a redes de computadores as empresas desenvolvedoras têm buscado integrar suas soluções com a internet, apostando nesta integração como uma “solução natural” para o casamento entre sistemas de projeto e sistemas de gerenciamento. Tal “casamento” ainda está longe de ser concretizado, uma vez que obstáculos técnicos e/ou tecnológicos (tais como diversidade de interfaces, perfis de usuário diferentes, diversidade de tecnologias de desenvolvimento, falta de recursos de hardware, infraestrutura insuficiente) ainda devem ser vencidos para que se tenham sistemas realmente

integrados, que propiciem a grupos de projeto um gerenciamento das atividades do projeto em si em consonância com o andamento das atividades do restante do setor e da empresa como um todo.

### **III.3 - O ergoCAD**

Atualmente a atividade de projeto de ergonomia é atendida por diversos tipos de software. Algumas análises podem ser realizadas com o auxílio de sistemas CAD horizontais, onde os projetistas podem com alguma facilidade, inserir elementos, medir distâncias e simular algumas situações de utilização dos produtos projetados. De toda forma, tais sistemas não são específicos para aplicação em projetos de ergonomia e portanto, não são dotados de ferramentas projetadas especificamente para análises ergonômicas de postos de trabalho.

Outra gama de sistemas aptos a realização de tais tarefas são os denominados sistemas verticais para aplicação exclusiva em análises ergonômicas. Dentre estes podemos citar atualmente o MQPro (ou Manequim Pro) e o Jack, dentre outros. Tais softwares são na realidade plataformas que agregam diversos tipos de conhecimento para a montagem de um sistema apto a realizar estudos em ergonomia. De uma maneira geral poderemos denominá-los sistemas KAD (Knowledge Aided Design ou Conhecimento aplicado ao Projeto). Tal classe de sistemas, como já mencionado, se caracteriza pela aplicação de diversos tipos de conhecimento para a construção de um software capaz de suprir uma gama de necessidades específicas para determinados tipos de projeto. Neste caso, os softwares acima mencionados, além de possuir um núcleo CAD bastante desenvolvido possuem dados relativos a modelos antropométricos de diversos países, além de mapear com precisão todas as interações e restrições presentes

nas conexões entre os membros do corpo humano, possibilitando assim a geração de modelos biométricos tridimensionais com características bastante próximas as do corpo humano real. Além disto os sistemas atuais são dotados de simuladores em tempo real, o que permite aos projetistas e ergonomistas gerarem animações com real exatidão e visualização de conflitos e com isto, a antecipação de diversos tipos de problemas de projeto. Desta maneira, através de uma leitura mais minuciosa sobre os sistemas acima apontados, esta análise nos leva a considerar que estamos atingindo ótimos níveis nas ferramentas de apoio ao projeto de ergonomia ressaltando aqui o fato destas ferramentas, possivelmente por seu grau de desenvolvimento e complexidade, não estarem ao alcance da maioria das empresas que necessitam de tais recursos. Mais uma vez pode-se ver que o acesso a estes sistemas não é universalizado.

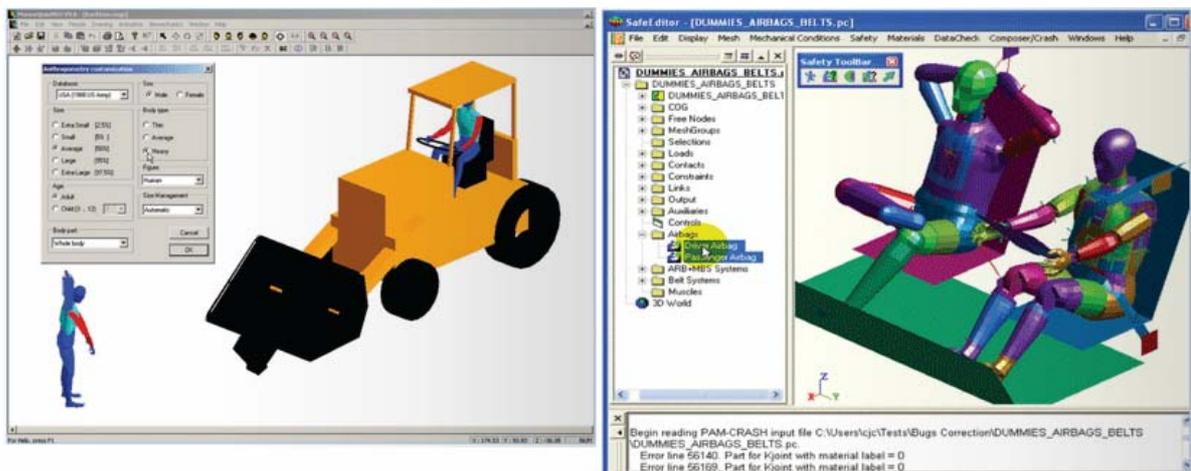


Figura III.2 – Telas dos sistemas MannequinPRO e PAM-SAFE para auxílio a análises ergonômicas em projeto de produto.

Os softwares necessitam de plataformas robustas para o seu funcionamento, computadores e sistemas operacionais de última geração e isto, agregado ao fato do próprio sistema custar alguns milhares de dólares tornam a aquisição desta tecnologia extremamente cara para as pequenas e médias empresas.

Tomando-se como base este quadro, procura-se apresentar nesta dissertação um protótipo do que seria um sistema CAD de baixo custo de investimento<sup>1</sup> e sem custo de propriedade<sup>2</sup> que fosse desenvolvido para o auxílio a realização de estudos ergonômicos simples mas de grande ajuda na análise de projetos de produtos.

---

<sup>1</sup> Dizemos aqui baixo custo de investimento pois o ergoCAD foi concebido para rodar em plataformas básicas sem exigências de sistemas operacionais específicos nem custos substanciais para aquisição de equipamentos com grande capacidade de memória e processamento.

<sup>2</sup> Dizemos “sem custo de propriedade” pois o ergoCAD é distribuído gratuitamente e não necessita de outros softwares para funcionar além, é claro, do sistema operacional.

## CAPÍTULO IV

### O ERGOCAD

#### IV.1 - O que é o ergoCAD ?

O ergoCAD é um sistema CAD básico, projetado para análises bidimensionais<sup>3</sup>, implementando em sua primeira versão análises antropométricas do modelo em vista lateral (perfil) para modelos humanos nos percentis 95% e 5% tanto masculino como feminino. Os modelos utilizados no ergoCAD foram obtidos através do ERGOKIT (1995), uma publicação do INT – Instituto Nacional de Tecnologia, contendo dados antropométricos obtidos através das pesquisas: Pesquisa Antropométrica e Biomecânica dos Operários da Indústria de Transformação do Rio de Janeiro (3100 homens) (1985/86), Pesquisa Antropométrica de Digitadores do SERPRO do Rio de Janeiro e São Paulo (202 mulheres e 203 homens) (1988), Pesquisa Antropométrica da População Militar (1080 homens) (1990), Pesquisa Antropométrica das Telefonistas da Telerj (64 mulheres) (1992).

Através destas pesquisas foi elaborado um banco de dados, um manual sobre o sistema, gabaritos antropométricos, manequins biomecânicos articulados e um manual sobre a utilização dos gabaritos e manequins antropométricos. Esta primeira versão do ergoCAD é totalmente baseada nos modelos utilizados para a criação dos gabaritos e manequins articulados. Não foram implementados modelos referenciados aos bancos de dados uma vez que, necessita-se de permissão de acesso a eles para se proceder com a criação dos modelos paramétricos baseados nas medições da população alvo das

---

<sup>3</sup> Apesar desta primeira versão ter sido implementada para auxílio a análises em duas dimensões, todo o núcleo CAD do ergoCAD está apto para implementação de análises tridimensionais. Tais análises não foram implementadas devido a complexidade para geração do modelo antropométrico em 3D, complexidade esta que, na análise do autor, extrapola consideravelmente o escopo desta dissertação de mestrado.

pesquisas contidas nestes bancos de dados. Uma outra dificuldade encontrada foi no tocante a envoltória dos modelos, uma vez que as medições realizadas foram baseadas, na sua grande maioria, nas distâncias entre os eixos dos membros, tronco e cabeça não se considerando a envoltória de massa corporal em torno destes eixos. Para a confecção dos manequins articulados foram efetuadas medidas utilizando-se antropômetros ou fita métrica, de maneira a suprir esta necessidade para a construção do modelo físico a ser utilizado nas análises.

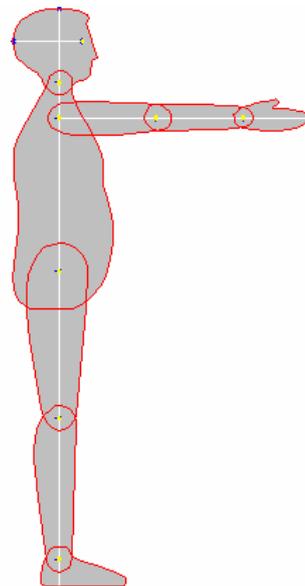


Figura IV.1 – Visualização do modelo digital implementado no ergoCAD para o percentil 95%.

O ergoCAD toma como base estes modelos: são escaneados os manequins, em seguida a imagem escaneada é transportada para uma plataforma CAD colocando-a em verdadeira grandeza e então é realizado o processo de rasterização convencional<sup>4</sup> no contorno do manequim. Desta forma obtém-se o modelo digital do manequim articulado do ERGOKIT. Na figura IV.1 pode-se visualizar o modelo digital do manequim articulado masculino, percentil 95%, implementado no ergoCAD.

Em seguida este modelo é inserido no módulo de posicionamento do programa, onde o usuário escolhe o percentil adequado à sua análise, depois ele insere no projeto

---

<sup>4</sup> Entende-se por rasterização convencional o processo de vetorização de uma imagem em mapa de bits através da utilização de apontadores manuais, tais como o mouse, caneta ótica ou mesa digitalizadora.

CAD o manequim digital posicionando-o adequadamente de acordo com a análise a ser realizada (note que no final deste capítulo é apresentado um exemplo de aplicação do ergoCAD através da adequação do projeto de uma cabine de empilhadeira). A partir do modelo inserido no projeto pode-se realizar as análises básicas implementadas no ergoCAD: cálculos dos alcances máximos e funcionais dos membros superiores e cálculo da visão útil através dos campos de visão binocular e periférico para uma determinada posição (sentado ou de pé). Sempre considerando o modelo em perfil.

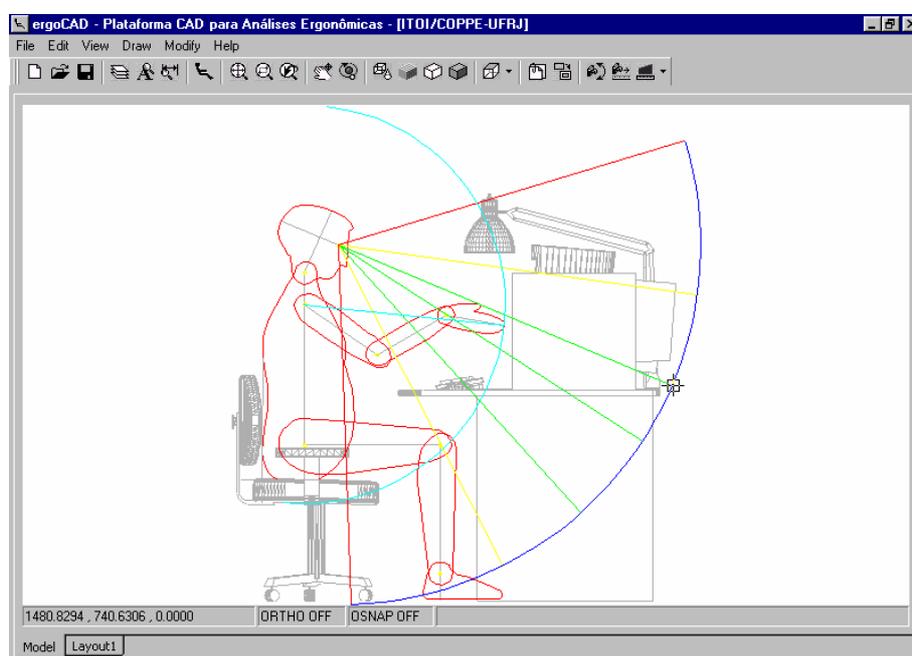


Figura IV.2 – Figura contendo a tela principal do ergoCAD mostrando os campos de visão binocular/periférico, assim como o alcance das mãos.

É importante salientar neste ponto que as diversas angulações dos membros do manequim deverão ser atribuídas corretamente no módulo de posicionamento, uma vez que, sendo inserido no desenho o manequim se apresenta como um bloco único, não sendo possível, portanto, a alteração do seu posicionamento no desenho. Tal implementação foi necessária devido a necessidade de se identificar cada um dos modelos utilizados (nome do modelo), fato este que permite a utilização de mais de um manequim por arquivo de projeto.

## IV.2 - Quais etapas do projeto de ergonomia poderão ser auxiliadas pelo programa

O ergoCAD, apesar de ser classificado pelos seus próprios autores como um software para auxílio ao projeto e ensino de projeto em ergonomia tem sua principal finalidade aplicada a antropometria. É importante aqui se diferenciar ergonomia de antropometria. Segundo VILLAROUCO (2002), *“a antropometria é uma das áreas de conhecimento que auxiliam a ergonomia, não sendo possível alguém pretender como ergonomicamente adequado um espaço (produto<sup>5</sup>) projetado apenas com preocupações antropométricas”*.

Assim sendo pode-se dizer que o ergoCAD auxilia ao desenvolvimento de estudos e projetos de ergonomia de postos de trabalho uma vez que o software é uma ferramenta para análise/adequação antropométrica do ambiente em projeto ao homem. O software não possui características que o levem a definir ou sugerir soluções mais ou menos adequadas do ponto de vista antropométrico. O ergoCAD fornece um núcleo CAD, agregado a conhecimentos básicos de antropometria sendo eles: um módulo para definição e inserção de manequins digitais obedecendo a percentis masculinos e femininos determinados pelas pesquisas realizadas pelo INT, comandos para cálculo e desenho dos alcances máximos e funcionais dos membros superiores dos modelos inseridos no projeto e cálculo da visão útil de projeto através do desenho do cone de visão mostrando os ângulos de visão ótimos e máximos para os modelos inseridos. Apesar da aparente simplicidade, o ergoCAD fornece outras ferramentas muito úteis para a composição de uma análise antropométrica mais apurada, podemos destacar: comandos para modificação do desenho (mover, copiar, rotacionar, espelhar etc...), comandos para medição e dimensionamento (através deles pode-se indicar com precisão

---

<sup>5</sup> Apesar de no artigo original o autor re referenciar apenas a ambientes e espaços projetados com preocupações ergonômicas, a experiência nos leva a ampliar tal afirmação para o âmbito dos projetos de produto.

as distâncias envolvidas nas análises), ferramentas de captura de pontos (através delas pode-se capturar com precisão pontos notáveis no projeto, pontos finais, pontos médios, tangentes etc...), ferramentas para desenho de entidades básicas (permitem desenhar linhas, arcos, círculos, polilinhas, hachuras, dentre outras entidades CAD fundamentais), ferramentas de texto (através delas pode-se inserir textos, observações e comentários nas análises efetuadas) e finalmente a capacidade já disponibilizada no ergoCAD de gerar arquivos padrão DXF e/ou DWG (padrões de mercado) e impressão direta em escala o que o caracteriza como uma ferramenta completa sem a necessidade de utilização de outros sistemas para a elaboração de uma análise completa.

Dentre as etapas de um projeto de ergonomia explicitadas no quadro II.2 do capítulo II, pode-se utilizar o ergoCAD com maior eficiência para as seguintes funções:

**item 2.2** – Definição dos modelos humanos auxiliares.

**itens 3.1 e 3.2** – Construção dos modelos humanos e dos dispositivos bi ou tri dimensionais.

**itens 4.1, 4.2 e 4.3** – Relativos ao posicionamento, alcances máximos e funcionais e levantamento de exigências relativos ao ângulo de visão.

**itens 5.1, 5.3 e 5.3** – Novamente relativos ao posicionamento, alcances e ângulo de visão.

As características disponibilizadas pelo ergoCAD dão ao programa uma grande potencialidade para o seu emprego no auxílio a análises ergonômicas, principalmente por se tratar de uma ferramenta de fácil acesso, fácil utilização e plenamente adequada ao emprego no projeto de postos de trabalho, principalmente por pequenas e médias empresas e entidades de ensino que tenham dificuldade de acesso a produtos mais complexos.

### **IV.3 - Exemplo de aplicação:**

#### **Análise Ergonômica do Projeto da Cabine de uma Empilhadeira.**

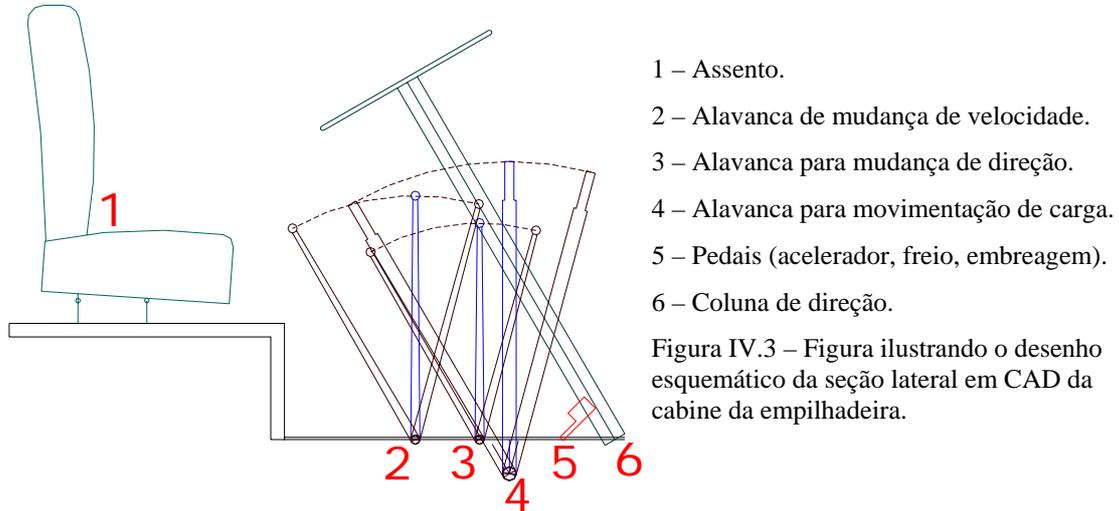
É apresentado a seguir um exemplo de aplicação do ergoCAD. Procede-se com a re-análise do ponto de vista ergonômico/antropométrico do projeto da cabine de uma empilhadeira. O estudo ergonômico em questão foi elaborado pelos alunos da disciplina Projeto de Produto da Escola de Engenharia da UFRJ, sob orientação do Prof. Ricardo Manfredi Naveiro. A metodologia apresentada no projeto foi utilizada para o reestudo do posicionamento da coluna de direção, das alavancas de comando e da verificação do campo de visão do indivíduo. No trabalho em questão não foram possíveis, devido a limitação do ergoCAD, análises feitas em planos diferentes do lateral, uma vez que o programa ainda não contempla tais tipos de análise. Procede-se com uma releitura do estudo realizado através da aplicação do modelo digital do ergoCAD no projeto da seção transversal do veículo e refazendo os cálculos dos alcances e ângulos de visão. É importante salientar neste ponto que o modelo humano utilizado na disciplina é diferente do obtido através dos manequins do ERGOKIT, sendo assim, é natural se esperar resultados ligeiramente diferentes.

Para o re-estudo do trabalho com o auxílio do ergoCAD foram observados os seguintes procedimentos:

- 1 – Redesenho em formato CAD da cabine da empilhadeira.
- 2 – Estudo da visibilidade do modelo original.
- 3 – Estudo da posição da coluna de direção do modelo original.
- 4 – Estudo da posição das alavancas de controle do modelo original.
- 5 – Elaboração de novas propostas para solução dos problemas relativos à ergonomia.
- 6 – Estudo das novas soluções propostas.

## 1 – Redesenho em formato CAD da cabine da empilhadeira.

Após o redesenho da cabine da empilhadeira obtém-se o seguinte desenho em formato CAD que é utilizado como base para o desenvolvimento dos trabalhos, onde pode-se observar:



Ressalta-se neste ponto que as alavancas para mudança de velocidade e de direção estão localizadas à direita do sujeito e a alavanca para movimentação de carga à esquerda.

## 2 – Estudo da visibilidade do modelo original.

Com base no modelo de visibilidade disponibilizado no ergoCAD, efetua-se a análise dos ângulos de visão ótimos, observados na figura IV.4:

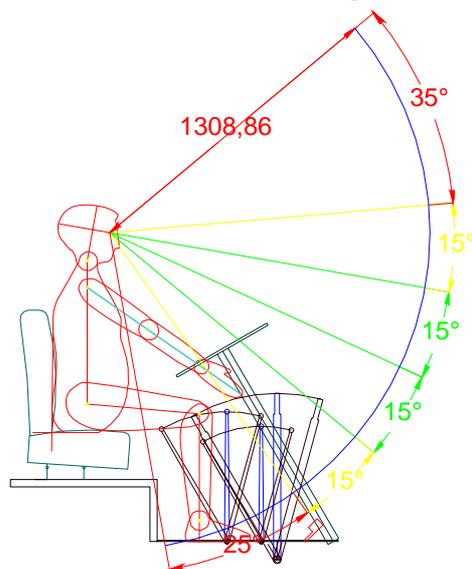


Figura IV.4 – Figura ilustrando o estudo dos ângulos de visão do sujeito na cabine da empilhadeira.

A partir desta análise conclui-se que a visibilidade do operador não será fator gerador de problemas, uma vez que a cabine é aberta e praticamente sem restrições do ponto de vista de visibilidade de operação.

### **3 – Estudo da posição da coluna de direção do modelo original.**

A figura IV.5 ilustra o posicionamento do operador referente ao alcance ao volante da empilhadeira. Pode-se observar que não há restrições quanto a operacionalidade da coluna de direção.

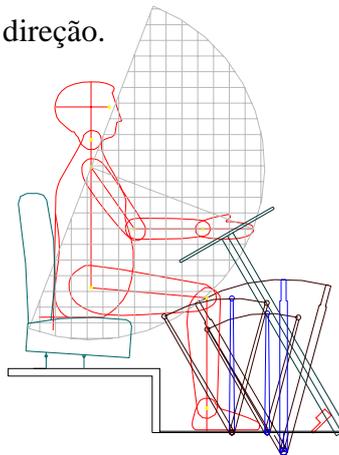


Figura IV.5 – Figura ilustrando o posicionamento do operador em relação a coluna de direção do veículo.

### **4 – Estudo da posição das alavancas de controle do modelo original.**

Na posição usual de operação verifica-se pela análise mostrada na figura IV.6 o difícil acesso às alavancas de mudança de direção e de movimentação de carga.

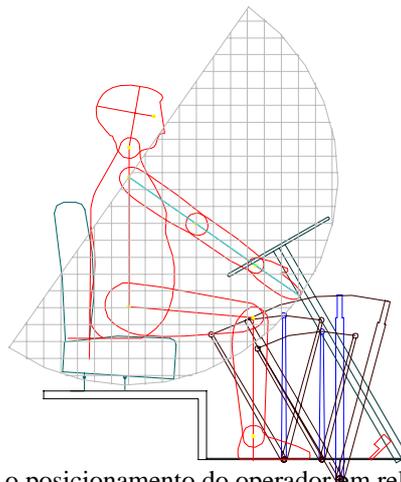


Figura IV.6 – Figura ilustrando o posicionamento do operador em relação às alavancas de comando.

Mesmo alterando-se a posição do manequim digital verifica-se que para o layout proposto, não há um posicionamento do operador que seja condizente com as condições de conforto necessárias para o trabalho. A figura IV.7 mostra como, mesmo efetuando-se uma inclinação no tronco de  $70^\circ$  ainda não foi possível alcançar as alavancas B e C no seu ponto mais afastado.

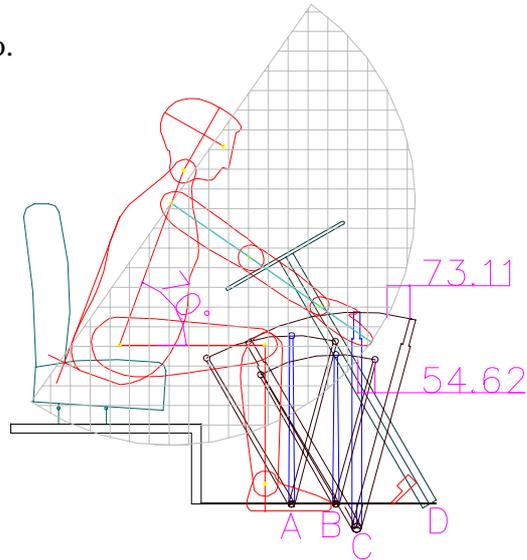


Figura IV.7 – Figura referente ao sujeito ainda sem alcance às alavancas de comando.

Somente foi possível alcançar as alavancas de controle depois de girar-se o tronco do modelo de modo a formar um ângulo de  $75^\circ$  entre o tronco e o quadril do modelo digital. Verifica-se na prática que este nível de movimentação transforma a operação de um veículo como este em tarefa especialmente cansativa.

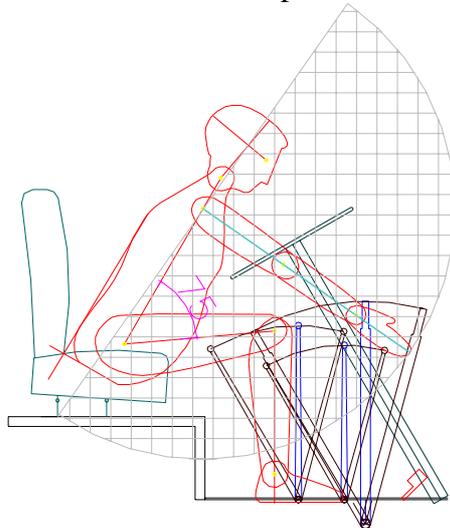


Figura IV.8 – Figura referente ao sujeito com o alcance pleno a todas as alavancas de comando.

## 5 – Elaboração de novas propostas para solução dos problemas relativos à ergonomia.

Com base nas análises apresentadas acima justificou-se uma re-análise do posicionamento das alavancas de comando. Depois de se estudar a viabilidade técnica de inúmeras modificações possíveis partiu-se para a definição da configuração apresentada na figura IV.9.

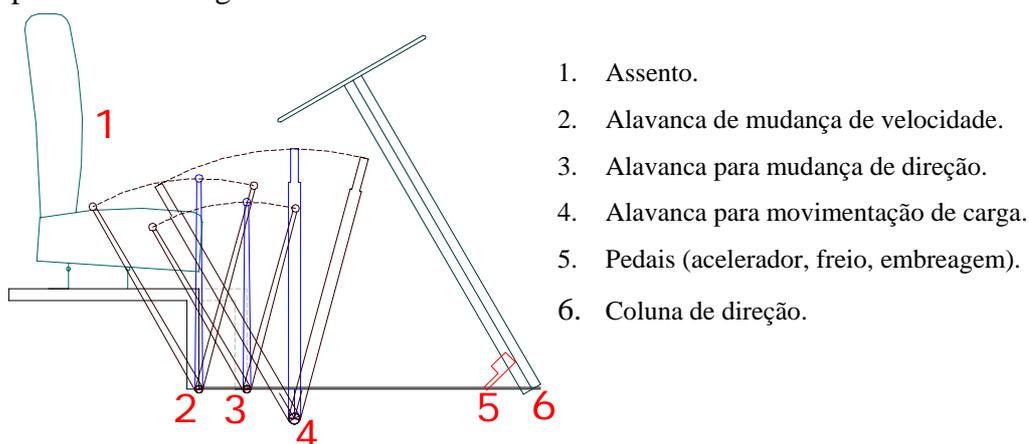


Figura IV.9 – Figura referente ao novo posicionamento das alavancas de comando da empilhadeira.

Com base nos re-estudos efetuados foram efetuadas as seguintes alterações no layout original do projeto da cabine da empilhadeira:

1. Diminuição do tamanho da base do assento (representada na figura IV.9 pelas linhas pontilhadas).
2. Modificação da posição das alavancas de mudança de velocidade, mudança de direção e movimentação da carga, sendo que as duas primeiras permaneceram à direita e a última à esquerda do sujeito. Estas alavancas de comando foram deslocadas para uma posição mais próxima ao operador com o intuito de proporcionar um maior conforto durante a operação do equipamento.

## 6 – Estudo das novas soluções propostas.

Com base nas alterações de layout propostas no item anterior procedeu-se com a análise da operacionalidade das alavancas de comando utilizando-se o auxílio do ergoCAD. Esta análise é representada pela figura IV.10 a seguir.

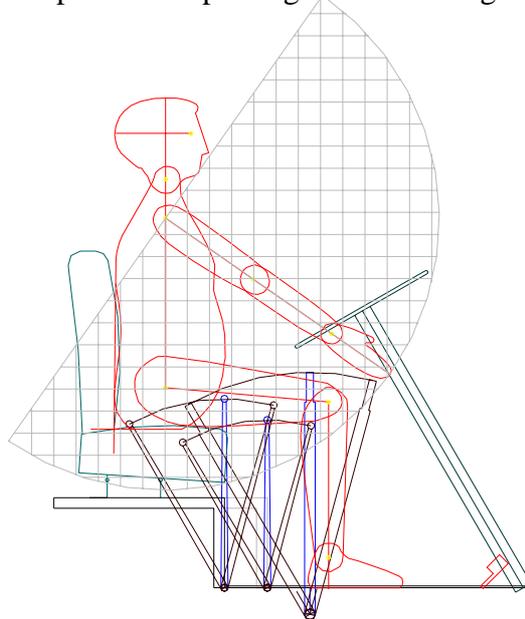


Figura IV.10 – Figura referente ao posicionamento do operador para o novo layout da cabine da empilhadeira.

Como a posição da coluna de direção não foi alterada não foi necessária uma nova análise em relação a sua operacionalidade. Com base no modelo apresentado na figura IV.10 verifica-se que o novo posicionamento das alavancas atende perfeitamente às necessidades referentes a operação do veículo uma vez que se encontram totalmente ao alcance das mãos do operador, tanto na posição mais próxima quanto na posição mais afastada de cada uma das alavancas de comando.

## CAPÍTULO V

### O ERGOCAD: ASPECTOS TÉCNICOS E DE IMPLEMENTAÇÃO

A principal tarefa no desenvolvimento do ergoCAD foi a implementação dos modelos digitais dos manequins no núcleo CAD do sistema. Nesta etapa foi construída uma matriz de pontos para referência aos eixos e pontos de contato entre os diversos membros do modelo articulado bem como dos ângulos de rotação possíveis entre os membros, restrições de movimento a serem aplicadas e os ângulos de conforto descritos no próprio ERGOKIT. Esta matriz de pontos possibilitou a criação de um módulo de posicionamento do modelo, módulo este responsável pela definição da posição de estudo do manequim, onde o ergonomista poderá posicionar o manequim nas diversas posições necessárias para o estudo completo do produto em projeto. Ilustramos este módulo através da figura V.1 apresentada a seguir.

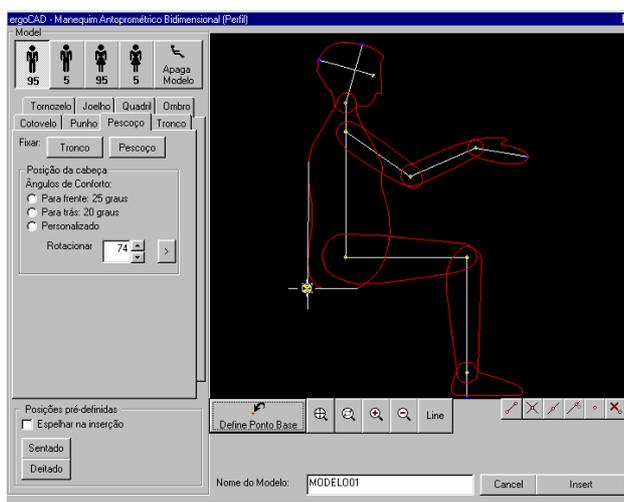
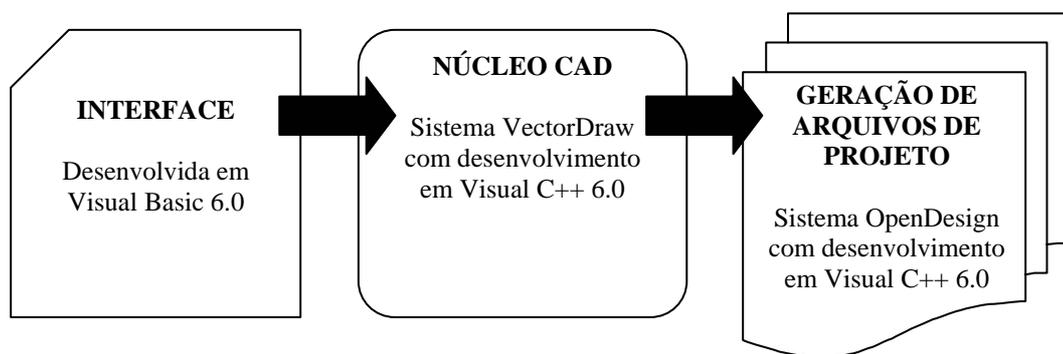


Figura V.1 – Tela do ergoCAD mostrando o módulo de posicionamento do modelo.

A partir do módulo de posicionamento implementado, partiu-se para a criação de um núcleo CAD básico que possibilitasse a interação com projetos desenvolvidos nas mais diversas plataformas CAD. Desta maneira utiliza-se um núcleo CAD,

implementado utilizando os componentes e códigos VectorDraw e OpenDesign<sup>6</sup> de modo a suprir esta necessidade primordial do sistema. Este núcleo é implementado em Visual C++ e utiliza tecnologia MFC – Microsoft Foundation Classes onde implementa tecnologia ActiveX o que possibilitou escrever todos os quadros de diálogo e demais interfaces com o usuário utilizando o Microsoft Visual Basic 6.0, fato este muito importante para se agilizar o desenvolvimento do sistema, uma vez que o Visual Basic permite a programação em um ambiente totalmente visual e orientado a eventos.

Com base na utilização deste núcleo CAD pôde-se ter no ergoCAD praticamente todas as características das plataformas CAD mais desenvolvidas. São disponibilizados no programa todos os comandos de visualização (diversos tipos de zoom e pan), comandos para construção de entidades básicas tais como linhas, arcos, polilinhas etc..., além da compatibilização com outros sistemas através da leitura e gravação de arquivos padrão DWG e DXF. Desta maneira o ergonomista pode importar para dentro do ergoCAD a vista lateral do projeto base do produto e nela posicionar adequadamente o manequim digital de modo a realizar neste conjunto as análises ergonômicas suportadas pelo sistema. É apresentado a seguir o quadro V.1 descrevendo a implementação do ergoCAD.



Quadro V.1 – Fluxograma técnico referente a implementação do ergoCAD.

<sup>6</sup> Os códigos VectorDraw e OpenDesign utilizados são disponibilizados aos associados dos consórcios VectorDraw Inc. e OpenDesign.org respectivamente, e possuem módulos de livre distribuição e módulos licenciados para empresas de desenvolvimento de software.

## V.1 - Fluxograma de Implementação

As figuras V.2, V.3, V.4 e V.5 ilustram o modelo de implementação do ergoCAD. Para referenciar-se aos objetos, classes, eventos, funções e elementos de interface que compõe o software utilizou-se a seguinte estrutura para se distinguir os elementos:

- (Model/Layout) – **Parêntesis:** Sempre que um determinado conteúdo aparece entre parêntesis ele é um elemento constituinte da interface do software.
- [Fom1\_Load] – **Colchetes:** Sempre que um determinado conteúdo aparece entre colchetes ele é um evento. O código que executa determinada ação está escrito diretamente no evento referenciado entre colchetes.
- {Module1.CalculaVisualizaçãomPé} – **Chaves:** Sempre que um determinado conteúdo aparece discriminado entre chaves ele é uma função do programa, ou seja, é a função que é disparada ao se referenciar um determinado evento do programa.

Ainda em relação aos fluxogramas, são apresentados em alguns pontos números indicativos: 1, 2 e 3. Estes números indicam continuidade, ou seja, em determinado ponto temos o número 1 indicando o fim do fluxograma neste página, mas em outra teremos a continuação do fluxograma a partir da identificação pelo número 1.

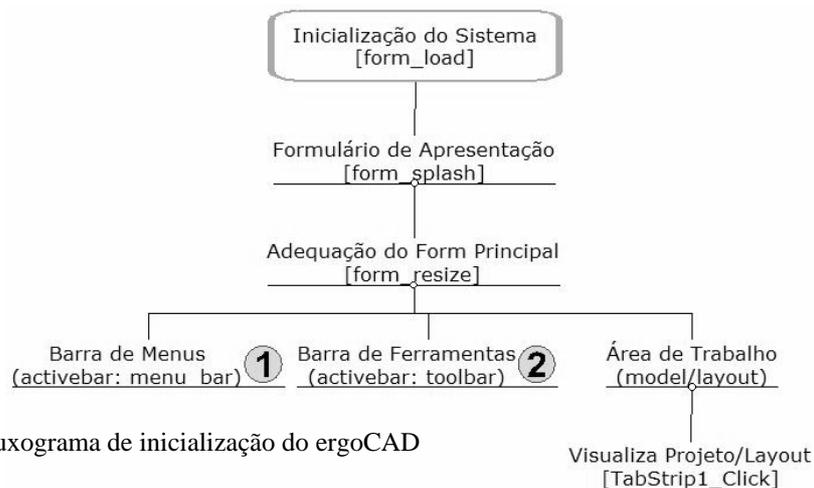


Figura V.2 – Fluxograma de inicialização do ergoCAD

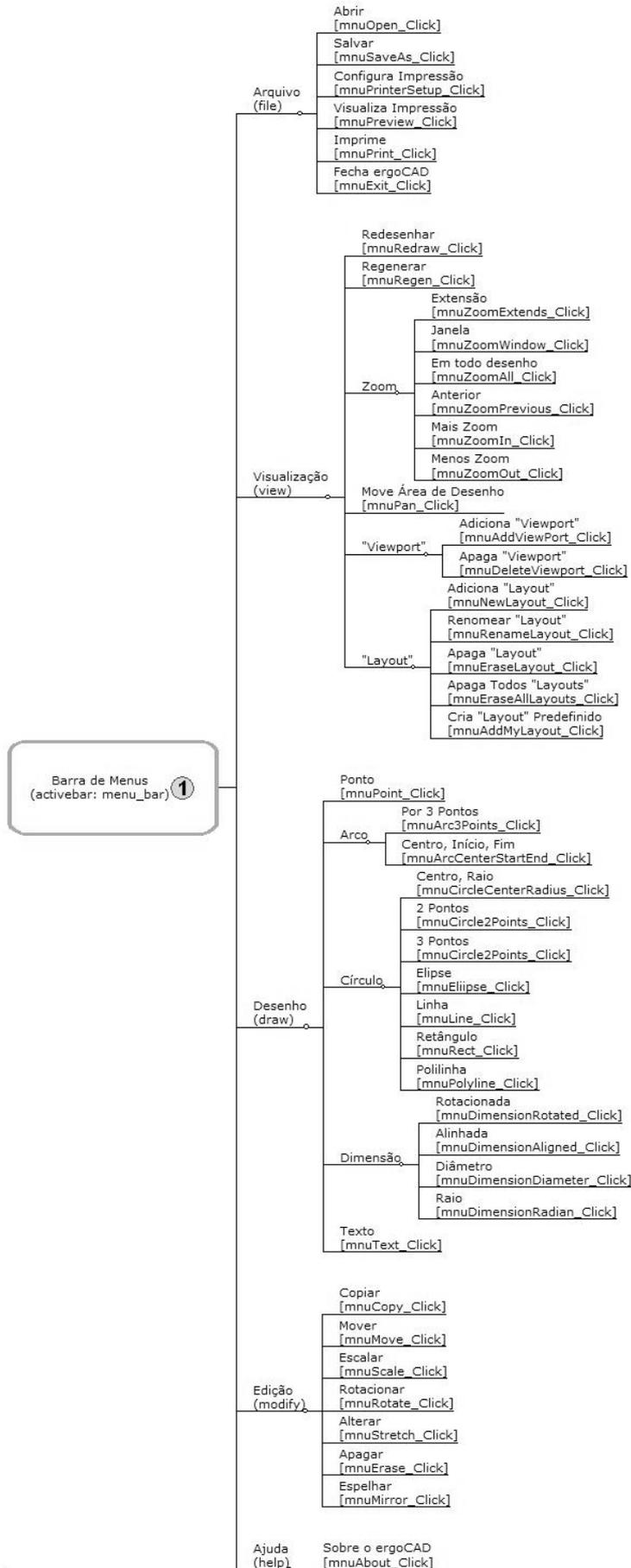


Figura V.3 – Fluxograma da Barra de Menus do ergoCAD.

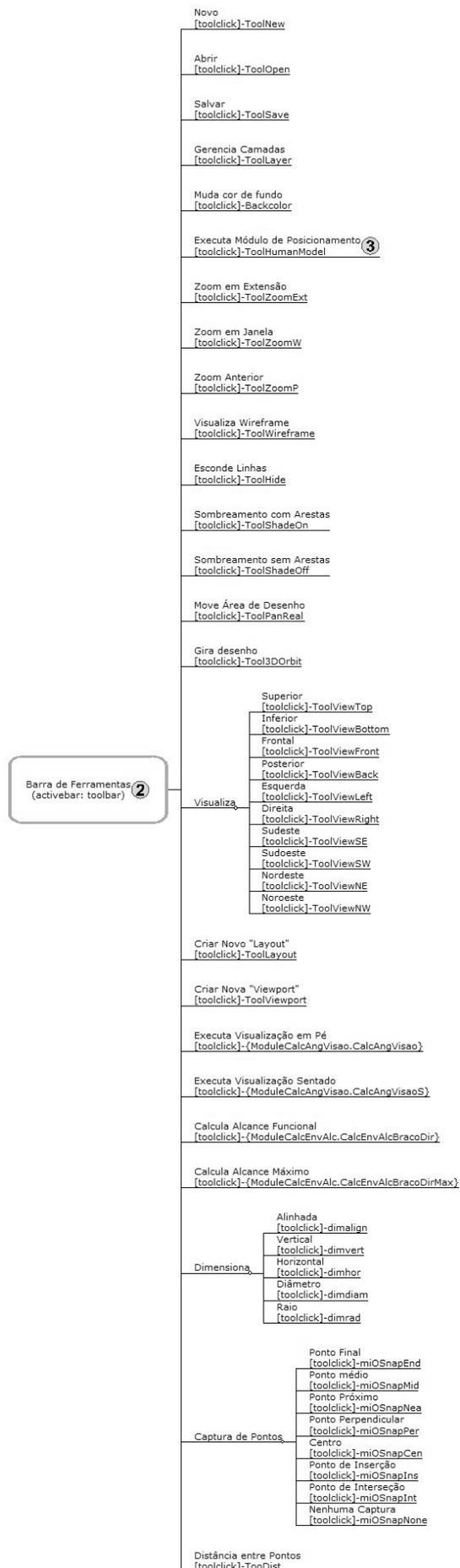


Figura V.4 – Fluxograma da Barra de Ferramentas do ergoCAD.

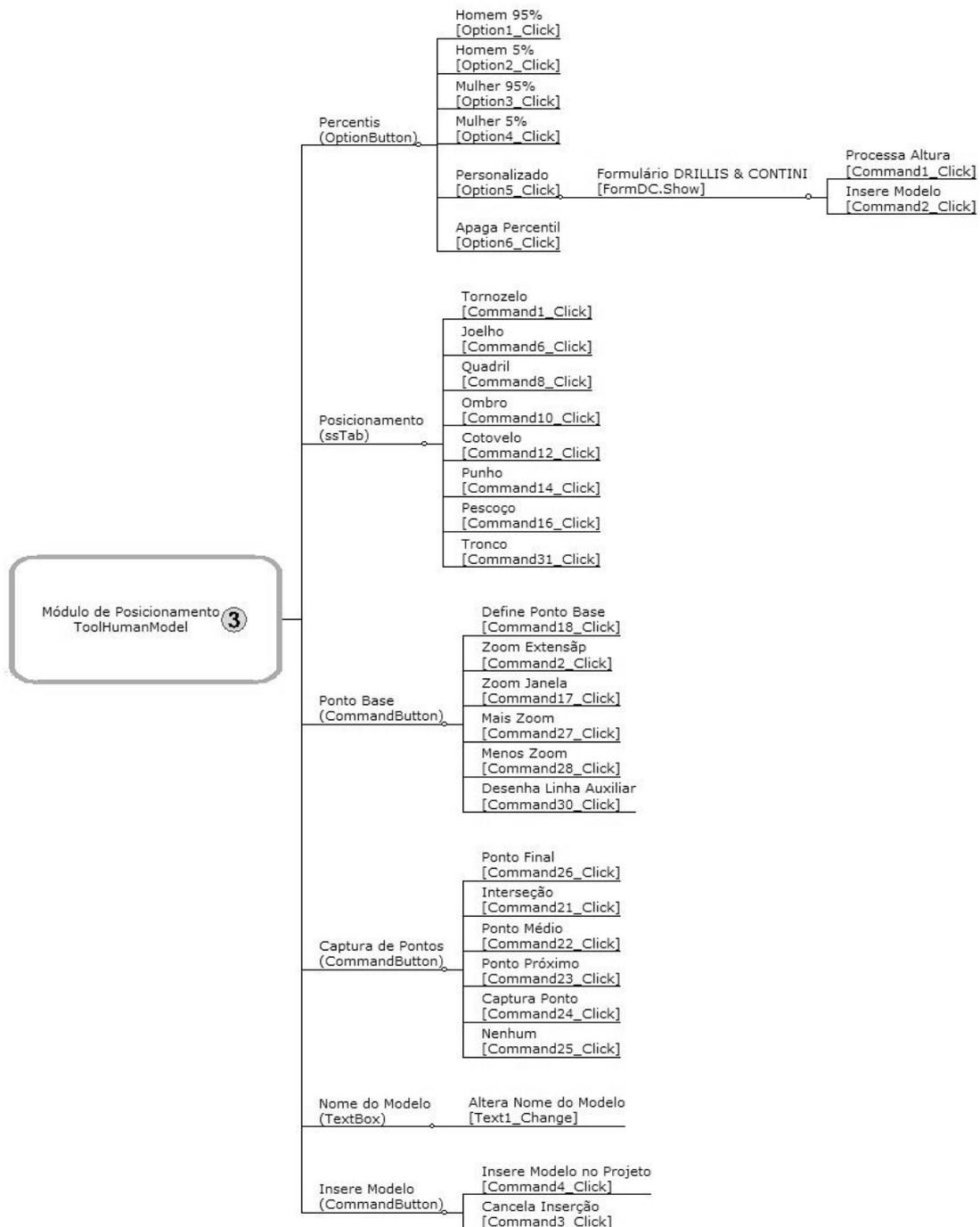


Figura V.5 – Fluxograma referente ao Módulo de Posicionamento do Manequim.

O fluxograma descrito pela figura V.2 mostra a sequência de inicialização do sistema. O código principal para esta atividade está escrito basicamente em três eventos do formulário principal do ergoCAD:

- **Form\_Load:** contém todo o código referente a inicialização do sistema. Definição do tamanho da tela, posição dos elementos e inicialização do arquivo que é tomado como base para o primeiro projeto (este arquivo é posteriormente substituído pelo arquivo aberto pelo usuário).
- **Form\_Splash:** É apresentada a tela de créditos mostrando o nome do programa e os créditos referentes ao mestrado em Engenharia de Produção ITOI/COPPE/UFRJ.
- **Form\_Resize:** contém todo o código referente a mudanças no layout e tamanho da janela principal do ergoCAD.

Após a sequência inicial de inicialização do sistema, o ergoCAD apresenta uma estrutura de escolha, definida por:

- **Barra de Menus:** Contém o código para acesso aos “menus” superiores do ergoCAD. Este módulo é descrito pelo fluxograma apresentado na figura V.3.
- **Barra de Ferramentas:** Contém o código para acesso aos “ícones” do ergoCAD. Este módulo é descrito pelo fluxograma apresentado na figura V.4.
- **Área de Trabalho:** Contém o código para navegação entre os modos “model” e “layout”

O fluxograma descrito pela figura V.3, descreve as funções implementadas nos eventos disparados pelo “menu” superior do ergoCAD, que é composto dos seguintes módulos:

- **Arquivo:** contém o código dos eventos disparados pelo menu “File”.
- **Visualização:** contém o código dos eventos disparados pelo menu “View”.
- **Desenho:** contém o código dos eventos disparados pelo menu “Draw”.
- **Edição:** contém o código dos eventos disparados pelo menu “Modify”.

- **Ajuda:** contém o código dos eventos disparados pelo menu “Help”.

A figura V.4 descreve o fluxograma referente ao evento relacionado à barra de ferramentas do ergoCAD. Através desta barra o usuário poderá acessar diversos recursos do programa, dentre os quais pode-se destacar:

- **Executa Módulo de Posicionamento:** Através desta opção o usuário tem acesso ao módulo de posicionamento de manequins do ergoCAD. Este procedimento é executado pela função *ToolHumanModel* e é mostrado no fluxograma descrito pela figura V.5.
- **Executa Visualização:** Esta opção executa a função *ModuleCalcAngVisão.CalcAngVisão* que é a responsável pelo cálculo e desenho do ângulo de visão para manequins em pé.
- **Executa Visualização Sentado:** Esta opção executa a função *ModuleCalcAngVisão.CalcAngVisãoS* que é a responsável pelo cálculo e desenho do ângulo de visão para manequins sentados.
- **Calcula Alcance Funcional:** Esta opção executa a função *ModuleCalcEnvAlc.CalcEnvAlcBracoDir* que é a responsável pelo cálculo e desenho do alcance funcional dos membros superiores.
- **Calcula Alcance Máximo:** Esta opção executa a função *ModuleCalcEnvAlc.CalcEnvAlcBracoDirMAX* que é a responsável pelo cálculo e desenho do alcance máximo dos membros superiores.

A figura V.5 ilustra o funcionamento do formulário referente ao posicionamento dos manequins no ergoCAD.

- **Percentis:** Esta opção executa a seleção do modelo que será desenhado no módulo de posicionamento e está subdivida em:
  - **Homem 95%:** Desenha o manequim masculino percentil 95%.
  - **Homem 5%:** Desenha o manequim masculino percentil 5%.
  - **Mulher 95%:** Desenha o manequim feminino percentil 95%.
  - **Mulher 5%:** Desenha o manequim feminino percentil 5%.
  - **Personalizado:** Executa o formulário DRILLIS & CONTINI, para desenho de um manequim masculino, parametrizado segundo DRILLIS E CONTINI (1981).
  - **Apaga Percentil:** Apaga o manequim desenhado no módulo de posicionamento.
  
- **Posicionamento:** Acessa a estrutura de “abas” referente ao posicionamento do modelo e os ângulos dos diversos pontos de rotação:
  - **Tornozelo:** configura o ângulo do tornozelo.
  - **Joelho:** configura o ângulo do joelho.
  - **Quadril:** configura o ângulo do quadril.
  - **Ombro:** configura o ângulo do ombro.
  - **Cotovelo:** configura o ângulo do cotovelo.
  - **Punho:** configura o ângulo do punho.
  - **Pescoço:** configura o ângulo do pescoço.
  - **Tronco:** configura o ângulo do tronco.

- **Ponto Base:** Acessa as funções construídas para auxílio a definição de pontos notáveis no desenho a serem utilizados como pontos base para inserção do manequim no projeto.
- **Define Ponto Base:** Define um ponto base no desenho do módulo de posicionamento.
- **Zoom Extensão:** “zoom” em toda área do desenho.
- **Zoom Janela:** “zoom” em uma janela definida pelo usuário.
- **Mais Zoom:** Aproxima o desenho.
- **Menos Zoom:** Afasta o desenho.
- **Desenha Linha Auxiliar:** Desenha linhas auxiliares.
  
- **Captura de Pontos:** Funções que auxiliam o usuário na “captura” de pontos notáveis do desenho. Estes comandos são utilizados para “capturar” diversos pontos das entidades desenhadas no módulo de posicionamento, sejam estas entidades pontos, linhas, arcos, polilinhas, círculos, retângulos ou elipses.
  - **Ponto Final:** Captura o ponto final de uma entidade no desenho.
  - **Interseção:** Captura um ponto de interseção de entidades no desenho.
  - **Ponto Médio:** Captura o ponto médio de uma entidade.
  - **Ponto Próximo:** Captura o ponto mais próximo de determinada entidade.
  - **Captura Ponto:** Captura uma entidade “ponto” do desenho.
  - **Nenhum:** Cancela captura de pontos.

- **Nome do Modelo:** Acessa a função para inserir o nome do modelo. Cada modelo inserido no projeto deverá ter um nome diferente, o que possibilita a inserção de diversos manequins em um mesmo arquivo de projeto.
  
- **Inserir Modelo:** Acessa as funções para inserção do manequim no projeto corrente.

## CONCLUSÕES

O ergoCAD está longe de ser um sistema completo para apoio a análises ergonômicas para projeto de postos de trabalho. Sua elaboração se deu muito mais devido a necessidade de se disponibilizar um protótipo que pudesse ser utilizado como base, tanto para análises preliminares interligando modelos antropométricos a desenhos CAD, quanto na sua utilização no processo de ensino e aprendizagem para as questões referentes a ergonomia das disciplinas relativas ao projeto de produto. A seguir o autor descreve diversas limitações percebidas na versão atual do ergoCAD bem como possibilidades e sugestões para desenvolvimentos futuros, a fim de suprir a ferramenta de características que a deixem mais aplicável para utilização acadêmica e profissional.

Atualmente o ergoCAD está limitado a análises bidimensionais, é interessante se estudar a possibilidade de implementação de análises tridimensionais. Inicialmente o sistema foi projetado para a realização de análises antropométricas em 3D, mas devido a complexidade do problema e a dificuldade de se obter dados relativos a confecção do modelo digital concluiu-se como inviável neste ponto qualquer tentativa de se elaborar um software que contemplasse análises tridimensionais, o que extrapolaria e muito o escopo de uma dissertação de mestrado. Outra limitação importante está no fato do programa proceder com análises do modelo em perfil (plano lateral). Apesar do ERGOKIT (fonte de dados antropométricos para o ergoCAD) possuir uma diversidade grande de variáveis que possibilitasse a inserção no ergoCAD de análises relativas a outros planos de projeto, partiu-se para simplificação da solução procurando oferecer um protótipo com condições de desenvolvimento futuro para incorporação gradual de análises utilizando-se os modelos digitais em outros planos. Em relação aos modelos humanos utilizados, o ergoCAD está atualmente limitado aos modelos nos percentis 5%

e 95% tanto masculino quanto feminino, principalmente devido a falta de dados necessários a elaboração da “envoltória” dos modelos do ERGOKIT (dados estes estabelecidos através antropômetros). Assim se inviabilizou a construção de modelos em percentis diferentes dos 5% e 95%. Apesar desta limitação, é perfeitamente possível e viável a implementação no ergoCAD de rotinas que contemplem a geração de modelos em qualquer percentil, via a implementação de um banco de dados completo para tal, ou mesmo a geração de modelos paramétricos relativos a variáveis antropométricas como a altura do indivíduo por exemplo. Finalmente outra limitação do ergoCAD é no tocante as análises ergonômicas. A atual versão do programa contempla a análise do ângulo de visão e do alcance dos membros superiores do modelo digital. É possível a implementação de outros tipos de análises, mesmo que só para o modelo em perfil, ou mesmo a extrapolação das atuais análises do protótipo para outros planos que não somente o lateral. É ainda perfeitamente viável a implementação do desenho do alcance para os membros inferiores, verificação esta não implementada neste protótipo.

Em termos de desenvolvimentos futuros foram percebidas algumas implementações de grande importância visando uma utilização intensiva do ergoCAD como ferramenta de tanto apoio ao projeto quanto de apoio ao processo de ensino-aprendizagem. Em uma primeira análise será necessário implementar a movimentação diferenciada para braço esquerdo e direito e perna esquerda e direita, o que possibilitará a análise do posicionamento do modelo em atividades mais complexas, onde tais diferenciações são fundamentais para uma correta análise das posições de trabalho. Outra implementação bastante importante será a construção de rotinas que permitam a movimentação de um modelo já inserido no projeto. Atualmente a movimentação do

modelo digital se dá somente no módulo de posicionamento não sendo possível a alteração da posição de um determinado modelo já inserido no desenho CAD.

Em termos de implementações futuras duas se mostram como principais em uma primeira análise:

- A inserção de KAD – conhecimento aplicado ao projeto. O ergoCAD não possui na sua versão atual ferramentas específicas que o caracterizem como um sistema KAD. Ele não auxilia ativamente o projetista durante as suas análises antropométricas, cabendo somente a este o adequado posicionamento do modelo e a conclusão se os parâmetros gerados pelo software estão condizentes com a correta teoria de projeto. No entanto o sistema possui características para que, no futuro, sejam implementados módulos KAD que contribuam para deixar o sistema mais completo no âmbito geral ou mesmo para que sejam possíveis desenvolvimentos de soluções para setores específicos de projeto, tais como o setor automobilístico ou de móveis para escritório, por exemplo.
- A implementação de simulação de movimentos. Seria interessante dotar o ergoCAD de um sistema para simulação de movimentos humanos através do qual poderão ser visualizadas animações dos movimentos e com este recurso analisar as condições do objeto de projeto em relação ao modelo humano não só estaticamente mas também dinamicamente.

### **Considerações finais sobre o ergoCAD.**

Com base no que foi apresentado no decorrer desta dissertação pode-se concluir que ela atende aos objetivos propostos. Foi elaborada uma ferramenta computacional capaz de auxiliar as análises ergonômicas na fase de projeto. A funcionalidade prevista para o ergoCAD atende às necessidades básicas de análises ergonômicas de postos de

trabalho. O exemplo desenvolvido mostra as diferenças entre o método usual de análise e o novo, utilizando a ferramenta computacional, e a praticidade que ela traz.

Não obstante a estas considerações cabe aqui salientar que é extremamente importante o teste da ferramenta com alunos, de forma a permitir a percepção de dificuldades de utilização, novas implementações e mesmo “*bugs*” presentes no software. Chama-se atenção também para um possível desdobramento deste trabalho através da utilização do banco de dados do INT com o intuito de propiciar análises ergonômicas com base em manequins de qualquer percentil.

Dentro do escopo desta dissertação procurou-se definir alguns conceitos de ferramentas computacionais aplicáveis ao projeto de produto/postos de trabalho e ao ensino de projeto de produto, a evolução de tais ferramentas e a consequente dificuldade de implementação por parte de empresas de menor porte e das escolas de projeto de uma maneira geral. Por fim colocou-se o protótipo do ergoCAD como uma ferramenta possível de ser desenvolvida, de fácil utilização, dotada de conceitos simples mas que seja efetiva na aplicação para análises antropométricas realizadas através do computador. Acredita-se deste modo, estar colaborando para o desenvolvimento contínuo da ciência e dos conceitos de engenharia de produção, em especial da ergonomia, aplicados ao projeto de postos de trabalho e ao ensino de projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, M. M., 1998, *A Projetação e as Formas de Representação do Projeto*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ.

DANIELLOU, F., 1998, *Ergonomie et projets industriels*. In Apostila do curso B4, Laboratório de Ergonomia e Neurofisiologia do Trabalho, CNAM, Paris.

DUARTE, F., 2000, *Complementaridade entre ergonomia e engenharia de projetos industriais*. 1 ed. Rio de Janeiro, Editora da UFRJ.

FILHO, E. R., 1997, *CAD na Indústria*, 1 ed. Rio de Janeiro, Editora da UFRJ.

GRECO, J., 2004, *Human Factors Engineering – Virtual Prototyping Boosts Safety, Comfort and Ergonomics*. Cadalyst, July, pp. 38-46.

HOLZNER, S., 1999, *Programando em Visual C++ 6 em Tempo Recorde*, 1 ed., São Paulo, Makron Books.

INT – Instituto Nacional de Tecnologia, 1988, *Desenvolvimento de Cadeira de Rodas AVD para Uso em Habitações*.

INT – Instituto Nacional de Tecnologia, 1995, *ERGOKIT – Banco de Dados Antropométricos*.

JONES, R. M., 2000, *Introduction to MFC Programming With Visual C++*, 1 ed., Los Angeles, Prentice Hall.

KENT, J., JUNG, D., 2000, *Debugging Visual Basic Troubleshooting*, 1 ed., West Covina, MCGRAW-HIL.

LAVILLE, A., 1977, *Ergonomia*. 1 ed. São Paulo, EDUSP.

MANZANO, J. A., 1999, *Estudo Dirigido de Visual Basic 6*, 1 ed., São Paulo, Editora Érica.

MEDINA, H. V., 2003, *Design for sustainability: tomorrows car encompassing environmental paradigm*. XI GERPISA International Colloquium, Paris, França. (CD).

NAVEIRO, R. M., 1981, *Projeto de Desenho Industrial da Linha de Colheitadeiras SM1000, SM1200, SM1600 – Relatório Parcial*. COPETEC, COPPE/UFRJ.

NAVEIRO, R. M., 1983, *Projeto Ergonômico de Cabines – Uma proposta de Metodologia para Equipamentos Automotivos*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ.

NAVEIRO, R. M., OLIVEIRA V. F., et al., 2001, *O Projeto de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial*. 1 ed. Juiz de Fora, Editora da UFJF.

NAVEIRO, R. M., BREZILLON, P., SOUZA FILHO, R. S., 2001, *Contextual Knowledge in Design: the SisPro project*. Hermes Science Publications, Document Numerique vol 5, n 3-4, p. 115-134.

NAVEIRO, R. M., GUIMARAES, C. P., 2003, *Uma Aplicação da Análise Biomecânica no Processo de Montagem de Produtos Industriais*. Revista Produção, v. 13, n. 1, fevereiro, pp. 76-90.

OLIVEIRA, V. F. et. al., 1996, *Comparações entre sistemas informatizados e sistemas tradicionais de projeto de engenharia*. In: Anais do I Congresso de Engenharia Gráfica nas artes e no Desenho, Florianópolis.

OLIVEIRA, V. F., 2000, *Uma Proposta de Melhoria do Processo de Ensino/Aprendizagem nos Cursos de Engenharia Civil*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ.

OPEN DESIGN ALLIANCE, 1998, *Open Design Specifications*, 1ed., Phoenix/AZ, <http://www.opendesign.com>.

ULRICH, K., EPPINGER, S., 1995, *Product Design and Development*, 1 ed. New York, McGraw-Hill.

VECTORDRAW & CO., 2002, *Vectordraw User Guide*, 1 ed., Athens, <http://www.vdraw.com>.

VERDUSSEN, R., 1978, *Ergonomia – A Racionalização Humanizada do Trabalho*. 1 ed. Rio de Janeiro, LTC.

VIDAL, M. R., 2002, *Certificação em Ergonomia: uma necessidade*. Ergonomia, Janeiro/Abril, pp. 05-06.

VILLAROUCO, V., 2002, *Arquitetura Ergonômicamente Adequada*. Ergonomia, Janeiro/Abril, pp. 04.

WINKEL, J., WESTGAARD, H., 1996, *A Model for Solving Work Related Musculoskeletal Problems in a Profitable Way*. *Applied Ergonomics*, 27(2), pp. 71-77.

APÊNDICE (A)  
TUTORIAL DO ergoCAD



PROGRAMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
ITOI - Gestão e Inovação

Dissertação de Mestrado  
fevereiro de 2005

## Tutorial do ergoCAD

O presente tutorial visa apresentar de modo rápido o método básico de trabalho utilizado pelo ergoCAD. Este documento não é um Manual do Usuário, pois se limita a ilustrar uma determinada sequência de trabalho e não descreve todos os comandos implementados no software. Usuários com conhecimento de AutoCAD® terão maior facilidade em trabalhar com o ergoCAD, uma vez que o software foi desenvolvido tomando-se por base a interface e modo de utilização do AutoCAD®. De toda forma, usuários mais experientes em CAD não encontrarão dificuldade em utilizar todos os recursos implementados no software.

### **Passo 01 – Instalando o ergoCAD:**

O instalador do ergoCAD poderá ser obtido via internet, no endereço [www.ergocad.cjb.net](http://www.ergocad.cjb.net). Depois de efetuado o download do instalador basta efetuar o clique duplo sobre o arquivo **ergoCAD-[BETA05].exe**, a instalação será inicializada.

### **Passo 02 – Executando o ergoCAD:**

Depois de instalado o ergoCAD poderá ser acessado pelo Windows através do botão **INICIAR > PROGRAMAS > ergoCAD**.

### **Passo 03 – Importando o desenho base:**

Acesse o menu **FILE > OPEN** e selecione o desenho base. São compatíveis desenhos nos seguintes formatos:

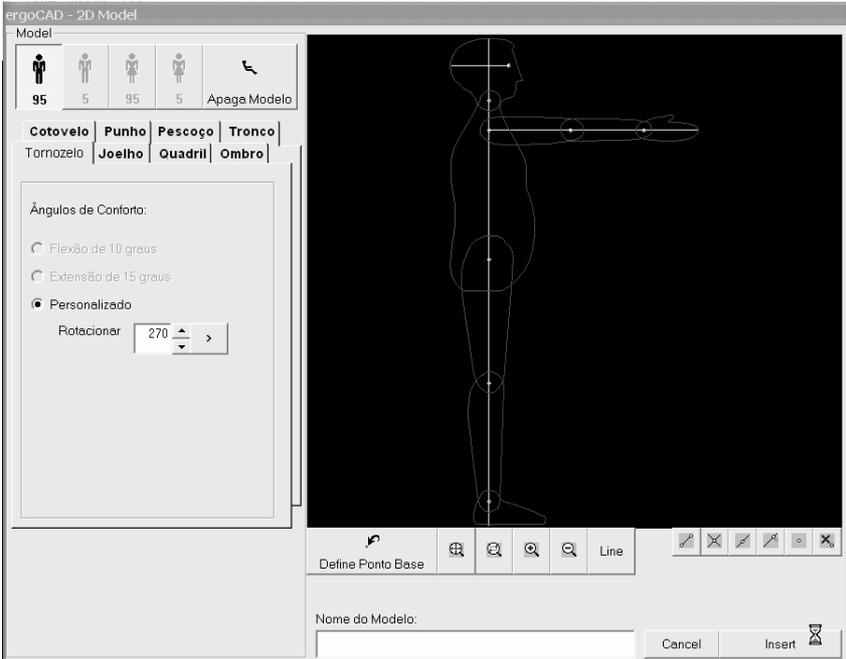
Formatos vetoriais: DWG, DXF, VDI, VDF, EMF ou WMF.

Formatos em mapa de bits: JPG, BMP, GIF, TIF ou TGA.

#### **Passo 04 – Acessando o módulo de posicionamento do modelo:**

Clique no ícone  para abrir o módulo de posicionamento do modelo. Será exibida a tela a seguir:

Nela o usuário deverá:

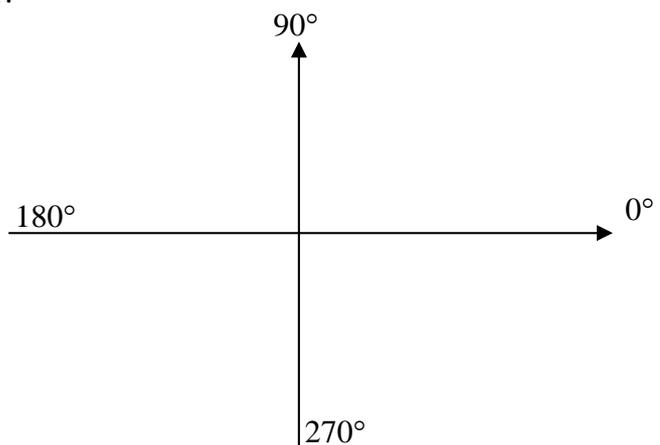
- Escolher o **percentil** do modelo a ser trabalhado.
  - **Rotacionar** os membros do modelo a fim de obter o posicionamento adequado.
  - Utilizar os comandos de **zoom, captura de pontos e linha** para auxiliá-lo na determinação do ponto de inserção do manequim.
- 
- **OBRIGATORIAMENTE** deverão ser fornecidos um **PONTO DE INSERÇÃO** e um **NOME** para o modelo.

Depois de posicionado adequadamente, escolhido o **ponto de inserção** e o **nome** do modelo, basta pressionar o botão **INSERT**.

OBS: Os ângulos entre os diversos segmentos do modelo foram definidos segundo o critério ao lado:

**É PERMITIDA** a inserção de ângulos negativos.

**É PERMITIDA** a inserção de diversos modelos (manequins) em um mesmo desenho.



### **Passo 05 – Posicionando o modelo no desenho base:**

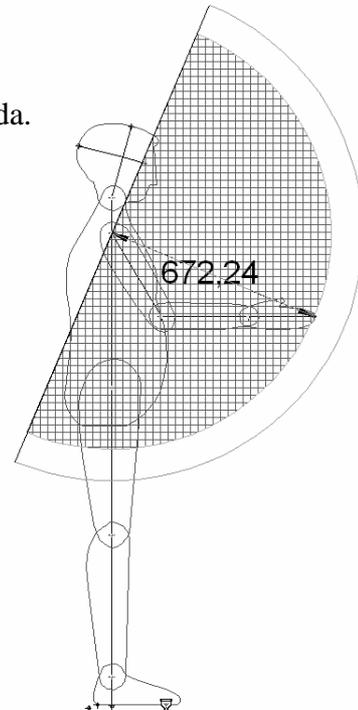
Basta mover o modelo até o respectivo ponto de inserção no desenho base. O usuário poderá utilizar as ferramentas de captura de pontos para uma melhor precisão.

### **Passo 06 – Determinando os alcances dos membros superiores:**

Para isto basta clicar nos seguintes comandos:

-  - Desenha o alcance das mãos para a posição escolhida.
-  - Desenha o alcance máximo das mãos.

Depois de se clicar em um dos comandos acima o ergoCAD solicita que o usuário escolha para qual modelo será desenhada as linhas de definição do alcance das mãos (lembre-se que podemos ter mais de um modelo em um mesmo arquivo de projeto). O usuário deverá então clicar nas linhas que definem o modelo, assim a envoltória será desenhada conforme mostra a figura ao lado:

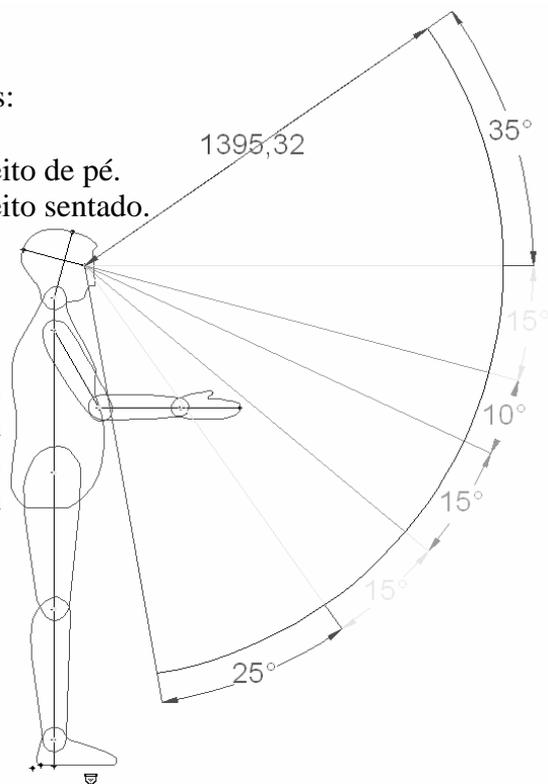


### **Passo 07 – Determinando o cone de visão:**

Para isto basta clicar nos seguintes comandos:

-  - Desenha o cone de visão para o sujeito de pé.
-  - Desenha o cone de visão para o sujeito sentado.

Analogamente aos comandos do passo 06, basta executarmos o comando e clicarmos nas linhas que definem o contorno do modelo, em seguida o programa solicita que o usuário clique em um outro ponto na área de desenho, informando assim a que distância será desenhado o cone. Observe a figura ao lado.



### **Passo 08 – Alterar, Salvar e Imprimir a análise gerada:**

No ergoCAD foram implementados diversos comandos para edição do projeto. O usuário poderá mover, copiar, alterar o tamanho, apagar ou construir diversas entidades gráficas auxiliares (linhas, arcos, cotas, textos etc...) para compor a análise desejada (menus **DRAW** e **MODIFY**). Este arquivo poderá ser salvo (menu **FILE > SAVE AS**) ou impresso (menu **FILE > PRINT**).

## APÊNDICE (B)

### GLOSSÁRIO

**ActiveBar:** Código em linguagem de máquina destinado a facilitar a implementação de barra de ícones em um programa de computador. ([www.datadynamics.com](http://www.datadynamics.com)).

**ActiveX:** Tecnologia de desenvolvimento de aplicações em software, disponível no sistema operacional Microsoft Windows, destinado a propiciar o compartilhamento de recursos entre diversas aplicações.

**CAD:** do inglês Computer Aided Design ou Projeto/Desenho Auxiliado por Computador.

**CAM:** do inglês Computer Aided Manufacture ou Manufatura Auxiliada por Computador.

**DWG:** Formato de arquivo originariamente exclusivo do software AutoCAD da Autodesk Inc, mas que atualmente é implementado por diversas outras empresas desenvolvedoras de software tornando-se praticamente um tipo de arquivo padrão para projetos de engenharia.

**Evento:** Determinada ocorrência na utilização de um programa de computador. Por exemplo: pressionar um botão, fechar um janela, editar um texto, inserir uma distância, clicar em um ponto etc...

**Formulário ou (Form):** Interface do software. Também chamado de quadro de diálogo. Local onde o usuário insere ou edita dados para processamento.

**Função:** Bloco de código escrito em uma determinada linguagem de programação, responsável pela execução de determinadas tarefas em um programa de computador.

**KAD:** do inglês Knowledge Aided Design ou Conhecimento Aplicado ao Projeto.

**MFC:** do inglês Microsoft Foundation Classes, biblioteca de funções já disponíveis no sistema operacional Microsoft Windows que podem ser utilizadas pelos programas para realização de determinadas tarefas, como por exemplo: chamar um quadro de diálogo para gravação de um arquivo, exibir uma tela,

**OpenDesign:** Código em linguagem fonte, destinado a facilitar a geração de arquivos de projeto nos formatos DWG e DXF. ([www.opendesign.com](http://www.opendesign.com)).

**Renderização:** Tipo de procedimento responsável pela aplicação de texturas (acabamentos) fotorealísticos à projetos CAD.

**VectorDraw:** Código em linguagem de máquina destinado a facilitar a implementação de recursos CAD em um programa de computador. ([www.vdraw.com](http://www.vdraw.com)).

**Visual C++:** Linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft baseada na linguagem C++.

**Visual Basic:** Linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft baseada na linguagem Basic.