



Governo do Estado de São Paulo
Universidade Estadual Paulista

FACULDADE DE ENGENHARIA DO CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

ASPECTOS ERGONÔMICOS E DE SEGURANÇA
NO USO DOS AUTÔMATOS:
ESTUDO DE CASO DAS REGIÕES
SUL FLUMINENSE E VALE DO PARAÍBA

NELSON TAVARES MATIAS

GUARATINGUETÁ – SP

BRASIL

NELSON TAVARES MATIAS

ASPECTOS ERGONÔMICOS E DE SEGURANÇA NO
USO DOS AUTÔMATOS: ESTUDO DE CASO
DAS REGIÕES SUL FLUMINENSE E VALE DO PARAÍBA

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia Mecânica na área de Projetos e
Materiais.

Orientador: Victor Orlando Gamarra Rosado
Co-orientadora: Anamaria de Moraes

Guaratinguetá
2009

UNESP  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá

**ASPECTOS ERGONÔMICOS E DE SEGURANÇA NO
USO DOS AUTÔMATOS: ESTUDO DE CASO DAS REGIÕES
SUL FLUMINENSE E VALE DO PARAÍBA**

NELSON TAVARES MATIAS

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETOS E MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. VICTOR ORLANDO GAMARRA ROSADO
Orientador/ FEG-UNESP

Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI
UNESP / BAURU

Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS
FEG-UNESP

Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
FEG-UNESP./ EEL USP

Prof. Dr. ROSINEI BATISTA RIBEIRO
EEL USP / FATEA

Abril de 2009

DADOS CURRICULARES

NELSON TAVARES MATIAS

NASCIMENTO	17.05.1965 – Rio de Janeiro / RJ
FILIAÇÃO	Libório Matias da Silva Maria de Lourdes Tavares
1984/1988	Graduação em Desenho Industrial – Faculdade da Cidade - Rio de Janeiro.
1991/1992	Especialização em Didática do Ensino Superior, <i>Lato Sensu</i> , Associação Educacional Dom Bosco - Resende / Rio de Janeiro.
1999/2002	Pós-Graduação em Comunicação e Semiótica, nível de Mestrado na Pontifícia Universidade Católica - São Paulo.
2003/2008	Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado na Faculdade de Engenharia do <i>Campus</i> de Guaratinguetá da UNESP - São Paulo.

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra

À minha esposa, Fabiana Falbo Kohl da Silva, pela compreensão e superação dos períodos em que a pesquisa tomou conta de nossas vidas.

Ao meu pai, Libório Matias da Silva e mãe Maria de Lourdes Tavares (*in memorian*), pelo amor e carinho dedicado a minha formação.

À esposa de meu pai, Arminda Gonçalves, pela demonstração de paciência no atribulado cotidiano.

À Professora Anamaria de Moraes, por tudo que tem feito por mim.

Ao meu sogro, Maurici Kohl da Silva, e sogra, Aparecida Falbo da Silva, pela compreensão das escassas visitas de sua filha em solidariedade a minha impossibilidade de, também, confraternizar com a família.

Aos ‘tios’, Luiz Antônio e Nancy, que me tratam com carinho, respeito e verdadeiro sobrinho, sempre preocupados com o andamento dos meus trabalhos.

Aos empregados da indústria, pela perseverança em suplantar as dificuldades diárias.

Aos meus alunos, que a cada ano renovam minha energia com sua vivacidade e disposição para desvendar o novo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo caminho iluminado que me oferece todos os dias.

Ao Prof. Victor Orlando Gamarra Rosado que aceitou e apoiou o desafio em desbravar novas áreas do conhecimento.

Aos Bibliotecários, Zélia e Marcos, Campus da FAT-UERJ em Resende, pela ajuda nas pesquisas bibliográficas e o carinho com que me tratam.

Às Secretárias da Pós-Graduação da UNESP, Regina e Cristina, pela paciência demonstrada ao longo das várias matrículas, muitas realizadas em cima da hora. À Secretária do Departamento de Engenharia Mecânica, Rose pela simpatia e amizade demonstradas.

À Regina Horta, FATEA/EEL-USP, pela ajuda nas buscas bibliográficas.

Às empresas que permitiram visitar suas linhas de produção e em especial aos empregados: Ana Paula Gonçalves, Juarez Machado, Jaques Antunes, Flavio Maciel, Nakamori Júnior (Japão), Leandro Calais e Flavio que dedicaram o seu tempo respondendo os questionários e acompanhando as pesquisas ergonômicas.

Ao ex-aluno Thiago Botelho, UERJ, pela colaboração com as informações sobre a célula robótica.

Às Diretoras da FATEA, Prof. Dra. Olga Sá e Bel. Raquel Retz, pelo respeito, estimulando a busca pelo conhecimento sadio e humano, à Secretaria Geral da FATEA nas pessoas da Prof.^a Aparecida, “Cida”, Boncristiano, “Lia”, Luis Carlos, Renata e Anielle, pela ajuda gratuita e amiga de vários momentos. Aos amigos e solidários

professores Glauco Azevedo, Rosinei Batista Ribeiro e Luiz Fernando Gorni, pela motivação.

A Professora Stela Maris L. C. Araújo / FATEA, pelas sugestões e o carinho oferecidos.

Ao Professor Walter Moreira pela disposição e acolhimento de minhas dúvidas e revisão das normas de publicação.

Ao Professor Darwin R. Mota pela amizade e paciência gratuitas.

A Professora Izabel Viola pela coragem e comentários propostos.

Ao Técnico de Informática Industrial, Rogério Lopes (*in memoriam*) a quem lamento não ter conhecido ficam meus eternos agradecimentos pela atenção em responder tão prontamente as minhas dúvidas.

EPÍGRAFE

Conhecemos mais com o passar dos anos, mas
conhecemos melhor se compartilhamos os nossos
conhecimentos ao longo desse tempo.

MATIAS, N.T. **Aspectos ergonômicos e de segurança no uso dos autômatos**: estudo de caso nas regiões Sul Fluminense e Vale do Paraíba. 2009. 229f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. SP, 2009.

RESUMO

A utilização de autômatos tem se tornado um dos objetivos da indústria brasileira e, para tanto, faz-se necessário um estudo detalhado sobre a instalação e o uso dos robôs, considerando os aspectos ergonômicos e de segurança como parâmetros relevantes para as inserções desses equipamentos nas linhas de produção.

Parte da região do Vale do Paraíba, delimitada pelos municípios de Porto Real, no estado do Rio de Janeiro e Taubaté, no estado de São Paulo, foi escolhida como alvo de estudo, por reunir considerável número de indústrias com características de produção e transformação automotiva. É mister comentar que o setor automotivo e de autopeças é reconhecido mundialmente como um dos principais na implantação de robôs em suas linhas de produção. Além do aspecto técnico, a região é relevante por sua localização geográfica e seu desenvolvimento econômico.

O método empregado para conhecer a realidade da célula robótica foi a Apreciação Ergonômica do Sistema Homem-Tarefa-Máquina – SHTM, capaz de orientar os estudos. Para quantificar e qualificar os impactos sobre o componente humano foram utilizadas as seguintes ferramentas: Índice de Intensidade de Moore e Garg (1995) e a Avaliação Rápida dos Membros Superiores – RULA de McAtamney e Corlett (1993).

O método e as ferramentas destacaram vários problemas explícitos de prejuízo aos operadores, como as: inadequações posturais, sobrecargas, frequência e ritmos de execução de tarefas acima do limite adequado, excesso de deslocamentos, entre outros fatores. Tais constatações reforçam a suspeita sobre a ocorrência de falhas provenientes da ausência de estudos ergonômicos na instalação das células robóticas.

O estudo também identificou problemas durante o processo de manutenção do autômato na célula robótica, momento em que, geralmente, equipes distintas de profissionais se relacionam.

Pode-se dizer que a valorização do ser humano, o estudo do trabalho real e a harmonização entre a ergonomia e as diversas ciências comumente utilizadas pelas indústrias são fundamentais para o controle dos riscos característicos das células robóticas. Desta forma, as informações apresentadas podem colaborar para a obtenção de linhas de produção automatizadas, com robôs, mais viáveis em função da segurança e consequentemente eficientes e amigáveis para seus usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Célula robótica, Autômatos, Ergonomia, Segurança.

MATIAS, N.T. **Ergonomic and safety aspects of automats' use**: Sul Fluminense and Vale do Paraíba case study. 2009. 229p. Thesis (Doctorate in Mechanical Engineering) - University of Engineering Guaratinguetá Campus, São Paulo State University, Guaratinguetá. SP, 2009.

ABSTRACT

The automats has become an important Brazilian industry objective, in that way it is necessary do specific studies about the actual installation and use on industrial robots considering ergonomic and safe parameters that organize this equipment at the production lines.

A part of the Vale do Paraíba region limited by two cities, Porto Real, Rio de Janeiro state and Taubaté, São Paulo state was chosen for this study for presents an automotive industry production favorable to receive automated machine like a robot. Economical development and good geographic position are main aspects to this region reinforce the proposal.

Ergonomic Appreciation of the Man-Task-System-Machine – MTSM was the method used to study the choose system. To qualify and quantify the impact related to the man, during his work, was applied two different instruments: Index of Intensity - Moore and Garg (1995) and the Rapid Upper Limb Assessement - RULA - McAtamney and Corlett (1993).

The results of Ergonomic Appreciation detach some inadequacies as: chemical contamination, postural deviation, over lift, rhythm and frequency above the limit, excess of movements and others disturbs may cause problems to the operators. The presence of such kind of ergonomic problems reinforces the suspicion about cells robotics installation that may be failing by the absence of ergonomic studies.

This study also permitted to notice some industry easiness some accident aspects that occur specially with automat during a cell robot installation process, moment that a different professional teams works together creating a new relationship.

It can be said that the human being valorization, the study of the real work and the harmonization between the ergonomics and the several sciences commonly used by the industries they are fundamental to control the risk characteristic of robotic cells.

This way, the presented information can collaborate for the obtaining of automated production lines, with robots, viable in function of the safety and consequently efficient and friendly for there users.

KEYWORDS: Robotic cells, Automats, Ergonomy, Safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos equipamentos de segurança.....	35
Figura 2. Espaço Restrito no módulo de APV (adaptado da ANSI/RIA R 15.06).....	40
Figura 3. Distâncias diferentes velocidades altas e baixas (adaptado da ANSI/RIA R 15.06).	41
Figura 4. Modelo de Risco (adaptado de Goossens, 1991, p. 220).	45
Figura 5. Prioridade hierárquica do Controle de Segurança, Kulic e Croft (2005).	46
Figura 6. Tipos de acidentes (adaptado de UAW, 2002).	49
Figura 7. Principais acidentes (adaptado de UAW, 2002).	50
Figura 8 Tempo Médio de Falhas para robôs industriais (adaptado de TINÓS, 2003 p. 12).....	52
Figura 9. Taxa de Falhas teóricas em um robô industrial (adaptado de TINÓS, 2003 p. 14).	53
Figura 10. Nível de Engajamento (adaptado de Rani e Sarkar, 2005).	54
Figura 11. Fluxo Comunicacional (adaptado de Riley, 1989 apud RANI e SARKAR, 2005).	55
Figura 12. Intervenção ergonomizadora (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).....	71
Figura 13. Início da Intervenção (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52)	73
Figura 14. Estudo de Campo (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).	74
Figura 15. Detalhamentos humanos (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).	75
Figura 16. Soluções ergonômicas (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).	75
Figura 17. Validação (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).	76
Figura 18. Concretização do estudo (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).	77
Figura 19. Ambiente de um sistema robótico genérico para produção automotiva.	79
Figura 20. Célula, ABB, possui entradas a esquerda e saídas à direita.	81
Figura 21. Ordenação do Sistema (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 74).	82
Figura 22. Expansão do Sistema (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 75).	83
Figura 23. Exigência cognitiva (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 76).	84
Figura 24. Seqüência das funções.	85
Figura 25. Taxionomia do público beneficiado pelo treinamento.....	92
Figura 26. Prensaria automotiva.....	94
Figura 27. Substituição do homem pelo robô junto a prensa.	94
Figura 28. Quatro operadores eram necessários à tarefa.....	94
Figura 29. As Células Robóticas 01 e 02, de Soldagem.....	122
Figura 30. Distribuição dos subsistemas de acordo com sua hierarquia.	123
Figura 31. A expansão do sistema e outras partes hierarquicamente correlatas.....	124
Figura 32. A cognição é requisitada intensamente na gestão de células robóticas.	125
Figura 33. Disposição da seqüência lógica da atividade.	126
Figura 34. Planta de Situação.....	138
Figura 35. Seqüência da atividade realizada pelo operador.	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Acidentes com robôs (adaptado de Salvendy, 1985 p. 646).....	48
Tabela 2. Confiabilidade (adaptado de Salvendy, 1985. p. 646).....	48
Tabela 3. Acidentes em países desenvolvidos. (GOOSSENS, 1991 p. 219)	51
Tabela 4. Número de habitantes economicamente ativos x número de robôs.....	97
Tabela 5. Quantidade de robôs no Brasil.	115
Tabela 6. Análise Macroergonômica.	137
Tabela 7. Fases da tarefa.	144
Tabela 8. Intensidade de Esforço, Moore e Garg (1995).	150
Tabela 9. Requisição muscular em dado momento de tempo.	150
Tabela 10. Cadência da tarefa para cumprir a meta.	151
Tabela 11. Lesões por repetitividade podem surgir em função da postura assumida.....	151
Tabela 12. Aumento de produção reflete no aumento do ritmo de trabalho.	152
Tabela 13. Número de horas trabalhadas por dia.	152
Tabela 14. Parecer dos Custos Humanos.	153
Tabela 15. Análise Macroergonômica.	167
Tabela 16. Resultado parcial da postura para ambos os braços.	177
Tabela 17. Resultado parcial da postura dos antebraços.	177
Tabela 18. Resultado parcial da postura dos punhos.....	178
Tabela 19. Resultado parcial quanto a torção dos punhos.....	178
Tabela 20. Resultado geral Grupo A.	178
Tabela 21. Ajuste para Dinâmica e Carga – RULA.	179
Tabela 22. Resultado da postura do pescoço.....	179
Tabela 23. Resultado da postura do tronco.	180
Tabela 24. Resultado da postura das pernas.....	180
Tabela 25. Resultado Geral Grupo B.	180
Tabela 26. Tabela de Contagem Geral A+B.	181
Tabela 27. Caracterização do resultado Fig. a1.....	181
Tabela 28. Resultado parcial da postura dos braços.....	182
Tabela 29. Resultado parcial da postura dos antebraços.	182
Tabela 30. Resultado parcial da postura dos punhos.....	182
Tabela 31. Resultado parcial quanto a torção dos punhos.....	183
Tabela 32. Resultado geral Grupo A.	183
Tabela 33. Tabela de Ajuste para Dinâmica e Carga – RULA.	183
Tabela 34. Resultado da postura do pescoço.....	184
Tabela 35. Resultado da postura do tronco.	184

Tabela 36. Resultado da postura das pernas.....	185
Tabela 37. Resultado Geral Grupo B.	185
Tabela 38. Tabela de Contagem Geral A+B.	185
Tabela 39. Problemas na postura do operador.	186

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Órgãos responsáveis por elaboração de normas para robôs.	31
Quadro 2. Os termos de Segurança.	34
Quadro 3. Fases hierárquicas segundo a ANSI/RIA R15.06 (1999).	36
Quadro 4. Espaços requeridos por um robô (adaptado da ANSI/RIA R 15.06).	39
Quadro 5. Estratégias de proteção (adaptado de Hale e Glendon, 1987).	44
Quadro 6. Kaplan e Garrick (1981).	51
Quadro 7. Caracterização do SHTM (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 81-84).	78
Quadro 8. Problemas SHTM (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 81).	87
Quadro 9. Disfunções SHTM (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 84).	88
Quadro 10. Análise da verbalização 01.	101
Quadro 11. Análise da verbalização 02.	102
Quadro 12. Análise da verbalização 03.	104
Quadro 13. Problemas de ordem ergonômica.	131
Quadro 14. Impacto de Credibilidade.	133
Quadro 15. Parecer Ergonômico SHTM 1.	136
Quadro 16. Posturas assumidas na atividade em destaque.	142
Quadro 17. Inadequações encontradas durante a manutenção.	163
Quadro 18. Parecer Ergonômico SHTM 2	165
Quadro 19. Estudo das posturas assumidas durante a atividade de manutenção.	170

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFRI	- <i>Association Française de Robotique Industrielle</i>
ANSI	- <i>American National Standards Institute</i>
APV	- <i>Attended Program Verification</i>
BARA	- <i>British Automation & Robotics Association</i>
CAD	- <i>Computer Aided Design</i>
CAM	- <i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAT	- Comunicação de Acidente de Trabalho
CSA	- <i>Canadian Standards Association</i>
CCOHS	- <i>Canadian Center of Occupational Health and Safety</i>
DIN	- <i>Deutsche Institut für Normung</i>
DIS	- <i>ISO publications, France</i>
DOF	- <i>Degrees of Freedom</i>
EE1	- Engenheiro da Empresa 1, 2, ...n
EI	- Empregado da Integradora 1, 2, ...n
EN	- <i>Euronorm – Official European Standard</i>
EPI	- Equipamento de Proteção Individual
HSE	- <i>Health and Safety Executive - UK</i>
HEXAPOD	- Robô com 3 eixos translacionais conectados ao <i>end-effector</i>
JIS	- <i>Japan Industrial Standard</i>
IEC	- <i>International Electrotechnical Commission</i>
IFR	- <i>International Federation of Robot</i>
ICR	- <i>Intermediate Code for Robots</i>
IPC	Indústrias de Processo Contínuo
IMAM	- Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais
ISO	- <i>International Standard Organization</i>
MTE	- Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	- Norma Brasileira Registrada
OSHA	- <i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PPR	- Duas juntas Prismáticas e uma de Rotação
PRR	- Uma junta Prismáticas e duas de Rotação
PSA_FER	- <i>Groupe PSA – Sécurité Ferrage</i>
RIA	- <i>Robotics Industries Association</i>
RULA	<i>Rapid Upper Limb Assessment</i>
SCARA	- <i>Selective Compliant Articulated Robot for Assembly</i>
SHTM	- Sistema Homem-Tarefa-Máquina
SHTMR	- Sistema Homem-Tarefa-Máquina-Robotizado
TCP	- <i>Tool Center Point</i>
TRIPOD	- Robô com 6 eixos translacionais para amplo movimento espacial
UAW	- <i>Union of Automobile Works</i>
UNECE	- <i>United Nations Economic Commission for Europe</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

t_1	Tempo	s
S_1	O que pode acontecer em termos de identificação de espaço	m
p_1	Probabilidade de ocorrência para cada S_1	%
x_1	Quantidade de danos	%
E	Frequência de acidentes	<i>Robôs/ano</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO.....	24
1.2	MOTIVAÇÃO	25
1.3	OBJETIVOS.....	26
1.3.1	Objetivo Geral	26
1.3.2	Objetivos Específicos	26
1.4	MÉTODO.....	26
1.5	HIPÓTESE	29
1.6	RESTRIÇÕES.....	29
2	ROBÔS	30
2.1	DESCRIÇÃO SEGUNDO AS NORMAS	30
2.2	CARACTERIZAÇÃO DA CÉLULA ROBÓTICA.....	35
2.3	MODELO DE RISCO	43
2.4	REFERENCIAL TEÓRICO - ACIDENTES E ROBÔS	48
2.5	TIPIFICAÇÃO DE RISCOS DOS ROBÔS	56
3	A ERGONOMIA NA CÉLULA ROBÓTICA.....	61
3.1	BREVE HISTÓRICO.....	61
3.2	ERGONOMIA E ENGENHARIA NA CÉLULA ROBÓTICA.....	65
3.3	MÉTODO E TÉCNICA DA INTERVENÇÃO ERGONÔMICA	70
3.3.1	Apreciação das Disfunções do Sistema Homem-Tarefa-Máquina	71
3.3.2	Diagnose do SHTM e Avaliação Ergonômica dos Custos Humanos.....	73
3.3.3	Projeção Ergonômica do Sistema Homem-Tarefa-Máquina	75
3.3.4	Avaliação Ergonômica	76
3.4	APRECIÇÃO DAS DISFUNÇÕES ERGONÔMICAS DO SHTM	77
3.4.1	Sistematização - Caracterização e Posição Serial do Sistema.....	77
3.4.2	Ordenação Hierárquica do Sistema	81
3.4.3	Expansão do Sistema.....	83
3.4.4	Modelagem Comunicacional do Sistema	84
3.4.5	Fluxograma Funcional Ação-Decisão.....	85
3.5	CATEGORIZAÇÃO DOS PROBLEMAS ERGONÔMICOS DO SHTM	85
4	IMPACTO SOCIAL NO USO DOS ROBÔS.....	89
4.1	PRODUÇÃO E ORGANIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS	90
4.2	QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL	92
4.3	ASPECTOS PSICOSSOCIAIS	96
4.4	ROBÔS NO SUL FLUMINENSE E VALE DO PARAÍBA.....	97
4.4.1	O Trabalhador Industrial no Sul Fluminense e Vale do Paraíba	98
5	ESTUDO DAS VERBALIZAÇÕES.....	100
5.1	VERBALIZAÇÃO 1	100
5.2	VERBALIZAÇÃO 2	101
5.3	VERBALIZAÇÃO 3.....	102
5.3.1	Base Teórica.....	105

6	ANÁLISE ERGONÔMICA	110
6.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	110
6.2	ANÁLISE DA TABULAÇÃO - EMPRESAS USUÁRIAS	111
6.3	ANÁLISE DA TABULAÇÃO - EMPRESAS FORNECEDORAS	115
6.4	APRECIACÃO DAS DISFUNÇÕES ERGONÔMICAS DO SHTM	119
7	PROBLEMATIZAÇÃO DO SHTM 1	121
7.1	RECONHECIMENTO DO PROBLEMA	121
7.2	O SISTEMA-ALVO.....	121
7.2.1	Sistematização do SHTM 1	122
7.2.1.1	Caracterização e Posição Serial do Sistema.....	122
7.2.2	Ordenação Hierárquica do Sistema	123
7.2.3	Expansão do Sistema.....	124
7.2.4	Modelagem Comunicacional do Sistema	125
7.2.5	Fluxograma do Sistema	126
7.3	INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA - SHTM1	127
7.3.1	Base Teórica SHTM 1.....	131
7.4	PARECER E SUGESTÕES ERGONÔMICAS DO SHTM 1	135
7.5	DISFUNÇÕES DO SHTM 1.....	137
7.5.1	Análise Macroergonômica – Organização do Trabalho.....	137
7.5.2	Fluxograma da Tarefa do Operador	139
7.5.3	Análise da Ambiência da Tarefa.....	139
7.5.4	Posturas assumidas	140
7.5.5	Diagnóstico Ergonômico do SHTM 1.....	142
7.5.6	Registro Comportamental da Tarefa	143
7.5.7	Recomendações Ergonômicas	146
7.6	AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DOS CUSTOS HUMANOS NA TAREFA ...	148
7.6.1	Explicitação dos Constrangimentos	148
7.6.2	Quadro dos Custos Humanos – Físicos	149
7.7	PROJETAÇÃO ERGONÔMICA DO SHTM 1	154
7.7.1	Proposta e Seleção de Configuração do SHTM 1 - Conceituação	154
8	PROBLEMATIZAÇÃO DO SHTM 2	157
8.1	RECONHECIMENTO DO PROBLEMA	157
8.2	O SISTEMA-ALVO.....	159
8.3	INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA SHTM 2	160
8.4	PARECER E SUGESTÕES ERGONÔMICAS DO SHTM 2	163
8.5	DISFUNÇÕES DO SHTM 2.....	166
8.5.1	Análise Macroergonômica – Organização do Trabalho.....	166
8.5.2	Análise da Ambiência da Tarefa.....	167
8.5.2.1	Posturas assumidas.....	168
8.5.3	Diagnóstico Ergonômico do SHTM 2.....	171
8.5.4	Registro Comportamental da Tarefa	174
8.5.5	Recomendações Ergonômicas	175
8.6	AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DOS CUSTOS HUMANOS NA TAREFA ...	176
8.6.1	Explicitação dos Constrangimentos	176

8.6.1.1	Grupo A - Tabela de Contagem A – Fig. a1	177
8.6.1.2	Grupo B - Tabela de Contagem B – Fig. a1.....	179
8.6.1.3	Grupo A - Tabela de Contagem A – Fig. g4.....	181
8.6.1.4	Grupo B - Tabela de Contagem B – Fig. g4	184
8.7	PROJETAÇÃO ERGONÔMICA DO SHTM 2	186
8.7.1	Proposta e Seleção de Configuração do SHTM 2 - Conceituação	186
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	188
9.1	VERBALIZAÇÕES	189
9.2	AS EMPRESAS FABRICANTES DE ROBÔS.....	189
9.3	AS EMPRESAS USUÁRIAS DE ROBÔS	190
9.4	INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA – SHTM 1.....	191
9.5	ÍNDICE DE INTENSIDADE DE MOORE E GARG (1995) – SHTM 1.....	195
9.6	INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA – SHTM.2.....	196
9.7	AVALIAÇÃO RÁPIDA DOS MEMBROS SUPERIORES – RULA	197
9.8	A GUIA DA CONCLUSÃO	198
	REFERÊNCIAS	200
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	212
	GLOSSÁRIO	221
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO – USUÁRIOS DE ROBÔS	225
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO – FORNECEDORES DE ROBÔS.....	228

1 INTRODUÇÃO

Ao final dos anos 60, segundo Romano e Dutra (2002), os robôs foram introduzidos nos sistemas produtivos. Construídos para substituir o homem em diversas atividades industriais. Esta substituição gerou mudanças favorecendo o operador e evitando um desgaste intenso dos recursos humanos, impedindo prejuízo físico e mental irreversíveis. Simultaneamente, o robô era visto pelo operário como algo que poderia competir com ele no sistema de produção, mas, com o passar dos anos, percebeu-se que o homem e a máquina teriam espaço garantido no sistema industrial.

O robô, atualmente, é condição para se obter a qualidade e o alto índice de produtividade. Dentre as vantagens podemos destacar, também, o fato de que a máquina pode participar de tarefas consideradas críticas, substituindo o homem sem, contudo, sofrer os mesmos males. Porém, não é simples a inserção do robô nas linhas de produção a começar pela indicação do modelo de equipamento a ser adotado. O Brasil enfrenta, hoje, uma dificuldade extra em relação aos países mais automatizados que é a inexistência de normas específicas capazes de colaborar e orientar a implantação do robô no meio produtivo. Este fato provoca a adoção de diferentes abordagens em relação aos equipamentos de segurança e na definição dos limites mínimos entre o robô e outros equipamentos, além de inúmeras inadequações.

Vale destacar que países em desenvolvimento como o Brasil, nem sempre conseguem instalar sistemas automáticos em toda a linha produtiva, dependendo, assim da intervenção humana para complementar a atividade autômata e realizar a tarefa prescrita.

A crescente presença dos autômatos no Brasil já é uma realidade, contudo uma lacuna faz-se presente na relação homem-máquina: como garantir que a presença humana, durante a atividade profissional, seja resguardada dos possíveis riscos oferecidos pelo robô e de todos os sistemas que integram a célula robótica? A intervenção Ergonomizadora preconiza-se por seu caráter de abordagem, transdisciplinar apresentando uma visão sistêmica que considera tanto os componentes como as atividades humanas fundamentais para o desempenho ótimo das ações reais

encontradas no cotidiano das indústrias. A atividade humana junto ao robô possui particularidades. Uma delas é a cognição exigida e pretendida por um conhecimento em construção de seus operadores.

A presença humana é parte fundamental em muitas atividades inclusive as automáticas, porém, a relação homem-máquina apresenta conflitos desde os mais remotos tempos. Owen (1972) organizou ensaios sobre a importância de se melhorar a produção nos ambientes profissionais, destacando que os empresários deveriam tratar o operário com a mesma dedicação dispensada aos ajustes e manutenção requeridos pelas máquinas.

Por esses pormenores irei verificar que desde o início da minha administração observei os trabalhadores, com as máquinas e todo o envolvimento, como um sistema composto de muitas partes, sendo minha obrigação e interesse adaptar aos instrumentos (cada mola, alavanca e roda) de modo a que cada trabalhador pudesse cooperar no sentido de maior rendimento para os proprietários. [...] A experiência prova que estas afirmações estão antecipadamente certas. Desde a introdução geral do mecanismo inanimado nas indústrias britânicas, o homem, salvo raras exceções, tem sido tratado como máquina inferior e secundária; e tem sido dada maior atenção ao melhoramento das matérias-primas de madeira e metal do que o homem, mesmo como instrumento para criação de riqueza, pode ser muito aperfeiçoado. (OWEN, 2005, p.41).

A produção aplicada à indústria brasileira atual, ainda, em muitos casos, assemelha-se ao praticado há quase dois séculos, especialmente no que se refere ao tratamento dos operadores durante suas atividades de produção. O Brasil experimenta a dualidade em suas linhas de produção, o estado da arte encontrado nos países mais avançados e as condições impróprias sob pena de se impor prejuízo ao operário. Desta forma existe a possibilidade de inadequações operativas que ainda não foram totalmente discutidas pelas diferentes, mas complementares, ciências como: Engenharia, Psicologia, Antropometria, Sociologia e Ergonomia. A complexidade das atuais instalações e seus diversos requisitos técnicos parecem necessitar de uma ciência que opere de forma transversal as fases de planejamento e organização da atividade humana. Embora a Ergonomia seja reconhecidamente uma ciência aplicada, com objetivos claros de melhorar as condições dos trabalhadores, muitas de suas pesquisas internacionais são realizadas em laboratórios distantes da realidade. Assim, os resultados permanecem nos limites das páginas dos artigos, muitas vezes estéreis

(SCOTT; RENZ, 2005). Montmollin (2005) acredita que a Ergonomia clássica e mais recentemente, a cognitiva possa conduzir de forma mais adequada o projeto dos novos postos de trabalho.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A célula robótica, a princípio, pressupõe a inexistência da participação humana durante a execução da tarefa. Contudo, as regiões do Sul Fluminense e Vale do Paraíba apresentam relevante inserção do homem durante a tarefa prescrita. O projeto de implantação da célula autômata não tem sido planejado, levando-se em conta os requisitos ergonômicos e, desta forma, aumentam a possibilidade de riscos humanos.

É relevante observar, também, que o Brasil não possui normas específicas para a implantação de células robóticas, este fato dificulta a implantação dos sistemas nos meios produtivos e permite que configurações de segurança pouco eficientes sejam instaladas. Segundo Brazier (1999) as pessoas desempenham diversas funções críticas e os fatores humanos devem ser considerados como parte essencial dos sistemas da Engenharia. Assim é melhor desenvolver a cultura correta como parte do todo que tentar modificar a cultura, posteriormente. Brazier (1999), deixa claro sua preocupação com o modo de planejamento das atividades humanas nos diferentes sistemas, especialmente aqueles desenvolvidos pela Engenharia.

O projeto, sem a devida preocupação de se considerar a análise da tarefa e consequente redução da ocorrência de problema músculo-esquelético, parece ser algo inadequado tanto em países industrializados como nos países em desenvolvimento. Mais de 40% das doenças, segundo Zalk (2001), são ocupacionais e provenientes da disfunção do sistema músculo-esquelético. Assim, há forte possibilidade de se encontrar situações correlatas nos ambientes industriais propostos por esta pesquisa.

1.2 MOTIVAÇÃO

A motivação principal desta tese é a preocupação com a máxima segurança do homem em seu ambiente de trabalho, considerando como fundamental o emprego dos conhecimentos ergonômicos no projeto das estações robóticas pesquisadas. Se o robô veio para melhorar a produção e para evitar que o trabalhador atue em setores de alto risco, devemos constatar se, atualmente, a relação Homem x Robô (máquina) está sendo projetada de maneira a garantir, primeiramente, a integridade física de seus usuários, ou apenas na pressuposta melhoria da produção qualitativa e quantitativa.

O trecho compreendido entre as cidades de Porto Real/RJ e Taubaté/SP foi escolhido por apresentar um crescente número de robôs em suas linhas de produção. Também por assemelhar-se ao principal setor industrial mundial no uso de robôs: o automobilístico. Asama e Fraichard (2003) indicam que, para sua própria segurança, um sistema robótico deveria sempre considerar a possibilidade de colisão inevitável. A percepção do risco nas estações robóticas tem sido demasiadamente subtraída, especialmente durante o projeto e as atividades rotineiras de montagem do robô no ambiente industrial.

A Ergonomia tem sido, nas últimas três décadas, uma importante ferramenta na redução dos impactos da produção industrial sobre os operadores. Diferentes métodos têm oferecido abordagens importantes no estudo das tarefas críticas impostas aos operadores. Assim, esta tese considera importante a aplicação de um ou mais métodos de análise ergonômica para a identificação dos problemas, análise e posterior recomendação de soluções para as células robóticas. Goldenstein (1997) reforça essa opinião dizendo que a ergonomia adota como fato a complexidade proveniente do mundo do trabalho e que, na maioria das vezes, torna-se relegada pelas equipes que planejam as estações de trabalho. A Ergonomia aplicada ao projeto inicial de uma estação de trabalho tem a possibilidade de alterar a maneira como são idealizados os projetos, impondo uma quantidade menor de constrangimentos aos usuários.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar uma Intervenção Ergonômica nas células robóticas das regiões Sul Fluminense/RJ e Vale do Paraíba/SP, mais especificamente, o trecho entre as cidades de Porto Real e Taubaté, que permita de maneira objetiva: o diagnóstico, a análise e a proposição de recomendações que possam ampliar a segurança e o conforto nos diversos níveis do sistema robotizado, e por consequência o aumento da produtividade.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar a bibliografia das seguintes áreas do conhecimento: robôs e sua classificação mecânica e funcional, caracterização espacial das células robóticas, equipamentos de segurança empregados nas células robóticas e a Avaliação Ergonômica do Sistema Homem-Tarefa-Máquina-Robotizado – SHTMR;
- Quantificar e caracterizar os robôs instalados na região Sul Fluminense/RJ e Vale do Paraíba/SP;
- Identificar aspectos considerados significativos, segurança e ergonômicos, durante o processo de comercialização dos robôs sob a ótica das empresas fornecedoras;
- Identificar o grau de conhecimento das empresas usuárias quanto às normas e aos equipamentos de segurança utilizados em células robóticas tendo como parâmetro a norma ANSI/RIA R15.06 de 1999.

1.4 MÉTODO

Segundo Filho (2006) o Método significa o caminho para chegar a um fim ou pelo qual se atinge a um objetivo [...]. Nesta tese, o caminho utilizado para desenvolver a pesquisa passa, por diferentes experiências planejadas que poderão ser observadas a seguir, além daquelas oriundas das trocas de informação, muitas vezes, fornecidas de forma espontânea pelos envolvidos nas entrevistas e encontros técnicos por meio das verbalizações:

- seleção do universo através do recorte geográfico da região denominada Vale do Paraíba, mais precisamente aquela que é compreendida pelos municípios de Porto Real / RJ e Taubaté / SP. A escolha justifica-se pela região apresentar as mesmas características das principais indústrias usuárias de robôs no mundo, ou seja, a presença da indústria automotiva e na produção de seus componentes;
- levantamento das principais características relacionadas à segurança durante a aquisição dos robôs sob a ótica das empresas que comercializam e/ou produzem os robôs. Este levantamento é realizado através de um questionário específico (APÊNDICE A), contendo perguntas abertas e fechadas, além das entrevistas fornecidas durante os contatos telefônicos e por fim, visitas técnicas às empresas e seus ambientes de desenvolvimento e testes de instalação do robô;
- levantamento dos principais equipamentos de segurança instalados nas células robóticas encontradas na região delimitada pela pesquisa. O questionário foi encaminhado ao departamento de segurança e aos gestores das células robóticas. Para ampliar as informações são agendadas visitas técnicas, quando é possível perceber as características de uso e os equipamentos de segurança instalados;
- realização do I Workshop de Automação Industrial do Vale do Paraíba, em 2005, tendo como principal objetivo discutir a utilização do robô e a segurança destes no cenário industrial brasileiro. O evento contou com a presença do Professor Dr. Max Suell Dutra, representante da UFRJ e do Engenheiro Gustavo Barini, representante da Motoman Yaskawa, empresa internacional fornecedora de robôs. O encontro permitiu compreender os aspectos mais significativos aplicados à segurança no uso dos robôs, as características mecânicas dos diferentes modelos e as atuais aplicações dos equipamentos autômatos no Brasil e no mundo;

- utilização do Método e Técnica de Intervenção Ergonômica através da Apreciação Ergonômica do Sistema Homem-Tarefa-Máquina – SHTM, em diferentes células robóticas, de forma a permitir o levantamento, identificação e recomendação ergonômica, além de fornecer dados quantitativos e qualitativos sobre as posturas empregadas pelos seus operadores. Desta forma, é possível analisar os impactos sobre o componente humano empregando-se as seguintes ferramentas: Índice de Intensidade de Moore e Garg (1995) e a Avaliação Rápida dos Membros Superiores – RULA de McAtamney e Corlett (1993).

1.5 HIPÓTESE

Células robóticas instaladas nas fábricas situadas nas cidades de Porto Real/RJ, Sul Fluminense, e Taubaté/SP, Vale do Paraíba podem oferecer riscos à saúde dos operadores envolvidos nas atividades de instalação, manutenção e produção pela inexistência de normas nacionais e pela ausência e possível desconhecimento de métodos para a realização de análise e avaliações ergonômicas.

1.6 RESTRIÇÕES

As visitas técnicas estão sujeitas aos diferentes momentos do cotidiano de cada empresa pesquisada. Assim, alguns métodos podem não ser plenamente empregados por questões operacionais como: autorização à visita, sigilo ou inatividade da célula robótica.

As células robotizadas estudadas apresentam diferentes fabricantes e integradores possuem características próprias de segurança, geralmente, impostas pelas empresas usuárias. Assim, os resultados apresentam situações particulares cujos aspectos comuns podem, apenas, servir como estudo prévio e não como uma referência normativa para a implantação de uma futura célula.

2 ROBÔS

2.1 DESCRIÇÃO SEGUNDO AS NORMAS

Os robôs industriais são máquinas autômatas capazes de efetuar diversas tarefas desde que sejam preparadas para tais atividades. Para se garantir que as atividades desempenhadas obtenham sucesso, os fabricantes de robôs desenvolveram procedimentos para o bom uso de seus equipamentos. No decorrer dos anos, os países mais desenvolvidos quanto ao emprego dos autômatos em suas linhas de produção, planejaram documentos capazes de normatizar o uso, a instalação, a manutenção, e a operacionalização destes equipamentos. Goossens (1991) afirma que países como Estados Unidos, Inglaterra, França, Alemanha e Japão têm dominado o uso dos robôs e, conseqüente dominaram o desenvolvimento das normas. Os países usuários de grandes quantidades de robôs levam o desenvolvimento e a aplicabilidade das normas de maneira séria (Tabela 1). Por outro lado, muito há que ser feito, em particular, nas empresas que possuem poucos robôs.

É importante lembrar que as normas construídas para atender aos equipamentos robóticos apoiaram-se em outras tantas normas de máquinas já existentes e que, na ausência de normas específicas, muitas empresas procedem a instalação de seus equipamentos baseadas em normas técnicas correlatas.

Abreviatura	Órgão	País
ANSI/RIA	<i>American National Standards Institute e Robotics Industries Association</i>	Estados Unidos da América – Instituto Nacional de Normas Americanas e Associação das Indústrias Robóticas.
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>	Estados Unidos da América – Administração da Saúde e Segurança Ocupacional.
ISO	<i>International Standard Organization</i>	Federação mundial – Organização Internacional de Normas.
JIS	<i>Japan Industrial Standard</i>	Japão – Normalização da Indústria Japonesa.
EN	<i>Euronorm – Official European Standard</i>	Continente europeu e países que integram a comunidade européia – Padrão Oficial Europeu.

Abreviatura	Órgão	País
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>	Alemanha – Instituto Alemão para Normalização.
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>	Canadá – Associação Canadense de Normas.
AFRI	<i>Association Française de Robotique Industrielle</i>	França – Associação Francesa de Robôs Industriais.

Quadro 1 Órgãos responsáveis por elaboração de normas para robôs.

A liderança na proposição de normas sobre robôs, citada por Goossen (1991), pode ser percebida (Quadro 1). O grande número de equipamentos instalados nesses países exigiu uma adequação sobre os procedimentos legais que instituem de forma segura e contundente os interesses dos usuários industriais, fabricantes dos robôs e de sistemas de segurança. Países tecnicamente desenvolvidos possuem um histórico maior para a construção de documentos que antevejam situações críticas, sejam de ordem puramente técnica, ou que envolvam riscos aos usuários e ao seu entorno. Geralmente, as normas adotadas pela ISO são referências para a construção das normas de outros países.

Conforme entrevista realizada com membro de empresa fornecedora e integradora de sistemas robóticos, as empresas nacionais possuem diferentes perfis:

- empresas que não possuem nenhum documento que possa organizar a implantação de robôs em suas linhas de produção;
- empresas que possuem procedimentos gerais de máquinas oriundas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e/ou e normas internacionais quanto à implantação dos autômatos;
- empresas com normas internas próprias em acordo com normas internacionais específicas quanto à automatização e, em especial, o uso do robô e às partes envolvidas. Neste caso, empresas multinacionais que possuem suas matrizes em outros países e já implantaram robôs em outras fábricas que repassam as experiências para as filiais.

Observa-se, ainda segundo a entrevista, que muitos clientes desconhecem, inclusive, procedimentos para organizar a escolha do robô adequado ao modelo de sua linha de produção. O mercado nacional apresenta, ao que parece, certa dificuldade em

lidar com processos decisórios que envolvam os robôs em linhas de produção, especialmente quanto a sistemas de segurança e aos procedimentos operacionais. A ABNT não possui normas específicas para aplicação em sistemas robóticos.

Sugimoto (2002) em seu livro “Como Usar de Maneira Correta os Robôs Industriais” indica o importante papel das Normas Sanitárias de Segurança no Ambiente de Trabalho do Japão para a comunidade internacional. A Organização Internacional de Normas – ISO elaborou, em 1992, com base nas normas sanitárias japonesas, a norma ISO 10218 – Segurança dos Robôs Manipuladores Industriais. Posteriormente, a norma ISO foi traduzida para o japonês e se tornou uma Norma Industrial Japonesa: a JIS B8433, tendo sua definição:

[...] os robôs industriais são definidos como máquinas capazes de realizar automaticamente uma série de movimentos complexos, tais como extensão e contração dos manipuladores, movimentos horizontal, vertical e de rotação, baseados em informações contidas nos dispositivo de registro (incluindo controladores seqüenciais variáveis e fixos). (SUGIMOTO, 2002, p. 14).

A Associação Robótica e de Automação Britânica – BARA¹ (1993), define o robô industrial como um aparelho reprogramável, projetado para manipular e transportar peças, ferramentas ou produtos manufaturados, implementado, através de movimentos programados, para uma tarefa específica de um processo.

Temos também a Associação das Indústrias de Robôs - RIA² e o Instituto Nacional Americano de Normas - ANSI³ (1999), juntos, redigiram uma das mais completas normas sobre robôs. A complexidade desta norma é percebida pelo nível de preocupação dos tópicos descritos e previstos bem como constatada por meio de entrevista realizada com membros de empresas fabricantes e integradoras de robôs.

Manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especializados, através de movimentos variáveis e programados para atender a uma variedade de tarefas. Consiste em ligações mecânicas, freqüentemente em cadeia consecutiva com uma

¹ *British Automation & Robotics Association – BARA*, pesquisa diversos aspectos ligados ao uso dos robôs no Reino Unido.

² *Robot Industries Association – RIA*, oferece diversas informações sobre a comercialização e a segurança dos robôs.

³ *American National Standards Institute – ANSI* (1999). Instituto responsável pela elaboração de normas americanas, geralmente trabalha em conjunto a outras instituições. No caso da elaboração da norma para robôs a RIA foi uma das parceiras.

conexão fixada ou presa a uma armação que está ligada através de um sistema revoluto (por exemplo, dobradiça) ou sistema prismático (i.e., deslizante) de juntas movidas diretamente por atuadores ou motores elétricos, hidráulicos ou engrenagens pneumáticas. Um robô geralmente incluirá sensor de posição (como potenciômetros ou *encoders* óticos) e pode incluir contato, tátil, força / torque, proximidade, ou sensor de visão. Na sua extremidade distal, o manipulador robótico é tipicamente provido de um punho terminal, como uma garra, permitindo realizar as tarefas desejadas. (ANSI/RIA R15.06, 1999, p. 3).

A norma americana ANSI/RIA R15.06 (1999) propõe duas definições. A primeira identificada pelo termo robô industrial⁴ que diz: “Um manipulador controlado automaticamente, de múltiplo uso, programável e reprogramável em três ou mais eixos que podem estar fixos em um lugar ou móvel para uso em aplicações de automação industrial”.

A segunda com o termo sistema de robô industrial⁵ da seguinte maneira: “Equipamento que inclui robô(s) *hardware e software* constituído de sistema de alimentação, manipulador e sistema de controle; punho (s), efetuator⁶ (es); e quaisquer outras máquinas e equipamentos dentro do espaço de segurança”.

A presente tese baseia-se na norma desenvolvida pela ANSI/RIA R15.06 (1999) como referência na apresentação dos sistemas que envolvem os robôs e os termos relacionados à prescrição do trabalho junto a esses equipamentos.

A definição para robôs da ISO 10218, segundo Romano e Dutra (2002) é: “Uma máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial”.

Ferreira (1988) apresenta definição para robôs da Associação Francesa de Robô Industrial⁷ – AFRI como:

Manipuladores modestos, efetuando automaticamente seqüências de trabalho variáveis ou mesmo fixas, devem ser denominados robôs. E mais ainda, a robótica deve englobar todas as novas adaptações em máquinas conhecidas e todas as máquinas desenvolvidas com bases na utilização de técnicas modernas de controle, da informática e de novos sensores.

⁴ *industrial robot* – robô específico para uso industrial.

⁵ *Industrial Robot System*. A nomenclatura dá uma conotação mais ampla ao robô, inserido-o em um sistema e não de forma isolada.

⁶ *end-effector* – última parte do braço robótico, recurso ou ferramenta projetada para ser anexada ao braço robótico.

⁷ *Association Française de Robotique Industrielle*⁷ – AFRI. Atua de forma semelhante a RIA, promovendo e organizando o emprego do robô pelas indústrias francesas.

A Federação Internacional de Robótica – IFR⁸ (2005) apresenta alguns comentários a respeito das normas empregadas. Dentre os comentários vale destacar a norma ISO 10218-1(2006). Esta, não se aplica a robôs que não sejam de uso estritamente industrial, entretanto, os princípios de segurança estabelecidos, na norma, podem ser utilizados pelos robôs de uso não industrial. Como exemplo de robôs não industriais indicados pela IFR, podemos citar:

- de uso militar;
- de uso subaquático;
- de uso espacial;
- tele-operados
- e os considerados como produtos de consumo como: cortadores de grama, aspiradores etc.

Quanto aos robôs industriais um subitem da norma ISO 10128 – I8-1 (2006) especifica as requisições inerentes às diretrizes para as medidas de proteção e de design seguro. Descreve os perigos básicos associados aos robôs e prevê requisitos para eliminar ou reduzir adequadamente os riscos dos perigos identificados sem tratar especificamente da ergonomia.

Além das normas apresentarem pequenas diferenças quanto aos componentes ou o que pode ser definido como robô, conferiu-se outra situação que pode levar a certa confusão quando se interpreta documentos e normas estrangeiras. São os termos envolvidos para descrever as questões perigosas vejamos alguns exemplos, (Quadro 2):

Termos empregados	Aplicação
<i>DANGER</i> / Perigo	Perigo e risco.
<i>WARNING</i> / Advertência	Advertência, ato de prevenir, preventivo e sinal de perigo.
<i>CAUTION</i> / Risco	Prudência, cautela e advertência.
<i>RISK</i> / Risco	Risco expor-se a perigos.

Quadro 2. Os termos de Segurança.¹

⁸ International Federation of Robotics – IFR (2005).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA CÉLULA ROBÓTICA

Para dar conta das relações entre os sistemas que interagem na célula do robô a ANSI/RIA R15.06 (1999) desenvolveu um item na norma que se propõe a garantir a segurança do sistema. Assim, uma célula típica deverá possuir alguns sistemas de segurança obrigatórios na tentativa de impedir que operadores e o próprio sistema possam gerar resultados indesejados.

Sistemas previstos pela norma:

1. botões de emergência (botoeiras);
2. cercas;
3. sinais luminosos de advertência;
4. tapetes de segurança;
5. cortina de luz (infravermelha);
6. barreiras de advertência (correntes de isolamento);
7. sirene;
8. sensores de presença;
9. *scanners* de segurança.

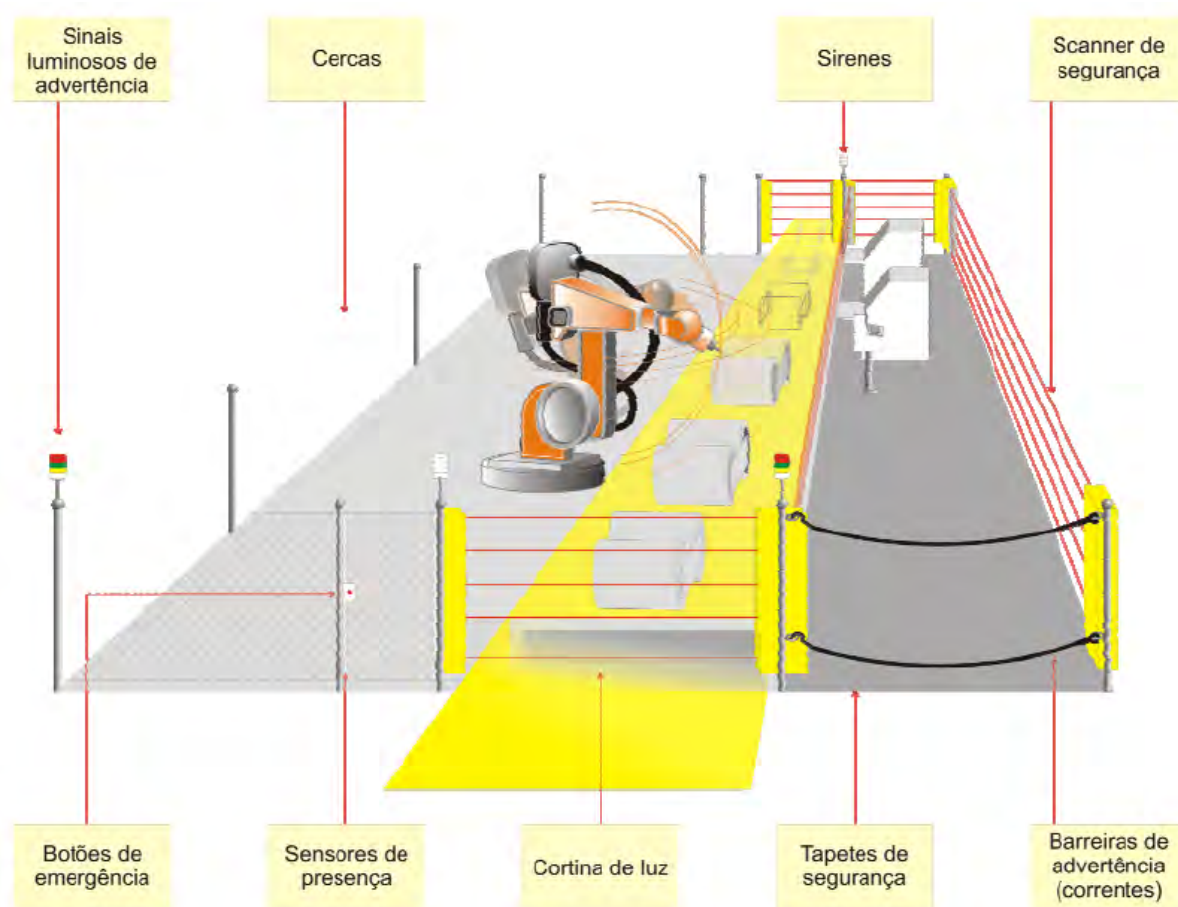


Figura 1. Localização dos equipamentos de segurança.

A ANSI/RIA R15.06 (1999) especifica tecnicamente a aplicação de cada um dos sistemas de segurança: distância e altura da barreira de proteção que envolve a célula robotizada; raio de cobertura do scanner, grau de sensibilidade do sensor de presença; característica eletro-mecânica do sistema de travamento dos seus atuadores; a distância e o ângulo dos raios infravermelhos que devem assumir, em cada situação de proteção, impedindo, que, completamente ou partes do corpo humano, como dedo e braços, penetrem as áreas restritas. Além dos sistemas citados, a norma detalha outros sistemas de segurança, procurando abranger o máximo de situações de risco (Quadro 3).

Os controles e sistemas de segurança foram planejados segundo uma hierarquia, partindo do mais efetivo ao menos efetivo e, de alguma forma, esta organização pretende dar conta da segurança da célula robótica.

Hierarquia dos Controles de Segurança		
Mais Efetivo	1) Eliminação e Substituição	Elimina a interação humana no processo; Eliminação dos pontos de esmagamento (aumento das áreas livres); Automação de manuseio de cargas.
	2) Controle da Engenharia (Tecnologia de sistemas de segurança)	Bloqueios mecânicos; Barreiras; Inter-travamentos; Sensores de presença; Controle bi-manual.
	3) Significado da Advertência	Luzes, Sensores luminosos e luzes intermitentes; Advertência eletrônica (computadores); Sinais; Pintura de solo definindo as áreas restritas; Sinais sonoros intermitentes; Sirenes; Etiquetas.
Menos Efetivo	4) Treinamento e Procedimentos (Controles administrativos)	Procedimento de trabalho seguro; Equipamento de segurança para inspeção; Treinamento; Obrigatoriedade da ação - <i>Lockout</i> .
	5) EPI – Equipamentos de Proteção Individual	Óculos de segurança; Protetores auriculares; Protetores faciais; Luvas.

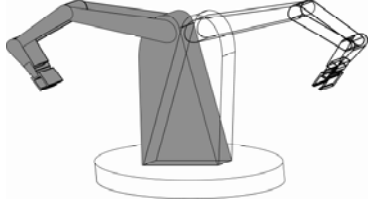
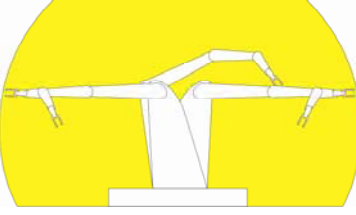
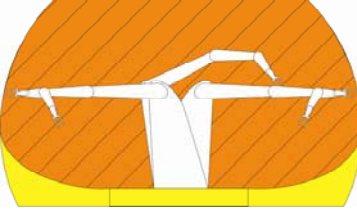
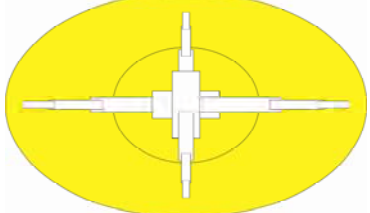
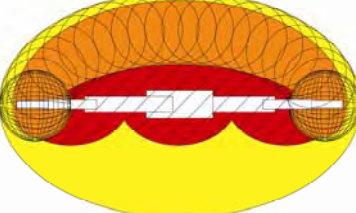
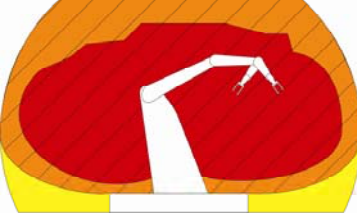
Quadro 3. Fases hierárquicas segundo a ANSI/RIA R15.06 (1999).

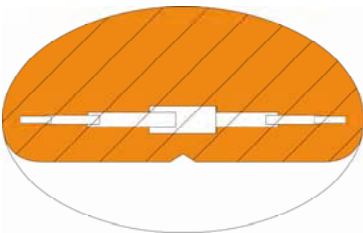
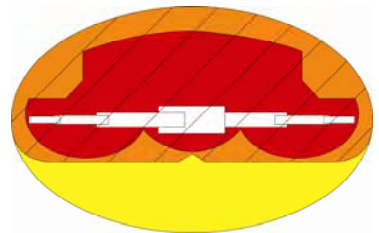
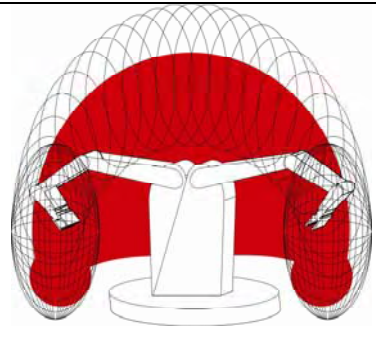
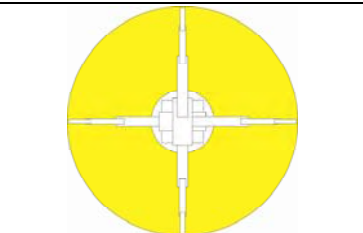
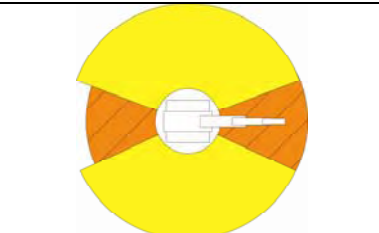
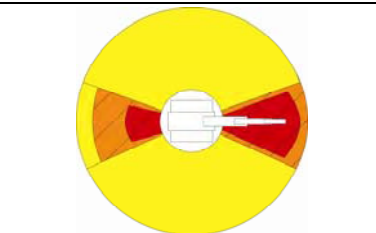
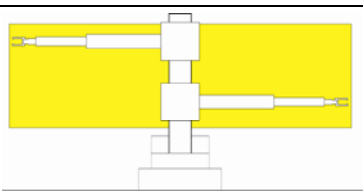
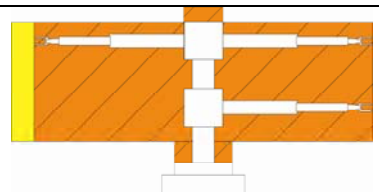
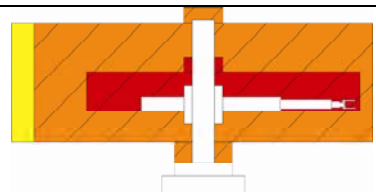
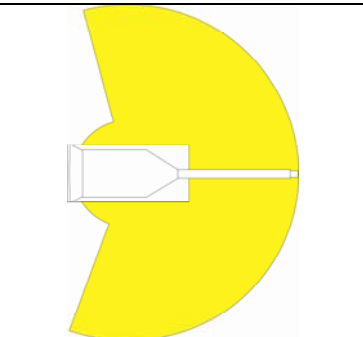
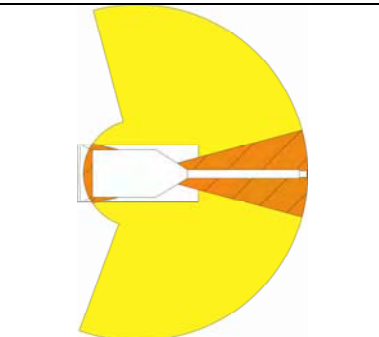
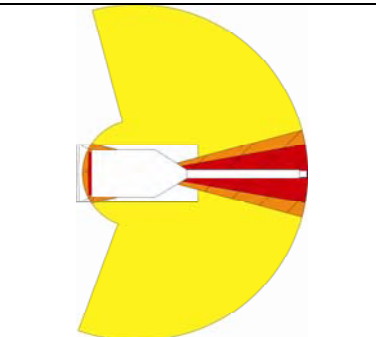
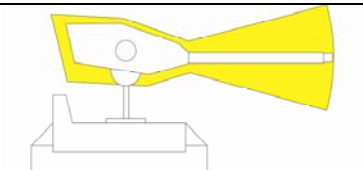
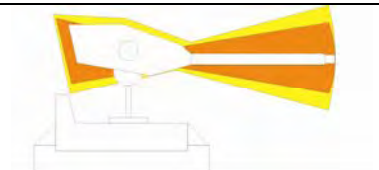
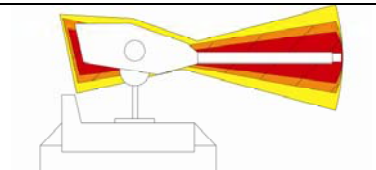
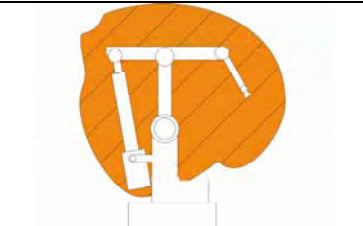
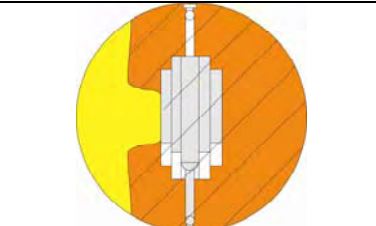
Grande parte das informações apresentadas (Quadro 3) são procedimentos conhecidos dos Engenheiros de Segurança. Podemos dizer que são práticas rotineiras de segurança para qualquer estação de trabalho, mas, que tipo de riscos uma célula robotizada pode oferecer diferentemente de uma máquina de operação manual ou semi-automática? Por que o risco oferecido pelo robô pode ser mais eminente? Como a estação robótica pode oferecer riscos à integridade física e mental mesmo sem a presença do incidente ou do acidente? Quais são os problemas de ordem ergonômica que podem colocar em risco os operadores e as máquinas?

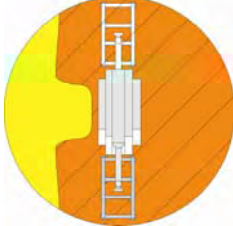
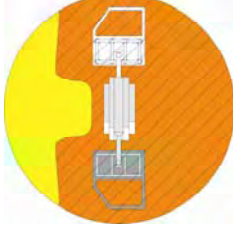
Antes de responder as perguntas apresentadas é importante conhecermos melhor as características espaciais, arquiteturas e movimentacionais requisitadas pelas células robóticas (Quadro 4).

Uma célula robótica requer condições próprias para sua instalação, dentre essas características podemos apontar aquelas já previstas pela ANSI/RIA R15.06 (1999):

- espaço máximo;
- espaço restrito;
- espaço operacional.

Espaço Máximo	Espaço Restrito	Espaço Operacional
		
		

Espaço Máximo	Espaço Restrito	Espaço Operacional
		
		
		
		
		
	Espaço restrito para posicionamento apenas do robô. Vista Lateral (E). Vista Superior (D).	
		

Espaço Máximo	Espaço Restrito	Espaço Operacional
	Espaço restrito para posicionamento do robô e do efetuador. Vista Lateral (E). Vista Superior (D).	
	Espaço restrito para posicionamento do robô, do efetuador e da peça a ser trabalhada – neste caso, porta de um veículo. Vista Lateral (E). Vista Superior (D).	

Quadro 4. Espaços requeridos por um robô (adaptado da ANSI/RIA R 15.06).

A ocupação da célula pelo robô suas ferramentas e a peça a ser trabalhada, modifica-se, ocupando menos ou mais espaço. Um robô próprio para produções flexíveis pode, num dado momento, manipular, por exemplo, uma porta, e em outro, um pára-brisa e desta forma o espaço requerido para isolamento e todos os sistemas de segurança deverão ser revistos pela equipe de segurança. O espaço físico e arquitetural pode influenciar na organização e no atendimento a todas as normas de segurança necessárias a uma célula robótica.

Após uma reconfiguração da célula robótica, deverá acontecer um novo planejamento estratégico para se estabelecer as distâncias entre outras medidas de segurança para que a integridade dos operadores seja garantida. Além disso, é importante ressaltar que os operadores, provavelmente, irão nos, primeiros momentos, sentir mais ou menos dificuldades durante as tarefas rotineiras de manutenção, ajustes, e de treinamento das ações do equipamento reconfigurado. Uma célula que tenha o seu espaço ampliado facilitará as intervenções de ensino, ajuste, troca de ferramentas e manutenção, já o inverso, poderá dificultar o trabalho em seu interior.

Vejamos um exemplo de uma célula robótica em situação de Atendimento ao Programa de Verificação – APV⁹ especificado pela ANSI/RIA R15.06 (1999, p. 10). O APV indica que o operador está inserido no espaço de segurança, verificando as tarefas programadas e suas velocidades. É recomendado que o APV não seja praticado como processo ou parte de uma produção contínua:

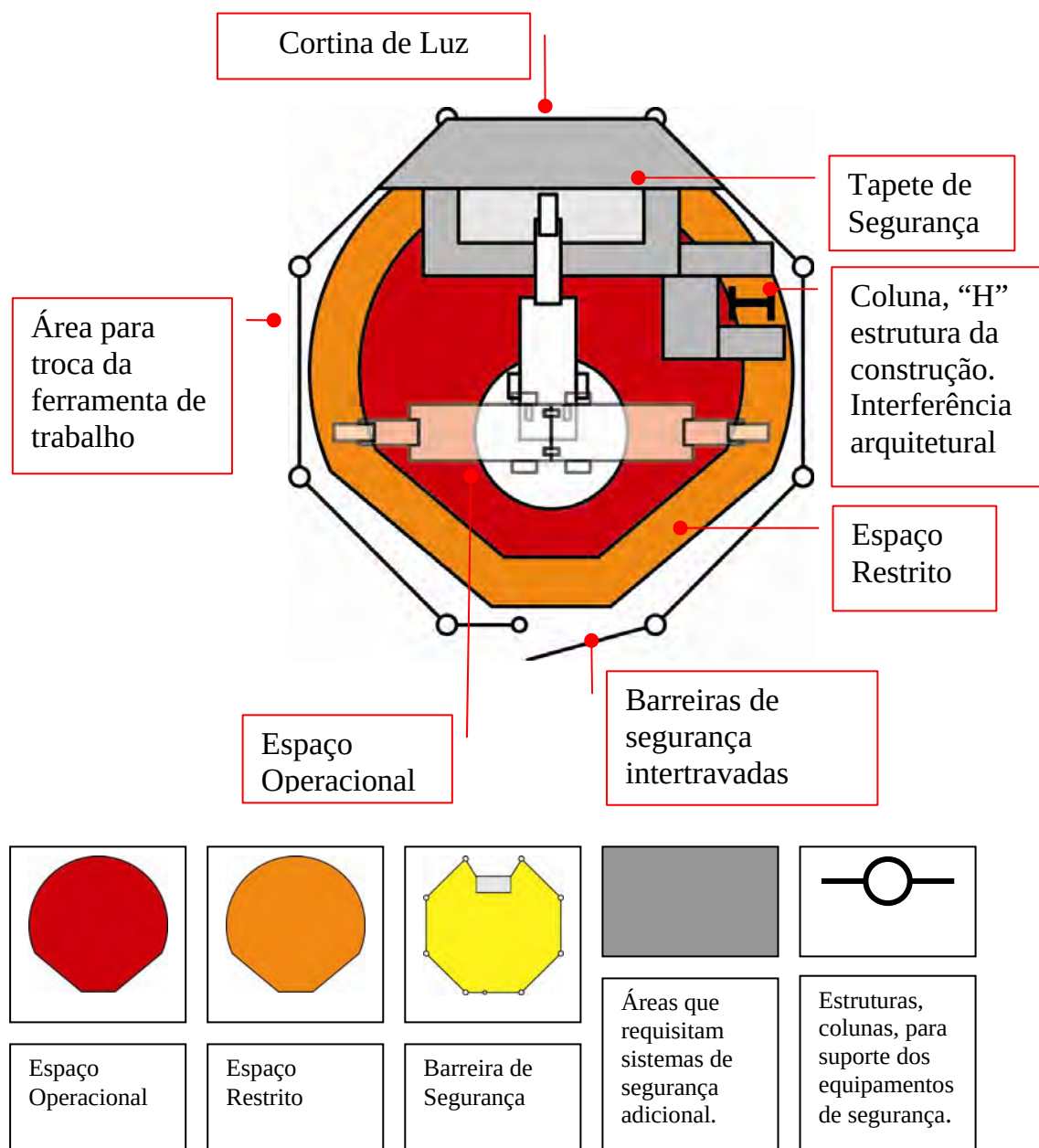


Figura 2. Espaço Restrito no módulo de APV (adaptado da ANSI/RIA R 15.06).

⁹ *Attended Program Verification – APV*. Segundo a ANSI 15.06 (1999) é o ato de uma pessoa, dentro do espaço de proteção da célula robótica, executando a tarefa de verificação do programa em relação à velocidade programada. Não é o módulo de ensino!

Durante as visitas realizadas foi possível constatar que áreas que requisitam sistemas de segurança, semelhantes às indicadas (Figura 2) são um grande problema para o setor de segurança e provavelmente, para as integradoras. Em função das ferramentas e da própria característica do processo é comum a permanência de ‘espaços livres’ que permitem, facilmente, a passagem dos operadores, além das interferências arquiteturais, como a presença de colunas. Estas situações, sem dúvida nenhuma, são totalmente indesejadas.

Células robotizadas podem sofrer alterações no posicionamento das grades de proteção quando em estado de APV, ou seja, quando o espaço é mais restrito deve-se adotar a redução da velocidade e em espaços mais confortáveis pode-se adotar a alta velocidade. Vejamos algumas diferenças entre APV – Baixa e Alta Velocidade:

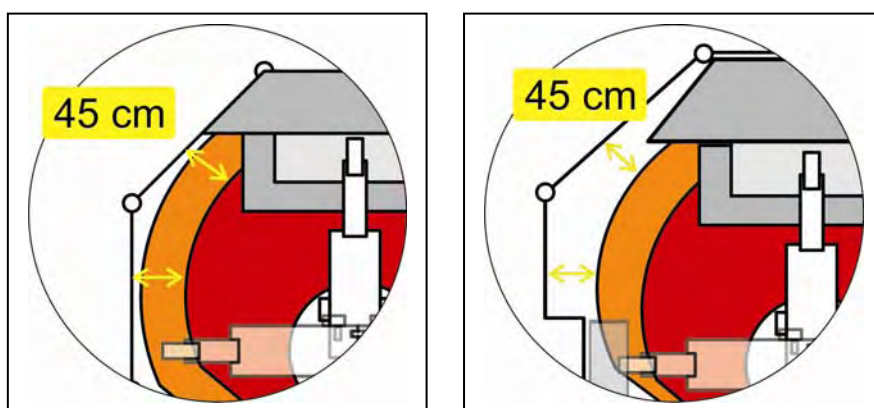


Figura 3. Distâncias diferentes velocidades altas e baixas (adaptado da ANSI/RIA R 15.06).

A APV Baixa Velocidade deixa-se a dimensão mínima de 450 mm a partir da área restrita e a APV Alta Velocidade considera a aplicação da dimensão mínima a partir do espaço operacional (Figura 3). Esta recomendação normativa indica a especial preocupação com o operador, evitando, desta maneira, que esmagamentos ou choques ocorram quando o Atendimento ao Programa de Verificação estiver em operação.

A reconfiguração das células é muito complexa, pois muitas variáveis estão envolvidas. Para se analisar tal complexidade pode-se comentar o fato de que muitas das instalações ocorrem por práticas de tentativa e erro. A integradora inicia a montagem de um determinado robô e durante a instalação vai ajustando as posições

dos periféricos e dos sistemas alimentadores e de todas as interfaces envolvidas na tarefa. Esta experiência, geralmente, acaba não privilegiando aspectos de segurança até por falta de normas a serem seguidas.

O Controle de Baixa Velocidade, especificado pela ANSI/RIA R15.06 (1999), procura normatizar as intervenções a se realizarem na célula robótica, prevendo, conforme já apresentado, impactos inesperados entre outros riscos:

- quando em operação de movimento coordenado sob o modo de controle de Baixa Velocidade, a velocidade do Ponto Central da Ferramenta e o Ponto Definido para uma Aplicação - TCP¹⁰, não poderá exceder 250 mm/s.
- quando a célula robotizada está sob operação em Verificação Assistida de Programa - APV no modo de Baixa Velocidade, a maior velocidade permitida na extensão máxima alcançada pelo efetuator não deve, em hipótese alguma, ultrapassar os 250 mm/s.
- o sistema eletrônico que comanda o sistema em APV – Baixa Velocidade deve ser construído de maneira que qualquer problema detectado como inadequado deverá impedir que o robô movimente-se acima da velocidade estipulada. Ou seja, o sistema deverá garantir que a velocidade do robô não atinja velocidades acima das previstas.

Requisitos para o controle de Alta Velocidade – Quando o sistema estiver pronto para assumir velocidades acima de 250 mm/s deverá proceder da seguinte maneira:

- o operador deve ter um objetivo justificado para selecionar o sistema através de um painel de controle fora da área de segurança;
- após a seleção do modo APV, a velocidade deve ser ajustada abaixo do controle de velocidade mínima previamente definida;
- o aumento da velocidade para seu ponto máximo deve ser ajustado seguindo todos os passos previstos pelo programa de velocidade estabelecido através do dispositivo portátil de controle¹¹.

¹⁰ *Tool Center Point- TCP*. Ponto definido para uma aplicação dada respeitando-se o sistema de coordenadas de uma interface mecânica.

¹¹ *Pendant ou Teach Pendant* – segundo a ANSI 15.06 (1999) é um dispositivo de controle remoto próprio para operar o robô no interior da célula robótica.

- deve haver um indicador no dispositivo portátil de controle apresentando a velocidade máxima selecionada;
- deve haver constante atuação para permitir que os equipamentos auxiliares permitam o contínuo movimento do robô.

2.3 MODELO DE RISCO

Modelos de Risco são construídos pretendendo-se que dêem conta da segurança do sistema e que promova, também, a utilização eficiente do sistema. Kulic e Croft (2005) levaram em conta os robôs de uso industrial por apresentarem grande emprego nos meios produtivos, contudo, analisaram a condição de interação como algo que não se realiza visto que a interação relação homem-robô, para todos os efeitos, não existe, pois, o equipamento mantém-se isolado do ser humano. Muitos modelos de risco procuram estudar a relação entre a força de um ‘braço’ robótico chocando-se com um ser humano. Outros modelos procuram organizar a comunicação entre os diversos sistemas de segurança baseados em redundância sistêmica.

Visinsky et al.¹² (1994 apud TERRA, BERGERMAN, TINÓS et al., 2001) apresenta uma colocação muito importante sobre redundância, vejamos:

Redundância física pode proteger o sistema contra falhas dos componentes do sistema de controle, mas não dos componentes da planta. Além disso, em robótica, o uso de redundância física é quase sempre limitado por fatores de custo, tamanho e potência [...]

Redundâncias físicas, cinemáticas e funcionais podem ser utilizadas para evitar falha, ou que a tarefa fique incompleta até que seja possível a correção do problema. Essas alternativas são extremamente bem-vindas, contudo, pelas pesquisas realizadas e os casos relatados, a maior parte dos problemas não parece estar associada a situações em que a redundância não tenha dado conta da preservação da segurança do sistema e do operador. O fato é que outras estratégias, além dessas, devem ser consideradas para ampliar e assegurar a estabilidade do sistema.

¹² VISINSKY, M. L.; CAVALLARO, J. R.; WALKER, I. D. Robotic fault detection and fault tolerance: a survey. *Reliability Eng. and System Safety*, **46**, p. 139-158. (1994) apud TERRA, M. H; BERGMAN, M.; TINÓS, R.; SIQUEIRA, A. A. G. **Controle Tolerante a Falhas de Robôs Manipuladores**. São Carlos SP. SBA Controle & Automação Vol. 12 nº. 02 / Maio. 2001. Disponível em: <http://www.fee.unicamp.br/revista_sba/vol12/v12a319.pdf>. Acesso em 15 de junho 2006.

Geralmente, estratégias de prevenção propõem-se a eliminar ou reduzir os acidentes e ferimentos. Quatro estratégias distintas de Modelo de Risco estão disponíveis, conforme a apresentação de Hale e Glendon (1987) no Quadro 5.

Estratégias	Abordagem
Eliminação	Esta estratégia busca eliminar o perigo de tal maneira que o risco não tenha nenhum significado. Podemos pensar, inclusive, na eliminação do robô, mas o equipamento que o substitui também poderá impor riscos.
Isolação	Procura reduzir os riscos impondo uma limitação física restritiva, ou seja, isolar o equipamento de tal forma que os usuários não poderão ser afetados.
Proteção	Procura reduzir os riscos introduzindo equipamentos de segurança como: barreiras em volta da célula robótica e equipamento proteção de individual – EPI.
Redução dos ferimentos	Procura diminuir a gravidade do ferimento caso aconteça o acidente.

Quadro 5. Estratégias de proteção (adaptado de Hale e Glendon, 1987).

A hierarquização no uso das estratégias vai da remoção sumária do robô a redução dos impactos do ferimento sobre o usuário. Situação que também poderia ser considerada como inaceitável.

O Modelo de Risco (Figura 4), desenvolvido por Goosens (1991), possui uma configuração aparentemente simplificada para eliminar ou reduzir os riscos, porém podemos questionar o modelo a respeito das interfaces de cada fase planejada e apresentada. Observando o Modelo de Risco segundo a posição da fase como: ferimento, ou dano material, podemos perceber que os aspectos críticos apresentam-se, geralmente, no fim da seqüência lógica do modelo de risco. Esta situação pragmática talvez confunda a hipótese principal quando se procura estabelecer a segurança, que é a antecipação dos fatos. Fazendo uma analogia à segurança praticada às rodovias quando em situação de reparos, percebemos que a equipe do setor de segurança se impõe, gerando vários alertas visuais, como: placas, sinais luminosos, painéis eletrônicos, barreiras físicas, entre outros recursos, antes de se chegar ao trecho em obras. Caso a estratégia de segurança designada ao reparo em uma rodovia de grande fluxo se preocupasse primeiramente com o fluxo de carros que irão passar pelo trecho de modo a não interferir nos compromissos dos usuários, evitando assim, críticas a responsável pela obra, certamente outros problemas graves surgissem.

Não se trata simplesmente de uma troca de ordem dos fatores, mas de uma mudança cultural que dê conta, primeiramente, de garantir a integridade de todo o sistema. Assim todo o restante, ou talvez, em paralelo, seria coordenado de maneira a se obter resultados qualitativos e quantitativos na ordem que se deseja em relação ao investimento realizado.

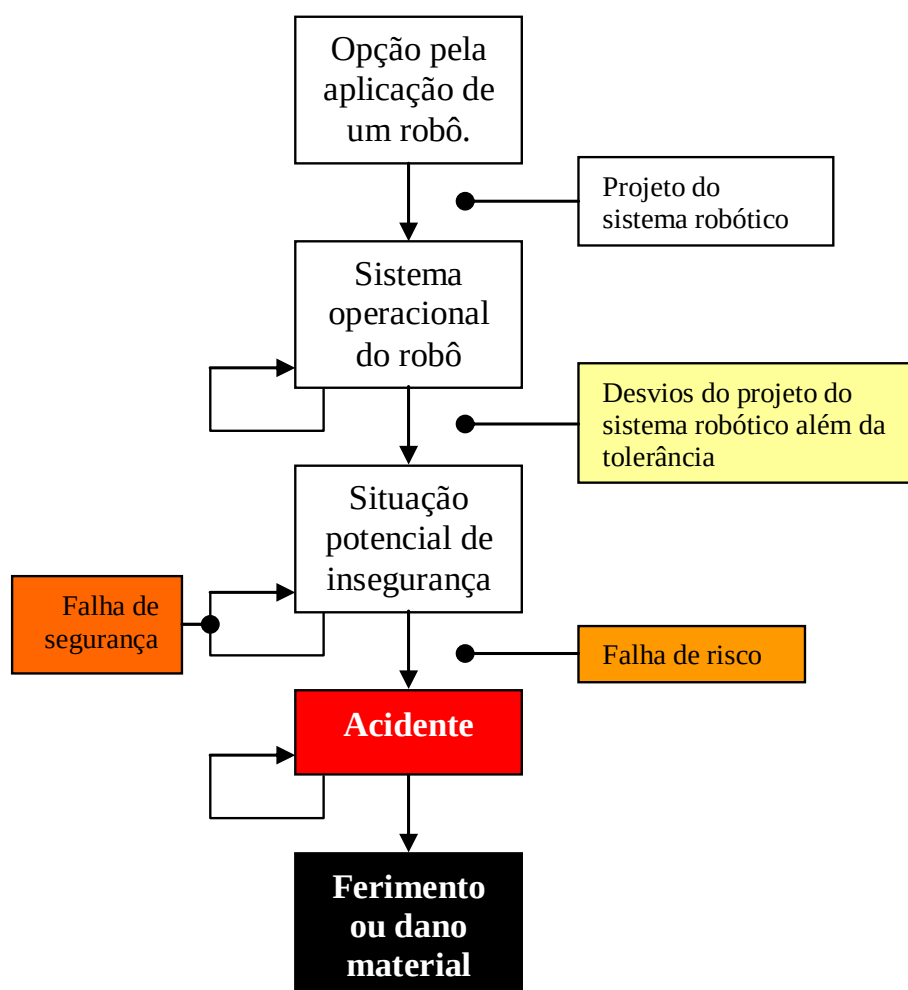


Figura 4. Modelo de Risco (adaptado de Goossens, 1991, p. 220).

Tratar a segurança como passivo não é a proposta que se deva ter em mente do grupo de pessoas envolvidas com o projeto do robô, nem tão pouco da empresa que usará a automação como melhoria da qualidade em seus produtos ou serviços.

Kulic e Croft (1999) no texto “Estratégias para uma Interação Segura entre Humanos e Robôs” apresentam um diagrama geral sobre comandos aplicados em um robô de maneira a se obter a execução de uma tarefa de forma segura (Figura 5).

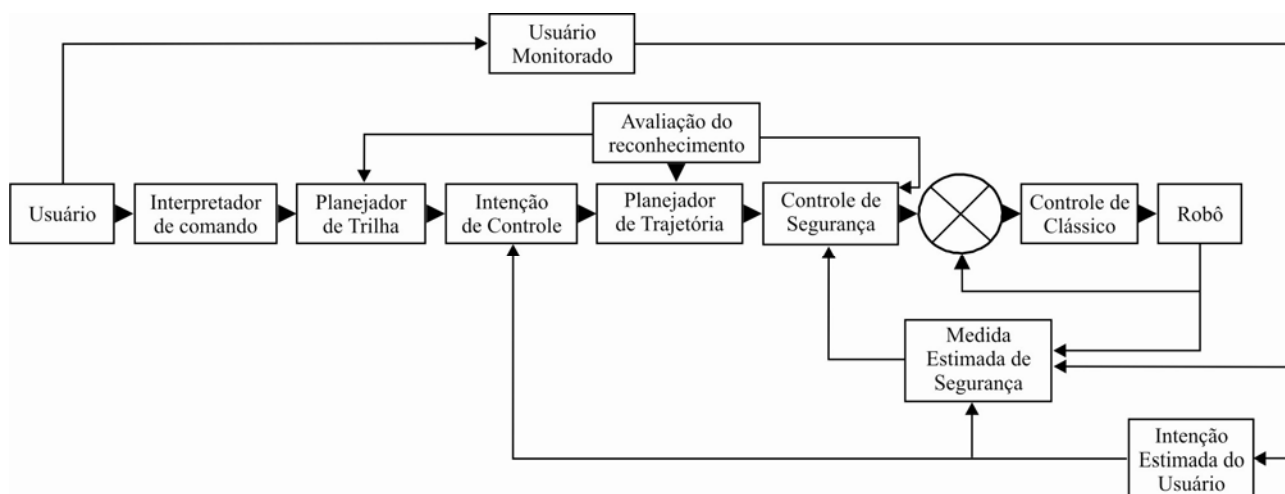


Figura 5. Prioridade hierárquica do Controle de Segurança, Kulic e Croft (2005).

Allwood (1984) diz que 80% dos erros são detectados por aqueles que os cometeu e para se evitar o erro propõe a prevenção, recuperação e atenuação que podem ser explicitados da seguinte forma: a prevenção evita que os incidentes encontrem um terreno fértil para se alastrar a recuperação permite paralisar o alastramento do risco, antes que se estabeleça um acidente e a atenuação permite a redução das conseqüências. Para atenuar os riscos, Amalberti (2007) organiza três estratégias denominadas “Dominantes de Redução de Risco”: a qualidade, a supressão e a defesa. A qualidade, por meio dos indicadores do estado de uma produção são naturalmente os primeiros fatores a destacar uma inadequação e consequente geração de risco, ou seja, a melhoria contínua pode tornar-se uma excelente forma de se gerenciar o surgimento dos riscos. A supressão do risco em sua fonte é a posição mais radical, extinguindo do processo produtivo aquilo, ou quem oferece potencialmente valores de risco. Já a defesa consiste em elaborar barreiras físicas ou imateriais em ambientes que apresentem fragilidades percebidas ou preconizadas.

Segundo Amalberti (2007) a mudança cultural sobre como lidar com o risco é que deve ser alterada. Aceitar a potencialidade do risco é fundamental para tornar o ambiente realista e assim poder ser controlado. Admitir a possibilidade da falha e, de

forma razoável, dominá-la, este deve ser o esforço dos gestores nas décadas que estão por vir.

Duijne et al (2007) afirma que: “[...] a avaliação do risco é um importante processo na política de gerenciamento e tomada de decisão”. Esta afirmação nos remete à proposta feita por Amalberti (2007) expressa que o gerenciamento qualitativo poderá identificar o impacto que ocorrerá sobre o consumidor, ou empregado, em caso de um acidente. Assim, como consequência, poderá colaborar com o governo e a gestão administrativa a determinarem ações necessárias à prevenção.

Segundo Kanis (1998), o risco em combinar a análise das características humanas como constrangimento e comportamento em relação a um produto análogo podem ser capazes de permitir a construção de cenários descritivos de como as pessoas interagem com o produto durante uma tomada de risco. Kanis (1998) conclui, dizendo que “Este tipo de método para a identificação de riscos em relação às atividades dos usuários podem ser usados pelos ergonomistas para especificar premissas em seus estudos de usabilidade [...]”.

Neboit (2003) destaca a corrente surgida nos anos 80 cuja confiabilidade como principal eixo da organização do trabalho, desenvolveu-se apoiada na evolução tecnológica e como as ciências humanas estudaram os problemas dos acidentes. A evolução em questão é a automatização, a informatização e a tarefa de se controlar, vigiar e manter os sistemas em funcionamento, conforme o planejado. Ou seja, os atos daqueles que interagem com os sistemas em funcionamento transformou-se em pontos importantes e que ao mesmo tempo, apresentaram suas fragilidades perante o processo. Desta forma, para impedir as falhas nos sistemas, físicos ou processuais, estabeleceram-se comportamentos redundantes, levando o sistema a uma configuração complexa e, por este motivo, capaz de dificultar, ainda mais, a ação humana e, por fim, conduzir ao erro.

2.4 REFERENCIAL TEÓRICO - ACIDENTES E ROBÔS

Salvendy (1985) apresenta um levantamento estatístico sobre os acidentes causados pelos robôs, atribuindo, a cada tipo de acidente, um resultado estimado de ocorrência. Este tipo de levantamento é muito importante para auxiliar a elaboração dos sistemas de segurança e conseqüentemente para a recomendação ergonômica (DUIJNE, 2007, p. 247). Outra questão importante é a confiabilidade apresentada pelo autômato durante o período de uso. Salvendy (1985) relacionou as falhas e o tempo médio de ocorrência (Tabela 2). O sistema de controle aparece como a principal falha surgida no período inicial das atividades ficando abaixo das 100 horas de uso do equipamento, ver tabela 6, ou seja, o risco torna-se maior quando as pessoas começam a se familiarizar com o robô.

A maior quantidade de acidentes envolvendo os robôs está associada ao momento em que se instala, ensina-se, regula-se e mantém-se o equipamento autômato; somando-se essas informações chega-se a 66.4% (Tabela 1) dos acidentes totais. Incertezas, despreparo, complexidade, pressão por resultados, entre outros motivos, podem justificar os valores apresentados nestas fases da operação dos autômatos.

Tabela 1. Acidentes com robôs (adaptado de Salvendy, 1985 p. 646).

Acidentes causados por robôs industriais	
Causas	%
Ação errônea do robô durante operação normal.	5.6
Ação errônea de equipamento periférico durante operação normal.	5.6
Falta de cuidado do homem ao se aproximar do robô.	11.2
Ação errônea do robô durante operação de ensino e teste.	16.6
Ação errônea de equipamento periférico durante operação de ensino e teste.	16.6
Ação errônea durante operação manual.	16.6
Ação errônea de equipamento durante operação de manutenção, regulagem e checagem do equipamento.	16.6
Outros	11.2

Tabela 2. Confiabilidade (adaptado de Salvendy, 1985. p. 646).

Confiabilidade dos robôs industriais			
Problemas com os robôs / %		Tempo médio de ocorrência de falha nos robôs horas / %	
Falha do sistema de controle	66.9	Abaixo de 100	28.7
Falha no corpo do robô	23.5	100 – 250	12.2

Confiabilidade dos robôs industriais			
Problemas com os robôs / %		Tempo médio de ocorrência de falha nos robôs horas / %	
Falha na tocha de solda e partes da ferramenta	18.5	250 – 500	19.5
Desvios/Aceleração (disparada)	11.1	500 – 1000	14.7
Erros de programação e operacionais	19.9	1000 – 1500	10.4
Deficiência e deterioração na precisão	16.1	1500 – 2000	4.9
Incompatibilidade entre equipamentos periféricos e outras ferramentas	45.5	2000 – 2500	1.2
Outros	2.5	Acima de 2500	8.5

A União de Trabalhadores da Empresa Automobilística (2002) – UAW¹³ dos Estados Unidos, por meio do Departamento de Saúde e Segurança publicou um documento intitulado Revisão dos Acidentes Robóticos¹⁴ diz que: “[...] é difícil encontrar pesquisas e registros sobre os acidentes que envolvam os robôs [...]”.

Na tentativa de alertar a comunidade de trabalhadores das indústrias automobilísticas, a UAW (2002) listou os tipos de acidentes, (Figura 6) bem como destacou os principais ocorridos (Figura 7). Conclusões foram propostas pela UAW:

- em muitos casos, as pessoas estavam no espaço restrito ou no espaço operacional de forma deliberada;
- em todos os casos, o robô estava executando os movimentos programados;
- as vítimas estavam atuando em tarefas previstas.

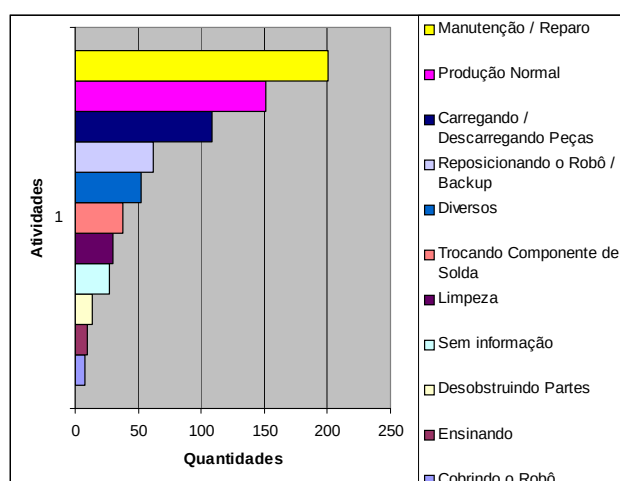


Figura 6. Tipos de acidentes (adaptado de UAW, 2002).

¹³ Union of Automobile Works – UAW. A instituição desenvolve levantamentos sobre os riscos e acidentes típicos que envolvem os robôs entre outros.

¹⁴ Review of Robot Injuries, One of the Best Kept Secrets (2002).

Os indicativos da Manutenção / Operação de Reparo e Produção Normal são os que apontam para os momentos de maiores riscos. Este fato é preocupante já que aparentemente esses dois episódios deveriam estar cobertos de procedimentos de segurança. Hipoteticamente, poderíamos aceitar que se os procedimentos e os equipamentos estivessem em funcionamento apropriado no ato do acidente, os percentuais seriam menores.

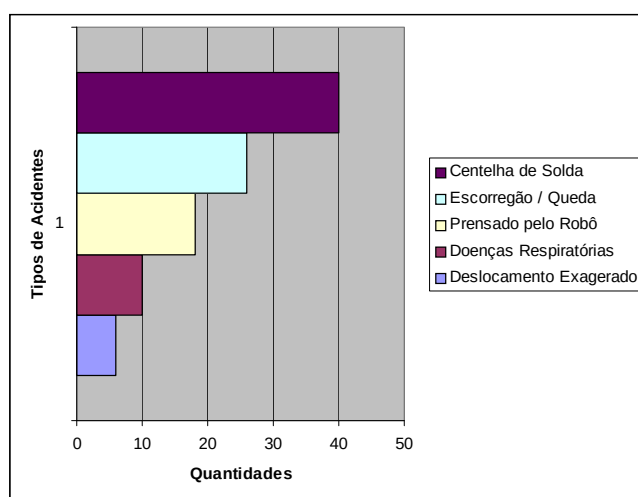


Figura 7. Principais acidentes (adaptado de UAW, 2002).

Goossens (1991) diz que: “Usualmente o risco de um local de trabalho poderá ser determinado avaliando-se o risco encontrado e a efetividade especificada dos equipamentos de segurança”. Kaplan e Garrick (1981) apontam uma fórmula, sobre o risco, composta de três variáveis. O risco seria formalmente definido como:

$$\text{Risco} = \text{Perigo/Defesa} \quad (1)$$

A proposta apresenta-se de forma determinista como as abordagens tradicionais aplicadas aos problemas de segurança ocupacional. A definição pode ser completada, se possível for calcular o valor do perigo e a efetividade esperada, partindo-se de uma série de medidas e ajustes qualitativos, ou seja, quanto maior o número de inconformidades encontradas aumenta-se a chance do risco. Tomando-se a probabilidade de ocorrência de acidentes proposta por Kaplan e Garrick (1981) reescreveram a fórmula (1) para:

$$R = \{ \langle s_i, p_i, x_i \rangle \} \quad i = 1, 2, \dots, N, N + 1 \quad (2)$$

R	Representa o risco potencial de uma dada situação.
s_i	Representa a questão: O que pode acontecer? Em termos de identificar os cenários dos acidentes.
p_i	Representa a questão: Como é que isto pode acontecer? Em termos de probabilidade de ocorrência para cada cenário identificado, s_i .
x_i	Representa a questão: Se isso acontecer qual serão as conseqüências? Em termos de medida dos danos ao sistema (pessoal e material).

Quadro 6. Kaplan e Garrick (1981).

Para que a visão probabilística indicada na fórmula (2) funcione, todos os cenários de risco deverão estar identificados e, só então, as probabilidades de ocorrência e as conseqüências de cada uma poderão ser estimadas (Quadro 6). Esta visão matemática sobre o acidente pretende orientar quais os locais tendem ao risco em maior ou menor potencialidade.

Goossens (1991) apresenta a Tabela 3 que expressa os acidentes envolvendo robôs, a freqüência dos fatos e o número estimado de robôs disponível em três países. Números elevados de acidentes na Suécia impressionam, comparados ao Japão e seu universo de robôs.

Tabela 3. Acidentes em países desenvolvidos. (GOOSSENS, 1991 p. 219)

País	Período de Observação	Tipo de acidente	Número de acidentes	Número de robôs / final do ano	Freqüência de acidentes de robôs/ano ($E-y = 10^{-y}$)
Suécia	1979-1983	Não fatal	36	1400	$8.4 E-3$
	1984-1986	Não fatal	44	2383	$7.1 E-3$
	1979-1986	Não fatal	80	2383	$7.6 E-3$
Holanda	1983-1987	Não fatal	3	600	$4.5 E-3$
Japão	1978-1982	fatal	2	4300	$1.8 E-4$
	1983-1987	fatal	8	90.000	$0.5 E-4$
	1972-1987	fatal	10	90.000	$0.6 E-4$
	1978-1982	Não fatal	11	4300	$1.0 E-3$
	1978-1982	Não fatal	48	4300	$4.3 E-3$

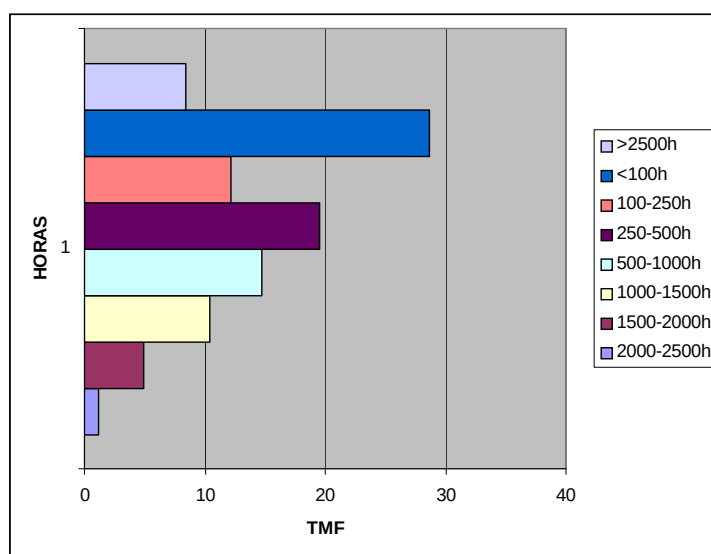


Figura 8 Tempo Médio de Falhas para robôs industriais (adaptado de TINÓS, 2003 p. 12).

A Figura 8 indica que o início da atividade do robô industrial é muito perigosa e merece atenção redobrada, pois é neste período que acontece o maior número de falhas. Nas primeiras 100 horas de uso, o percentual de falhas alcança o surpreendente número de 28,67%.

Existem quatro tipos de falhas que afetam a confiabilidade e a segurança em robôs industriais. São elas (TINÓS, 2003, p.14):

- falhas aleatórias dos componentes - Aparecem de maneira não previsível ao longo da vida útil do componente;
- falhas de programação - Podem ocorrer em virtude de erros nas entradas/saídas de dados ou devido a erros de programação;
- falhas devido ao erro humano - Podem ocorrer no projeto, manufatura, teste, manutenção e operação do robô;
- falhas sistemáticas no equipamento.- Ocorrem devido a efeitos não previstos ou ignorados no projeto do robô, como ausência no fornecimento de energia, pressão hidráulica e pneumática que também podem provocar falhas, contudo, as mesmas podem ser evitadas por meio de sensores que informam o sistema das condições impróprias de funcionamento.

Dhillon e Fashandi (1997) indicam que o tempo médio de ocorrências das falhas – TMF dos robôs industriais é 500 a 2500 horas. Tinós (2003) apresentou uma pesquisa realizada para o governo japonês, na década de 80, e, mediante as informações analisadas, considera o TMF baixo, se comparado outras máquinas de uso industrial. Esta análise é importante para o Brasil; mesmo a pesquisa possuindo quase 3 décadas, pois mostra que os robôs ainda não são suficientemente conhecidos pelos usuários, ou não apresentam sistemas de controle de falhas adequados às múltiplas requisições das operações industriais.

Para ajudar a compreender os períodos de maior ocorrência de falhas Tinós (2003) apresentou a Taxa de Falhas (Figura 9) baseada nas informações da ANSI (1993). Vejamos:

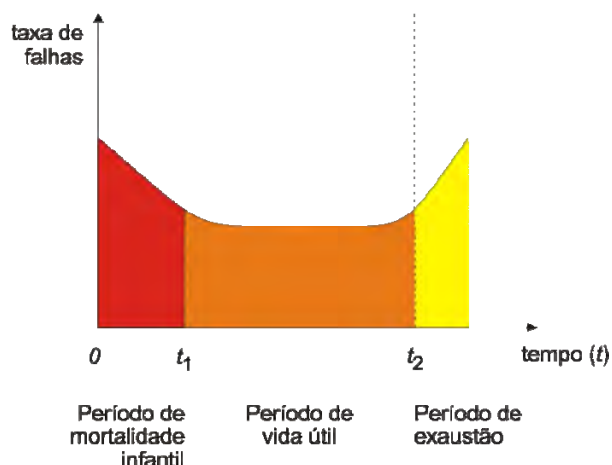


Figura 9. Taxa de Falhas teóricas em um robô industrial (adaptado de TINÓS, 2003 p. 14).

As falhas que aparecem na primeira porção da Figura 9, ‘período de mortalidade infantil,’ é geralmente decorrente de defeitos de projeto, fabricação e montagem. No período final, conhecido como “Período de exaustão”, a falha é decorrente do fim da vida útil de componentes, manutenção inadequada, corrosão, desgaste devido à fricção e envelhecimento. No “Período de Vida Útil”, as falhas ocorrem praticamente de forma constante e aleatória.

Rani e Sarkar (2005) acreditam que a interação homem-robô poderá ser mais eficiente se o robô possuir, integrado ao sistema operacional, um sistema de acompanhamento do estado psicológico e mental do operador. Esta opinião é, em parte, derivada das pesquisas que indicam a dificuldade do usuário em manter um

estado de consciência em relação às interações entre os próprios operadores e os robôs. Três são os principais componentes que constituem o estado de consciência: percepção, atenção e memória. Enquanto a memória e a percepção são estados mentais difíceis de serem controlados e manipulados, é possível capturar e reter a atenção ou envolvimento da pessoa numa dada tarefa, num dado período de tempo. Rani e Sarkar (2005) alegaram ser importante o monitoramento do estado de atenção do operador de robôs que pode ser medido através da relação entre ansiedade e diversos parâmetros fisiológicos como: variação nos batimentos cardíacos, eletroencefalografia facial, pressão sanguínea, condução epitelial, temperatura periférica, entre outras. O comportamento do robô será alterado a partir dos sinais considerados impróprios e assim, se necessário regular, através de saídas, o comportamento necessário a uma tarefa. Existem muitas situações em que o operador, uma vez tendo ordenado a tarefa ao robô, coloca-se como mero espectador da tarefa, intervindo, apenas, quando ocorre uma falha do robô. Ou seja, o período em que o operador não se relaciona diretamente com o equipamento, transforma-se em um observador. Tarefas curtas, seguidas de longos períodos sem atividade, podem provocar a falta de atenção, ou de engajamento na tarefa por parte do operador.

Para ilustrar, Rani e Sarkar (2005) construíram um modelo (Figura 10) que estabelece o nível de engajamento entre operador e o robô. Quanto mais baixo é o nível de engajamento do operador na tarefa, maior é o estado de alerta do robô. A princípio, esta detecção comportamental poderia, por meio de um sistema de malha fechada, anteceder situações que poderiam levar ao acidente.

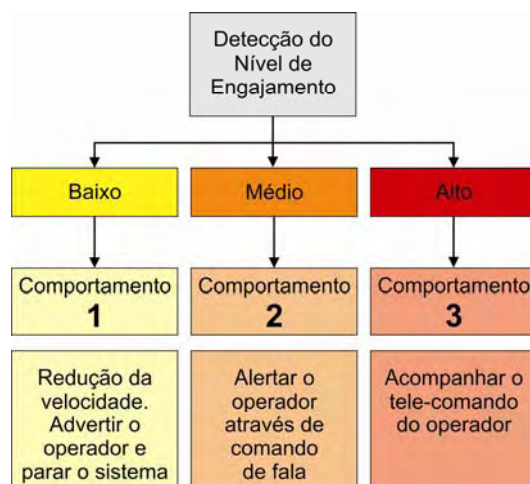


Figura 10. Nível de Engajamento (adaptado de Rani e Sarkar, 2005).

Kulic e Croft (1999) estudaram a interação homem-robô, pontuando que o principal foco da pesquisa estava no comportamento reativo quanto à atenção e aprovação demonstradas durante a tarefa. A atenção era possível ser medida através de reconhecimento dos gestos e também do deslocamento da íris, indicando que o operador não estaria olhando para o robô, conforme previsto naquele dado momento e, desta forma, prever um possível acidente. A aprovação era medida por meio das expressões faciais e dos sinais fisiológicos. A Detecção do Nível de Engajamento indica três possíveis ‘decisões’ realizadas pelo robô. A primeira adverte o operador e reduz a velocidade do sistema. Na segunda, mais crítica, o robô comunica-se diretamente com seu operador, informando sobre a possibilidade do risco. Por fim, o robô passaria, também, a ser responsável pelo próprio sistema, assumindo a posição de controlador simultâneo. Estudos como os propostos por Kulic e Croft (1999), Rani e Sarkar (2005) são extremamente importantes para o setor de automação, uma vez que a Confiabilidade discutida por Salvendy (1985) é, ainda, crítica na relação entre homem-robô.

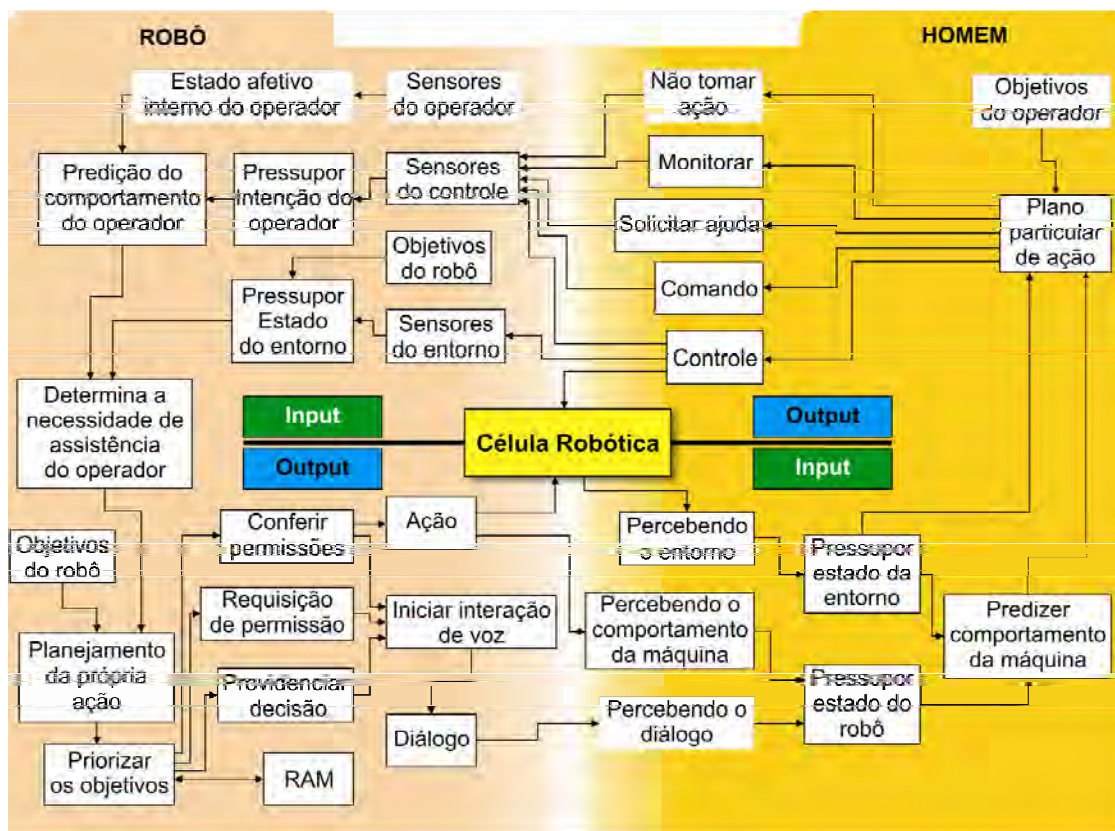


Figura 11. Fluxo Comunicacional (adaptado de Riley, 1989 apud RANI e SARKAR, 2005).

O modelo comunicacional (Figura 11), misto homem-robô, apresenta diferenças principalmente no que considera entorno e célula robótica. Para Riley¹⁵ (1989 apud RANI e SARKAR, 2005) tudo era representado pelo termo ‘mundo’, agora substituído pela expressão ‘Célula Robótica’, que aparece ao centro do fluxograma. Para compreendermos melhor, foi sugerida uma segmentação na hierarquia do sistema homem-robô, expondo-se exatamente quando o sistema comunica-se com a máquina, com o conjunto de equipamentos na periferia da célula robótica, com o robô, e por fim, quando se comunica com os sistemas de percepção comportamental e os equipamentos de segurança. Rani e Sarkar (2005) julgaram o Fluxograma Comunicacional de grande funcionalidade para se estudar a comunicação entre homem-máquina concluindo que o modelo de análise comportamental é possível de ser aplicado e podendo ser ampliado em função das tarefas desenvolvidas.

2.5 TIPIFICAÇÃO DE RISCOS DOS ROBÔS

O robô é um eficiente equipamento capaz de auxiliar os setores produtivos, mas, proporcionalmente, podemos dizer que o potencial de riscos oferecidos a seus usuários é grande. Obviamente a relação de riscos pode estar associada ao desconhecimento dos equipamentos autômatos no que se refere ao seu funcionamento e às requisições de proteção para dispor o robô em uma linha de produção.

Robôs com menor grau de liberdade podem oferecer riscos mais facilmente controláveis, pois os limites dos deslocamentos, assim como a topografia dos movimentos, são em número menor. Diferentemente, são os equipamentos de 6 graus de liberdade que apresentam maior número de possibilidades de alcance e nas configurações dos movimentos.

Considerando a atual situação comercial do Brasil, que segue a tendência mundial, cada vez mais, robôs flexíveis de 6 graus de liberdade serão os principais

¹⁵ RILEY, V., "A General Model of Mixed-Initiative Human-Machine Systems", Proceedings of the Human Factors Society 33rd Annual Meeting, p. 124-129, 1989, apud RANI P.; SARKAR, N. **Operator Engagement Detection and Robot Behavior**: adaptation in human-robot interaction. Department of Electrical Engineering Vanderbilt University, Nashville ICRA, 2005. p 1-8. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1570415>. Acesso em: 17 de maio de 2006.

equipamentos adquiridos pelas indústrias. Desta forma, a preocupação com os riscos oferecidos pelos equipamentos deve ser estudada e ampliada.

O robô industrial é extremamente útil ao setor de produção e transformação, pois reúne características especiais se compararmos às máquinas convencionais (SUGIMOTO, 2000 p.34).

Algumas habilidades podem ser destacadas sobre os autômatos industriais como:

- grande capacidade de manipulação de cargas – quanto mais potente e robusto o equipamento terá maior capacidade de carga;
- pode alcançar grandes velocidades na execução da tarefa aumentando consideravelmente a produtividade;
- robôs com maior grau de liberdade são capazes de executar variadas tarefas – flexibilidade para produção.

A ANSI/RIA R15.06 (1999 p.21), apresenta as origens ou fontes dos riscos que envolvem o robô. Destaca, ainda, que os riscos devam ser identificados de forma imperiosa em todos os aspectos da instalação, incluindo e não se limitando a:

- equipamento (robô, sistemas de proteção e hardware auxiliar);
- instalação (ponto de pega, montagem e posicionamento);
- processos de Risco derivados do sistema do próprio robô em associação a outros equipamentos, ou pela interação de pessoas com o sistema do robô.

Vale lembrar que não se limitam apenas aos exemplos aqui indicados:

- movimento de componentes mecânicos de forma individual, ou em conjunção com outras partes do sistema do robô, ou outro equipamento da área de trabalho que possa causar esmagamentos ou choques;
- energia armazenada em partes móveis, risco elétrico, componentes movidos por fluídos ou ar;
- recursos: elétricos, hidráulicos ou pneumáticos;
- ambiente perigoso: materiais explosivos, combustíveis, radioativos ou em alta temperatura;
- acústica ruidosa;
- interferência eletromagnética, eletrostática, rádio frequência, vibração ou choque;

- perda de objetos, lançamentos indevidos por falhas nas garras mecânicas ou por problemas mecânicos em outros subsistemas do equipamento;
- ergonômicos;
- escorregões, deslocamentos e quedas de algum nível e de algum local elevado;
- erro humano em projetar, desenvolver e construir incluindo as considerações ergonômicas. Delegações de formas equivocadas como os acessos, a iluminação e os ruídos. Testes funcionais, aplicações e usos, programação e verificação de programas, ajustes, incluindo o trabalho de manuseio e movimentação de carga, ajuste das ferramentas, problemas com a manutenção e com procedimento de trabalho seguro;
- movimentação, manuseio ou reposicionamento do sistema do robô associados aos componentes;
- falhas ou faltas dos sistemas de proteção como circuitos, componentes e dispositivos, incluindo a remoção distribuição ou desmontagem dos recursos de energia, dos dispositivos e dos componentes;
- operações inadvertidas causadas por falhas no equipamento;
- ações deliberadas de pessoas ou que desconhecem o funcionamento do sistema do robô.

Sugimoto (2000) indica a frequente ocorrência de acidentes no uso de sistemas automáticos de produção industrial. Estes acidentes podem ser classificados de forma geral:

- operador utiliza o equipamento de maneira errada e como consequência sofre o acidente;
- na ocorrência de uma falha durante a operação do equipamento o operador, na tentativa de solucionar o problema, adentra áreas de risco, ou insere partes do corpo em locais de risco, especialmente, quando o equipamento não foi devidamente ajustado para permitir ações humanas;

- desatenção do operador quanto ao funcionamento do robô. Acreditando que a linha de produção não está operando. O usuário adentra à célula robótica e recebe, muitas vezes sem perceber, um ‘ataque’ da máquina;
- desconhecendo os procedimentos e usando apenas os sentidos, em especial o auditivo e visual, o operário interpreta uma parada momentânea do robô como condição adequada para que possa realizar uma manutenção, ou correção de uma tarefa e sofre um acidente;
- o robô encontra-se no módulo de repouso e, repentinamente, por falha em um dos controladores, executa um movimento, causando um acidente;
- falhas no dispositivo de segurança podem permitir que uma ordem de paralisação não seja obedecida e conseqüentemente o risco de acidente torna-se iminente.

Muitos relatos de acidentes ou incidentes com robôs não são apresentados ao grande público. Esta prática dificulta a organização das informações que poderão prever os riscos quando se utilizam os robôs. Fica patente a preocupação sobre o descumprimento das normas sobre o registro obrigatório de acidentes no documento Caminhos da Análise de Acidentes do Trabalho, Ministério do Trabalho e Emprego – Brasília, Almeida (2003), cujo texto expressa: “A opinião central emitida até aqui é a de que analisar um acidente com finalidades de prevenção de novos eventos com aspectos assemelhados é identificar mudanças no sistema [...]”.

Este pequeno trecho evidencia a necessidade do registro e, mais do que isso, a descrição do acidente, objetivamente, para se replanejar o sistema.

Almeida (2003) indica haver, praticamente, um único comportamento ao se realizar uma auditoria sobre acidentes de trabalho e que esta prática tem levado a uma compreensão distorcida sobre o que incitou o acidente a acontecer, efetivamente.

Esta tese não tem a pretensão de estudar o acidente, propriamente dito, mas realizar uma pequena análise sobre como outras ciências podem contribuir para prevenção dos acidentes.

Ao se realizar uma ‘Análise de Acidentes’ Almeida (2003) apresentou um método do Centro Canadense de Saúde e Segurança Ocupacional - CCOHS¹⁶ para orientar as investigações sobre os acidentes. Seguem algumas destas orientações:

- necessidade de imparcialidade – evitar opiniões preconcebidas. Se a conclusão de que o acidente decorreu de falta de cuidado do trabalhador, perguntas importantes devem ser formuladas: O trabalhador estava distraído? Se sim, por quê? Havia procedimento de trabalho seguro? Estava sendo seguido? Se não, por quê? Os dispositivos de segurança estavam em ordem? Se não, por quê? O trabalhador era treinado? Se não, por quê?
- modelo de análise com utilização de cinco categorias de fatores. Pessoa, tarefa, material, ambiente e gestão, cujas características são descritas em texto próprio com sugestões para diminuição, ou eliminação de omissões durante a análise;
- orientações para a coleta de dados – Entrevistas, coleta de evidências no local do acidente, documentos que tragam subsídios para esclarecimento do ocorrido;
- recomendações acerca da formulação de conclusões – Ressalta que tal fase só deve ser realizada após encerramento da coleta de dados e da análise;
- sugestões quanto às conclusões – Efetuar espécie de ‘passo a passo’ do acidente que propicie a verificação das bases ou origens de suas conclusões, verificando se essas: baseiam-se em evidências? Trata-se de evidências diretas (física e documental); trata-se de evidências indiretas (fala de entrevistado, relato de testemunha)? Baseia-se em suposição.
- nunca fazer recomendações disciplinares em relação a pessoas que possam ter cometido falhas. A punição, além de contrária aos propósitos de prevenção, poderia comprometer o livre fluxo de informações numa próxima coleta.

¹⁶ CANADIAN CENTER OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY – CCOHS. Disponível em: <www.ccohs.ca> apud ALMEIDA, I. M. (org). **Caminhos da Análise de Acidentes do Trabalho**. Brasília, MET, SIT, 2003. Disponível em: <http://www.mte.gov.br>. Acesso em: 10 de maio de 2003.

3 A ERGONOMIA NA CÉLULA ROBÓTICA

3.1 BREVE HISTÓRICO

A Ergonomia teve o seu despontar para a sociedade nos anos 30 e 40. Nesta época o mundo presenciava a Segunda Guerra Mundial. Foi neste contexto caótico que a Ergonomia revelou aos projetistas normas para transformar objetos pouco amigáveis em sistemas integrados e produtores. Neste período, a perda sucessiva dos equipamentos militares poderia definir a vitória ou a derrota dos envolvidos. Como a maior parte dos equipamentos demandava a operação humana estava constituída uma situação desgastante e temerosa pela perda de ambos os recursos: humano e material. Para colaborar na solução destes problemas a Ergonomia propõe um trabalho interdisciplinar na elaboração dos novos equipamentos. “[...] pela primeira vez, houve uma conjugação sistemática de esforços entre a tecnologia e as ciências humanas. Fisiologistas, psicólogos, antropólogos, médicos e engenheiros trabalharam juntos”. (DUL e WEERDMEESTER,1995, p.13).

Iida (1995) apresenta o termo ‘ergonomia’ como de origem grega sendo (*ergon*) trabalho e (*nomos*) regras. Barreiros (2005) indicou que há muito tempo a Ergonomia preocupava-se, essencialmente, com as patologias decorrentes das práticas laborais, características dos anos 40. Durante este período, a Ergonomia era vista como a ciência da utilização das forças e das capacidades humanas, tal qual foi definida em 1857 pelo polonês Woitej Jastrzebowski em seu livro ‘Ensaio da Ergonomia ou ciência do trabalho baseada nas verdades da ciência da natureza’¹⁷. Atualmente a ergonomia tem como princípio maior a regulação do trabalho humano, visando, de forma integrada, à saúde, ao conforto, e à segurança do trabalhador bem como à eficácia da produção (BARREIROS,2005, p. 11).

A Ergonomia, nos Estados Unidos, é também conhecida como *Human Factors* – Fatores Humanos, contudo, o termo *Ergonomics* aparece em documentos americanos.

¹⁷ *Esquisse de l’ergonomie ou science du travail basé sur des vérités prises de la science de la nature.*

Moraes e Mont´Alvão (2000) em seu livro “Ergonomia, Conceitos e Aplicações” apresentam um texto de Chapanis (1959) muito elucidativo:

Uma importante lição de engenharia, proveniente da II Guerra Mundial, é que máquinas não lutam sozinhas. A guerra solicitou e produziu maquinismos novos e complexos, porém, geralmente, essas inovações não faziam o que se esperava delas. Tal ocorria porque excediam ou não se adaptavam às características e capacidades humanas. Por exemplo, o radar foi chamado olho da armada, mas o radar não vê. Por mais rápido e preciso que seja, será quase inútil, se o operador não puder interpretar as informações apresentadas na tela e decidir a tempo. Similarmente, um avião de caça, por mais veloz e eficaz que seja, será um fracasso se o piloto não puder voá-lo com rapidez, segurança e eficiência.

Parecem claros os objetivos da ergonomia junto aos setores de projeto ao propor o conhecimento sobre as habilidades e limitações humanas e outras situações em que o ser humano seja requerido nas atividades de um determinado sistema. Para esta tese é imprescindível que ao estudar os aspectos de segurança, entre outros aspectos, relativos aos robôs, a Ergonomia apresente seus conhecimentos a favor da própria sobrevivência do sistema homem-máquina. Discutir de maneira tecnológica os aspectos delineadores do projeto como obtenção de graus máximos de segurança sem considerar o comportamento humano e seus limites parece, no mínimo, uma ação equivocada.

O IMAM¹⁸ (2003) realizou uma pesquisa para identificar o estágio da Ergonomia nas empresas brasileiras e como resposta chegou as seguintes conclusões:

- 60% das empresas pesquisadas eram brasileiras, 19% européias, 10% americanas e 5% japonesas;
- 74% das indústrias possuem Políticas de Saúde e Segurança no Trabalho e as empresas que responderam positivamente, 85% são multinacionais, ficando as nacionais com 65% de aceite às políticas indicadas;
- 68% das empresas indicaram não possuírem políticas ou declaração de princípios exclusivamente para assuntos ligados à Ergonomia; apenas 32% informaram possuir tratamento para os requisitos de ordem ergonômica;

¹⁸ IMAM: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais

- 58% das empresas procuram adaptar as condições de trabalho para aumento da produtividade e conforto, seguido das que, às vezes, preocupam-se com 36% e, por fim, às que, definitivamente, não consideram esses aspectos, com 11%;
- 61% disseram não haver um grupo multidisciplinar no desenvolvimento dos postos de trabalho, contra 39% que afirmaram existir;
- os trabalhadores são solicitados a dar suas opiniões em 44% dos casos, 56% restantes dividem-se entre às vezes, 47%; não, 8% e não responderam 1%;
- não existe Comitê de Ergonomia em 78% das empresas, apenas 22% possuem o comitê;
- dos comitês existentes, 61% foram formalizados contra 39% comitês informais;
- a Segurança de Trabalho coordena a maior parte dos assuntos ligados à ergonomia, seguido de perto pela Segurança de Trabalho e Médico, Métodos e Processos / Engenharia Industrial, Setor médico isoladamente e por último o departamento de Recursos Humanos;
- sobre o conhecimento da Ergonomia e sua importância para alavancar a produtividade, 75% disseram estar conscientes, 24% disseram não perceber essa importância e 1% não respondeu;
- 18% das empresas não se preocupam com os processos cíveis e trabalhistas que poderão ocorrer em seus ambientes de trabalho por falta de conforto dos ambientes de trabalho.

Este relatório conclui que a Ergonomia brasileira precisa desenvolver-se exigindo um maior número de pesquisas bem como treinamento e conscientização do setor empresarial nacional. Alguns dados encontrados na pesquisa do IMAM (2003) ajudam a compreender um dos principais problemas que é a falta dos ergonomistas junto aos grupos de Desenvolvimento de Projeto. O ergonomista é visto como um profissional capaz de colaborar na adaptação de um lugar mal planejado e não como alguém que deveria acompanhar o desenvolvimento do projeto desde o início, evitando assim, ações de correção, posteriores, e em muitos casos, parcialmente efetivos. Como as

principais empresas de robôs industriais são de origem estrangeira, essa pesquisa não contempla informações que possam discutir a participação dos ergonomistas na construção dos robôs, contudo, outra pesquisa desenvolvida nos Estados Unidos por Adams (2002) do Departamento de Ciência da Computação, indica semelhanças com as informações passadas pelo IMAM (2003).

Adams (2002) por meio do documento “Considerações Críticas para o Desenvolvimento de uma Interface Humano-Robô”¹⁹, evidenciou a necessidade de se propor uma abordagem mais consistente apoiada nos conhecimentos da Ergonomia. Uma proposta que atenda à interação homem-robô. A proposta desta tese propõe a realização de estudos ergonômicos, amparados por conhecimentos e métodos já empregados pela Ergonomia em outras áreas como previsto por Adams (2002).

Johnson (2000) formalizou alguns princípios que poderiam ser empregados no conceito e abordagem das relações entre homens e máquinas, mas que, no entendimento de Adams (2002), podem ser aplicadas aos robôs. Vejamos:

- foco nos usuários e em suas tarefas, não na tecnologia;
- considerar primeiramente a função e só depois a apresentação;
- coerente com a visão dos usuários sobre a tarefa;
- não complicar a tarefa dos usuários;
- promover a leitura;
- passar informação, não apenas índices ou dados;
- projetar de forma compreensível;
- fazer testes e depois os corrigir.

A ergonomia utiliza estes critérios para planejar postos de trabalho como as complexas operações de trens do metrô do Rio de Janeiro, ou na Sala de Controles da Represa Bi-nacional de Itaipu. A lista de postos de trabalhos planejados, ou modificados pela abordagem ergonômica, pode ser grande em diversas áreas, mas provavelmente pequena quando se trata especificamente das células robóticas. Assim, por meio dos conceitos da Ergonomia pretende-se alcançar uma proposta e quem sabe modificar o paradigma encontrado, ao longo do tempo. As dificuldades das ciências tecnológicas em abordar situações de alta complexidade são semelhantemente às

¹⁹ *Critical Considerations for Human-Robot Interface Development.*

encontradas durante o período da II Guerra Mundial. Desenvolver um produto sem o prévio conhecimento das necessidades de seus operadores é uma prática equivocada e só depois de desenvolvido e construído é que se recorre ao conhecimento científico da Ergonomia para solucionar problemas.

A complexidade de uma célula robótica é imensa e justifica-se, pois cada célula é planejada para atender à especificidade da produção. Exemplar é uma empresa de autopeças que poderá ter, em produção diferentes, ações com peças consideradas iguais, mas detalhes podem diferenciar o produto final, como a furação das portas direita e esquerda, vidro elétrico e mecânico etc. É a flexibilização da produção, atendendo às necessidades dos diferentes consumidores. Organizar as células de maneira a atender seus usuários diretos como o pessoal da manutenção, o da integração e o do próprio corpo de profissionais, que ensinam e realizam o ajuste fino, não é uma tarefa fácil.

No decorrer desta pesquisa, muitas informações foram coletadas de maneira a se identificar a construção de um modelo, ou mesmo de uma abordagem ergonômica da tarefa poderia constituir-se para ampliar as possibilidades de melhor interação Homem-Máquina. Algumas pesquisas como: Anzai (1994)²⁰ Interfaces Ativas utilizando Robôs Móveis: tecnologia futura para uma ergonomia interativa, Tóth, Zoller e Arz (1999)²¹ Lista de Critérios de Seleção e Especificação de Robô Industrial, Adams (2002)²² Considerações Críticas para o Desenvolvimento de Interfaces homem-robô e Traver e Del Pobil (2000)²³ Tornando os Robôs de Serviço Seguros estão preocupadas com a interação homem-robô e apresentam sugestões semelhantes as vistas nos estudos de Adams (2002).

3.2 ERGONOMIA E ENGENHARIA NA CÉLULA ROBÓTICA

As pesquisas realizadas anteriores a esta tese, permitiram a conjectura sobre a existência de uma lacuna nos projetos que envolvem robôs no Brasil, quanto a aplicação da Ergonomia. Os indícios que permitem a assunção sobre a pouca ou

²⁰ *Active Interfaces Using Mobile Robots: A Future Technology for Interactive Ergonomics.*

²¹ *List of Selection Criteria and Specification of the Selected Industrial Robot.*

²² *Critical Considerations for Human-Robot Interface Development.*

²³ *Making Service Robots Human-Safe.*

nenhuma aplicação da Ergonomia na instalação dos robôs, baseiam-se na ausência de documentos que orientem e especifiquem a melhor forma de inserção da célula robotizada. Os questionários realizados por este pesquisador evidenciaram, também, a dificuldade dos usuários quanto ao conhecimento das tecnologias que envolvem as células dos robôs. Duarte (2002) diz que:

Na verdade, nossos engenheiros, empenhados na gestão, têm tido poucas oportunidades de participar de atividades ligadas ao desenvolvimento de projetos tecnológicos, uma vez que se ocupam de pôr em funcionamento equipamentos e sistemas de produção comprados de países industrialmente desenvolvidos.

Essa percepção levantada por Duarte (2002) parece concordar com a visão diagnosticada por meio dos questionários, ao longo desta tese. Para reforçar a percepção de que existem dificuldades no aspecto de desenvolvimento de novos projetos tecnológicos e, principalmente, o distanciamento dos ergonomistas durante a fase de desenvolvimento do produto.

Duarte (2002) apresentou alguns dos problemas mais visíveis nos projetos das Indústrias de Processo Contínuo – IPC²⁴:

- problemas de saúde e fadiga decorrentes da inadequação dos meios de trabalho à atividade;
- riscos de acidente relacionados a dificuldades de representação do estado real das instalações, sobretudo durante os períodos iniciais de operação;
- insuficiência de formação dos membros das equipes de operação;
- disfunção da partida das instalações e longo tempo até a estabilização do funcionamento do processo;
- impossibilidade de fazer com que a carga efetivamente processada se aproxime da capacidade nominal definida em projeto;
- dificuldades, por todos esses fatores, em assegurar a qualidade prevista.

Analisando os tópicos descritos por Duarte (2002) percebemos que o conhecimento da tarefa prescrita e da tarefa real de um dado processo contínuo poderia, de antemão, colaborar para se evitar a maior parte dos problemas apresentados. Duarte (2002) diz que: “O conhecimento da realidade do trabalho vem

²⁴ Segundo Duarte (2002) o trabalho nas indústrias de processo contínuo se caracterizam pela operação predominantemente de dimensões coletivas e cognitivas.

se tornando uma dimensão estratégica para o êxito desses projetos, na medida em que possibilita antecipar problemas que o futuro corpo técnico de operação irá enfrentar”.

A Ergonomia poderá por meio de suas abordagens sistêmicas colaborar com uma visão clara sobre as tarefas requisitadas em cada momento da fase produtiva e não só isso, mas, solicitar ao setor de projetos que considere no desenvolvimento do projeto as informações sobre a organização do trabalho, as restrições impostas pelo sistema e as exigências que irão promover a diferença entre o prescrito e o real.

Daniellou (2002a) e Maline (1997) concluíram que: “[...] freqüentemente são subestimadas as necessidades reais do futuro corpo técnico de operação, impedindo que o trabalho se realize em condições de segurança e eficiência”.

Dois fatores colaboram para a existência de tais situações:

O primeiro é a complexidade decorrente de se levar em consideração o fator humano dentro de uma situação de projeto. O segundo reside no fato de que normalmente os projetistas supõem que sua representação do ambiente é idêntica à daqueles que vão operar o sistema de produção. A não-consideração da lógica de utilização reforça as dificuldades de adaptação e aumenta o risco de acidentes e de incidentes técnicos. (DUARTE, 2002, p.15).

A preocupação com os aspectos técnicos somente, ou em maior ordem de grandeza, deixa desprotegido o projeto como um todo. Essa prática, já comentada nesta tese, deixa claro que: enquanto o usuário com seu conhecimento, a partir das experiências acumuladas, não participar dos novos projetos, informando como deverão ser construídos e funcionarem os sistemas; enquanto testes de adequação e usabilidade não forem consideradas nos projetos das células robóticas, os riscos de acidentes e as dificuldades das células robotizadas alcançarem resultados desejados serão constantes.

Duarte (2002) indica ainda um predomínio de uma perspectiva teórica em relação ao trabalho apontado para a projeção de riscos em duas situações distintas como: o funcionamento estável e a caoticidade dos grandes acidentes, momento em que acontecem evacuações de um determinado ambiente industrial e até mesmo do entorno do complexo industrial. Contudo, a realidade demonstra que as situações encontradas comumente estão entre as duas situações extremas.

São os problemas do cotidiano que desprezados tornam-se potenciais causadores de riscos físicos aos usuários e ao sistema. A aceitação contínua do ato inseguro, bem

como do uso de um equipamento pouco amigável ao usuário pode, pela prática, tornarem-se o gatilho para situações críticas.

Geralmente, atos inseguros conduzem a riscos iminentes e equipamentos inadequados provocam, mais lentamente e por vezes mais rapidamente, a desconfiança e prejuízos dos operadores envolvidos na tarefa – falta de confiabilidade. Caso a falha ou prejuízo físico, imposto por um equipamento, através do uso, ou contínuo, ou imediato, seja percebido pelo contingente de trabalhadores de um determinado setor, poderá desencadear um efeito dominó de prejuízos econômico-financeiros e uma insegurança entre os operários. A perda da confiabilidade poderá determinar em vários casos o tom da crítica ao sistema de produção. Fatos ocorridos em outras situações da vida do operário, como uma lesão adquirida pela prática esportiva de fim de semana, poderá intencionalmente ser usada como desculpa pelo uso de um equipamento que apresenta riscos à saúde. Chega-se a uma situação em que a própria indústria não consegue identificar a origem da lesão sofrida pelo operário e se, realmente, foi provocada por um equipamento já reconhecido como inadequado ou se a lesão teve origem em outra situação fora do seu controle e responsabilidade. A perda da confiança mútua, alteração do clima social entre os operadores e seus superiores pode gerar prejuízos produtivos e a falta de harmonia entre as partes. Pode-se com isso aumentar as despesas com afastamentos médicos, perdas na produção, indignação entre as partes envolvidas, enfim, todo o sistema perde.

Durante entrevista, uma das empresas fornecedoras de robôs permitiu que visitássemos um teste²⁵, momento em que se realizam os ajustes técnicos para a efetivação do sistema automático junto às linhas de produção de um cliente. O teste é realizado na própria empresa fornecedora de robôs. Montam-se todos os equipamentos necessários a uma simulação e são testadas as funções e disposições fornecidas pelo cliente. Segundo o entrevistado, “[...] quando vendemos um robô realizamos o teste exatamente como será instalado na planta do cliente, ou seja, fazemos todo o sistema rodar [...]”. Nesta pesquisa ficou claro que o teste funciona muito bem para se analisar

²⁵ *Try-out* – Teste dos equipamentos a serem implementados em uma indústria e realizados em ambiente simulado. Geralmente a operação toma por base a fase anterior (entrada) e posterior (saída) da linha que irá receber o novo equipamento, neste caso um robô.

e estabelecer as posições e seqüências lógicas do arranjo físico, contudo, caso a linha de produção da empresa compradora já possua características inadequadas de altura, largura e restrições arquitetônicas poderão influenciar negativamente no trabalho desenvolvido pelas empresas que realizam o teste.

Geralmente, as empresas que realizam e constroem os testes são terceirizadas das empresas fornecedoras. Ou seja, cabendo às empresas integradoras a construção, testes e estabelecimento de requisitos de segurança e instalação de todos os sistemas das células robotizadas nas empresas compradoras.

Mesmo tendo os cuidados necessários para se instalar uma nova célula robótica alguns percalços podem surgir. Por exemplo: projetos executivos fornecidos pelas empresas compradoras, contendo o arranjo físico da linha de produção, que irá receber o robô, podem apresentar defasagem e, ao ser encaminhado a fornecedora de robôs, não represente a realidade. Segundo o entrevistado da empresa fornecedora, acontecem situações em que uma coluna edificada não prevista na planta ‘aparece’ quando os procedimentos de instalação na linha de produção iniciam suas atividades no ambiente. Casos como esses provocam alterações significativas no arranjo físico e conseqüentemente podem levar a uma reconfiguração da célula robótica não tão adequada às questões ergonômicas e de segurança e o inevitável aumento dos custos de instalação juntamente com retardamento das operações de montagem e atraso no início das operações de produção.

Além das questões enfrentadas pelas empresas fornecedoras quanto à inadequação dos espaços físicos encontrados, podemos discutir a hipótese de que as empresas integradoras podem não construir os sistemas mecânicos de segurança, entre outros, considerando os aspectos ergonômicos. Lembrando que, muitas vezes, as condições de instalação devem acompanhar os alinhamentos já existentes nas linhas de produção dos clientes compradores de robôs. Estruturas físicas podem ser definidas sem uma análise da tarefa, dificultando, a posteriori, a manutenção e a própria obtenção dos resultados desejados pelo sistema.

Os problemas críticos de ausência do planejamento ergonômico poderão ser oriundos das próprias empresas compradoras, das empresas integradoras e das

empresas fornecedoras dos sistemas robóticos. Todas elas podem de certa forma contribuir com inadequações ao atendimento das relações homem-máquina.

3.3 MÉTODO E TÉCNICA DA INTERVENÇÃO ERGONÔMICA

Os estudos oferecidos por Floyd e Welford (1953), Lehman (1953) e Chapanis (1949) todos citados por Wisner (1972) apresentam muitos esclarecimentos sobre os fatores humanos, os equipamentos, os efeitos da fisiologia e psicologia no trabalho. Contudo, a Ergonomia, atual se utiliza-se dos diversos métodos das Ciências Sociais e das técnicas da Engenharia de Métodos. Durante a prática de intervenção ergonômica pode-se empregar um único método para se atingir diversos objetivos, ou aplicar diferentes métodos para obtenção de um único objetivo (MORAES e MONT´ALVÃO, 2000, p. 37).

Segundo Moraes e Mont´Alvão (2002) para se verificar as hipóteses, descrever as características de um fenômeno e determinar as relações quantitativas nas pesquisas ergonômicas pode-se empregar pesquisas do tipo:

- *Survey*²⁶ é um levantamento de informações ou opiniões por meio de um questionário administrado a uma amostra – geralmente aleatória – da população estudada;
- Pesquisa Descritiva presta-se a conhecer e interpretar a realidade, sem interferir ou modificar as ações dos envolvidos;
- Pesquisa Experimental é a modificação controlada de alguma variável da realidade.

Geralmente, seis são as intervenções empregadas pelos ergonomistas para resolver demandas que se apresentam (MORAES e MONT´ALVÃO, 2000, p.49).

São elas:

- apreciação das disfunções ergonômicas do Sistema Homem-Tarefa-Máquina, SHTM;
- diagnose ergonômica das disfunções do SHTM;
- avaliação ergonômica dos custos humanos da tarefa;

²⁶ *Survey* - Processo e levantamento de informações através da inspeção e observação empregadas pela ergonomia.

- projeção ergonômica do SHTM;
- avaliação ergonômica;
- detalhamento ergonômico.

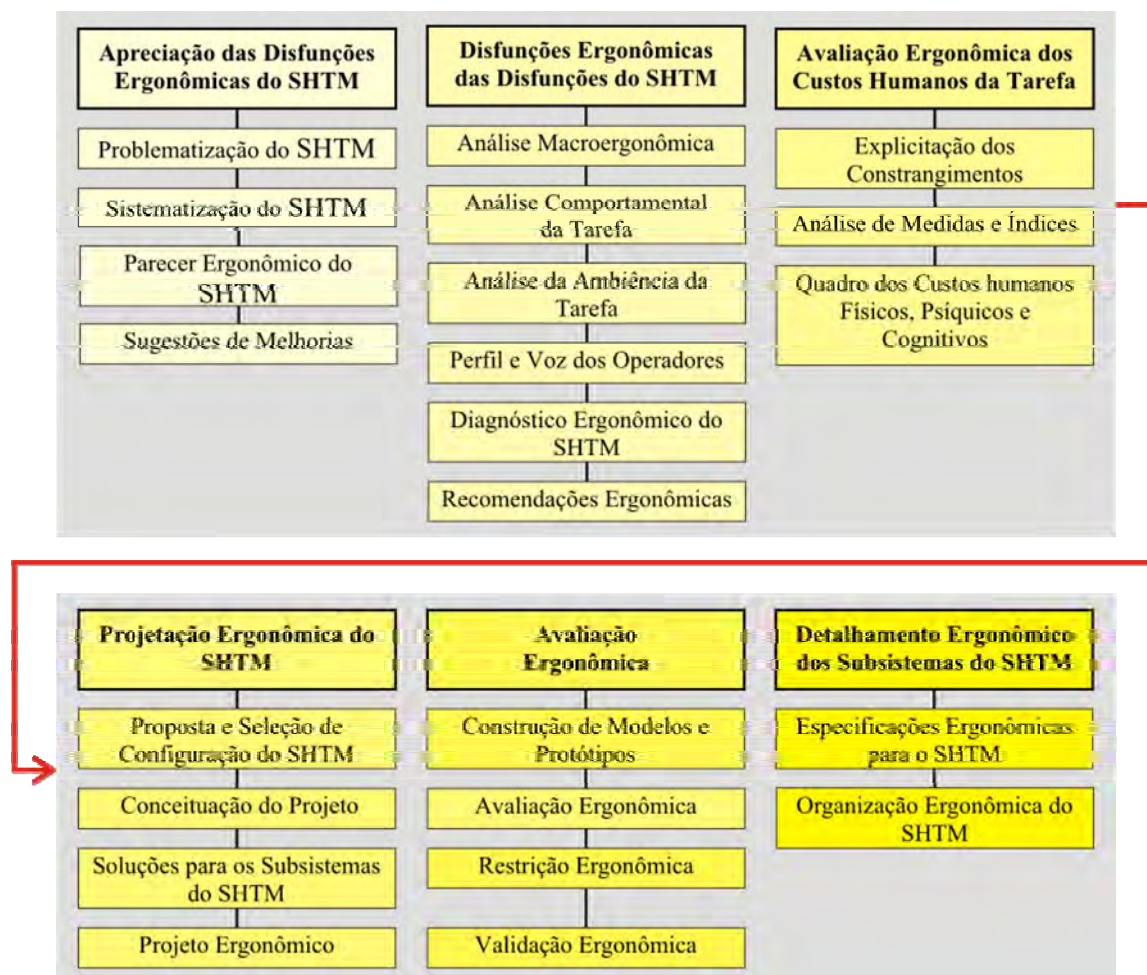


Figura 12. Intervenção ergonômica (adaptado de MORAES e MONT'ALVÃO, 2000 p. 52).

Frequentemente, as empresas solicitam apenas a fase da apreciação para tomada de conhecimento dos níveis de problemas que perturbam as estações de trabalho e em muitos casos, as próprias organizações tentam, sem a parceria dos ergonomistas, realizar a diagnose e todas as fases seguintes da intervenção (Figura 12).

3.3.1 Apreciação das Disfunções do Sistema Homem-Tarefa-Máquina

Antes propriamente da aplicação de um método funcional para estudos ergonômicos, a percepção e o reconhecimento do problema são fundamentais para o correto direcionamento da solução. É uma tarefa difícil e nem sempre é possível, para

a engenharia, perceber os riscos que envolvem um equipamento em um determinado ambiente seja pela ausência de referências, seja pela própria inovação do projeto. De acordo com Rudio (2001).

Formular o problema consiste em dizer de maneira explícita, clara, compreensível e operacional, qual a dificuldade com a qual nos defrontamos e que pretendemos resolver, limitando o seu campo e apresentando suas características. Desta forma, o objetivo da formulação do problema da pesquisa é torná-lo individualizado, específico, inconfundível.

O problema quando, por exemplo, um robô encontra-se parado por uma pane qualquer, não assume a posição de coordenadas previstas em sua programação. Um robô parado não necessariamente quer dizer que esteja com algum problema, mas um robô parado fora das coordenadas previstas e que para retornar ao funcionamento correto exige a intervenção humana resultado de posturas inadequadas do interventor será, sim, um problema.

Bunge (1980) em proposta de definição para Ergonomia, aponta para uma teoria tecnológica substantiva e operativa que procura a intervenção, apoiada em pesquisas descritivas e experimentais sobre o comportamento, tanto do homem quanto das máquinas em situações cotidianas simples e seus limites. Assim, apresentam-se:

- áreas de atuação da Ergonomia Substantiva - Fisiologia, Neurofisiologia, Psicofisiologia, Psicologia, Psicopatologia, Biomecânica, Anatomia e Antropometria;
- áreas de atuação da Ergonomia Operativa - problemas da relação homem máquina, equipamentos, ferramentas, programação do trabalho, instruções e informações, inteligência natural e inteligência artificial.

Usualmente, a detecção dos problemas ergonômicos apresenta-se através dos custos humanos impostos pelas tarefas: sejam as lesões temporárias ou permanentes, as doenças profissionais, as perdas de produção provocadas pela lentidão, além dos prejuízos mecânicos pela baixa manutenção e conservação dos equipamentos. Na célula robótica pode-se encontrar todas, ou algumas dessas situações.

Apesar da existência da automação em um processo industrial, num primeiro momento, ser introduzida para melhoria da produção sob vários aspectos, inclusive na redução dos impactos psíquicos e fisiológicos, não impede que ela própria ofereça, ainda, riscos ao sistema. Para facilitar o mapeamento dos riscos em células robóticas é

importante parametrizar os problemas nesses ambientes conforme indicam Moraes e Mont'Alvão (2000) (Figura 13).

A Intervenção Ergonomizadora expressa o momento em que se procura compreender os problemas ergonômicos de um ambiente durante a execução da sistematização do SHTM. Geralmente, realiza-se a visita técnica e executam-se diversos levantamentos como: entrevistas (vários níveis hierárquicos), fotográfico, videográfico e observação do ambiente (medições).

O parecer ergonômico é a apresentação imagética dos problemas e a indicação das disfunções do SHTM. Por fim, as sugestões preliminares de melhorias procuram encontrar as causas prováveis dos problemas a serem aprofundados na diagnose.



Figura 13. Início da Intervenção (adaptado de MORAES e MONT'ALVÃO, 2000 p. 52)

3.3.2 Diagnose do SHTM e Avaliação Ergonômica dos Custos Humanos

Momento em que se procura detalhar os problemas apontados e todos os aspectos relativos à atividade (Macroergonômico / Análise da Tarefa) são considerados como: o ambiente físico e químico, o clima organizacional e o comunicacional. Nesta etapa, realiza-se o registro das tarefas através de vídeos, fotos, inquirições, verbalizações, questionários e escalas de avaliação física dos operadores. No Diagnóstico ergonômico confirma-se ou rejeita-se uma suspeita hipotética. É comum a referência teórica para subsidiar as tomadas de decisões e por fim, esta etapa organiza-se a

‘Recomendação Ergonômica’ respondendo aos problemas levantados de forma a solucionar os constrangimentos (Figura 14).

A avaliação dos custos humanos refere-se ao cruzamento das informações identificadas e confirmadas por meio do referencial teórico com problemas a serem resolvidos. Os custos humanos são todos os tipos de problemas que prejudicam o usuário durante uma atividade (Figura 15).



Figura 14. Estudo de Campo (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).

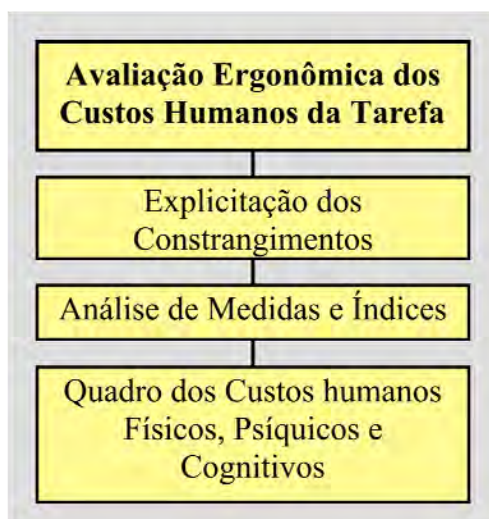


Figura 15. Detalhamento humano (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).

3.3.3 Projetação Ergonômica do Sistema Homem-Tarefa-Máquina

A quarta etapa da Intervenção compreende a conceituação do projeto em relação aos problemas ergonômicos. A Projetação²⁷ Ergonômica é a adequação técnica, dimensional, formal, funcional do equipamento (ferramentas e tudo mais que cerca o usuário), as características físicas, antropométricas, psíquicas e cognitivas do usuário durante a execução da tarefa. Devem ser listados e organizados de tal forma a responder todas as dimensões identificadas como críticas (Figura 16).



Figura 16. Soluções ergonômicas (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).

²⁷ Segundo Moraes e Mont´Alvão (2000) Projetação é um termo associado a atividade de desenvolvimento do projeto ergonômico.

3.3.4 Avaliação Ergonômica

Antes de considerar as soluções adequadas aos problemas analisados é importante que se realize uma simulação com todos os atores envolvidos na tarefa (todos os níveis hierárquicos). A validação da proposta geralmente emprega variáveis controladas para que se obtenha um resultado quantitativo eficaz. Dois momentos são importantes. O primeiro é a revisão do projeto após avaliação do contratante. O segundo é a validação por parte dos usuários envolvidos (Figura 17).

O detalhamento ergonômico inicia pela escolha da solução proposta e aprovada e que melhor irá solucionar os problemas (Figura 18). Detalha-se o arranjo e a forma das interfaces dos subsistemas e componentes necessários à atividade, finalizando com o Projeto Ergonômico, o conceito, a forma a função e a dimensão das estações de acordo com as compatibilizações dimensionais dos usuários. É importante ressaltar que a organização do trabalho poderá sofrer alteração em sua operacionalização.



Figura 17. Validação (adaptado de MORAES e MONT'ALVÃO, 2000 p. 52).

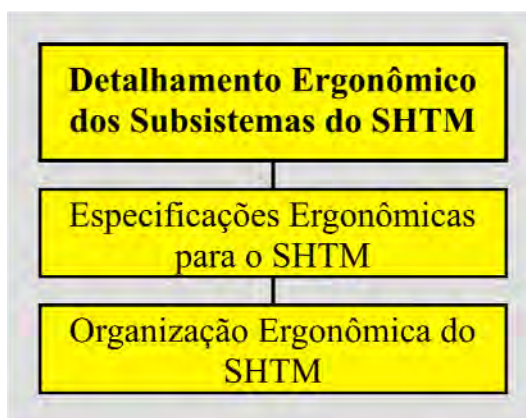


Figura 18. Concretização do estudo (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 52).

3.4 APRECIACÃO DAS DISFUNÇÕES ERGONÔMICAS DO SHTM

3.4.1 Sistematização - Caracterização e Posição Serial do Sistema

A célula robotizada é um sistema que compreende máquinas, ambiente, operadores e os equipamentos robóticos, organizada de forma produtiva e, supostamente, segura para desenvolver uma determinada tarefa. A célula robótica pode possuir ou não a presença humana durante a tarefa de alimentação (entrada), finalização (saída) ou no processo de transformação. Contudo, a presença humana pode ser remota e apenas ocorrer, de forma direta nos momentos mais críticos como: instalação e manutenção. Para tanto, devemos conhecer a caracterização do sistema (Quadro 7) de tal forma, que possamos compreender a intensidade no envolvimento humano durante a tarefa.

Meta do Sistema	Propósito da missão principal, para que serve o sistema.
Requisitos do Sistema	Características que um sistema deva possuir para atingir as metas. A obtenção dos requisitos implica o desempenho de determinadas funções.
Funções do Sistema	Objetivo da ação implica na obtenção dos requisitos do sistema e é desempenhada por um subsistema ou componente.
Componentes do Sistema	Responsáveis pelo desempenho das funções. Como está o rendimento dos componentes em relação à medida de rendimento do sistema global.
Ambiente do Sistema	Tudo que envolve o sistema-alvo, mas que pode influenciar todo o conjunto sistêmico.
Restrições do Sistema	Influências do ambiente no sistema sobre os quais não se tem controle. A restrição funciona como algo que impede a obtenção e prática das funções e conseqüentemente a obtenção dos requisitos.

Meta do Sistema	Propósito da missão principal, para que serve o sistema.
Entradas	Recursos, conjunto de objetos fornecidos ao sistema para que sua existência seja preservada e seus objetivos atingidos. Não se consideram entrada os insumos como: energia, lubrificantes, horas trabalhadas, etc., por possuírem especificidade necessária para serem tratadas como tal.
Saídas	Resultados esperados, resultados quantificáveis de acordo com os parâmetros previamente definidos.
Padrão de Desempenho	Medida de efetividade para cada componente, precisa-se de uma medida de desempenho dos subsistemas que pode ser chamado de padrão.
Medida de Rendimento	Tem por consecução verificar se as saídas estão coerentes com a meta e os requisitos estabelecidos. A medida de rendimento de um sistema será algo assim como uma saída ponderada menos o custo da entrada; implica a eficiência do sistema, sendo os pesos determinados por padrões de qualidade.
Objetivo Geral	Resultado final que se pretende atingir quanto à obtenção do sistema.

Quadro 7. Caracterização do SHTM (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2000 p. 81-84).

No Ambiente do Sistema, foi incluída a presença humana, propositalmente, pois, em estações sem automatização, pressupõe-se que o operador esteja presente. Por se tratar de uma célula robótica e, especialmente, nesta abordagem, trataremos de um posto genérico e com possíveis estados diferentes de atuação, treinamento, manutenção e, produção e desta forma, foi incluída a presença humana (Figura 19).

A engenharia estuda os arranjos físicos para toda e qualquer relação entre os elementos fundamentais e a produção. A célula robotizada nada mais é que um espaço que sofreu um arranjo físico e que possui características diferentes dos espaços, geralmente atendidos pelos conhecimentos da engenharia entre outros.

Para Horikawa et al. (2002) o melhor arranjo físico é aquele que permitirá a realização do melhor e mais eficiente método de trabalho. Quatro são as características principais de trabalho que podem ser determinadas por um projeto de arranjo físico, segundo Horikawa et. al. (2002), são elas:

- distância dos movimentos necessários a cumprir a tarefa planejada;
- quantidade de espaço de armazenamento;
- atrasos provocados pelos vários componentes em operação no arranjo físico;
- sentimentos e atitudes dos operadores em relação ao trabalho.

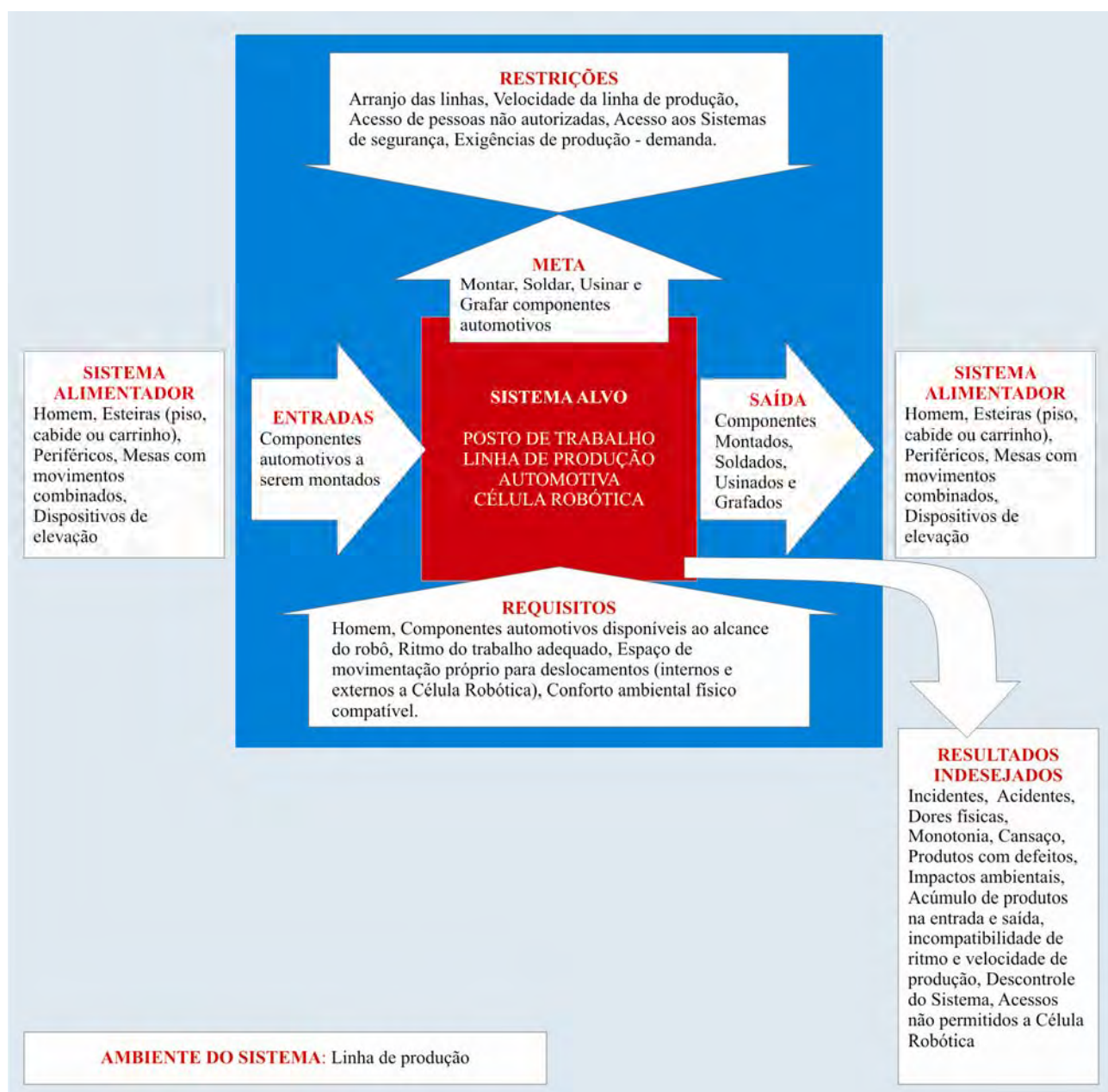


Figura 19. Ambiente de um sistema robótico genérico para produção automotiva.

As características apresentadas acima, de alguma maneira, inserem o homem no contexto, contudo para que haja uma relação saudável e produtora no sistema planejado, os aspectos mais relevantes, sem dúvida, serão aqueles em que o ser humano interage com e no sistema. As diferenças entre as células robóticas e seus sistemas de controle podem oferecer ao entorno e ao próprio sistema riscos e dúvidas quanto ao sucesso do conjunto.

Podemos imaginar (Figura 19) que um robô de 6 graus de liberdade esteja operando uma tarefa, por exemplo, de montagem. A peça a ser trabalhada chega por meio de um ‘Sistema Alimentador’ podendo ser uma esteira ou até mesmo um operador conduzindo manualmente o componente a ser processado. Então, o componente passa para a fase seguinte que é a ‘Entrada’. Todo este processo inicial é controlado de maneira a garantir a condição prevista nos ‘Objetivos’ e ‘Metas do Sistema’. Dando continuidade à tarefa, a esteira encaminha a peça até a coordenada planejada e, em um tempo qualquer t_1 , a peça sofrerá a ação do ‘Sistema Alvo’. Neste caso, uma ação direta do robô. Uma vez o trabalho tendo sido realizado, a esteira continuará conduzindo a peça até que ela seja considerada pronta para a ‘Saída’. Neste momento e ao longo do processo, o sistema recebe uma retroalimentação a respeito da realização das tarefas e, se tudo estiver conforme planejado, a peça será encaminhada ao ‘Sistema Ulterior’, ou seja, o sistema físico que irá encaminhar a peça ao novo destino. Neste caso, poderá ser a própria esteira, um cabide ou novamente o operador. Deste ponto em diante, o componente passaria a outra fase da produção, recebendo as alterações necessárias à transformação prevista.

A Entrada, ou Recurso Requerido: é o conjunto de objetos fornecidos ao sistema para que sua existência seja preservada e seus objetivos sejam atingidos. Diferente consideração pode ser feita a respeito dos insumos necessários como: energia, lubrificantes, horas trabalhadas, entre outros e que podem confundir o reconhecimento daquilo que se pretende descrever. Já as Saídas são os resultados esperados da ação de um processo de transformação sobre aquilo que outrora fora a entrada, (Figura 20) (MORAES e MONT’ALVÃO, 2002, p. 72).

A Caracterização e a Posição Serial do Sistema descritos podem apresentar ‘Restrições’ – dificuldades para gerir o sistema sob várias condições; os ‘Requisitos’ e as condições necessárias para o funcionamento e a conseqüente obtenção da Meta e os ‘Resultados Indesejados’ – situações críticas que podem levar o sistema a um novo ajuste quanto ao seu posicionamento ou a uma parada de emergência provocada por um acidente envolvendo pessoas.



Figura 20. Célula, ABB, possui entradas a esquerda e saídas à direita²⁸.

3.4.2 Ordenação Hierárquica do Sistema

Qualquer sistema, natural ou artificial, pressupõe uma posição relativa em relação às fases anteriores e posteriores a um sistema maior ou menor. Esta relação hierárquica será regida pelos objetivos a serem estudados (Figura 21), por exemplo: o sistema alvo é o robô, mas poderia ser escolhido um outro subsistema, qualquer, passando o novo foco ser denominado de sistema alvo. A Ordenação Hierárquica considera a possibilidade de diferentes tipos de células robóticas no mesmo sistema e, para identificá-los, deve inserir-se um novo subsistema.

Por exemplo: podemos considerar o corpo humano como algo a ser conhecido de forma integral, desta forma pode-se analisar cada órgão como se fosse o sistema alvo.

²⁸ *The Technical Journal of the ABB Press Automation System ABB – Asea Brown Boveri. Catálogos, 2006.*

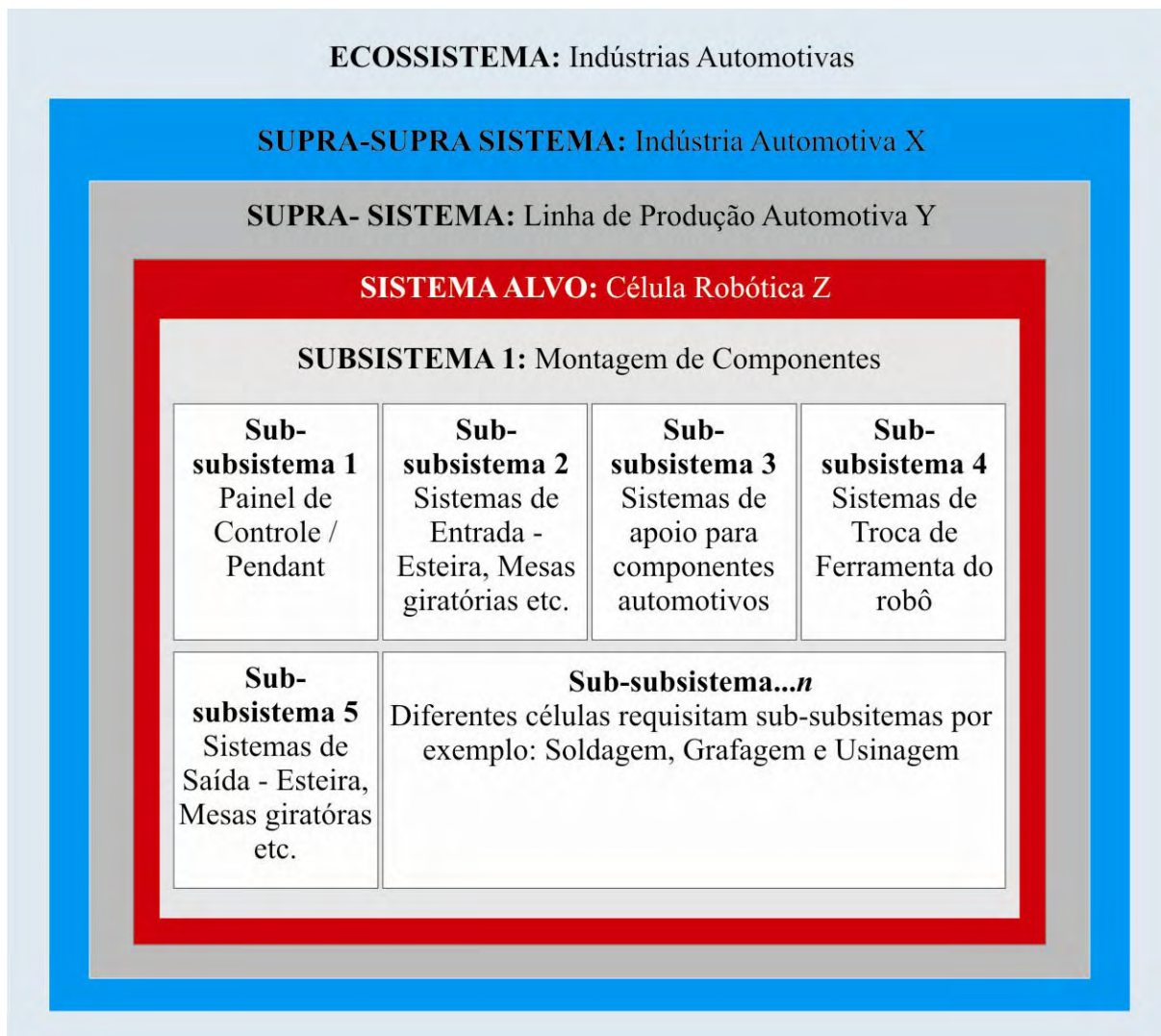


Figura 21. Ordenação do Sistema (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 74).

3.4.3 Expansão do Sistema

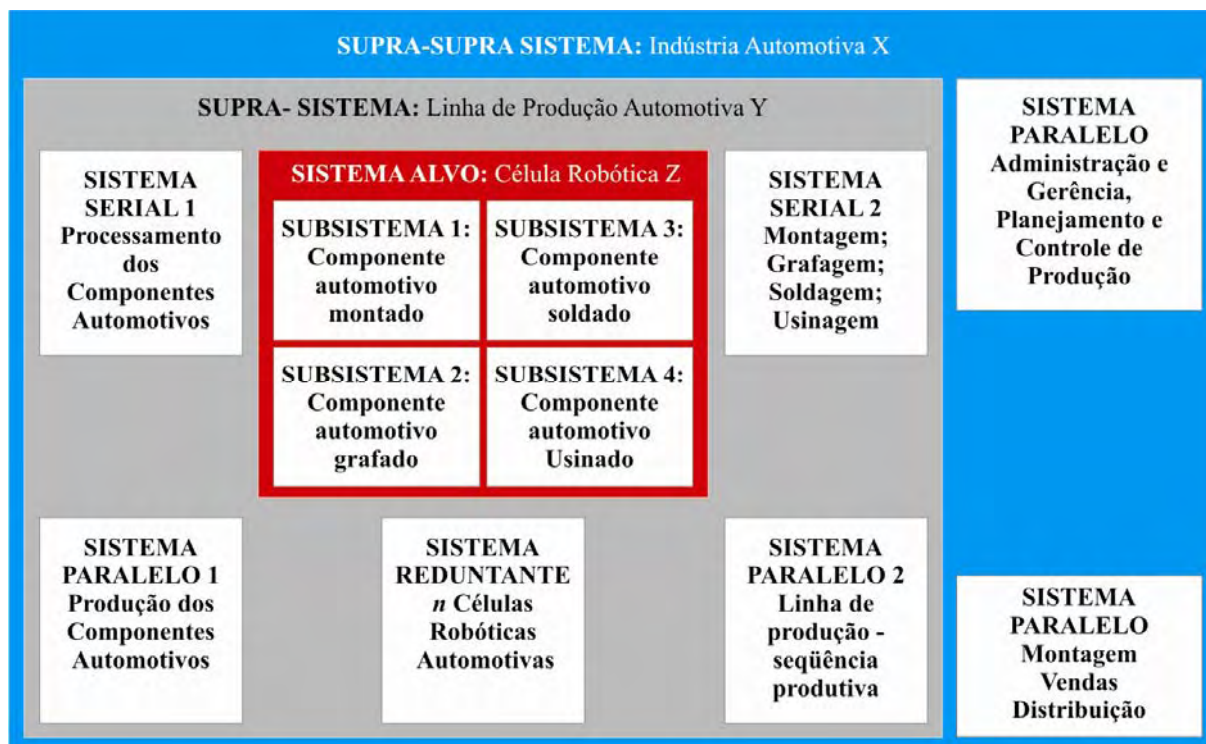


Figura 22. Expansão do Sistema (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 75).

O Sistema Redundante é aquele que desempenha a mesma função do Sistema Alvo. Caso haja várias células robóticas que desempenhem a mesma função, poderão ser tratadas de forma redundante, contudo, é importante ressaltar que não se elimina uma diagnose individual para investigar possíveis diferenças, sejam elas: arquitetônicas, interfaciais, entre outras. Uma das principais noções que a abordagem sistêmica propõe é o expansionismo, ou seja, todo sistema apresenta sistemas paralelos a ele próprio recebendo entradas e gerando saídas a partir do processo interno (Figura 22).

3.4.4 Modelagem Comunicacional do Sistema

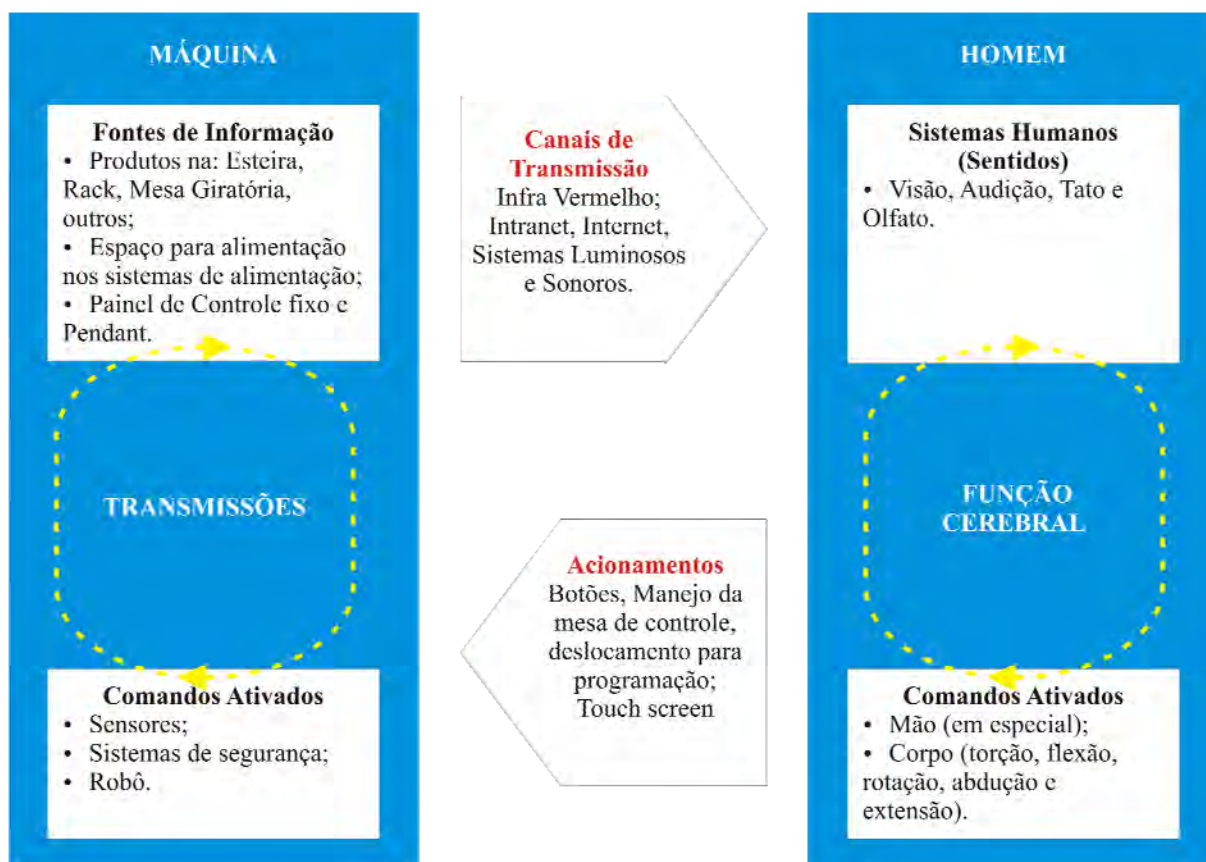


Figura 23. Exigência cognitiva (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 76).

A instalação é um dos momentos críticos para operações com os robôs, Tinós (2003), portanto o treinamento e ensino do sistema autômato para execução das tarefas necessárias para atingir os objetivos é fundamental para a redução dos riscos. A nova tarefa exige memorização de grande quantidade de informação sobrecarregando mentalmente o operador (Figura 23).

A participação humana é muito requerida nas fases iniciais de uso dos robôs tornando-se um dos principais momentos em que ocorrem os acidentes. As posturas assumidas tendem a ser críticas, ampliando os riscos e provocando o aumento do custo humano. Obviamente comparada, as posturas assumidas, tendem a ser reduzidas com o emprego do autômato, mas não eliminam outras posturas de seus operadores. O risco da contratura lombar torna-se factível a partir do momento em que a configuração da célula robótica, principalmente no interior da célula, exija de seus operadores movimentos extremos. Vale comentar que operadores habituados a desenvolverem

trabalhos manuais estão fisicamente mais adaptados às tarefas e os operadores programadores sentem mais dificuldades para assumirem as posturas requisitadas que exijam esforços físicos.

3.4.5 Fluxograma Funcional Ação-Decisão

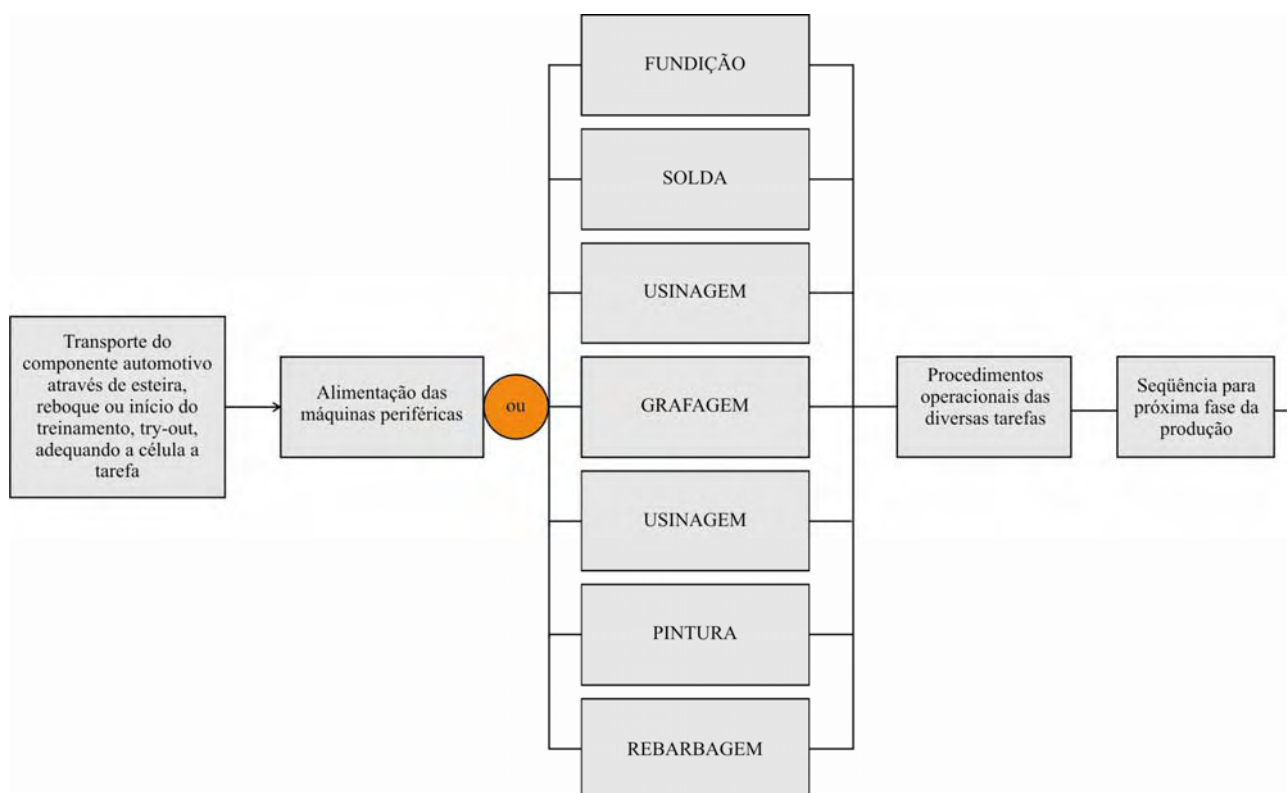


Figura 24. Seqüência das funções.

O fluxograma é mais uma ferramenta metodológica aplicada à operação do robô, pois pressupõe a tomada de decisão e, desta forma, ser processada, simultaneamente, ou isolada. Atua como forma de planejamento capaz de representar todas as seqüências previstas no processo produtivo. Conhecer o sequencial funcional das operações não só facilita a percepção das operações e atividades como pode ajudar a prever os requisitos técnicos e os possíveis distúrbios do processo (Figura 24). Pode auxiliar, também, a prever: ferramentas, acionamentos, aspectos de segurança, produção, manutenção, riscos ergonômicos, freqüência e ritmo entre outros.

3.5 CATEGORIZAÇÃO DOS PROBLEMAS ERGONÔMICOS DO SHTM

As categorizações e as disfunções podem colaborar na prevenção e detecção dos problemas possíveis em uma célula robótica. Assim, esta tese, pretende utilizar as

categorias dos problemas ergonômicos como método para identificar os riscos oferecidos ao homem. O método propõe-se a atender de forma geral as células robotizadas, contudo, sem deixar de perceber as diferenças particulares de cada estação de trabalho autômato.

A categorização poderá ser realizada por meio de um levantamento baseada nos fatos ocorridos, registros formalizados ou não, evidências técnicas e o contato direto do ergonomista com o sistema (Quadro 8). Duarte (2002) sugere que a intervenção ergonômica deva realizar análises técnicas a partir das análises das atividades em comunhão com a estrutura social da empresa, ou seja, a participação do grupo de trabalhadores, em todos os níveis hierárquicos. A apreensão das informações é fundamental à obtenção de resultados considerados ótimos.

Sistema Homem-Tarefa-Máquina	
Problemas	Caracterização
Interfaciais	Posturas prejudiciais, campo de visão impróprio para o momento decisório e operacionalização da tarefa, Falhas na distância oferecida entre os manípulos e o operador causando prejuízo ao sistema músculo esquelético.
Instrumentais	Incongruência entre painéis de informação e seus comandos, prejuízos na tomada da decisão, memorização e aprendizagem da tarefa.
Informacionais / Visuais	Deficiência na detecção, discriminação e identificação das informações nos: mostradores, painéis, telas e sinalizações de segurança. Prejuízos na tomada de decisão anterior e posterior à tarefa.
Acionais: Manuais / Pedidos	Constrangimentos biomecânicos na relação homem-máquina. Empunhaduras inadequadas, ângulos e movimentos impróprios ao desempenho adequado do sistema biomecânico. Lesões e traumas oriundos dos esforços repetitivos. Dimensões, conformação e acabamento inadequados à manipulação produzindo calosidades e pressões localizadas.
Comunicacionais: Orais / Gestuais	Falta ou inadequação por ruídos e baixa qualidade das transmissões dos dispositivos de comunicação a distância.
Cognitivos	Dificuldades na decodificação, aprendizagem, memorização em função da desordem das informações apresentadas. Prejuízos nos atos decisórios e estratégias para redução de problemas.
Interacionais	Dificuldade no diálogo computadorizado, provocada pela navegação, encadeamento e apresentação das informações. Problemas de usabilidade (diálogo) e amigabilidade (apresentação das telas) de interfaces informatizadas.
Movimentacionais	Deslocamento de cargas, excesso de peso, frequência da movimentação. Excesso de movimentação manual de materiais.
Deslocamento	Excesso de deambulações. Distâncias exageradas durante as fases da tarefa.

Sistema Homem-Tarefa-Máquina	
Problemas	Caracterização
Acessibilidade	Dificuldades na obtenção da autonomia e independência dos portadores de necessidades especiais, idosos e crianças. Espaço exíguo para a movimentação dos operadores entre os equipamentos, falta de espaço e apoio para a utilização de equipamentos.
Espaciais / Arquiteturais	Deficiência de fluxo, circulação, isolamento, má aeração, iluminação, isolamento acústico, térmico e radioativo.
Físico-Ambientais	Temperatura, ruído, iluminação, vibração, radiação acima ou abaixo dos níveis recomendados.
Químico-Ambientais	Partículas, elementos tóxicos e aero-dispersóides em concentração no ar acima dos níveis permitidos.
Biológicos	Falta de higiene e assepsia e outras contaminações por microorganismos.
Naturais	Exposição às intempéries.
Acidentários	Falta de dispositivos de segurança nos equipamentos, manutenção insuficiente e inadequação das rotinas e equipamentos do trabalho.
Operacionais	Repetitividade intensa e monotonia e pressão por atingimento de metas produtivas.
Organizacionais	Parcelamento do trabalho, autonomia, responsabilidade e participação.
Gerenciais	Deficiência da administração ao desconsiderar as opiniões e sugestões dos colaboradores, centralização de decisões e falta de transparências nas relações hierárquicas.
Instrucionais	Manuais confusos e falta de informação concreta a respeito da tarefa.
Psicossociais	Conflito entre grupos e turnos, falta de local para repouso, alimentação e descontração no trabalho.

Quadro 8. Problemas SHTM (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 81).

A particularização dos possíveis problemas a serem encontrados em um determinado processo ou tarefa ajuda a desenvolver as estratégias de observação e, por fim facilita a possível constatação ou não das disfunções.

A busca pelas disfunções do sistema (Quadro 9) encontra-se na fase exploratória e tem por característica o emprego de entrevistas não estruturadas. Os operadores são, em geral, para os ergonomistas, os principais alvos, pois refletem o conhecimento instrucional operativo, reunindo informações sobre o que se deseja conhecer da tarefa real. Para tanto, a ergonomia emprega diferentes tipos de entrevistas coerentes ao ambiente e as pessoas a serem interrogadas.

Disfunções sistêmicas do sistema homem-tarefa-máquina	
Entradas	Falta de padronização e conformidade das matérias-primas; deficiência na organização e estocagem e sua reposição.
Saídas /Resultados despropositados	Excesso de refugos e descumprimento dos prazos.
Disposição dos Elementos	Falta de ordem, desarrumação das ferramentas e matérias-primas.
Funcionamento e Confiabilidade	Deficiência no desempenho do sistema, baixa confiabilidade dos componentes e subsistemas.
Manutenção / Conservação das Máquinas	Falta de limpeza e de manutenção dos componentes, de obsolescência dos equipamentos de segurança e operacionais, irregularidades de reparos, ‘gatilhos’ e depredação precoce por uso inadequado.
Entorno	Sujidade do ambiente e falta de conservação arquitetural.
Rendimento de Trabalho	Deficiência no desempenho da tarefa, paradas despropositadas da produção, quebra do ritmo, provocam irritação dos operadores.
Desempenho do Sistema / Confiabilidade	O sistema não atinge a produção esperada, efetividade, eficiência, qualidade e conformidade.
Ecológicas	Produção e despejo de resíduos, refugos e subprodutos.
Ambiente externo	Recursos insuficientes para atualização, da tecnologia e incompatibilidade das prioridades de investimento.

Quadro 9. Disfunções SHTM (adaptado de MORAES e MONT´ALVÃO, 2002, p. 84).

4 IMPACTO SOCIAL NO USO DOS ROBÔS

Em agosto de 2006, no Brasil, presenciamos uma tradicional indústria automobilística negociar a demissão de grande número de empregados, inclusive, dentre os demitidos encontravam-se: mestres ferramenteiros com muitos anos de serviço. Essa informação além de outras, pode nos fornecer alguns indicativos sobre o impacto social do uso dos robôs no Brasil. A procura pela melhoria constante dos produtos, juntamente aos desafios impostos pela concorrência tem produzido uma busca pela automação de forma geral. Veículos montados por robôs são apresentados ao mercado como um produto de alta tecnologia, tal prática vem, ano a ano, reduzindo a manipulação humana em sua montagem.

A utilização dos robôs está associada ao ganho de produção e à melhoria da qualidade atingida pela produção ritmada, pela precisão, pelo controle e pela total dedicação do sistema perante as requisições impostas pelos setores gerenciadores dos processos. Outra questão difundida pela automação é a de que permite a retirada do ser humano de um determinado local que oferece riscos à saúde do trabalhador. Não que as indústrias, aparentemente, estejam extremamente preocupadas com a saúde do trabalhador, mas provavelmente por sentirem-se desprotegidas contra possíveis denúncias e condenações trabalhistas que geralmente, impõe prejuízos as linhas de produção. Távora e Caulliraux (2002) apontam que investimentos em automação têm se realizado nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, na verdade, o Nordeste aparece, inclusive, com índices de automação maior que as duas regiões já estudadas. Segundo os autores, isso acontece porque o parque industrial da Bahia é recente e possui grande número de empresas com processos contínuos. Confirmando alguns indicativos já apresentados no capítulo anterior, o Brasil investe em automação em três áreas principais: mecânica, alimentícia e têxtil. A robotização aparece com mais destaque nas duas primeiras áreas, ou seja, o setor mecânico e alimentício.

O Jornal O Globo²⁹ publicou uma matéria intitulada: Trabalhador sai de cena para a entrada dos robôs – Máquina substitui o homem até na hora do banho depois da praia. A matéria jornalística apresenta a situação dos diversos serviços que sofreram

²⁹ Edição de 5 de dezembro de 2004.

com a chegada da automação como, por exemplo: os serviços bancários que perderam 450 mil postos de trabalho com a chegada dos caixas eletrônicos apesar da ampliação no número de agências. A UNECE (2005) indica que em 2007 o mundo terá aproximadamente um milhão de robôs. Especificamente em relação ao setor industrial a indicação é a de que o Brasil tenha 3000 unidades nos pátios das empresas.

Como podemos perceber, mais uma vez, a preocupação em relação à chegada da automação preocupa de maneira geral não apenas o operário do setor industrial, mas toda a sociedade que percebe seu envolvimento direto com algum tipo de máquina seja o chuveiro que atende o banhista nas orlas marítimas, ou pelos serviços de atendimento telefônico ao cliente³⁰ espalhados pelo Brasil.

4.1 PRODUÇÃO E ORGANIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS

Segundo Távora e Caulliraux (2002), as empresas investem em robótica sem estabelecer considerações apropriadas ao investimento requerido para estabelecer uma condição competitiva com os concorrentes bem como desconhecem a relação entre investimento e retorno esperado quando se realiza uma melhoria tecnológica nos sistemas produtivos.

Coriat (1989) situa os princípios constitutivos da organização científica do trabalho, baseados nos estudos Taylorista e Fordista, resumidamente, vejamos esses fundamentos:

- deve-se parcelar o trabalho – limitando a alguns movimentos as responsabilidades dos operários. Baseado nos fundamentos de Taylor, este princípio justifica-se por não haver a necessidade de contratar profissionais qualificados, mão-de-obra barata, e tendo um número restrito de tarefas que permite que o empregado ‘especialize-se’;
- transformar os postos individuais em estruturas interligadas, assim, o empregado não poderá negligenciar a tarefa. A interligação é realizada através de esteiras entre outros meios de maneira a empurrar para o posto seguinte as responsabilidades sequencialmente.

³⁰ *Call center* - Atividade em que operadores, através do telefone, executam diversas atividades como: dirimir dúvidas técnicas, vendas entre outros.

Os princípios, listados acima, sofreram críticas das massas trabalhadoras das indústrias e por esta pressão o sistema de encadeamento começou a ser revisado. Percebeu-se que tempos diferentes eram requeridos pela distinção de cada tarefa, assim, transformando alguns empregados em subcarregados e outros em sobrecarregados, ou seja, em alguns trechos da linha os operários conseguem atender suas tarefas no tempo solicitado, mas, outros trechos deixam de completar suas ações.

As requisições comerciais impõem às linhas uma flexibilização das tarefas exigindo mudanças constantes em confronto com o trabalho encadeado. Atualmente, temos sistemas modulares que gerenciados por diferentes organizações, todos subordinados ao dono do negócio, realizam suas atividades impondo ao módulo subsequente a responsabilidade de dar continuidade e manter as metas esperadas. Uma diferença significativa é que as penalidades ocasionadas pelas paradas entre outros passa a ser efetuada sobre os módulos pelo dono do negócio e também pelos módulos que atuaram em tempo.

Todos estes princípios não retiram do empregado o comprometimento de cada ação prescrita, pelo contrário, exigem atenção redobrada em função da mudança comportamental do mercado e à exigência de produtos montados ‘quase’ sob medida provocam estados de atenção e mudanças muito rápidas nas ações humanas. O cenário industrial, nas últimas décadas, em especial automotivo, mudou seu comportamento antes: As empresas procuravam regiões tradicionais em determinadas atividades produtivas para implantar a nova sede, desta forma, poderiam encontrar fornecedores, mão de obra especializada, entre outras vantagens. Atualmente, vantagens fiscais e afastamento dos grandes comitês organizados dos trabalhadores têm sido um dos motivos para a instalação das indústrias em regiões bastante distantes e sem tradição profissional no setor.

A organização das empresas brasileiras, certamente, ainda passará por muitas transformações oriundas das automatizações, pois, geralmente é na linha produtiva que se dá o maior investimento em robótica, mas, os outros setores das indústrias, também recebem a automação, neste momento, sem a inserção do robô. Podemos prever que vários robôs de serviço ainda serão inseridos nos ambientes fabris, por exemplo,

equipamentos para distribuição de componentes, de informação, de segurança patrimonial, etc.

Novos desafios organizacionais e de produção estão por vir e é imprescindível uma revisão dos princípios de trabalho e conhecimento das relações entre homens e robôs. Coriat (1989) diz que: “[...] a produção baseada no emprego da robótica está centrada em dois objetivos”:

- o primeiro é obter uma taxa mais alta de ajustamento entre máquinas e homens, reduzindo os tempos perdidos e os tempos improdutivos de circulação, tornando mais ‘densa e compacta’ a produção, integrando mais e melhor as diferentes seqüências produtivas;
- introduzir agilidade e flexibilidade à rigidez das linhas de produção.

4.2 QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL

Apesar das indicações de Távora e Caulliraux (2002) apontarem para uma despreocupante situação em relação a perda do emprego para a máquina, numa proporção que varia de 3:1 a 2:1 podemos perceber, através dos seus próprios estudos, que existe a perda e também uma substituição do perfil funcional.

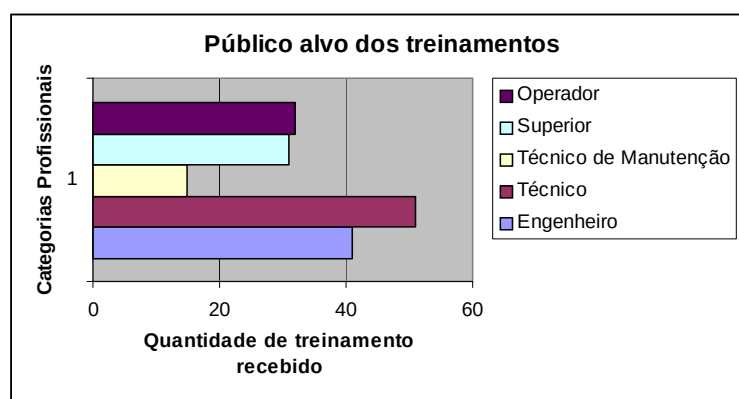


Figura 25. Taxionomia do público beneficiado pelo treinamento.

Percebe-se que a automação tem provido as categorias de novos conhecimentos estas já detentoras de conhecimentos. Se juntarmos as categorias dos Engenheiros e Superiores terão, juntos, um percentual de 71% e se somarmos os Técnicos de Manutenção, Técnicos e Operadores terão 99%. Dividindo em proporções iguais teremos 35,5% de treinamento investido nos Engenheiros e Superiores contra 33% nos

restantes. Apesar da pequena diferença percentual entre as classes por agrupamento, fica claro que o perfil profissional que irá participar das novas operações automatizadas e robotizadas será o mais qualificado. Outra questão, que pode ser discutida, é a possível reserva de mercado que irá constituir-se em volta da automação já que uma parcela pequena tem recebido atenção especial na capacitação requisitada pelas atividades (Figura 25).

Para reforçar, apresentamos as colocações de Coriat (1989) diz o seguinte:

Não há apenas os empregos destruídos. Há também os empregos modificados. Habilidades pacientemente adquiridas são, para alguns, bruscamente desqualificadas, porque foram tornadas inúteis pelo movimento do braço do robô e da ferramenta afixada a sua extremidade.

Machado (1989) cita o caso dos trabalhadores do ABC Paulista, dizendo que eles não são contrários à automação. Reconhecem que as empresas não podem permanecer obsoletas, pois correm riscos de perder mercado. Lamentam apenas que as relações trabalhistas não tenham alcançado igual desenvolvimento.

Durante a coleta de dados para esta pesquisa realizou-se uma entrevista com um especialista em automação o qual apresentou uma linha de prensas, robotizadas, que realizam a estampagem de componentes automotivos e que, outrora, eram feitos manualmente.

[...] Antigamente cada prensa requeria 4 operários, em média, para dar vazão ao trabalho, hoje, apenas um operário é necessário para todo o conjunto de prensas. Está vendo aquela linha lá? [...] (Ele me aponta uma linha manual, parada, com mais 4 prensas) [...] A demanda está pequena e o que era produzido nela está sendo aos poucos transferida para a linha automatizada [...]

No texto acima, podemos perceber que a proporção entre homens e robôs pode tornar-se radical numa escala de 20:1. O especialista completou o seu raciocínio dizendo ainda que:

[...] O governo tem que olhar para essa situação, pois, o Brasil tem um grande contingente de operários sem uma formação podendo aumentar mais ainda os problemas sociais que já são enormes. É verdade que quem trabalhava na prensa, ficava prejudicado fisicamente pelo esforço e pela torção constante da coluna [...]

Percebemos, também, que a eloquência do discurso mostra a preocupação social com as futuras demissões, mas, também, reconhece-se que a atividade era fisicamente prejudicial ao operário daquele setor.



Figura 26. Prensaria automotiva.



Figura 27. Substituição do homem pelo robô junto a prensa.



Figura 28. Quatro operadores eram necessários à tarefa.³¹

Conjunto de 6 prensas (Figuras 26, 27 e 28) antes manuais e depois, ao centro, a presença do robô entre cada uma das prensas. Por último, a imagem do processo ainda manual, torção do tronco e deslocamentos constantes eram exigidos do operador. O custo humano era intenso e merecia algo que reduzisse os impactos físicos.

Távora e Caulliraux (2002) apontam, ainda, uma questão preocupante que é o próprio despreparo do setor de Recursos Humanos das empresas que têm mudado seu perfil produtivo, tornando-se automatizadas. A falta de investimento nos profissionais poderá causar problemas de desempenho dessas empresas, ou seja, não adianta investir em máquinas que podem dar conta das tarefas, mas é necessário investir, especialmente, nas pessoas. Ao adquirir um robô, uma empresa, provavelmente, irá eliminar alguns sujeitos, pois, não atenderão às necessidades impostas pelas tarefas. Contudo, aqueles que permanecerem, precisarão de uma nova formação e, neste momento, poderão ocorrer algumas falhas se o treinamento não tratar de forma inequívoca todos os meandros da relação entre autômato e ser humano.

³¹ Fonte: *The Technical Journal of the ABB Press Automation System ABB – Asea Brown Boveri*. Catálogos, 2006.

Muitas das empresas não possuem políticas próprias de treinamentos ligados à automação e à integração da produção. Távora e Caulliraux (2002) parecem desconhecer tal situação, transferindo o compromisso de realizar os treinamentos requeridos à função para as empresas fornecedoras dos sistemas de automação.

Reforçando as observações acima indicadas, durante as pesquisas para levantamento de dados da presente tese, foram feitas algumas perguntas, assistemática, aos profissionais envolvidos com os robôs industriais. Dentre as perguntas feitas, questionou-se quanto ao perfil profissional desejado e como se dá a definição da função? Primeiramente, as requisições técnicas tornaram-se mais detalhadas e complexas e, desta forma, os empregados mesmos os mais antigos e experientes tornaram-se obsoletos. O novo cenário que se configura nas indústrias é de uma pessoa de vasto conhecimento em eletrônica, elétrica e na programação de sistemas. Ou seja, os antigos empregados não detinham essas categorias de conhecimento e, desta forma, são substituídos por novos contratados. A extensão e diferentes enfoques do perfil são próprios das atividades carregadas de novas tecnologias.

Em economias duramente golpeadas pela crise, a robótica aparece simultaneamente como um fator de aceleração dos desequilíbrios – no que diz respeito principalmente ao emprego e ao trabalho – e um apoio da reorganização da economia industrial (CORIAT, 1988 p. 79).

Não é intenção desta tese criticar a utilização, de forma parcial, dos sistemas robóticos. Pelo contrário, a intenção é descobrir aspectos que podem nortear a instalação dos robôs, em especial, os de aplicação industrial por meio dos métodos ergonômicos já apresentados.

4.3 ASPECTOS PSICOSSOCIAIS

Imagine-se tendo suas habilidades profissionais literalmente confiscadas de tal forma que nem mesmo a sua opinião sobre como praticá-la terá importância. Provavelmente é assim que se sente um empregado da indústria se vendo substituído, com vantagens, por um equipamento robótico. Agora, façam uma prognose, baseada em dados consistentes como os fornecidos pela IFR que apresenta um franco desenvolvimento do setor da automação na maior parte do planeta. Considerando as hipóteses acima levantadas, podemos nos colocar no lugar da grande massa operária e, apenas, imaginar os distúrbios psicológicos que poderão surgir com a possibilidade da perda definitiva do posto de trabalho na indústria. É claro que não se pode impor a desqualificação técnica como responsabilidades dos sistemas autômatos em que se incluem os robôs, contudo, deve se pensar em estratégias apropriadas para adequar os empregados e suas experiências profissionais em diferentes segmentos da produção.

As experiências do ser humano ao longo do tempo com as máquinas têm sido permeadas de sucessos e também do antagonismo às tecnologias. Não é difícil ouvir de algumas pessoas, nos dias de hoje, certa antipatia aos sistemas eletrônicos dos modelos mais simples aos mais complexos. Contudo, ao longo dos últimos 60 anos, o mundo tem se modificado profundamente em função do surgimento massivo das novas tecnologias, desta forma parece inevitável e diria desejável, a transformação do próprio sistema de sobrevivência humano que se sustenta da prática laboral.

Os impactos sentidos pela primeira onda provocada pela automação estão, ainda, sendo experimentadas por países como o Brasil. O que difere nosso momento histórico dos outros é a intensidade da onda da automação. Socialmente, a chegada dos robôs nos diferentes setores, contempla os avanços de conhecimento conquistados através das últimas décadas, contudo, devemos pensar de maneira insistente em como proceder quanto à integridade física e mental tanto dos excluídos quanto dos envolvidos nas novas tarefas necessárias ao ótimo funcionamento dos sistemas robóticos.

4.4 ROBÔS NO SUL FLUMINENSE E VALE DO PARAÍBA

O Sul Fluminense e o Vale do Paraíba são duas grandes regiões responsáveis pela produção de inúmeros produtos e pela prestação de serviços. A automação especialmente a robotização nas indústrias dessas regiões, encontra-se nas empresas automobilísticas. A maior parte delas foi instalada nos últimos 10 anos e, ao longo desse tempo, vem ampliando, continuamente, o número de robôs em suas linhas. A maneira diferente de produzir bens através da automação não era, necessariamente, uma novidade nessas regiões, mas, a utilização dos robôs é sem dúvida uma novidade. A região do Vale do Paraíba, especialmente Taubaté, já empregava os robôs em suas linhas há pelo menos 20 anos e na região Sul Fluminense o emprego dos robôs é mais recente, aproximadamente 10 anos.

Para efeito de estudo foi definido um universo que inclui as seguintes cidades:

Tabela 4. Número de habitantes economicamente ativos x número de robôs.

Região / cidades	Número de habitantes*	Habitantes economicamente ativos*	Número de robôs	Relação Trabalhador x robôs
Sul Fluminense / RJ				
Porto Real	14.820	9.104	60	152 / robô
Resende	117.416	79.294	8	9.912 / robô
Vale do Paraíba / SP				
Cruzeiro	76.530	58.974	18	3.276 / robô
Taubaté	267.471	191.680	158	1.213 / robô
Média geral: Sul Fluminense + Vale do Paraíba				1.389 / robô
*Fonte: IBGE - Censo Demográfico 2001.				

As cidades juntas congregam, aproximadamente, meio milhão de habitantes (Tabela 4) e são consideradas importantes por estarem localizadas entre as capitais do Rio de Janeiro e São Paulo. Quanto à distribuição dos bens produzidos, possuem facilidades para o escoamento de suas produções através de: rodovias, ferrovia e dos portos de Sepetiba – RJ e Santos – SP. Apresentam boa infra-estrutura, facilitando assim a implantação de novas indústrias e a capacitação da mão-de-obra. A Tabela 4 traz uma informação importante e inovadora para o mercado regional, uma vez que oferece dados quantitativos com relação ao número de trabalhadores ativos e ao número de robôs. Estes dados podem ser empregados como uma avaliação do estado

da arte nas indústrias localizadas no trecho estudado, bem como da modificação do perfil dos empregados desta região.

4.4.1 O Trabalhador Industrial no Sul Fluminense e Vale do Paraíba

A experiência, in loco, foi imprescindível para que pudéssemos perceber os problemas e as dificuldades das empresas usuárias dos robôs em conseguir automatizar suas linhas. Muitas dessas empresas viram na inserção dessas máquinas flexíveis o meio pelo qual poderão diferenciar-se das concorrentes nacionais e a equiparação em relação às empresas externas.

Mesmo as empresas automobilísticas sendo de origem estrangeira, nem sempre apresentam, em suas linhas, a mesma tecnologia empregada em outra fábrica principalmente na matriz. Explica-se este fato por terem a possibilidade de usufruir, num período de tempo, da mão-de-obra mais barata e, assim, poderem amortizar parte do investimento requerido pelo início das operações. É possível para estas empresas iniciarem suas produções utilizando, basicamente, equipamentos menos complexos e conseqüentemente mais baratos e então, após a amortização dos gastos iniciais, investirem nos equipamentos mais sofisticados como os robôs.

Algumas categorias profissionais, requisitadas pelas estações robotizadas, não existem nas regiões onde se instalaram as indústrias pesquisadas. As dificuldades para encontrar mão-de-obra especializada existem, exatamente, porque a região não possuía tradição neste modelo produtivo. A maior parte dos operários envolvidos nas linhas de produção automotiva é de jovens entre 18 aos 25 anos que possuem o Ensino Médio completo e, alguns casos, incompleto. Esta mão-de-obra apresenta uma rotatividade alta em função do ritmo imposto pela produção e também pelas características da tarefa. Geralmente, empresas automobilísticas impõem muitas atividades penosas aos seus executantes, principalmente em função das posturas assumidas, dos fumos de solda emanados nos processos e do manuseio de cargas que, muitas vezes, ultrapassa os limites recomendados.

O perfil dos operadores e responsáveis pelas células robóticas serão detalhados na tabulação do questionário, mas geralmente, apresentam um perfil diferente dos

operadores de linha, pois possuem qualificação superior ou tecnológica em automação, eletrônica, elétrica, entre outras.

5 ESTUDO DAS VERBALIZAÇÕES

Durante as pesquisas sobre os riscos oferecidos pelo robô industrial realizadas tendo como escopo os estudos desta tese, foi aplicada a verbalização segundo Moraes e Mont'Alvão (2002), pontuando depoimento realizado pelo operador para expor os aspectos que julgue importante em seu setor de trabalho. A verbalização é, muitas vezes, espontânea e importante, pois não interfere ou coíbe as informações apresentadas. Registrar as informações por escrito ou mesmo gravar as declarações dos entrevistados poderiam causar constrangimentos ou mesmo a omissão de alguns fatos que o operador julgasse inadequado por ir contra a empresa ou alguém. Assim, os relatos apresentados foram transcritos conforme apresentado. Também foram realizadas entrevistas que possuíam perguntas diretas e objetivas que, infelizmente, muitas vezes, não foram respondidas. Para análise da verbalização foi aplicado o método proposto pelo órgão canadense de saúde ocupacional Centro Canadense de Saúde e Segurança Ocupacional - CCOHS (ALMEIDA, 2003, p18).

5.1 VERBALIZAÇÃO 1

A verbalização 1 relatou que um operário do setor de limpeza estava varrendo o piso no interior de uma célula robótica em plena operação do robô. Na situação apresentada, o operário foi removido sem nenhum tipo de constrangimento físico. O entrevistado complementa sua explicação com a seguinte análise: “[...] se tivesse sido visto pelo supervisor teria sido demitido na hora”. “[...] o pessoal que viu ele, lá dentro, ficou apavorado e tirou rapidinho para evitar que fosse demitido”.

Seguindo as orientações de Almeida (2003), podemos hipoteticamente responder a estas perguntas, por meio da sequência indicada no Quadro 10.

Perguntas - CCOHS	Respostas hipotéticas
O trabalhador estava distraído? Se sim, por quê?	Provavelmente não, estava imbuído em realizar da melhor maneira sua tarefa de limpeza.
Havia procedimento de trabalho seguro?	Sim, mas não específica para aquela célula.

Perguntas - CCOHS	Respostas hipotéticas
Estava sendo seguido? Se não, por quê?	Não. Porque como sua função era a de limpeza e provavelmente não era previsto o seu acesso à estação robotizada, não houve nenhuma recomendação para que utilizasse um anjo da guarda.
Os dispositivos de segurança estavam em ordem? Se não, por quê?	Provavelmente sim, simplesmente o operário adentrou por uma área que não havia sido planejado nenhum sistema de segurança.
O trabalhador era treinado? Se não, por quê?	Sim, no que tange à limpeza e provavelmente não em relação aos procedimentos requeridos por uma célula robótica. Porque não era prevista a sua atividade naquele setor, como uma atividade ordinária. Provavelmente sua presença seria solicitada em momento planejado pela manutenção caso fosse percebida a necessidade de limpeza da área.
Pessoa	Operário da limpeza.
Tarefa	Limpar área de produção.
Material	Esfregão, balde e outros equipamentos que o auxiliem na tarefa.
Ambiente	Setor da produção.
Gestão	Encarregado da limpeza.
Coleta de dados	Provavelmente não executada, pois, a omissão do caso foi proposital para evitar que o operário fosse sumariamente demitido (hipótese).
Recomendações	Ao realizar o treinamento das pessoas envolvidas com a célula robótica, deve-se incluir todos os operários que de alguma forma possam interagir com o setor. Sejam elas especialistas, ou não. Desenvolver um procedimento que atenda todas as pessoas que participam em maior ou menor escala hierárquica com o sistema.

Quadro 10. Análise da verbalização 01.

5.2 VERBALIZAÇÃO 2

Apresenta o relato de três pessoas envolvidas diretamente com as células robóticas, uma delas responsável pela implantação do sistema autômato e dos equipamentos de segurança e as outras duas ligadas à segurança industrial.

Foi perguntado aos empregados se já havia acontecido algum tipo de acidente ou incidente que envolvesse as células robóticas (Quadro 11).

Quando estávamos todos juntos fui informado de que não havia acontecido nada. Contudo, com as saídas do responsável pela instalação e um dos responsáveis pela segurança industrial, do local da entrevista, o empregado que permaneceu, informou que havia ocorrido um incidente. “[...] antes de ter a grade em volta do robô [...] uma

vez ele ‘o robô’ estava operando normalmente quando, de repente, lançou a peça manipulada longe foi sorte não atingir ninguém, pois se atingisse era morte na certa [...]”.

Perguntas - CCOHS	Respostas hipotéticas
O trabalhador estava distraído? Se sim, por quê?	Neste caso não houve participação de operários
Havia procedimento de trabalho seguro?	Provavelmente sim, para ação humana.
Estava sendo seguido? Se não, por quê?	Não procede.
Os dispositivos de segurança estavam em ordem? Se não, por quê?	Provavelmente não, pois deveria haver uma proteção contra falhas além do que os dispositivos existentes na célula não davam conta das possibilidades do acidentes que poderiam acontecer. Como por exemplo, o lançamento da peça manipulada.
O trabalhador era treinado? Se não, por quê?	Neste momento podemos pensar nos trabalhadores responsáveis pelo equipamento, manutenção etc. Adquiriu treinamento ao longo da instalação através das informações do fornecedor do equipamento e de outras fábricas do mesmo grupo.
Pessoa	Todos os operários do setor ou quem mais estivesse passando pelo local
Tarefa	Diversas.
Material	Diversas.
Ambiente	Setor de produção.
Gestão	Segurança Industrial e Responsável Técnico pela implantação da célula robótica.
Coleta de dados	Provavelmente executada, contudo, não é tratada de maneira clara evitando-se discussões que poderiam orientar novos problemas.
Recomendações	Consultar as empresas fornecedoras e/ou integradoras e explicitar o ocorrido para orientar-se sobre como proceder. Provavelmente a empresa fornecedora ou a integradora, ao comercializar os equipamentos ou os serviços de instalação, deve ter sugerido a utilização de grades no entorno da célula, mas, que por algum motivo não foi considerada.

Quadro 11. Análise da verbalização 02.

5.3 VERBALIZAÇÃO 3

Durante a entrevista com um engenheiro responsável pela implantação de uma nova célula robótica foram percebidas várias situações pertinentes à atividade:

- ajuste de posicionamento da ferramenta;
- ajuste do trajeto para atender a configuração da nova peça a ser montada;
- estabelecimento do modo em APV – Baixa Velocidade e Alta Velocidade;

- utilização do controle manual³², equipamento que permite operar remotamente o robô estando no interior da própria célula.

Foi comentado pelo engenheiro da indústria que: “[...] enquanto o pessoal da integradora não terminasse de ajustar tudo, não seria liberado o pagamento [...]”. Apesar do clima, aparentemente amistoso entre as pessoas envolvidas na tarefa de ajuste do robô, existia uma cobrança, especialmente no quesito tempo. Além disso, algumas situações foram percebidas como: em uma das entradas do engenheiro, na recém implantada célula robótica, e ao procurar uma condição postural adequada à tarefa de decifrar a parada despropositada do equipamento, ele, bateu com a cabeça em uma peça que estava sendo manipulada. Na mesma célula, em outro espaço de tempo, um operário da integradora, que não estava familiarizado com os riscos presentes no manuseio das peças processadas pelo robô, teve sua mão cortada por não usar luvas. O fato deixou o pessoal da integradora e o próprio engenheiro da empresa em posição desconfortável, pois, pelas normas internas de segurança este fato deveria ser comunicado à comissão própria para fins estatísticos e futuras análises. Fato que não ocorreu (Quadro 12).

Outro comentário realizado pelo técnico da manutenção elétrica é que ele havia sido solicitado a dar apoio nos ajustes da nova célula. Tendo ouvido o questionamento feito ao engenheiro sobre acidentes ou relatos sobre problemas com as estações robóticas o técnico eletricitista disse, de forma espontânea: [...] esse robô, que estavam trabalhando no momento, era elétrico e que era muito menos perigoso do que os antigos que se encontravam em outro setor [...] Seu comentário era apoiado na experiência de adentrar a célula e por várias vezes escorregar no óleo que vazava dos pistões responsáveis pela movimentação dos eixos do robô.

Percebeu-se, também, a dificuldade do engenheiro da empresa em relação ao novo painel de controle, já que a empresa fabricante do robô havia mudado a interface gráfica e pictográfica do equipamento. Parte da dificuldade do engenheiro estava relacionada à usabilidade pela falta de cognição dos pictogramas empregados. Assim, o ajuste do equipamento às tarefas requisitadas tornou-se mais lento e perigoso.

³² *Pendant.*

Para aplicar a orientação desenvolvida pela CCOHS e apresentada por Almeida (2003), será considerada a múltipla identificação, para representar os empregados envolvidos. O engenheiro, da empresa, será identificado por **EE** e os empregados, da integradora, serão identificados por **EI.1**, **EI.2**.

Perguntas – CCOHS	Respostas hipotéticas
O trabalhador estava distraído? Se sim, por quê?	EE – quanto ao choque da cabeça com a peça manipulada pelo robô provavelmente não. O mais provável tenha sido a falta de conhecimento de um entorno totalmente novo e repleto de alterações, tanto junto ao piso, quanto nas áreas mais altas. EI.1 - quanto ao operário que cortou a mão também não estava distraído.
Havia procedimento de trabalho seguro?	Sim, quanto aos equipamentos de segurança, mas o procedimento deixou de ser seguro a partir do momento em que operário EI.1 participava dos ajustes sem conhecer adequadamente as características das peças manipuladas.
Estava sendo seguido? Se não, por quê?	Não, porque todas as pessoas na atividade possuíam tarefas diferentes e nenhuma delas foi colocada como anjo da guarda.
Os dispositivos de segurança estavam em ordem? Se não, por quê?	Provavelmente sim.
O trabalhador era treinado? Se não, por quê?	Em ambos os casos sim. Tanto o EE quanto EI.1 tinham experiência passada em células robotizadas.
Pessoa	EE e EI.1 .
Tarefa	Ajustar célula robotizada corrigindo distâncias e as paradas despropositadas.
Material	Computador móvel, pendant , painel fixo de controle entre outras ferramentas.
Ambiente	Setor da produção.
Gestão	EE
Coleta de dados	Provavelmente não executada, a preocupação naquele momento era fazer com a célula desempenhasse seus objetivos adequadamente.
Recomendações	Ao realizar o treinamento das pessoas envolvidas com a célula robótica incluam todos os operários que de alguma forma possam interagir com o setor. Sejam elas especialistas ou não. Desenvolver um procedimento que atenda todas as pessoas que participam em maior ou menor escala hierárquica com o sistema. Informar sobre as peças manipuladas e suas características.

Quadro 12. Análise da verbalização 03.

É importante reforçar que existia a pressão para a finalização dos ajustes e, quanto mais prontamente, a célula robótica estivesse pronta para atender a demanda da

produção da empresa contratante, mais rápido seria realizado o pagamento pelos serviços. O comentário do técnico em eletricidade sobre os riscos que envolviam o adentrar a uma célula mais antiga, com vazamento nos sistemas hidráulicos é pertinente, já que uma queda em espaço tão exíguo e repleto de pontas cortantes ou perfurantes poderia gerar um grave acidente.

5.3.1 Base Teórica

Almeida (2003) questiona: por que os profissionais da área de saúde e segurança do trabalho opõem-se às concepções mais abrangentes de acidentes? Reason, Carthey e de Leval (2001) propõe uma resposta à pragmática utilizada nos relatos de acidentes, vejamos:

Investigações de acidentes [...] sugerem que um grupo ‘cluster’ de patologistas organizacionais - a ‘Síndrome do Sistema Vulnerável’- torna alguns sistemas mais propensos que outros a eventos adversos. Essa síndrome tem três elementos que interagem e que se autoperpetuam: a atribuição de culpa aos indivíduos da linha de frente, a negação da existência de erros sistêmicos provocando seu enfraquecimento e a perseguição cega ‘blinkered pursuit’ de indicadores financeiros e de produção.

Os ambientes industriais parecem padecer dos três elementos que interagem e se autoperpetuam como indicam os autores acima. Tomando a verbalização 3 como referência, percebem-se exatamente as questões, por exemplo: quando o empregado da integradora cortou a mão, julgou-se culpado e, de alguma forma, também, sentiu-se pressionado a procurar ajuda, mas sem relatar o acidente. Esta pressão sublimada veio da orientação do seu supervisor imediato, presente na operação. Este, por sua vez, sentiu-se pressionado pelo engenheiro da indústria contratante que acompanhava o trabalho. Outra questão percebida, e também coerente com a prática citada, é o fato de que nada daquilo que aconteceu foi registrado. Podemos interpretar tal fato como uma negação dos fatos acontecidos e por fim, a pressão tempo x perda de lucro imposta a todos os envolvidos no ajuste da célula robótica. O engenheiro da empresa com pressa de fazer a célula atender à demanda, o empregado da integradora com pressa em concluir os ajustes e receber pelos serviços e os demais envolvidos recebiam as pressões por meio da hierarquia organizacional. Para uma análise mais profunda sobre as atribuições de culpa evidenciadas e com bases nas discussões realizadas por

Reason, Carthey e de Leval (2001) indicam que a culpa origina-se de quatro grupos de fatores psicológicos, a saber:

- atribuição fundamental de erro³³ Tendência de se impetrar a pessoa envolvida no acidente, aspectos da sua personalidade ou da sua capacidade. Considera-se a pessoa descuidada, irresponsável e incompetente;
- ilusão de vontade livre - a crença de que as pessoas são, na maioria, controladoras de seus destinos e capazes de escolher os caminhos que levam as ações corretas ou não;
- hipótese do mundo justo³⁴ - a crença de que as coisas ruins recaem sobre quem merece;
- distorção da análise retrospectiva - a tendência de acreditar que eventos passados eram mais previsíveis do que realmente eram.

Acidentes tendem a evidenciar a potencialidade dos cenários acidentogênicos e que no dia-a-dia, as decisões continuam sendo tomadas sem considerar efeitos colaterais potencialmente perigosos (ALMEIDA, 2003, p. 28).

Llory (2002) desenvolveu a seguinte opinião:

“[...] o acidente é organizacional à medida que é, antes de tudo, o produto de uma organização ‘azarada’ de falhas passivas e latentes com falhas ativas e diretas, não mais somente como resultado de uma combinação específica de erros humanos e de falhas materiais”.

O acidente pode ser algo mais do que um simples comportamento imediato. Diante de uma tarefa poderá ser ‘construído’ e ‘alimentado’ ao longo do tempo e, encontrando um espaço propício à sua ampliação, poderá, inclusive, impactar todo o sistema envolvido como os seus entornos. O ambiente propício poderá servir de campo de expansão para acidentes ou incidentes e, até como incubador de acidentes, permanecendo em estado de latência por muito tempo. Células robóticas estão sendo construídas sem referências apropriadas que dêem conta de todas as possibilidades de falhas e podemos considerá-las, neste momento, como células incubadoras de riscos de todo tipo de ordem. Na verbalização 3 foi citada a pressão hierárquica que recai sobre os atores envolvidos no ajuste da célula e essa mesma hierarquia pode construir o que

³³ *Fundamental attribution error.*

³⁴ *Just world attribution.*

Gérard Mendel, escreveu no prefácio de Llory (1999) que: considera surpreendente a persistência da concepção restrita de ‘fator humano’.

[...] Pode-se achar que, nessa cegueira maciça, existe mais do que a preocupação, sem dúvida presente, de poupar a hierarquia. [...] O primeiro elemento tem a ver com [...] o princípio a partir do qual se pôde fundar e desenvolver a ciência. [...] construiu-se a ciência fracionando-se cada vez mais a realidade, em campos disciplinares distintos e separados, mas, apesar disso, a realidade só existe de forma global. [...] o espírito do cientista atual não está preparado para transitar nesses campos interdisciplinares [...]

A reflexão de Mendel parece concordar com a colocação desta tese no aspecto de que as ciências precisam interagir tornando-se uma única equipe desde o início do projeto de uma célula robótica. E não devem ser fracionadas e solicitadas, somente quando as especificidades de cada uma delas não dão conta de solucionar as tarefas que apresentaram falhas.

As hierarquias tendem a não se prejudicar, evitando críticas ao conhecimento e às hegemonias construídas ao longo dos anos. Assim, é sempre complicada a ambientação no espaço social industrial quando, em especial, procuram-se conhecer as causas que levaram, ou poderão conduzir ao acidente ou incidente. A ergonomia pode colaborar neste processo, exatamente, por apresentar ferramentas próprias capazes de tratar dos problemas aparentemente técnicos, mas que possuem influência evidente das características psicológicas e comportamentais dos trabalhadores, contudo para não cometer a mesma falha, a ergonomia deve trabalhar com as outras ciências para, juntas, encontrarem as soluções.

Almeida (2003) apresenta uma opinião que considera central sobre como proceder em uma análise de acidente, vejamos:

[...] Analisar um acidente com finalidades de prevenção de novos eventos com aspectos assemelhados é identificar mudanças no sistema, em relação À situação sem acidentes e, ao mesmo tempo, identificar as condições do sistema que permitiram o surgimento dessas mudanças. Atualmente, entre estudiosos de acidentes, em sistemas que conseguem bons desempenhos em termos de confiabilidade e segurança, crescem referências a eventos em que as estratégias que fracassam – e contribuem para o acidente – são as mesmas que eram usadas na rotina ou atividade habitual, sobretudo como estratégias de regulação da variabilidade normal e incidental do sistema. [...]

Analisar os acidentes a partir do fato ocorrido é importante, porém, parece não ser suficiente para se estabelecer relações que colaborem no impedimento de novos

adventos perigosos. Mesmo que normas tenham sido cumpridas e, ainda assim, ocorra o acidente, o importante é analisar o comportamento do sistema de maneira a percebê-lo como era anterior à possibilidade de risco. Explicitar o acidente, informando os detalhes presentes no sistema e que contribuíram para que o acidente acontecesse. Quando se tenta explicar o que deveria existir, mas, não existia, é muito mais complexo.

Almeida (2003) apresenta uma abordagem que procura enfatizar a necessidade de se conhecer os aspectos cognitivos e as ações usadas pelos operadores para controlar as atividades. Vejamos o que é necessário para que isso aconteça:

- os meios usados pelos trabalhadores (meios precários podem aumentar a chance de acidentes);
- a natureza das perturbações da atividade, sejam elas rotineiras ou incidentais;
- as características do sistema capazes de fragilizar essas estratégias (pessoais - como o desconhecimento e a inexperiência; ambientais - como o calor, o ruído, mudanças climáticas, etc.; e, sobretudo, organizacionais - como pressões de tempo e de produção, a rotatividade que impede a formação de equipes que se conheçam e desenvolvam estratégias de colaboração, etc);
- o tipo específico de perturbação, eventualmente ligado ao acidente em questão, e os aspectos do sistema associados ao fracasso da regulação que era usada pelos operadores no momento daquele acidente;
- em muitos casos, pode ser necessário solicitar estudo complementar para esclarecer aspectos do processo de tomada de decisões gerenciais, escolhas estratégicas, reações ou condutas inicialmente consideradas estranhas ou ilógicas, etc.

Na verbalização 3, o momento no qual o engenheiro da empresa apresentou dúvidas em como proceder para ajustar o robô através do painel de controle ele indicou, sem perceber, que existia um problema de cognição. Desta forma, outras dificuldades, ou mesmo erros, poderiam suceder- se decorrentes deste fato.

[...] outra forma de ampliação do perímetro das análises de acidentes é o acréscimo de exploração direcionada para a elucidação dos chamados aspectos invisíveis, ou subjetivos, dos sistemas sociotécnicos abertos.

Atualmente, isso vem sendo feito com base em contribuições da Psicologia, da Engenharia, da Ergonomia (enfoques cognitivos), da Psicodinâmica, da Antropologia e da Sociologia, sobretudo na análise de acidentes ocorridos em atividades de manutenção (ALMEIDA, 2003, p. 36).

Conforme indicado no texto acima, parece que a Ergonomia pode colaborar de forma definitiva nas prevenções, antecipando situações que possam surgir advindas do comportamento do sistema. É importante citar que a Ergonomia, além dos aspectos cognitivos, pode fornecer análise ergonômica do trabalho sob diferentes enfoques. Dentre eles podemos indicar a análise de postura, frequência da atividade, organizacionais e arquiteturas.

Sugimoto (2000) apresenta várias situações de acidentes envolvendo robôs e máquinas automáticas. Os acidentes que mais ocorrem envolvendo os robôs têm as seguintes características:

- ignorar a condição segura de paralisação;
- falha no processo de produção;
- penetrar a célula para solucionar o problema;
- movimento inesperado do robô após ou durante a solução do problema.

Sugimoto (2000) resumidamente diz que: “[...] Durante a paralisação dos robôs industriais, operadores penetram na área de ação dos robôs e sofrem acidentes provocados pelo movimento do ‘braço’ ocasionado por alguma razão imprevista”. Dos 300 acidentes envolvendo robôs constatou-se que 38,1% foram causados pelo homem, enquanto que 61,9% tinham como responsáveis os robôs.

6 ANÁLISE ERGONÔMICA

6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Foram identificadas 9 empresas usuárias de robô nas duas regiões pesquisadas. Deste total, 77,77% das empresas contatadas atenderam ao questionário e 66,66% permitiram a visita ao local. Na região Sul Fluminense todas as 4 empresas foram visitadas e responderam ao questionário. Na região do Vale do Paraíba das 5 empresas contatadas 40%, apenas 2 autorizaram as visitas e 60%, 3 fábricas, precisamente, responderam ao questionário. (APÊNDICE A).

Duas empresas, geograficamente distantes das regiões escolhidas, como universo da pesquisa, uma localizada no Sul do Estado de São Paulo e outra no Estado da Bahia foram convidadas a responder o questionário. Apenas a localizada no estado de São Paulo atendeu aos questionamentos. Os dados fornecidos pela empresa, que não está no universo especificado por essa tese, serão utilizados apenas como análise comparativa sem participar dos dados estatísticos gerais.

Além das indústrias usuárias de robôs, foram solicitadas as empresas fornecedoras de robôs que respondessem também uma enquete (APÊNDICE B). Foram selecionadas 4 empresas a partir das informações fornecidas pelos entrevistados dos setores industriais. Das 4 empresas fornecedoras de robôs, apenas 3 atenderam ao pedido, respondendo o questionário, ou seja, 75%. Uma dessas empresas permitiu a visita a seu centro de treinamento para que se pudesse apresentar seus equipamentos e explicitar como funciona o treinamento e preparação da célula robotizada a ser entregue a um cliente.

Os questionários foram enviados por e-mail e divididos em duas partes: a primeira, constam de uma carta de apresentação identificada da UNESP – Campus de Guaratinguetá. A segunda parte era o próprio questionário (APÊNDICE A) organizado com 14 perguntas, abertas ou fechadas, tendo como foco principal conhecer quais os procedimentos normativos utilizados pela segurança, quais os recursos empregados para garantir e impedir o acidente e por fim, quem é o profissional que está envolvido neste setor industrial.

Além do questionário, foram realizadas entrevistas focadas³⁵, segundo Moraes e Mont´Alvão (2000) que têm por princípio a orientação a partir de algumas hipóteses e alguns assuntos para deixar que o entrevistado sinta-se confortável para descrever, livremente, suas experiências particulares.

6.2 ANÁLISE DA TABULAÇÃO - EMPRESAS USUÁRIAS

O questionário (APÊNDICE A) contém 14 perguntas encaminhadas às 7 indústrias partícipes da pesquisa. Os dados serão tratados comparando-se as respostas das indústrias e as referências encontradas nos diversos documentos que orientam esta tese.

Em geral, a função dos envolvidos com as células robóticas, que responderam ao questionário, é a de garantir o funcionamento seguro das estações - pergunta nº. 1, (APÊNDICE A). Geralmente, esta função é desempenhada por uma categoria de profissionais da Segurança do Trabalho e da área de Tecnólogos e, eventualmente, pelo profissional em Informática Industrial, afeito ao novo perfil de mão-de-obra requerida para ajudar a controlar as células robóticas - pergunta nº. 2 (APÊNDICE A).

A maioria dos entrevistados está atuando junto aos robôs num período de 4 a 8 anos, no máximo. Isto indica que é uma área, de certa maneira, recente no mercado de trabalho nacional. Cabe observar que algumas das indústrias participantes da pesquisa foram instaladas a aproximadamente 10 anos - pergunta nº. 3 (APÊNDICE A). Os principais lugares que os robôs ocuparam nas linhas de produção foram: Montagem, Manipulação de Cargas, Pintura e Soldagem. Apenas uma empresa indicou a existência de um robô para uso em treinamento. Fato desperta a atenção pelos custos elevados do equipamento e pela preocupação em preparar os empregados com as novas tecnologias sem a pressão da produção. Contudo, ao realizar a segunda visita, o robô de treinamento já estava alocado em uma função produtiva - pergunta nº. 4 (APÊNDICE A).

Os procedimentos de segurança específicos para as células robóticas foram adquiridos por meio do acesso a normas internas, algumas internacionais, como é o caso da ANSI/RIA R15.06 (1999) e PSA.FER.103 (2004) e normas Brasileiras como a

³⁵ *Focused interview.*

NR 12 (2009). É importante comentar que as normas Brasileiras ainda não dispõem de uma abordagem que trate, especificamente, dos robôs e de suas células. Aparece na pesquisa a informação que 55,55% utilizaram alguma norma interna ou referencial para a instalação do robô. Apenas uma empresa indica o uso de norma interna específica para robôs. Esta empresa utilizou uma norma proveniente da matriz européia - pergunta nº. 5 (APÊNDICE A). Os entrevistados envolvidos em treinamentos específicos com as células totalizaram 57,14% dos entrevistados. É um número pouco expressivo quando se trata de um setor tão complexo. O entrevistado mais antigo atuando, aproximadamente 20 anos, junto a células robóticas, informou que aprendeu ao longo do tempo. A maioria que recebeu treinamento foi da empresa que forneceu o equipamento - pergunta nº. 6 (APÊNDICE A). Neste ponto, é imprescindível que se diga que muitas empresas fornecedoras executam todos os passos, ou seja, vendem o equipamento, treinam, instalam e fornecem apoio à manutenção, porém, algumas, por opção do cliente, apenas comercializam e a instalação fica a cargo das integradoras. Na atualização da ANSI/RIA R15.06, em 2006, sugere-se que as empresas integradoras sejam responsabilizadas de forma igualitária às fornecedoras, exatamente por que executam as instalações e devem responder por isso.

Uma das questões mais delicadas das entrevistas era relativa aos acidentes que já aconteceram nas células robóticas. Dentre os entrevistados, que indicaram ter conhecimento de acidentes, alguns descreveram a maioria dos casos como culpa, ou total negligência, dos atores envolvidos. A pesquisa não tem o propósito de aferir a verdade nesses casos, mas a literatura indica há um, ‘quase’, senso comum em indicar o sujeito mais próximo do problema como o errado - pergunta nº. 7 (APÊNDICE A).

É compreensível a preocupação dos entrevistados em indicar os fatos associados a acidentes ou mesmo incidentes. A falta de informação pode levar as futuras empresas usuárias dos robôs a tratarem suas instalações de forma incorreta, especialmente, quando se busca informação sobre os riscos de acidentes que estão envolvidos com os robôs. Almeida (2003) alerta para a falha existente na informação do analista de acidentes de trabalho quando este faz auditorias em empresas, pois, quando o auditor tenta analisar o acidente com olhar crítico de hoje, talvez, não consiga perceber o

ontem. Além disso, a própria auditoria interna, muitas vezes, procura por culpados deixando de se preocupar como os eventos que num determinado momento de tempo propiciaram o acidente - pergunta nº. 8 (APÊNDICE A).

A maioria das empresas reinvestiu em novos equipamentos e procedimentos como melhoria na segurança dos operadores como o comentário realizado por um dos entrevistados. “[...] passa ser proibida a presença de qualquer pessoa no interior da célula quando esta estiver em funcionamento [...]”. Reparem que num período anterior de tempo, era admissível essa prática, nesta indústria. Período em que os acidentes, definitivamente, possuíam mais chances de acontecer - pergunta nº. 9 (APÊNDICE A).

Apenas um entrevistado, pertencente ao universo tratado nesta tese, disse conhecer a norma americana ANSI/RIA R15.06 (1999). Um entrevistado assinalou positivamente, mas, que não pertence ao universo central da pesquisa. Curioso é saber que uma das empresas participantes da enquete possuía a norma em outra fábrica do mesmo grupo, em outro país, e aqui no Brasil os responsáveis do setor de segurança desconheciam o documento. Este fato demonstra não haver trocas de informação quanto ao procedimento de segurança relativas aos robôs - pergunta nº. 10 (APÊNDICE A).

Outras normas abrangem a instalação e o controle de segurança das células robóticas, contudo causa estranheza o fato da maior parte das pessoas entrevistadas não conhecerem a norma ANSI/RIA R15.06 (1999), derivada de estudos normativos japoneses e referência para outras normas. Constatou-se a inexistência de norma brasileira que normalize procedimentos específicos, das células robóticas, pois nenhum dos participantes indicou o conhecimento, ou seja, normas brasileiras que atendam especificamente às células robóticas não apareceram nas pesquisas - pergunta nº. 11 (APÊNDICE A).

Foram apresentados vários recursos de segurança e alguns entrevistados informaram o desconhecimento de alguns destes itens como, por exemplo, o que expressa a pergunta nº. 12 (APÊNDICE A) - o tapete sensível à pressão. A média de equipamentos utilizados por todos os entrevistados, incluindo a indústria de outra região, foi de 5 dispositivos de um total de 12 apresentados, ou seja, aproximadamente 41,66% reconhecidos pela experiência individual dos entrevistados. Outro fato

relevante é o desconhecimento, ou a não, da utilização do dispositivo *scanner* ótico por 28,57% dos entrevistados, considerando um universo de 7 entrevistas. Cito o *scanner* ótico como algo relevante por se tratar de um recurso mais moderno e também de custo mais elevado, já utilizado em algumas estações robotizadas no Brasil. Apenas um entrevistado informou ter conhecimento de vários acidentes envolvendo usuários e comentou o caso do choque do robô contra o programador, quebrando seu maxilar. Outro entrevistado falou sobre um incidente em que o robô se chocou contra a grade de segurança sem ferir ninguém.

Uma preocupação constante encontrada nos diversos documentos acessados foi a vida útil dos robôs. A Federação Internacional de Robôs - IFR³⁶ juntamente a Comissão Econômica das Nações Unidas para Europa³⁷ publicaram, a revista Mundo Robótico³⁸ (2005), que contém informações sobre o tempo de vida útil dos robôs. Segundo a UNECE/IFR (2004), estimava-se a vida útil dos equipamentos robóticos em 12 anos, porém, ambas as instituições em seus estudos-piloto, entenderam que, em média, a vida útil dos robôs é de 15 anos. Desta forma, considera-se que a maioria dos robôs encontrados nas fábricas pesquisadas possuem entre 7 e 10 anos de vida, expresso na pergunta nº. 13 (APÊNDICE A). Assim, entre 2012 e 2015, provavelmente, os robôs sofrerão alterações, seja no aspecto de segurança ou de produção, pergunta nº. 14 (APÊNDICE A).

Isto posto, um questionamento se faz necessário: como o supra-sistema estará organizado para atender as novas exigências de produção e segurança? Eis uma questão que deverá ser levada em conta pelas empresas usuárias de robôs, no que tange aos setores de segurança, produção e também às fornecedoras e integradores dos equipamentos robotizados.

A ANSI/RIA 15-06 (1999) preocupada com a situação dos equipamentos mais antigos classificou o que são os robôs remanufaturados, reconstruídos, etc. Vejamos:

- Novos ou Remanufaturados – atualização – são todos os equipamentos novos e remanufaturados fornecidos em até 24 meses antes da publicação

³⁶ *International Federation of Robotics – IFR.*

³⁷ *United Nations Economic Commission for Europe – UNECE.*

³⁸ *World Robotics* – Publicação de cunho estatístico e financeiro a respeito dos robôs no mundo. É conjunta da IFR e UNECE.

da norma, deverão estar em acordo com a normativa. Manufatura de um robô industrial inclui o design, a engenharia, construção, teste de funcionamento e distribuição. Remanufaturados incluem: qualquer ajuste de engenharia ou de construção nos robôs existentes transformando-os objetos novos. Isso inclui os robôs atuais que, exclusivamente, irão receber atualizações em seus *softwares*.

- Reconstruídos ou Relocados: robôs nesta condição devem concordar com o padrão normativo, levando em conta a data da manufatura. Não impede a adição de melhorias na segurança apresentadas pelo padrão normativo. Robôs reconstruídos são aqueles que foram revisados e reparados para suas condições originais e especificações do fabricante original, incluindo as mudanças nos *softwares*. Isto inclui reparo, recondicionamento, polimento ou restauração. Relocados são aqueles que sofreram mudanças físicas de lugar e com mudanças na programação das tarefas e do efetuador³⁹.

6.3 ANÁLISE DA TABULAÇÃO - EMPRESAS FORNECEDORAS

Neste segundo questionário, (APÊNDICE B), pretendeu-se conhecer um pouco mais da realidade das empresas fornecedoras de robôs sediadas no Brasil. Todas as empresas contatadas possuem grande área de atuação estando presentes na maior parte dos continentes. Ao todo, quatro empresas foram convidadas a responder o questionário, e três atenderam à solicitação.

Questionamos as empresas participantes da enquete sobre o número estimado de robôs no Brasil, considerando todas as marcas comercializadas. A quantidade estimada obtida girou em torno de 4.333 robôs instalados no país - pergunta nº. 1 (APÊNDICE B). Comparando aos resultados encontrados no relatório UNECE/IFR (2004) temos o seguinte (Tabela 5):

Tabela 5. Quantidade de robôs no Brasil.

Robôs no Brasil - UNECE/IFR / 2004 *O ano de 2005 não foi computado	Robôs no Brasil segundo pesquisa *A pesquisa foi realizada no 2º semestre de 2006.
2.352 unidades	4.333 unidades

³⁹ End-effector.

As vendas de robôs têm aumentado nos últimos cinco anos, evidenciando um provável crescimento do Brasil. É relevante o comentário deixado por um dos representantes das empresas de robôs ao ser questionado sobre o número de robôs comercializados no país no ano de 2005. “[...] 200 unidades, não houve nenhum projeto automobilístico grande no Brasil em 2005 [...]”. O comentário explicita a grande importância das indústrias automobilísticas para o setor robótico. Esta informação confirma, mais uma vez, a liderança do setor de automóveis e autopeças no uso dos robôs - pergunta nº. 2 (APÊNDICE B).

Outra questão curiosa foi a resposta dada sobre quais as normas utilizadas no Brasil, durante as instalações dos robôs. Não foi encontrada uma uniformidade nas informações, levando a acreditar que os fornecedores podem diferenciar-se quanto à necessidade de segurança a ser atendida - pergunta nº. 3 (APÊNDICE B). Além disso, outro fator que pode causar constrangimento e perturbação ao sistema é o fato de uma empresa adquirente realizar compra de robôs de empresas diferentes e, no momento de integrá-los, surgirem diferenças que levem riscos ao sistema e, conseqüentemente, ao entorno também “[...] usamos as normas que nossos clientes seguem”. Este foi o comentário deixado por um dos pesquisados ao responder a questão das normas utilizadas por eles. Percebemos que a falta de padrão normativo específico para o robô no Brasil pode provocar descasos ou, simplesmente, um relaxamento de ambas as partes tanto de quem vende como de quem adquire.

Podemos, mais uma vez, levantar suspeitas de que o mercado não está preparado, adequadamente, para atender às novas requisições advindas da automação robótica.

Ainda relativo ao desempenho comercial dos robôs, os representantes das empresas fornecedoras foram questionados sobre o comportamento nacional de robotização de suas linhas de produção. A resposta unânime foi: “[...] em franco desenvolvimento”. Apenas um dos entrevistados completou a pergunta dizendo: “[...] em desenvolvimento, mas não tão franco”. De qualquer forma, as perguntas se auto-completam e, assim, podemos concluir que o Brasil caminha para uma automação não tão vigorosa como a americana ou européia, mas a frente de alguns países da América do Sul entre outros - pergunta nº. 4 (APÊNDICE B).

A pergunta nº. 5 (APÊNDICE B) inquiriu os entrevistados sobre o que é mais difícil para as empresas fornecedoras. Das três opções, a que recebeu a maior pontuação foi a falta de conhecimento específico do comportamento de um robô, com 86% de indicação. Parece que o desconhecimento sobre as novas máquinas incomoda inclusive os fornecedores. A outra questão que apresentou desagrado dos fornecedores é coerente com a opinião anterior - os clientes não sabem definir o modelo mais adequado para suas operações, reforçando as suspeitas de que o mercado não possui, ainda, um quadro de profissionais que deem conta das necessidades de automação industrial. Este item recebeu 60% do valor máximo. Por fim, a falta de normas, 46,66%, é considerada, também, algo desgastante. Quando uma empresa fornece o robô, ela deveria respeitar os procedimentos de segurança pertinentes ao seu equipamento, mas também as orientações da adquirente do equipamento, como o mercado não possui tal normatização, a situação fica mais delicada. Mesmo para empresas que possuem sedes em outros países e que nestes lugares existam normas sobre os robôs, não garante que a filial seguirá as orientações. Também foram percebidos casos inversos em que normas internas derivadas de estudos próprios e das normas vigentes eram seguidas à risca. Em muitos casos, as normas internas são mais detalhadas e exigentes do que as normas exigidas pelas Leis Federais.

Na pergunta nº. 6 (APÊNDICE B) o aspecto mais relevante para a instalação dos robôs foi a segurança, seguido, de perto, pela produtividade e a funcionalidade. O item que recebeu menor pontuação foi o aspecto ergonômico do sistema – qualidade das informações, cognição dos símbolos e informações empregadas nos painéis móveis e fixos como, por exemplo, o efetuator. A indústria, de forma geral, já percebeu que resultados produtivos mais significativos são alcançados quando os empregados percebem e reconhecem o esforço da empresa em melhorar o ambiente profissional. Se a segurança é entendida como muito importante é sinal de que a fábrica está preocupada com os seus profissionais, porém a eficiência da segurança passa pela qualidade do projeto desenvolvido na célula robótica e este projeto deve, ou deveria estar, em sintonia com os aspectos ergonômicos.

Adams (2002) aponta como preocupante a situação dos projetos desenvolvidos que atendam às relações entre homens x robôs, pois os projetos não parecem

considerar diversos aspectos fundamentais da Ergonomia. A questão passa pelo enfoque e objetivos traçados durante o projeto; momento em que deveria ser perguntado aos usuários dos robôs como, quando, onde, etc. Provavelmente, exista uma confusão entre projeto ergonômico com algo que ajude, apenas, a solucionar um problema, após o projeto estar em funcionamento, não sendo encarado como uma ciência a ser empregada, durante a fase de desenvolvimento de uma estação de trabalho. A segurança e a funcionalidade, entre outros aspectos, dependem também de um bom projeto ergonômico.

Aumentar a qualidade e a produtividade são os principais argumentos de quem compra um robô indicado na pergunta nº. 7 (APÊNDICE B), recebendo 100% de preferência. É o que mostra o fornecedor justificando a compra do robô por parte do cliente; em segundo lugar na preferência, aparece a redução de custo e da mão-de-obra com 86,66%, e, em terceiro lugar, aparece o objetivo de reduzir os riscos físicos, químicos, entre outros, com 80%. Se observarmos a resposta preferencial, dada na pergunta nº. 6 (APÊNDICE B) veremos que existe um ‘desacordo’ de interesses, ou pelo menos, sob a visão de quem vende os equipamentos. Ou seja, seria coerente e esperada a confirmação de que a segurança é o mais importante, porém, o enfoque muda quando muda o sujeito da ação. Quando a opinião é emitida pela empresa fornecedora do robô o interesse principal, durante a instalação, é a segurança, mas na opinião da empresa que adquire o equipamento, o principal interesse é aumentar a qualidade dos seus insumos e reduzir gastos com a mão-de-obra.

Enquanto o item, melhorar a qualidade atinge 100% dos objetivos, o item sobre redução dos riscos alcança 80% dos interesses. A diferença indica, sem dúvidas, a preferência dos compradores de robôs, de forma geral, contudo, isto não quer dizer que a segurança não receberá um tratamento apropriado, mas permite refletir melhor sobre os motivos que movem as escolhas das empresas que automatizam suas produções.

A pergunta nº. 8 (APÊNDICE B) procurou levantar o número de robôs comercializados no Brasil, de todas as marcas. As respostas variaram entre 320 e 200 unidades. Houve um comentário informando que, em 2005, não aconteceu nenhum projeto automobilístico, reforçando a relação comercial importante entre robôs e as fábricas automotivas. E, por último, a pergunta nº. 9 (APÊNDICE B) que inquiriu aos

entrevistados ouviram algum relato sobre acidentes, ou incidentes com robôs. As respostas indicaram a existência tanto de acidentes quanto incidentes e, apenas um entrevistado não respondeu a questão.

6.4 APRECIACÃO DAS DISFUNÇÕES ERGONÔMICAS DO SHTM

Foram visitadas três fábricas e sete diferentes células robotizadas. Duas empresas produzem componentes para empresas automobilísticas e uma é do setor vidraceiro. Apenas uma empresa não permitiu o registro de imagens, exigindo a produção de esboços técnicos. Por questões éticas, as faces, dos profissionais envolvidos nas tarefas apresentadas por esta tese foram descaracterizadas.

Para aplicação da Intervenção Ergonomizadora será realizado o estudo em uma célula, privilegiando todas as fases possíveis do Sistema Homem-Máquina e, em outra célula, apenas, a identificação dos Riscos Acidentários. As Intervenções Ergonomizadoras serão denominadas de SHTM 1 e SHTM 2.

O conjunto das duas células robóticas que compõe o SHTM 1 será tratado aqui de forma integrada, permitindo a demonstração ampla da Intervenção Ergonomizadora. Ambas as células apresentam diversas categorias de problemas ergonômicos e desta maneira permitirão uma boa referência para futuros estudos ergonômicos em células robóticas.

As células serão identificadas como:

- Célula Robótica Solda Longarina 01 - CRSL 01;
- Célula Robótica Solda Longarina 02 - CRSL 02;

Durante a pesquisa de campo foi possível presenciar, no SHTM 2, uma situação bastante discutida ao longo desta tese: a atuação dos operários de manutenção. A relação homem-máquina, durante a manutenção, é bastante peculiar por não ser possível dispor o robô, em muitas situações, em posição adequadas à manutenção, exigindo dos operários grandes esforços e, desta forma, ampliando os riscos de acidentes. Além dos riscos biomecânicos, existe a possibilidade de ocorrência de choques, esmagamentos, perfurações e contaminações no interior das células robóticas. Assim, a aplicação desta segunda Intervenção Ergonomizadora irá

privilegiar e se deter em reconhecer e apresentar os tipos de acidentes que poderão afligir os operadores durante as atividades de manutenção.

7 PROBLEMATIZAÇÃO DO SHTM 1

7.1 RECONHECIMENTO DO PROBLEMA

O trabalho dos profissionais em meios autômatos, assim como nas indústrias de transformação mecânica, geralmente, implicam nas atividades que requisitam grande quantidade de esforço físico, postural e deambulações para o cumprimento das tarefas diárias. O ambiente apresenta grande número de máquinas pesadas e o arranjo físico torna-se complexo em função das demandas de produção e das restrições arquitetônicas. Por exemplo, neste caso a ser analisado, o trabalho consiste em montar, empregando à solda, longarinas para caminhonetes de médio e grande porte.

7.2 O SISTEMA-ALVO

O sistema de solda para as longarinas CRSL 01 e CRSL 02 conta com dois operadores por turno. Cada célula robótica possui dois lados, direito e esquerdo, para execução das atividades sequenciadas. A primeira célula conta com dois robôs flexíveis, com 6 graus de liberdade. Cada um deles atua em um dos lados da célula. O interior da primeira célula é integrado, ou seja, é possível acessar por um dos lados, enquanto um dos robôs atua no outro lado. A segunda célula apresenta apenas um robô, também com 6 graus de liberdade e, também, é possível acessar o robô durante a atividade através do lado oposto. As células são separadas por um corredor de acesso, portanto, não havendo conexão entre a célula CRSL 01 e CRSL 02. O trabalho dos operadores consiste em:

- ajustar o robô de acordo com a mudança no modelo da longarina;
- alimentar a célula;
- manter a produção no ritmo solicitado;
- cumprir a meta diária;
- executar ações corretivas como desprender o cordão de solda da peça soldada e reajustar o robô segundo trajetória requisitada após as ações corretivas.

7.2.1 Sistematização do SHTM 1

7.2.1.1 Caracterização e Posição Serial do Sistema

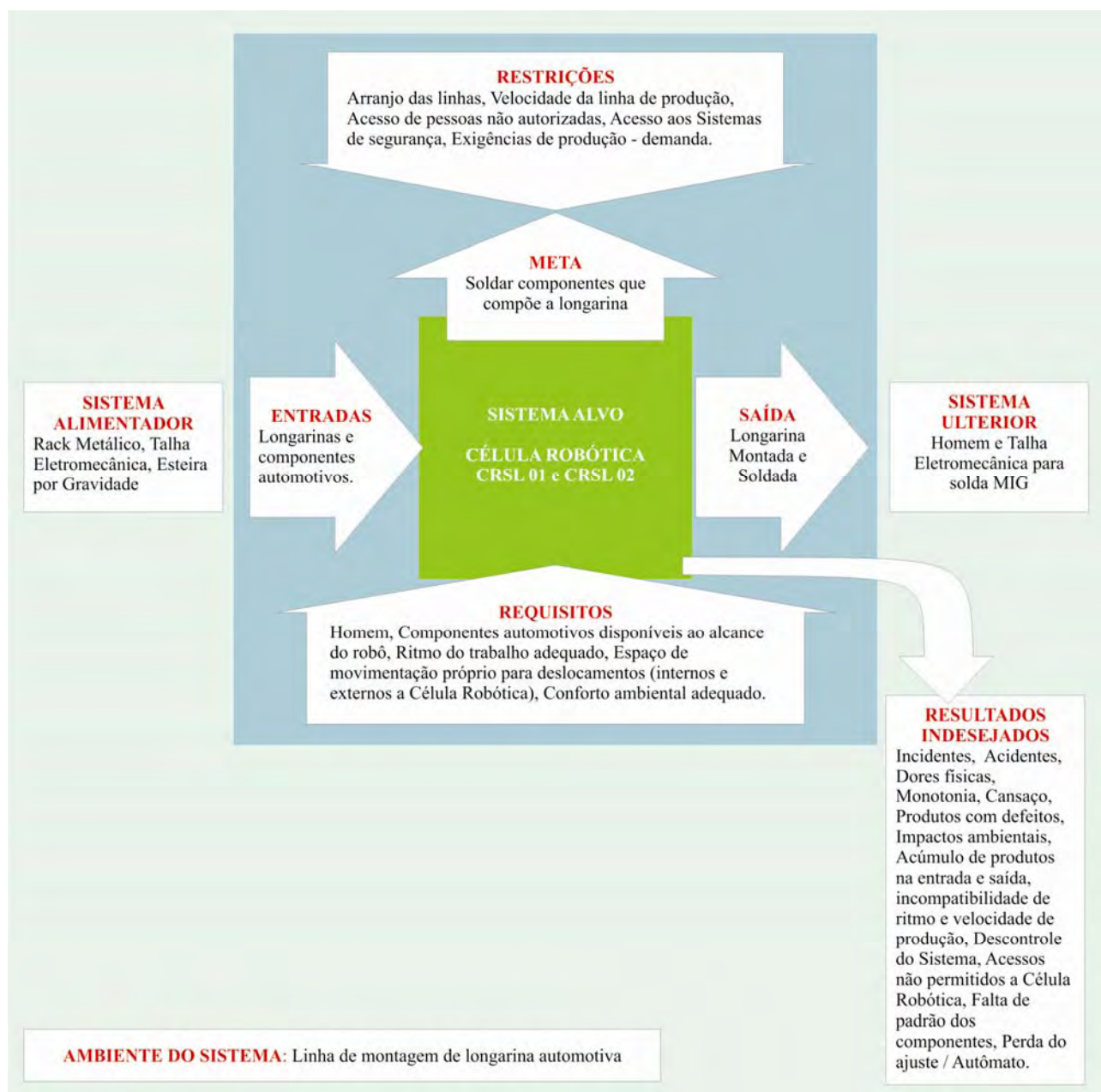


Figura 29. As Células Robóticas 01 e 02, de Soldagem.

Pode-se identificar a posição serial assumida pelas duas células posicionadas na área central da posição Hierárquica do Sistema (Figura 29). A compreensão do sistema hierárquico pode facilitar a percepção de falhas em outros níveis do universo estudado.

7.2.2 Ordenação Hierárquica do Sistema



Figura 30. Distribuição dos subsistemas de acordo com sua hierarquia.

A distribuição dos subsistemas de acordo com seus graus de importância permite um planejamento da organização em relação aos diversos requisitos dentre eles, destacamos os fatores de segurança (Figura 30).

7.2.3 Expansão do Sistema

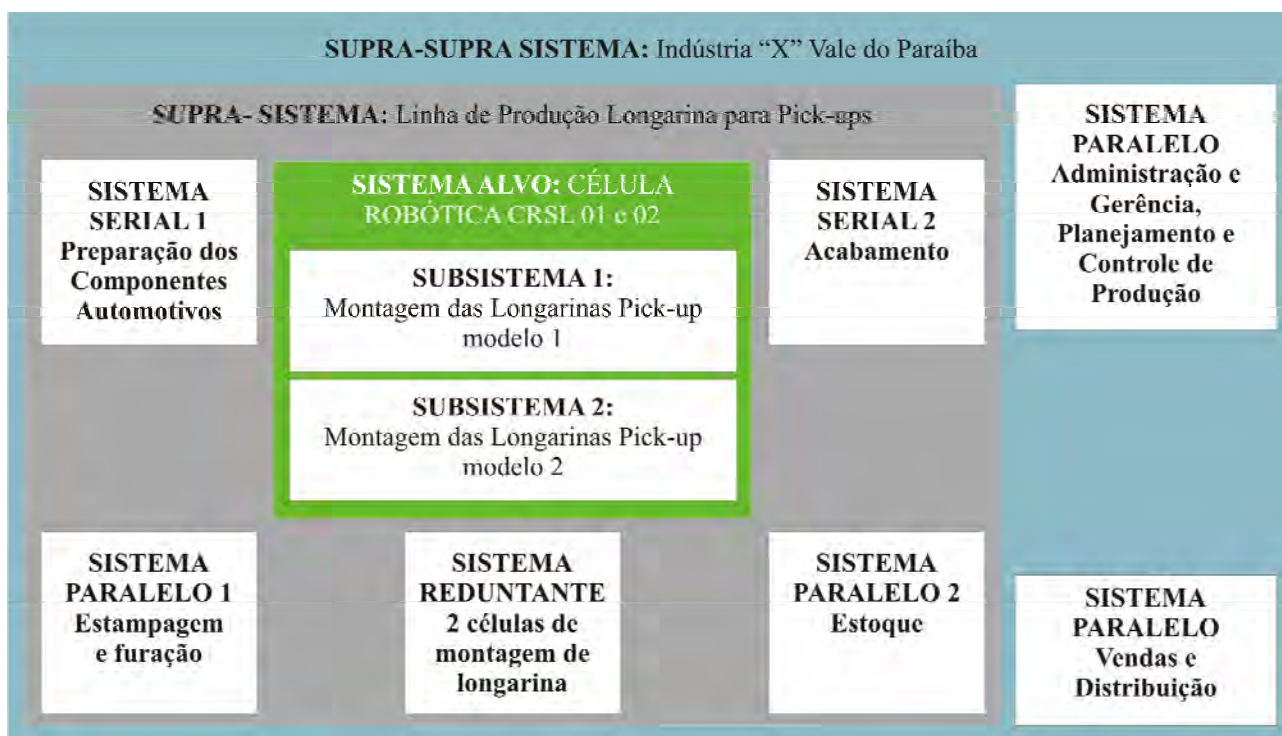


Figura 31. A expansão do sistema e outras partes hierarquicamente correlatas.

Por vezes, as relações que geram situações impróprias ao trabalho são provenientes da hierarquia que antecede, ou precede ao sistema alvo. Neste caso, por exemplo, podemos avaliar com mais propriedade os sistemas seriais por serem eles geradores de fumos de solda, assim como o sistema paralelo 1 que produz ruído durante a tarefa de furação e estampagem (Figura 31).

7.2.4 Modelagem Comunicacional do Sistema

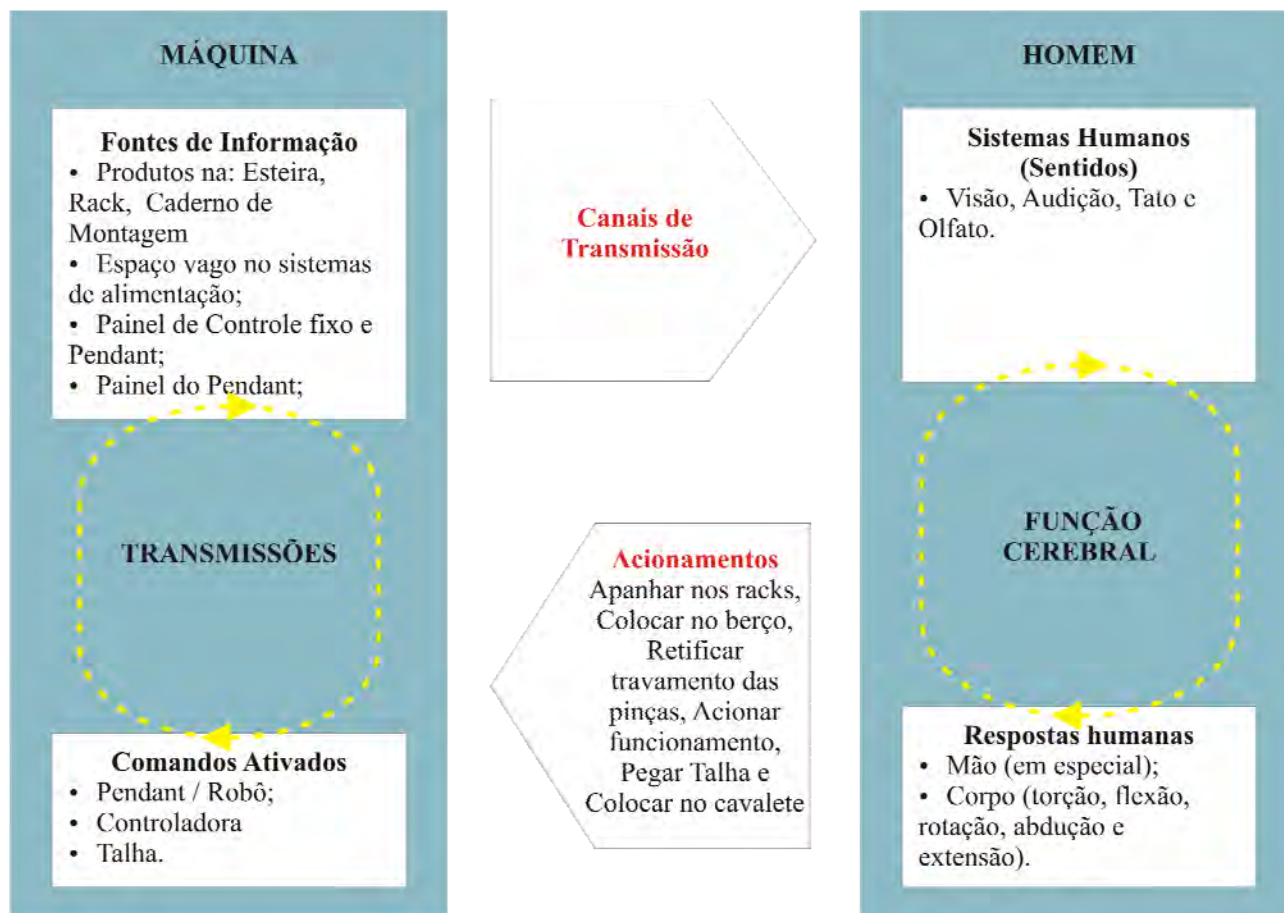


Figura 32. A cognição é requisitada intensamente na gestão de células robóticas.

A visão é um dos principais sentidos humanos e é responsável por grande parte das recepções processadas no interior de uma célula robótica. A audição pode ter um destaque importante, principalmente ao soar de um alarme de emergência. Assim a modelagem comunicacional lida com a transmissão de informação que podem ser através de sinais sonoros, visuais, vibrações, deslocamentos e gestos (Figura 32).

Os atuais sistemas de segurança procuram desenvolver interfaces de segurança diretamente relacionadas ao comportamento humano como é o caso dos estudos de Rani e Sarkar (2005)⁴⁰. Por meio da modelagem comunicacional poderemos analisar a melhor interface para receber sensores capazes de monitorar o comportamento humano e, assim, fornecer uma retroalimentação ao robô sobre o comportamento do operador em relação a uma dada tarefa.

⁴⁰ Ver página 54.

7.2.5 Fluxograma do Sistema

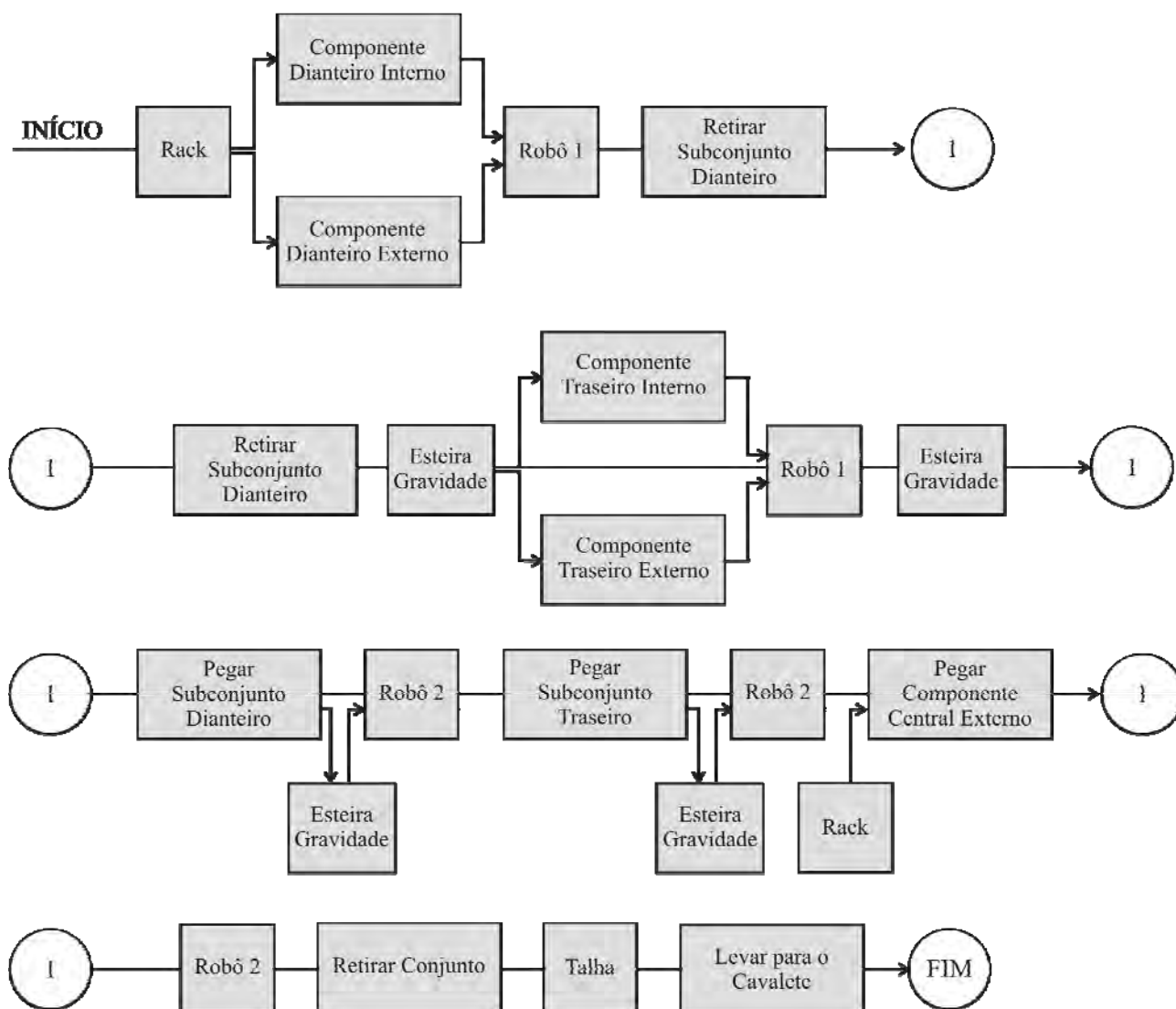


Figura 33. Disposição da seqüência lógica da atividade.

O fluxograma permite analisar a atividade a ser desenvolvida, segundo as ações decisórias em atendimento a meta do sistema. Desta forma, é possível estudar e planejar em que momento uma tarefa irá interagir com outra e assim, organizar os sistemas de segurança para atuarem em resposta as ações humanas ou do robô (Figura 33).

7.3 INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA - SHTM1

A Intervenção Ergonomizadora propõe como forma de operacionalizar seu instrumento de pesquisa a realização de registros fotográficos. Desta maneira, a análise detalhada pode ser realizada em laboratório, reduzindo as perdas de informação sobre a tarefa executada (Quadro 13).

Célula Robótica Solda a Ponto Longarina 01 – CRSL 01 e CRSL 02		
a) Problemas Interfaciais A tarefa exige do operador posturas inadequadas como: elevação dos braços acima do nível dos ombros, torção do tronco, flexão e extensão cervical do pescoço.		
		
(a1) Elevação dos braços	(a2) Elevação dos braços	(a3) Elevação dos braços
		
(a4) Distâncias entre acionamentos	(a5) Flexão lateral do tronco	(a6) Posturas inadequadas
		
(a7) Flexão cervical	(a8) Torção do tronco	(a9) Flexão lombar

Célula Robótica Solda a Ponto Longarina 01 – CRSL 01 e CRSL 02

b) Informacionais / Visuais

Deficiência na detecção e discriminação das informações.



(b1) Dificuldade para visualizar o resultado da ação



(b2) Prejuízos na tomada de decisão da tarefa



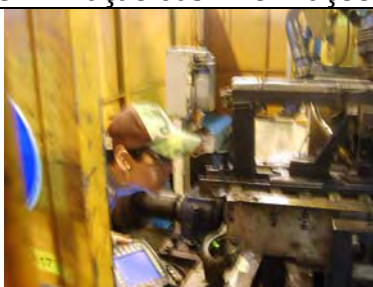
(b3) Deficiência na localização das informações no painel de controle

c) Acionais: Manuais

Deficiência na detecção e discriminação das informações.



(c1) Constrangimento biomecânico



(c2) Dimensão e conformação inadequados



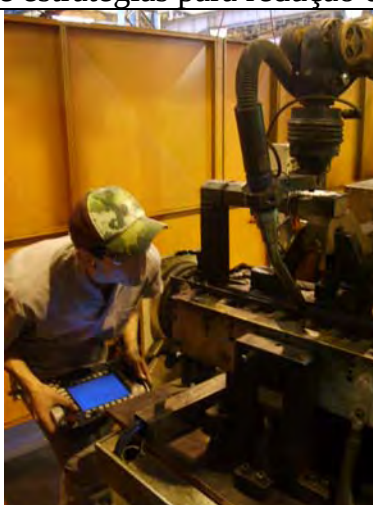
(c3) Movimento impróprio

d) Cognitivos

Prejuízos nos atos decisórios e estratégias para redução do problema.



(d1) Dificuldade na decodificação



(d2) Desordem nas informações apresentadas



(d3) Problemas na memorização

Célula Robótica Solda a Ponto Longarina 01 – CRSL 01 e CRSL 02

e) Movimentacionais

Deslocamentos de cargas, excesso de peso e frequência da movimentação.



(e1) Movimentação manual para carga e descarga



(e2) Frequência da movimentação



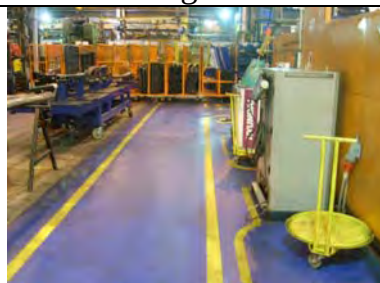
(e3) Excesso de movimentação de materiais

f) Deslocamentos

Excesso de deambulações e distâncias exageradas durante as fases da tarefa



(f1) Deambulações



(f2) Deambulações

Sem foto

g) Acessibilidade

Espaços exíguos para movimentação dos operadores entre os equipamentos e falta de espaço para organização de ferramentas e equipamentos.



(g1) Espaço de acesso restrito



(g2) Escadas no trajeto rotineiro da tarefa



(g3) Espaço exíguo

Célula Robótica Solda a Ponto Longarina 01 – CRSL 01 e CRSL 02
h) Espaciais / Arquiteturais

Pontos críticos no entorno da célula robótica quanto a deficiência no fluxo, circulação, má aeração, iluminação,



(h1) Deficiência de fluxo



(h2) Iluminação insuficiente



(h3) Entorno sem proteção coletiva

i) Químico-Ambientais

Partículas, elementos tóxicos e aerodispersóides no ar.



(i1) Fumo de solda no entorno da célula

Sem foto

Sem foto

j) Acidentários

Falta ou inadequação dos sistemas de segurança nos equipamentos, manutenção insuficiente e inadequação das rotinas de trabalho.



(j1) Vazamento proveniente da compressão de ar



(j2) Cortina sem local adequado para ajuste no processo



(j3) Óleo no piso oriundo da camada protetora das longarinas

Célula Robótica Solda a Ponto Longarina 01 – CRSL 01 e CRSL 02		
k) Operacionais		
Repetitividade intensa ou monótona e pressão pela meta especificada.		
		
(k1)	(k2)	(k3)
		Sem foto
(k4)	(k5)	
Tarefas cíclicas, movimentos repetitivos com demanda de esforço físico e cognitivo.		

Quadro 13. Problemas de ordem ergonômica.

7.3.1 Base Teórica SHTM 1

Baseado em uma árvore de falhas expressas em Sugimoto e Kawaguchi (1983 apud SALVENDY, 1985), ANSI/RIA15.06 (1999) e Sugimoto (2000), apresentamos as recomendações técnicas por meio de um *check-list* que poderá identificar se o sistema instalado poderá oferecer o mínimo de credibilidade aos seus usuários (Quadro 14). Atendendo às necessidades indicadas, a empresa usuária preparará para o uso seguro da célula robótica. Cada item apontado apresenta inúmeros desdobramentos que poderão ser encontrados, na ausência de uma norma nacional, na ANSI/RIA 15.06 (1999). Informações quanto ao uso de máquinas podem ajudar, mas não suprem todas as necessidades específicas de uma célula robótica.

Check-list - Impacto de Credibilidade	
Acidentes mais comuns Provocado por energia potencial	• Quedas, Trombadas, Quedas de Objetos; • Colapso, Choque elétrico e Explosão; • Quedas de objetos do trabalho e/ou outros objetos.

Check-list - Impacto de Credibilidade	
Acidentes mais comuns Provocado por energia cinética, biológica/química, térmica e radiação.	• Lançamento de objetos, Colisões; Esmagamentos, Cortes e Apreensão; • Colisões por parte do robô ou outros; • Apreensão pelo robô, por cabos ou outros.
Quedas de Objetos do Trabalho	• Quedas - problemas de energia: corte de energia, lapso, por colisão do robô; inesperado movimento, parada repentina e falha no efetuador⁴¹; • Barreiras insuficientes; • Operadores no interior da célula robótica.
Lançamento de Objetos	• Causado por problemas de energia; • Barreiras insuficientes; • Operadores no interior da célula robótica.
Colisões	• Movimento inesperado e esperado do robô energizado; • Barreiras insuficientes; • Operadores no interior da célula robótica.
Célula Robótica	• Áreas limítrofes, restrições, permissões parciais e restrições; • Alcances do robô; • Demandas energéticas.
Equipamentos de Controles Unidades de controle: operativas e movimentacionais Acionamentos: elétrico, sistema pneumático e/ou hidráulico.	• Amigabilidade entre os sistemas controladores e o robô; • Demandas energéticas; • Instruções dos comandos, velocidades permitidas e posições assumidas; • Navegabilidade do Pendant.
Efetuador	• Adequação e manutenção.
Treinamentos	• Sobre: segurança, utilização, riscos envolvidos e compreensão do funcionamento da célula de maneira integral e segmentada; • Especificação de grupos especiais para atuação.
Programação	• Testes, falha na programação⁴², compatibilidade entre periféricos e controles centrais. • Operadores no interior da célula robótica.
Velocidades Controles	• Menos velocidade e mais velocidade. • Operadores no interior da célula robótica.
Chaveamentos	• Travas, intertravamento; • Sistemas redundantes, operações automáticas e manuais. • Operadores no interior da célula robótica.

⁴¹ End-effector.

⁴² Bug: falha na programação.

Check-list - Impacto de Credibilidade	
Sistema de Alimentação Entradas e saídas	• Mecanicamente e manualmente; • Parcialmente no interior da célula e/ou externamente; • Operadores no interior da célula robótica.
Acionamentos de Emergência	• Redundância, disposição funcional e antropométrica; • Cognição, cor, forma e proteção; • Uso de anjos da guarda e operadores no interior da célula robótica.
Cabeamentos Elétricos e de Comunicação	• Organização, extremidades cortantes e esmagamentos; • Choques eletrocussão; • Interrupção da comunicação;
Equipamentos de Proteção	• <i>Scanner</i> ótico, tapete, barreira luminosa e física, proteção móvel, borda de emergência, proteção por cabo de emergência e controle manual⁴³.

Quadro 14. Impacto de Credibilidade.

Segundo Hollnagel (2007) é importante identificar corretamente os tipos de barreiras, dessa forma evita-se confusão quando se recomenda o uso destas para se prevenir ou mitigar um risco. Vejamos uma breve descrição dos tipos de barreiras:

- barreira Física ou Sistema Material de Barreiras – Atendem de forma concreta e preventiva um evento perigoso impedindo o deslocamento de massa, energia ou de informação de um lugar para outro. Por exemplo: As grades no entorno da célula robótica.
- Sistema Funcional de Barreiras – São ativadas segundo uma condição considerada inadequada, pode ser acionada pessoalmente ou de maneira autônoma. Geralmente não é reconhecida nem percebida pelos usuários. Por exemplo: *scanner* de presença.
- Barreiras Simbólicas – Geralmente reconhecidas por informações visuais, táteis e auditivas que indicam a situação do sistema que se opera. Por exemplo: Sinalização de advertência, permissão ou autorização de trabalho.
- Barreira Imaterial – Pode ser representada pela regra intrínseca a sociedade ou ao ambiente em que se trabalha. Por exemplo: regulamentos, proibições e processos operativos designados pela organização profissional.

⁴³ *Pendant ou Teach pendant.*

Os tipos de barreiras podem ser combinados entre si intensificando a proteção necessária e possuem um sentido efetivo quando se conhece o risco. Pode-se dizer que é uma maneira de prevenir os eventos indesejáveis das ocorrências e de suas consequências. Quando se planeja a segurança esta não pode ser, genuinamente, constituída de fatos passados, mas das observações realizadas a respeito do futuro. Deve-se ter um comportamento pró-ativo, mesmo sabendo da possibilidade de que o evento indesejado e inesperado nunca aconteça, tornando o investimento em algo intangível (HOLLNAGEL, 2007, p. 227).

O levantamento de carga é, sem dúvidas, um dos maiores causadores de dores nas costas (DULL e WEERMEESTER, 1995, p. 39). Além do levantamento, pode-se destacar o deslocamento da carga, também, como situação crítica no cotidiano profissional. As atividades que exigem manuseio de cargas devem considerar alguns aspectos fundamentais como (IIDA, 1990, p. 96).

- manter a coluna e usar a força das pernas, caso necessite levantar a carga;
- manter a carga o mais próximo do corpo;
- manter a carga igualmente distribuída de maneira que um lado não seja mais exigido que o outro;
- usar ambas as mãos;
- a carga deve estar a 400 mm acima do piso e se estiver abaixo deve ser realizada em duas etapas, primeiro posicione a sobre uma plataforma e só então finalize a suspensão;
- liberar o local em estiver trabalhando evitando desvios e riscos de quedas durante o deslocamento da carga.

A Comissão de Ergonomia da General Motors preconizou, através do seu Manual Técnico de Ergonomia (1999) que, de forma geral, os operadores não devam manusear cargas com as seguintes características posturais:

- elevando acima do nível dos ombros;
- flexionando as costas $> 20^\circ$;

- realizando o desvio ulnar;
- mantendo a extensão do pulso > que 0 e 35°;
- evitando a extensão dos cotovelos;
- abduzindo os ombros > 30°, entre outros.

7.4 PARECER E SUGESTÕES ERGONÔMICAS DO SHTM 1

A Problematização e Sistematização revelaram uma série de situações de risco e permitiram definir as questões que receberão atenção especial na diagnose. Para apoiar a análise e consequentemente ter argumentos que justifiquem, ou não, as alterações futuras na célula robótica, é importante realizar uma análise crítica quanto aos problemas levantados através do Parecer Ergonômico (Quadro 15).

Sistema Homem-Tarefa-Máquina 1			
Classe de problema	Tarefa	Risco ergonômico suspeito	Sugestões preliminares de melhoria
Interfaciais	• Alimentar as células robóticas; • Retirar a longarina do Dispositivo de montagem; • Distância entre acionamentos, permanência o tempo todo de pé.	• Torção do tronco; • Elevação dos braços acima do nível dos ombros; • Cansaço prematuro formação de varizes e dores lombares; • Flexão lombar; • Flexão cervical.	• Alimentação direta na célula robótica. • Inserção de um cabo guia evitando que o operador tenha de elevar o braço; • Uso de apoio elástico para coluna.
Informacionais e visuais	• verificar rotina da operação usando o pendant; • Corrigir trajeto da tocha de solda.	• Deficiência detecção, discriminação e identificação das informações; • Perda de tempo na tomada de decisão.	• Corrigir a programação quanto a ocorrência de falhas. • Verificação da sequência apresentada pela programação.
Acionais e Manuais	• Corrigir trajeto da tocha de solda.	• Choques de partes do corpo e esmagamentos das mãos.	• Reposicionar manípulos evitando que o operador entre na célula.
Cognitivos	• Verificar rotina da operação usando o pendant.	• Dúvidas sobre a operação.	• Reavaliar a programação empregada.
Movimentacionais	• Acessar e retirar componentes das células.	• Desgaste prematuro dos operadores.	• Reavaliar mudança de posição dos suportes de alimentação.

Sistema Homem-Tarefa-Máquina 1			
Deslocamentos	Conduzir longarina até a próxima fase.	Desgaste prematuro dos operadores; Deambulações.	Aproximar local em que se encerra a tarefa da célula.
Acessibilidade	• Acessar o interior da célula; • Subir e descer degrau entre uma célula e outra; • Dificuldade por parte dos operadores em executar as ações de correção de trajeto da solda.	• Riscos de choques de partes do corpo, tropeções e quedas; • Risco de queda da cortina sobre as costas dos operadores; • Risco de queda dos operadores próximo a célula.	• Ampliar e organizar espaço interno da célula robótica; • Alterar altura da célula mais alta em relação ao nível zero. Caso não seja possível reduzir altura do degrau para 180 mm; • Alterar sistema de controle de movimento entre robô e cortina de segurança.
Espacial / Arquitetural	• Deslocamento Através do corredor entre as células; • Ausência de iluminação no interior da célula; • Ausência de cortina de proteção contra respingos de solda e do flash provocado pela tarefa do entorno.	• Quedas e choques durante o deslocamento; • Exposição desnecessária dos operadores das células aos flashes e do fumo produzidos pelo operador do entorno.	• Organização dos equipamentos todos de um só lado evitando zig-zag; • Colocação de um ponto de luz no interior da célula para ajudar durante os ajustes necessários; • Colocação de cortina própria para solda; • Analisar a necessidade da colocação de exaustor.
Químico-Ambiental	• Lixamento da longarina no setor de acabamento	• Produção de aerodispersóides aço e ligas metálicas.	• Analisar quantitativamente a necessidade da colocação de exaustor.
Acidentários	• Vazamento de água junto a escada; • Disposição da cortina da célula robótica em local inadequado; • Óleo no piso superior, junto a célula 1.	• Quedas e choques durante o deslocamento; • Choque proveniente da posição inadequada da cortina; • Escorregões e impactos com outras partes do corpo.	• Aplicar a manutenção preventiva; • Possibilitar a cortina um acionamento diferente do robô permitindo a manutenção adequada; • Analisar o armazenamento dos componentes oleados e propor um coletor do óleo excedente.
Operacionais	• Atividades relacionadas a alimentação, manipulação e saída da longarina apresentam inadequações posturais.	• Lesões físicas permanentes; • Perdas de dias trabalhados; • Perda de rendimento operacional.	• O 1º turno já dispõe de rotatividade durante a jornada, verificar o parcelamento e adequá-lo ao ritmo da tarefa. • Avaliar a rotatividade e o parcelamento da atividade.

Quadro 15. Parecer Ergonômico SHTM 1.

7.5 DISFUNÇÕES DO SHTM 1

7.5.1 Análise Macroergonômica – Organização do Trabalho

O setor completo funciona com 17 operadores e a célula robótica tem 4 profissionais, atuando em 2 turnos. O 1º turno foi escolhido para o estudo da intervenção ergonômica (Tabela 6):

- jornada de 2ª a 6ª feira.
- 1º Turno entra às 5h30 e sai às 14h30 – com 1 hora para almoço;
- 2º Turno entra às 14h30 e sai às 23h30 – com 1 hora para jantar;
- os operadores do 1º turno não realizam rodízio e no 2º turno há rodízio;
- os operadores do 1º turno possuem o ensino médio e um deles possui capacitação técnica;
- 2º turno realiza rodízio.

Tabela 6. Análise Macroergonômica.

Célula Robótica - CRSL 01 e CRSL 02					
Número de operadores / célula	Número de operadores setor / total	Turno	Longarinas produzidas / pares	Número de deslocamentos executados	Total de deslocamentos / 8h
2	9	1	30 pares	22 deslocamentos / par produzido	660 deslocamentos
2	4	2	15 pares	11 deslocamentos / par produzido	330 deslocamentos

Para melhor compreensão da situação, podemos observar, com auxílio da vista superior (Figura 34), as posições e os principais deslocamentos indicados pelas linhas amarelas e setas executadas pelos operadores das células 01 e 02. A parte mais escura identifica o setor elevado que está a 400 mm acima do nível zero. Os degraus não possuem alturas regulares, variando entre 210 e 190 mm, além da dimensão ser superior ao recomendado, 178 mm⁴⁴, Dreyfuss (2005), a altura irregular obriga ao sobre-passo, podendo causar acidentes. A presença, por si só do degrau, pode ser um fator negativo para a área de trabalho. Entre outros fatos pode, ainda, estimular os operadores a “saltarem” do piso superior para o inferior; situação prejudicial ao sistema músculo-esquelético pelo impacto provocado em diversas junções do corpo, além do risco de queda e conseqüentes choques.

⁴⁴ A NR 11 (2008) prevê o espelho do degrau com altura máxima de 150 mm.

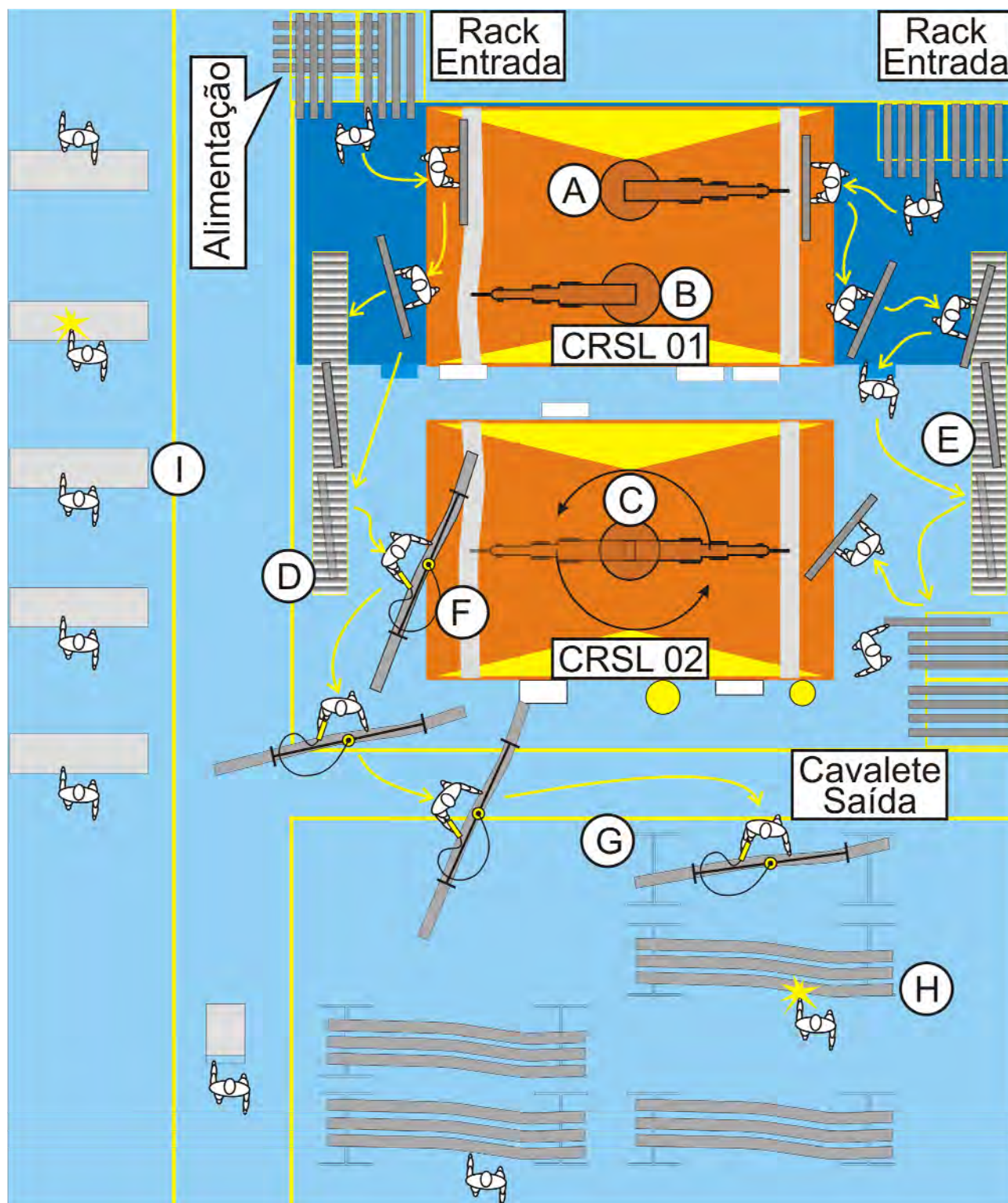


Figura 34. Planta de Situação.

Legenda

A	Robô – CRSL 01	F	Talha mecânica
B	Robô – CRSL 01	G	Cavalete - Saída
C	Robô – CRSL 02	H	Acabamento
D	Esteira por gravidade	I	Preparação de componentes
E	Esteira por gravidade		Alimentação dos racks

7.5.2 Fluxograma da Tarefa do Operador

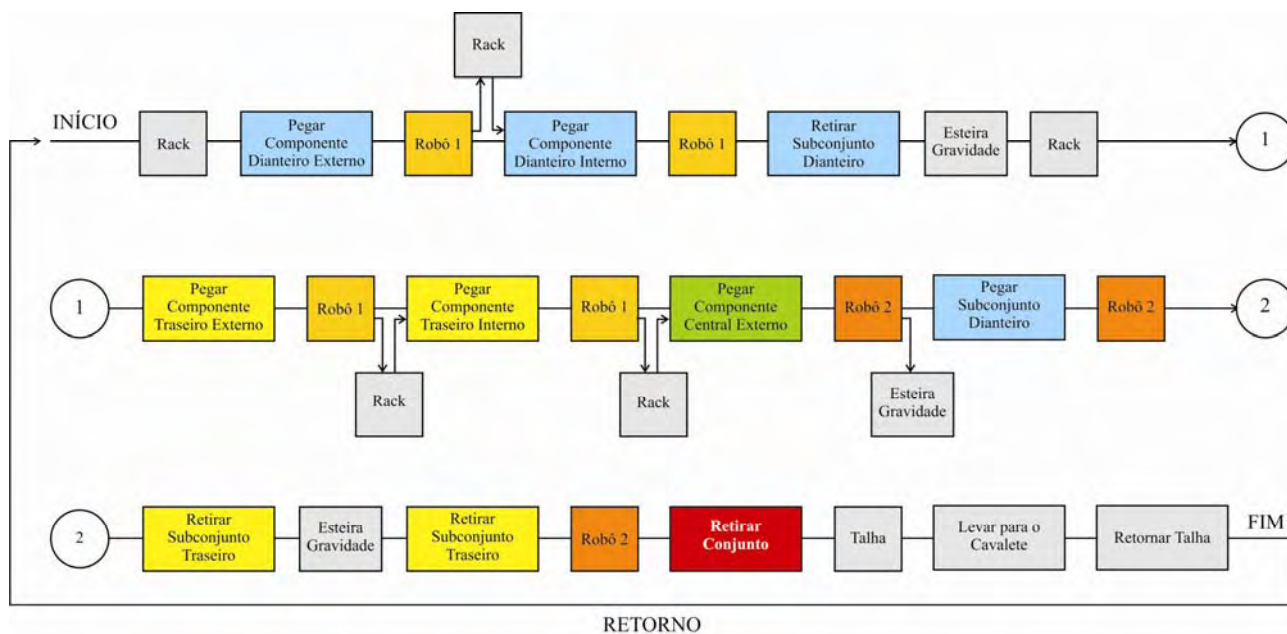


Figura 35. Seqüência da atividade realizada pelo operador.

Legenda

	Rack, Esteira, Talha e Deslocamentos.		Componente Central.
	Componente Dianteiro.		Robô 2.
	Robô 1.		Retirar Conjunto
	Subconjunto Traseiro.		

A exigência de grandes deslocamentos durante a tarefa chama a atenção. Assim, algumas fases poderiam ser interligadas, reduzindo a movimentação bem como o total de carga manipulada. Por exemplo, se entre as células CRSL 01 e 02 existisse uma interligação mecânica, dispensando a seqüência manual das seguintes atividades: retirada do componente, deslocamento até a esteira por gravidade, deslocamento pela esteira, retirada da esteira e posicionamento do componente no berço, reduziria de forma considerável, a carga e a deambulação imposta aos operadores e, conseqüentemente, um fluxograma com menos etapas (Figura 35).

7.5.3 Análise da Ambiência da Tarefa

A análise pressupõe os seguintes itens:

- a temperatura ambiente é aproximadamente de 24° C. O ambiente não dispõe de sistema de climatização;

- o ruído, mais intenso, é produzido pelas tarefas no entorno da célula, solda de projeção, teste e solda manual. O manuseio dos componentes para alimentar os *racks* também colabora para o aumento do ruído;
- presença de fumos de solda produzidos pela própria tarefa e pelo entorno;
- o espaço possui área adequada, mas o arranjo físico apresenta problemas;
- ausência de local próprio para repouso.

7.5.4 Posturas assumidas

Elevação dos braços além do nível dos ombros, figura c, aumenta a possibilidade de traumas nas articulações, exigindo maior esforço cardíaco para bombear o sangue para a extremidade das mãos (Quadro 16, figura b). Os ombros, em particular, apresentam alguns pontos vulneráveis como: tendão do músculo supraespinhoso, bolsas sinoviais ou bursas (ERGO, 2001, p. 5F).

A coluna, por sua vez, apresenta características de mobilidade conforme a seguinte relação (ERGO, 2001, p. 3C):

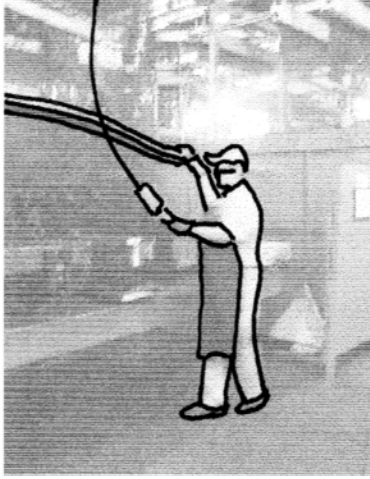
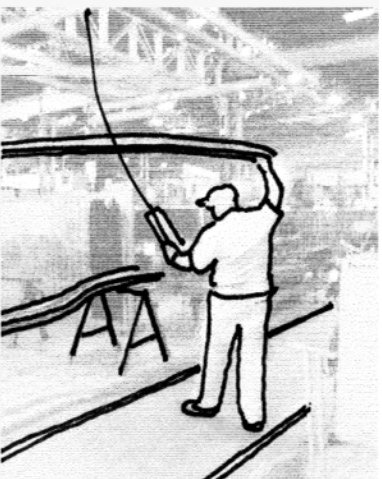
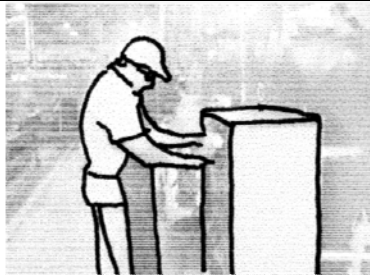
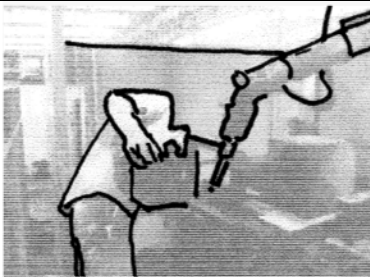
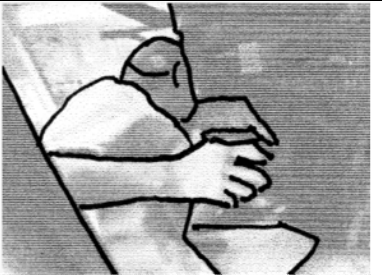
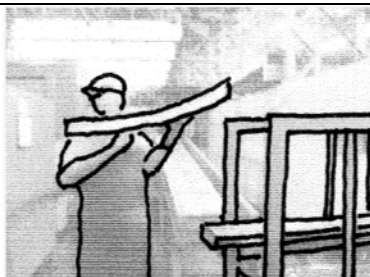
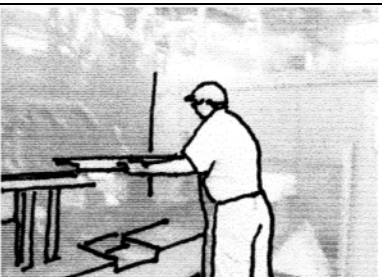
- Cervical - torção, flexão e extensão figura d (maior grau de mobilidade);
- Torácica - torção (Quadro 14, figura e, e i) (menor grau de mobilidade); e
- Lombar - flexão e extensão (Quadro 16, figura e, k, n, o e p) (razoável grau de mobilidade).

Algumas posturas assumidas na tarefa exigem do operador demasiado esforço, provocando uma situação indesejada para esta atividade. O (Quadro 16, Figura j) apresenta um movimento clássico de alavanca interpotente, expondo a musculatura encarregada pela flexão do antebraço sobre o braço. Nesta situação, a força necessária é 13 vezes maior. (ERGO, 2001, p.4F). Desta forma, os componentes que pesam, separadamente, entre 11,72 e 6,91 Kg, respectivamente, ao serem soldados passam a 18,63 Kg, exigindo maior esforço. Além disso, o operador realiza a flexão lombar, ultrapassando o valor de $< 20^\circ$, recomendado pelo (MANUAL TÉCNICO DE ERGONOMIA – GM,1999, p. 42).

A frequência de manuseio pode variar segundo a produção, mas a permanência do esforço foi medida em 7 segundos, tempo necessário para retirar o componente do berço de soldagem e deslocá-lo até a esteira de ação gravitacional, distantes,

aproximadamente, 2 m. A carga recomendada para tal situação seria de, aproximadamente, 17,55 Kg. Assim, existe uma diferença excedente de 1,08 Kg por peça, podendo causar prejuízos de diversas ordens aos ombros (MANUAL TÉCNICO DE ERGONOMIA – GM,1999, p. 37).

Para facilitar a visualização, apenas das posturas assumidas, as imagens são ilustradas, isolando-se, parcialmente, o que não está diretamente associado à tarefa no momento do registro fotográfico (Quadro 16).

Célula Robótica Solda a Ponto Longarina 01 – CRSL 01 e CRSL 02		
		
(a) Elevação dos braços 1.	(b) Elevação dos braços 2.	(c) Elevação dos braços 3.
		
(d) Flexão cervical.	(e) Extensão lateral e torção do tronco.	(g) Constrangimentos posturais.
		
(h) Flexão cervical.	(i) A torção do tronco	(j) Flexão lombar.

Célula Robótica Solda a Ponto Longarina 01 – CRSL 01 e CRSL 02


Quadro 16. Posturas assumidas na atividade em destaque.

7.5.5 Diagnóstico Ergonômico do SHTM 1

Esta intervenção ergonômica tem por intenção identificar os principais problemas de ordem ergonômica que enfrentam os operadores de células robóticas. Não poderá, portanto, de forma imperativa, defender os seus diagnósticos, pois para tanto, precisaria que os operadores fossem ouvidos a respeito dos pontos identificados e criticados. Contudo, para se evitar constrangimentos nas empresas, os operadores foram inquiridos a comentar os seus ambientes profissionais sem emprego de quaisquer procedimentos que pudessem provocar e estimular a dúvida quanto ao próprio ambiente de trabalho, ou, que, ainda, pudessem ser considerados, pelo próprio funcionário, como documentos capazes de prejudicá-lo.

Como diagnóstico podemos dizer que: os operadores apresentam grande volume de deslocamento, torção e elevação do tronco e manuseio de cargas. Estas são as principais ocorrências posturais percebidas. Contudo destaca-se a constante presença do operador no interior da célula, sem a participação de outro operador (anjo da

guarda), do lado externo, acompanhando sua ação. O comportamento descrito deve ser reavaliado, uma vez que, o operador que permaneceu, no lado externo da célula, pode não perceber a presença do colega no interior e tomar uma decisão qualquer que possa colocar em risco o operador que está no interior da célula robótica. O interior da célula não apresenta espaço apropriado para um deslocamento seguro. É repleto de interferências sobre o piso e possui muitos elementos de máquina que podem produzir perfurações, caso haja um impacto provocado por queda, entre outros motivos. Os operadores deixam de utilizar as portas laterais disponíveis e acessam o interior da célula pela parte frontal. Ou seja, o operador precisa descer e passar por um espaço estreito, que oferece riscos à tarefa a ser executada no interior da célula. O entorno da célula do robô 1 está elevado 400 mm em relação ao próprio robô e aos postos do entorno, exigindo o deslocamento vertical para acessar o interior. É importante destacar a existência dos riscos elétricos capazes de provocar a morte instantânea dos operadores. Os robôs, geralmente, recebem voltagens na ordem de 440 V, passando pelo transformador é reduzida para 380 V para alimentar o painel de controle, que por sua vez, ajusta a voltagem para diversas saídas como 24, 110 e 220 V. Mesmo com a existência de calhas elétricas blindadas, no interior da célula, pode ocorrer uma falha durante uma atividade, como por exemplo a manutenção e por consequência o acidente. Segundo Iida (1990), “[...] torna-se praticamente impossível ou anti-econômico aumentar a confiabilidade além de um certo limite. Isso significa dizer que a confiabilidade de 100% só existe teoricamente”. “[...] um certo grau de risco é inerente à operação de qualquer sistema”.

Pode-se perceber que a célula robótica apresenta certas inadequações quanto ao espaço arquitetônico, bem como no desenvolvimento da tarefa obrigando, o operador, a assumir posturas prejudiciais. Por fim, a célula robótica apresenta um potencial de riscos quando os aspectos de segurança não são previstos respeitados ou praticados.

7.5.6 Registro Comportamental da Tarefa

Os operários envolvidos na tarefa devem produzir, diariamente, um número estimado de conjuntos. O volume solicitado é em função da demanda requerida pelo cliente e desta forma, durante os 2 turnos, os operadores devem atender à solicitação .

Em média, 30 pares são produzidos durante o 1º turno e 15 pares no 2º turno, (Tabela 7).

A situação encontrada apresenta grande quantidade de deslocamento e manipulação dos componentes, além dos esforços cognitivos necessários a ativação dos robôs, bem como eventuais paradas para correção de trajetória, ou para o “descolamento” do cordão de solda do componente.

O peso médio de um conjunto, após a montagem, é de 40,08 Kg divididos em 6 componentes, a saber:

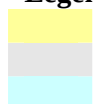
- Componente Externo Dianteiro – Lateral direita. 11,72 Kg
- Componente Interno Dianteiro – Lateral direita. 6,91 Kg
- Componente Central Interno – 3,47 Kg
- Componente Central Externo – 4,60 Kg
- Componente Interno Traseiro – 8,62 Kg
- Componente Externo Traseiro – 4,76 Kg

Ao final do dia, um operador do 1º turno, deverá ter produzido 30 pares, meta encontrada durante as pesquisas, ou seja, um conjunto a cada 8 minutos.

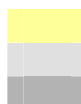
Tabela 7. Fases da tarefa.

Componentes	Atividades	Tempo / s	Risco Ergonômico	Cargas Deslocadas Kg	Número de deslocamentos com e sem carga	Peso deslocado Subtotal Kg
Dianteiro interno e externo	Colocar e retirar e componente do <i>rack</i> e colocar no dispositivo de montagem.	5	Rotação e Flexão do tronco para frente; Antebraço a 90°.	11,72	01	37,26
		5		0	01	
		5		6,91	01	
		5		18,63	01	
Traseiro interno e externo	Colocar e retirar componente do <i>rack</i> e colocar no dispositivo de montagem.	5	Rotação e Flexão do tronco para frente; Antebraço a 90°.	8,62	01	26,76
		5		0	01	
		5		4,76	01	
		5		13,38	01	

Componentes	Atividades	Tempo / s	Risco Ergonômico	Cargas Deslocadas Kg	Número de deslocamentos com e sem carga	Peso deslocado Subtotal Kg
Central interno e externo	Retirar componente do rack e colocar na esteira por gravidade e armazenar no rack novamente	5	Rotação e Flexão do tronco para frente; Antebraço a 90°.	3,47	01	8,07
		5		0	01	
		5		4,60	01	
		5		0	01	
Colocar subconjunto dianteiro	Retirar componente da esteira por gravidade e colocar no dispositivo de montagem	5		18,63	01	18,63
Colocar subconjunto traseiro	Retirar componente da esteira por gravidade e colocar no dispositivo de montagem	5		13,38	01	13,38
Retirar conjunto completo	Retirar conjunto montado utilizando a talha mecânica	12				
Tempos totais de deslocamento					minutos	
1 lado					1,37	
1 lado sem carga					0,53	
1 lado com carga					0,91	
1 ciclo completo					8	
30 lados					480	
Cargas totais manuseadas					Kg	
1 conjunto deslocado					104,10	
carga deslocada / dia					3.123	
carga deslocada / mês – (22 dias úteis)					68.706	
carga deslocada / ano					824.472	

Legenda

Componente Dianteiro.
Componente Traseiro.
Componente Central



Colocar Subconjunto Dianteiro
Colocar Subconjunto Traseiro
Retirar Conjunto Completo

7.5.7 Recomendações Ergonômicas

Faz parte da projeção ergonômica e tem por objetivo apresentar propostas que mitiguem os problemas encontrados no decorrer da Intervenção Ergonomizadora. Detalhar os possíveis arranjos segundo Moraes e Mont'Alvão (2000) quanto a: conformação das interfaces dos subsistemas, componentes necessários às atividades, componentes instrumentais, informacionais, acionais, entre outros. Assim, as recomendações são:

- oferecer aos operadores uma nova maneira de alimentar as células, evitando o manuseio e as atuais posturas assumidas nesta tarefa. Considerar a possibilidade de alimentar automaticamente;
- trajetos de acesso à tarefa devem estar desimpedidos, ou organizados de tal forma, para não prejudicarem o desempenho da ação, bem como evitar acidentes
- O trabalhador apresenta um desgaste físico muito mais intenso quando é obrigado, pela requisição da tarefa, elevar os braços acima do nível dos ombros. Assim, sugere-se que alterem o mecanismo da talha mecânica de tal forma a não requerer mais a elevação do braço do operador;
- falhas eletrônicas colocam uma célula robótica em risco, mesmo que o problema ocorrido seja, apenas a desorientação da ferramenta no cumprimento da tarefa. O risco é iminente, pois, a cada processo de correção do trajeto, o operador é obrigado a entrar na célula para acompanhar o processo. No interior da célula podem acontecer choques com as quinas vivas, tropeços e impactos do próprio robô. Propõe-se que o interior da célula seja revisado quanto à organização dos elementos que compõem o sistema, além de reavaliar a programação eletrônica, bem como o desenho das peças de forma a reduzir a participação constante do operador junto ao robô;
- o sistema de compressão no interior da célula do robô 1 apresenta um vazamento e, coincidentemente, está muito próximo do degrau que conduz ao nível zero. Além dos possíveis prejuízos ao sistema, existe o risco direto de

escorregões e quedas por parte dos operadores. Requisitar manutenção em caráter de urgência para evitar quedas.

- o *rack*, no qual ficam armazenados os componentes, não possui um sistema para recolher o lubrificante que escorre do material armazenado. Assim, o resíduo vai diretamente para o piso metálico. Consequentemente o risco de se escorregar é muito grande. Prover os *racks* com sistemas de coleta do óleo usado como antioxidante dos componentes metálicos;
- o interior das células não possui iluminação adequada às tarefas que ali se realizam como ajustes de coordenadas e manutenção. A redução da iluminação é mais percebida quando os operadores, para realizarem ajustes nos componentes de montagem, necessitam trabalhar com a cortina de cor verde escura, que é abaixada sobre as próprias costas. Assim, deve-se prover um sistema de iluminação para o interior da célula;
- os operadores acessam o robô pela parte frontal, onde está o componente de montagem. O local acessado é incorreto e o ato inseguro pode trazer problemas para o operador. Existe uma passagem com intertravamento na lateral da célula, mas não é utilizada, provavelmente, por exigir mais deslocamento (custos humanos). Ou seja, se o operador tem a possibilidade de inibir os sistemas de segurança e reduzir a distância para alcançar os objetivos, entrando pela parte frontal, certamente isto acontecerá, segundo Dejoy (1999), pelo fato de existir uma confiança excessiva e pela disponibilidade de se executar a ação. Soma-se a isto a ausência de sinalização própria que identifique tal postura como uma atitude proibida. Reorientar os operadores sobre os riscos que podem surgir se continuarem acessando o robô de forma incorreta, prover um sistema de segurança com níveis de permissão de tal maneira que o acesso pela parte frontal seja realizado na presença de no mínimo dois operadores⁴⁵, Etherton (1988), e propor uma sinalização alertando para os possíveis riscos do setor.
- quando uma atividade expõe os envolvidos com a tarefa a esforços biomecânicos que possam prejudicar o sistema músculo-esquelético, esta

⁴⁵ *Buddy System* – implica em utilizar dois operadores, de maneira que um garanta a segurança do outro.

deve ser balanceada através de um rodízio alternando os operadores de acordo com os requisitos psíquicos, cognitivos ou musculares. Por exemplo, o operador da célula robótica deveria ser substituído por outro que estivesse atuando na verificação das longarinas. Assim, o grupo muscular exigido teria tempo de se recompor. Caso haja impossibilidade desta substituição, seria interessante, pelo menos, que os 2 operários da célula robótica envolvidos na tarefa, alternassem de lado, compensando a musculatura (ERGO, 2001, p.15 F);

- faz parte do setor de montagem algumas tarefas que podem prejudicar não só o operador envolvido diretamente com a tarefa, mas todas as pessoas que compartilham o mesmo ambiente. Exemplo de inadequações encontradas no ambiente e no seu entorno: fumos de solda, fagulhas, brilho excessivo e ruídos. Para reduzir os problemas sugere-se o emprego de exaustores, cortinas opacas e barreiras sonoras.

7.6 AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DOS CUSTOS HUMANOS NA TAREFA

7.6.1 Explicitação dos Constrangimentos

Para realizar a quantificação dos esforços impostos na tarefa dos operadores que atuam junto a célula robótica será empregado o Índice de Intensidade: método para analisar os riscos e desordens dos trabalhos das extremidades superiores distantes⁴⁶ desenvolvido por Moore e Garg (1995), e modificado por Ergo (2001). O critério consiste em estabelecer fatores quantitativos dos esforços realizados em acordo com a intensidade, duração e frequência dos punhos e das mãos. A Ergo (2001) apresenta uma modificação do critério de maneira a atender a quantificação dos esforços impostos ao ombro e a coluna também.

O Critério de J. Steven Moore e Arun Garg desenvolvido em 1995 tem sido testado e re-testado por pesquisadores e pelos próprios idealizadores e os resultados têm apresentado alto nível de validação e repetição, convalidando a eficiência da ferramenta (STEPHENS, et. al. 2006, p. 280). A modificação proposta por Ergo

⁴⁶ *The Strain Index: method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders.*

(2001) inclui, além da mão e punho, análise quantitativa dos ombros e coluna permitindo, desta forma, que seja aplicada ao presente estudo, como mais um meio de identificar os riscos a que se submetem os operadores envolvidos em atividades com robôs.

O Índice de Intensidade de Moore e Garg (1995) é composto pelos seguintes itens:

- Fator de Intensidade de Esforço;
- Fator de Duração de Esforço;
- Fator de Frequência de Esforço
- Fator de Postura da Mão, Punho - Ombro e Coluna. Item sugerido por Ergo (2001),
- Fator de Ritmo de Trabalho;
- Fator de Duração do Trabalho;
- Valores

Vale destacar que o instrumento proposto por Moore e Garg (1995) utiliza alguns adjetivos de intensidade para realizar a classificação do esforço, postura, ritmo e do próprio resultado. E, algumas dessas classificações apóiam-se no comportamento demonstrado pelo operador a um determinado estímulo externo. Ou seja, como reação à tarefa, o operador demonstra, através das expressões e das posturas assumidas, a intensidade da atividade. Lembrando que estudos sobre os sentidos, alterações bioquímicas e comportamentos biomecânicos já são alvos de pesquisas como as propostas por Rani e Sarkar (2005), apresentados nesta tese. O instrumento utiliza uma progressão aritmética capaz de expressar, através do aumento dos valores, o que foi identificado como problema ergonômico.

Para validar a ferramenta como forma de identificar problemas ergonômicos em uma célula robótica será considerado o SHTM 1, anteriormente, estudado no Registro Comportamental da Tarefa.

7.6.2 Quadro dos Custos Humanos – Físicos

A partir das observações em campo e através dos registros fotográficos, percebem-se as posturas exigidas durante a atividade (Quadro 16, Figura a, i e j),

respectivamente: elevação dos braços com manuseio de carga, torção do tronco e supinação do antebraço com carga e flexão lombar, $> 20^\circ$, com afastamento dos braços em relação ao eixo do corpo, ampliando o esforço em função do momento. Todas estas demandas expõem o operário a um desgaste prematuro em sua jornada de trabalho, além da possibilidade do surgimento de problemas permanentes, principalmente na articulação escápulo-umeral com maior predisposição nos operários com idades a partir dos 30 anos (ERGO, 2001, p. 5F)

Tabela 8. Intensidade de Esforço, Moore e Garg (1995).

Fator	Classificação	Caracterização	Valores	Resultado
Fator de Intensidade de Esforço – FIE	Leve	Tranquilo.	1	
	Algo de pesado	Percebe-se algum esforço.	3	
	Pesado	Esforço nítido; sem mudança de expressão facial.	6	
	Muito pesado	Esforço nítido; mudança de expressão facial.	9	
	Próximo ao máximo	Usa tronco e ombros; outros grupamentos auxiliares.	13	13

A tarefa estudada apresenta particularidades em relação ao deslocamento, pois o início do ciclo é junto ao *rack*, agarrando a mão em postura de oposição e flexão, manipulando, torção e flexão do tronco e deslocando, com carga, um dos componentes. Até o momento final em que o robô realiza a soldagem de todo o conjunto, o operador realiza diversas vezes movimentos de alto custo para o sistema muscular (Tabela 8). A partir daí, o deslocamento, a cognição e a postura elevada dos braços acima do nível dos ombros tornam-se os aspectos mais críticos. Contudo, para efeito de análise através do Fator de Duração de Esforços e de todo processo de aplicação do instrumento proposto por Moore e Garg (1995), será considerado o ciclo completo, incluindo o deslocamento final até o cavalete de acabamento.

Tabela 9. Requisição muscular em dado momento de tempo.

Fator	Classificação	Caracterização	Valores	Resultado
Fator de Duração do Esforço – FDE	$< 10\%$	Tranquilo.	0,5	0,5
	10 – 29%		1,0	
	30 – 49%		1,5	
	50 – 79%		2,0	
	$\geq 80\%$		3,0	

Para determinar o Fator de Duração de Esforço utilizou-se o ciclo da atividade que totalizou 8 minutos e a partir do tempo total de atividade diária - 480 minutos, faz-se uma relação entre estes valores. O resultado encontrado de 1,67% indica que a duração do esforço classifica-se no nível $< 10\%$ segundo Moore e Garg (1995), recebendo a pontuação de 0,5 conforme (Tabela 9).

Tabela 10. Cadência da tarefa para cumprir a meta.

Fator	Classificação	Caracterização	Valores	Resultado
Fator de Frequência de Esforço – FFE	<4 por minuto	Tranquilo.	0,5	0,5
	4 – 8		1,0	
	9 – 14		1,5	
	15 – 19		2,0	
	> +20		3,0	

A tarefa apresenta uma produção de 7,5 peças/hora o que perfaz 60 conjuntos completos, ou seja, 30 pares por operador (Tabela 10). Assim, o valor encontrado para medir a frequência de esforço é dado através da divisão do número de peças/hora pelo tempo de 60 minutos. Encontramos, então, o valor de 0,125 peças/minuto atingindo a menor classificação por frequência de esforço.

Tabela 11. Lesões por repetição podem surgir em função da postura assumida.

Fator	Classificação	Caracterização	Valores	Resultado
Fator Postura da mão, Punho, Ombro e Coluna – FPMPOC	Muito Boa	Neutro	0,5	
	Boa	Próximo do Neutro	1,0	
	Razoável	Não Neutro	1,5	
	Ruim	Desvio Nítido	2,0	2,0
	Muito Ruim	Desvio próximo dos extremos	3,0	

A partir da observação em campo e dos registros fotográficos pode-se perceber que as diversas posturas assumidas impõem riscos, conforme já relatado, entretanto, alguns detalhes merecem destaque como é o caso dos esforços que envolvem mão e punho (Quadro 13, Figura k5). Neste momento da tarefa a mão assume a posição de flexão, apoiando-se sobre o componente e, na mesma imagem, percebe-se que o punho mantém o controle da talha na posição, enquanto o botão de comando é acionado, ou seja, mão acima do nível do cotovelo e polegar em oposição, flexionando e estendendo para realizar ambas as tarefas de segurar e apertar o botão. Estas posturas indicam um desvio nítido (Tabela 11).

Durante a correção do percurso do robô na execução da solda, o operador necessita utilizar o controle manual para ajustar as coordenadas. Desta forma é requisitado, corriqueiramente, a manipulação e acionamento, simultaneamente, do controle. Neste caso, os punhos podem mudar de posição diversas vezes em função de se ajustar a melhor posição para execução da tarefa conforme pode ser visto na (Quadro 13, Figuras d1, d2, d3, b1, b2, b3, c1, c2 e c3). Quanto ao peso do *pendant*, > 2 Kg, não chega a ser um constrangimento em termos de deslocamento de carga. O manuseio impõe restrições posturais durante a execução da tarefa por exigir a flexão e extensão do polegar em oposição, além de retirar do operador o uso dos braços para se equilibrar, se necessário. Neste caso, também se percebe o desvio, nítido, (Quadro 13), da região do punho variando entre desvio radial e ulnar (ERGO 2001, p. 2F).

Tabela 12. Aumento de produção reflete no aumento do ritmo de trabalho.

Fator	Classificação	Caracterização	Valores	Resultado
Fator de Ritmo de Trabalho – FRT	Muito Lento	< = 80%	1,0	
	Lento	81 – 90%	1,0	
	Razoável	91 – 100%	1,0	
	Rápido	101 – 115% - apertado, mas ainda conseguindo acompanhar.	1,5	1,5
	Muito Rápido	> 115% - apertado e não consegue acompanhar.	2,0	

Quanto ao ritmo do trabalho transcorre de forma rápida em condições de se conseguir atingir a meta, contudo tentativas, no mesmo setor, para se aumentar a produção para 70 pares de componentes não foi atingido, demonstrando que a capacidade produtiva estava em seu limite. Desta maneira, assume a avaliação apertada, mas conseguindo acompanhar (Tabela 12).

Tabela 13. Número de horas trabalhadas por dia.

Fator	Classificação	Caracterização	Valores	Resultado
Fator de Duração do Trabalho – FDT	< 1 hora		0,5	
	1-2		1,0	
	2-4		1,5	
	4-8	Cansativo	2,0	2,0
	> 8		3,0	
Resultado Geral	FIE x FDE x FFE x FPMPOC x FRT x FDT			19,5

Quanto ao Fator de Duração do Trabalho obedece ao limite proposto para as atividades industriais, ou seja, 8 horas / dia. Recebendo, então o peso de 2,0 identificados como cansativo na Tabela 13.

Tabela 14. Parecer dos Custos Humanos.

Valores	Parecer
< 3,0	Baixo risco de lesões biomecânicas.
3-7,0	Duvidoso, questionável.
7,0	Decididamente, alto risco de lesão, tão mais alto quanto maior for o resultado da multiplicação.

Por fim, o resultado encontrado, apresenta o peso de 19,5 considerado um valor acima do previsto (Tabela 14) determinando a atividade como de alto risco de lesão para os operadores envolvidos na tarefa. A presença de um robô não impede, nem elimina, a possibilidade de existirem riscos humanos e, muitas das vezes, na tentativa de atender as necessidades técnicas requeridas para a instalação e bom funcionamento do robô, pode-se forçar o usuário, a assumir riscos.

A intervenção ergonômica teve papel fundamental nesta avaliação, pois analisou sistemicamente, identificando posturas e os custos humanos envolvidos. Montmoullin (1996) observa a diferença entre o trabalho prescrito e o real. O prescrito é o trabalho que se planeja e o real é o que realmente acontece no dia-a-dia de um operador. As diferenças entre o trabalho prescrito e real surgem durante a fase do planejamento e continuam a surgir ao longo das tarefas e seus ajustes para se atender a produção. Ou seja, a avaliação ergonômica deve realizar certificações sempre, enquanto o posto de trabalho estiver sendo utilizado pelo usuário. Como assunção, após a Intervenção Ergonomizadora, pode-se expor uma preocupação sobre a maneira em que as instalações robóticas, nas regiões pesquisadas, acontecem.

Várias inadequações quanto à instalação e uso das células robóticas foram levantadas no decorrer desta tese e algumas delas sugerem a existência de comprometimento de risco da atividade em relação aos operadores. Pode-se destacar como aspecto mais crítico, a ausência do projeto ergonômico numa das fases mais críticas, ou seja, durante o momento em que se planeja a viabilidade técnica e econômica do robô para uma linha de produção e também no período inicial do uso do equipamento.

7.7 PROJETAÇÃO⁴⁷ ERGONÔMICA DO SHTM 1

7.7.1 Proposta e Seleção de Configuração do SHTM 1 - Conceituação

Os riscos e impactos sobre os operadores deverão ser eliminados ou mitigados e, para resolver os problemas, é imperativo considerar as seguintes questões:

- atender às restrições espaciais;
- evitar o manuseio dos componentes instalando um sistema para movimentá-los. O sistema pode ser um balancim, suportado por trilho que permita o deslocamento sem o custo da carga sobre o operário (NR 17 Ergonomia, 1990, p. 217)⁴⁸;
- organizar todos os equipamentos que se encontram no setor especialmente aqueles que estão no corredor entre as células robóticas. A organização deve privilegiar o alinhamento dos equipamentos em vez de dispô-los de forma desalinhada (NR 12 Máquinas e Equipamentos, 1994, p. 107)⁴⁹;
- instalar um equipamento que permita ao operador, durante a operação da talha, controlar as oscilações provocadas pelo deslocamento da longarina, evitando a elevação dos braços;
- rever a programação do robô, eliminando qualquer comando que provoque a perda do controle do equipamento;
- substituir, ou realizar, manutenção na junta danificada do sistema de compressão no interior da célula robótica 1, solucionando o vazamento atual;
- para conservação dos componentes eles recebem um banho de óleo, todavia o excesso desse óleo escorre para o piso metálico. Deve-se reduzir o volume de óleo empregado no oleamento dos componentes e analisar, caso necessário, a instalação de bandejas coletoras sob os *racks* 9 (NR 12 Máquinas e Equipamentos, 1994, p. 107)⁵⁰;

⁴⁷ Segundo Moraes e Mont´Alvão (2000) Projetação é um termo associado a atividade de desenvolvimento do projeto ergonômico.

⁴⁸ Segurança e Medicina do Trabalho. São Paulo: Atlas, 40ª edição, 1998, p 217.

⁴⁹ Id., 1998, p.107

⁵⁰ Id., 1998, p.107

- a programação do sistema de segurança deve receber uma nova rotina de maneira que a neutralização dos sistemas de segurança, posicionados a frente dos componentes de montagem, só permitam o cancelamento após o desbloqueio da porta lateral da célula, obrigando o operador a dirigir-se até a porta lateral para realizar o desbloqueio. Assim o operador já estará próximo a porta e estimulado a utilizá-la em vez de entrar pela parte frontal, que oferece mais riscos. Instalar uma sinalização de segurança indicando a proibição de se adentrar à célula pela parte frontal;
- considerando os resultados encontrados no Quadro de Custos Humanos Físicos, o revezamento das funções, atualmente existente apenas no 1º turno, deverá ser estendido ao pessoal do 2º turno, também. Guimarães et al. (2002) destaca a importância da pausa durante a jornada, preferencialmente livre e de curta duração. Sugestão confirmada pelo documento da Assessoria e Consultoria em Saúde Ocupacional – ERGO que estabelece: se não houver a possibilidade do rodízio, deve-se, então, promover, preferencialmente, uma pausa de 5 a 10 minutos/hora (ERGO, p.15 F);
- barreiras devem ser instaladas como: cortina anti-ofuscamento, que evita a incidência do *flash* de solda diretamente sobre os olhos e barreira sonora para reduzir o ruído das máquinas. Atualmente, os operadores utilizam os protetores auditivos de espuma moldável com cordão. Esta prática protege a audição do operador, mas o setor permite a criação de barreiras sonoras coletivas em substituição aos sistemas individuais. As proteções coletivas devem ser empregadas, preferencialmente, em relação às individuais e caso a coletiva não atenda à exigência, deve-se empregar a redundância;
- instalar sinalizações que orientem os operadores sobre os riscos encontrados na célula robótica, no entorno imediato e ao redor de todo ambiente;
- instituir a ginástica laboral, permitindo que o corpo ajuste seu funcionamento orgânico para desempenhar atividades de esforço e desta forma, evitar que a musculatura sofra com acúmulo do ácido lático e a demanda pelo oxigênio seja insuficiente (IIDA, 1990, p. 276)

- prover um sistema mecânico para atuar como forma de transferir o componente trabalhado na célula 1 para a célula 2. Desta maneira algumas posturas inadequadas, assumidas pelo operador, deixarão de ocorrer; uma vez alterado, o sistema irá, prontamente, reduzir o ritmo da atividade, colaborando para melhor desempenho funcional do sistema e redução da fadiga uma vez que a pessoa fatigada tende a aceitar menores padrões de precisão e segurança (IIDA, 1990, p. 284);
- a talha mecânica deverá sofrer modificação de maneira a não exigir, do operador o controle de direção através dos braços, evitando-se, assim, a elevação do mesmo acima do nível dos ombros;
- o controle manual da talha deverá ser remoto, ou seja, o manuseio poderá ser feito sem a necessidade de se elevar o braço para controlar os acionadores. O controle, uma vez adaptado, deverá possuir alça, permitindo ajustá-lo junto ao corpo, dispensando a necessidade de segurá-lo e, simultaneamente, realizar os acionamentos;
- fornecer ao operador cinta para apoio lombar, reduzindo os impactos sobre esta parte da coluna. Durante a execução da tarefa, a parte lombar tem sido bastante sacrificada pelas torções e flexões, além de reagir aos esforços de manipulação de carga distante do corpo, situação encontrada na alimentação da célula 2 (Quadro 14, Figura a9).
- reduzir os esforços cognitivos da operação, substituindo, ou corrigindo a ferramenta de solda, atualmente empregada de maneira a se reduzir que o operador adentre à célula robótica e atue no reparo. Solucionando esta questão, reduzirão as posturas assumidas durante os acertos das coordenadas do cordão de solda e os riscos inerentes de se trabalhar no interior da célula.

8 PROBLEMATIZAÇÃO DO SHTM 2

8.1 RECONHECIMENTO DO PROBLEMA

A manutenção dos robôs industriais desperta duas questões: a primeira delas é a segurança e a outra é a confiabilidade (MUNSON, 1985, p. 723). Os binômios representam importante papel na obtenção da produtividade ótima e pela plena utilização dos equipamentos industriais sem oferecer riscos aos operadores. Llory (2002) propõe uma discussão a respeito da confiabilidade e segurança, sendo o homem o agente no contexto coletivo, identificando dois problemas fundamentais experimentados, na prática, pelos gestores industriais são eles:

- as formas organizacionais objetivadas a atender as requisições produtivas, especialmente as quantitativas (rendimento e produtividade) e a qualitativa;
- o gerenciamento da segurança dos empregados (operadores) e a confiabilidade das instalações, aumentando-se, assim, o controle sobre os riscos potenciais.

Segundo Llory (2002), quanto mais as exigências de produção aumentam, mais fragilizado fica o controle sobre os riscos. Esta colocação é bastante oportuna, especialmente quando se fala em automação e células robóticas, pois uma das premissas para se instalar um robô é exatamente a melhoria da qualidade trazida ao meio produtivo pelo sistema. Desta forma, pode-se assuntar sobre o atual desempenho das indústrias, na região do Vale do Paraíba e Sul Fluminense, sobre os aspectos de confiabilidade dos equipamentos e sobre o gerenciamento dos riscos.

Durante a pesquisa, em uma das empresas estudadas, houve a oportunidade de acompanhamento de uma célula robótica em situação de manutenção. Momento este indicado por Goossens (1991) como cenário passível de acidentes. A célula em manutenção é um sistema novo sem a validação final, por parte, da empresa contratante, ou seja, o sistema ainda estava em testes. Daniellou (2002b) destaca a importância de se organizar e programar as ações de manutenção, de maneira que se antevejam, de forma preventiva, todas as situações possíveis, seja por avarias ou por desgaste. Um dos problemas apontados por Daniellou (2002b) é a diferença, até

previsível⁵¹, no que diz respeito ao trabalho real e prescrito. Uma vez que, no trabalho prescrito a documentação sobre um determinado equipamento apresentará o procedimento operativo de manutenção de forma, quase que em condição laboratorial. Apresentando controle total das variáveis que serão encontradas, quando na verdade, a situação real coloca-se de maneira bastante adversa. Daniellou (2002b) diz ainda que “[...] As regras descritas no procedimento deverão ser adaptadas, ou por vezes desrespeitadas, para permitir a intervenção em condições reais. O profissionalismo dos operadores de manutenção será a melhor garantia da qualidade da intervenção [...]”.

Considerando os aspectos citados acima e a recente experiência brasileira no uso disseminado dos robôs, esta tese propõe um estudo mais detalhado a respeito do robô em manutenção, especialmente sobre as questões ergonômicas que envolvem todo o entorno que compreende sua célula.

Como a característica da manutenção não é a atividade em si para qual o sistema e todo conjunto do seu entorno foi preparado, a manutenção preocupa-se em solucionar algo que impede o sistema de alcançar a meta planejada. Geralmente, a dificuldade apresenta-se em vários níveis e alguns deles refletem diretamente sobre os operadores envolvidos na manutenção. Pelo fato da atividade de manutenção, muitas das vezes, ser inédita no sistema, parece apresentar-se como denomina Daniellou (2002b) “[...] uma zona desconhecida”. Este fato qualifica o sistema a tornar-se um risco, uma vez que o desconhecimento real de uma condição imprópria pode levar ao desvio da normalidade.

[...] Essas dificuldades são fontes de custos humanos, em termos de posturas, esforços, fadiga, exposição prolongada a riscos químicos ou físicos, riscos de acidentes. É também nessa zona intermediária pouco conhecida, que podem surgir riscos para a confiabilidade das instalações. Enfim, é provável que as dificuldades aí encontradas pelos interventores de manutenção se reproduzam no futuro, pois, se elas não forem analisadas, a experiência não dará retorno: oficialmente tudo terá corrido bem. (DANIELLOU, 2002b, p. 299).

É pertinente dizer que além dos problemas destacados por Daniellou (2002b) a manutenção de um sistema produtivo pode levar o processo ao desarranjo e o fato por

⁵¹ Previsível (nota do autor), pois mesmo a estrutura organizacional e de projetos tendo conhecimento, práxis e vivência de chão de fábrica sabe-se do distanciamento daquilo que é planejado e o realizado.

si só já conduz os envolvidos na manutenção a um estresse, por conta da possibilidade de perdas, dos riscos envolvidos entre outros fatores.

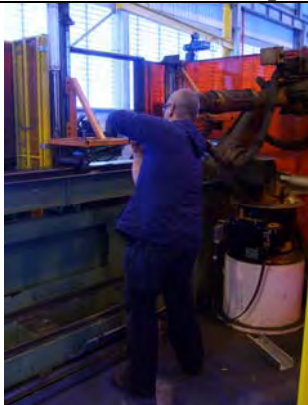
8.2 O SISTEMA-ALVO

Meister (1985) aponta a meta como ponto de partida para a análise da tarefa, assim, sem o prévio conhecimento daquilo que se pretende atingir com a tarefa e no comportamento do usuário, torna-se difícil compreender e interpretar o comportamento humano.

O sistema-alvo será um robô de corte à plasma que executa corte em componentes automotivos. Pode-se dizer que a precisão é a principal característica da atividade, pois a tarefa poderia ser executada por meio do cisalhamento obtido a partir da prensagem, ou do corte manual, empregando-se o maçarico sem, contudo atingir a qualidade e atender o tempo necessário à produção em escala. A manutenção foi requerida por conta de um dano na ferramenta, efetuador, que executa o corte. Este dano teria sido causado pelo equívoco do operador durante o ajuste das coordenadas da ferramenta ao objetivo da tarefa. É importante destacar que o incidente já havia ocorrido quando a pesquisa iniciou, assim, analisar as causas, ou a responsabilidade do ocorrido seja impróprio, mas algumas hipóteses podem ser discutidas. A primeira delas seria a ausência de treinamento e, por conseguinte a inexperiência do operador em atuar sobre o sistema, uma vez que o sistema é recente na empresa. A segunda hipótese seria o próprio sistema ter um arranjo físico que dificulte os ajustes técnicos.

8.3 INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA SHTM 2

Registro fotográfico da atividade de manutenção em célula robótica recém instalada. A manutenção foi provocada pela quebra da ferramenta de corte à plasma, após o impacto desta com a peça a ser cortada. Por causa do incidente o robô não permitia alteração de suas coordenadas, exigindo dos operadores posturas inadequadas. Observa-se, ainda, o arranjo físico com problemas interfaciais e diversos detalhes que interferem diretamente na segurança (Quadro 17).

Manutenção da Célula Robótica - Corte a Plasma		
a) Problemas Interfaciais A tarefa exige dos especialistas, em manutenção, posturas inadequadas como: elevação dos braços acima do nível dos ombros, torção do tronco, flexão e extensão cervical do pescoço.		
		
(a1 e a2) Dificuldade postural imposta pela parada emergencial durante a tarefa de ajuste do corte a plasma.		(a3) Limitações espaciais impostas pela quebra da ferramenta
b) Informacionais / Visuais Deficiência na detecção e discriminação das informações.		
		
(b1) Dificuldade para visualizar os comandos eletrônicos imposto pelo reflexo sobre o controle ⁵² .	(b2) Obstrução das informações.	(b3) Botão de parada danificado.

⁵² Pendant.

Manutenção da Célula Robótica - Corte a Plasma

c) Acionais: Manuais

Deficiência na detecção e discriminação das informações.



Sem foto

Sem foto

(c1) Constrangimento biomecânico.

d) Cognitivos

Prejuízos nos atos decisórios e estratégias para redução do problema.



(d1) Dificuldade na percepção da situação da célula robótica.



(d2) Manual do robô sem local adequado.



(d3) Sinalização inadequada em relação a norma nacional.

e) Deslocamentos

Excesso de deambulações e distâncias exageradas durante as fases da tarefa



(e1) Deambulações



(e2) Distâncias exageradas

Sem foto

f) Acessibilidade

Espaços exíguos para movimentação dos operadores entre os equipamentos e falta de espaço para organização de ferramentas e equipamentos.



(f1) Uso inadequado da controladora do fluxo de plasma servindo de móvel de apoio para ferramentas.



(f2) Equipamento de apoio em local impróprio obstruindo o botão de parada de emergência.



(f3) Acesso a célula robótica por um dos lados do posto de trabalho.

Manutenção da Célula Robótica - Corte a Plasma		
g) Espaciais / Arquiteturais		
Pontos críticos no entorno da célula robótica quanto à deficiência no fluxo, circulação, má aeração e iluminação,		
		Sem foto
(g1) Desorganização na alocação dos materiais em uso provoca a deficiência de fluxo e riscos de quedas.	(g2) Obstrução da caixa de energia da estação robótica.	
h) Químico-Ambientais		
Partículas, elementos tóxicos e aerodispersóides no ar.		
		Sem foto
(h1) Ausência de equipamentos de proteção individual – EPI.	(h2) Resíduos sobre o piso.	
I) Acidentários		
Falta ou inadequação dos sistemas de segurança nos equipamentos, manutenção insuficiente e inadequação das rotinas de trabalho.		
		
(i1) Piso escorregadio.	(i2) Botão de parada de emergência distante.	(i3) Hierarquia inadequada imposta a sinalização de segurança além da ausência na oferta da informação.
		
(i4) Ausência de local próprio para organização das ferramentas durante a rotina de manutenção.	(i5 e i6) Excesso de pessoas no interior da célula robótica e procedimentos inadequados para atingir os objetivos da manutenção.	

Manutenção da Célula Robótica - Corte a Plasma



(i7, i8 e i9) Ausência e emprego inadequado dos equipamentos de proteção individual.

Quadro 17. Inadequações encontradas durante a manutenção.

8.4 PARECER E SUGESTÕES ERGONÔMICAS DO SHTM 2

A instalação e a manutenção da célula robótica é a fase que apresenta os maiores riscos aos operadores. A informação, o entorno e o ajuste da tarefa a ser cumprida pelo robô segundo Sugimoto (2000) exigem de seus instaladores um maior grau de concentração em relação à segurança. Desta forma, através do parecer ergonômico (Quadro 18) podem-se analisar os riscos encontrados e também as propostas para reduzir os custos humanos na tarefa.

Parecer Ergonômico do SHTM 2			
Classe de problema	Tarefa	Risco ergonômico suspeito	Sugestões preliminares de melhoria
Interfaciais	• Substituição da ferramenta de corte a plasma; • Retirar a ferramenta danificada; • Instalar a nova ferramenta.	• Torção do tronco; • Elevação dos braços acima do nível dos ombros; • Cansaço prematuro formação de varizes e dores lombares; • Flexão lombar; • Flexão cervical.	• Reavaliação do ajuste do robô quando em posição de manutenção • Análise do sistema de câmbio da ferramenta • Uso de cinto lombar para a coluna.

Parecer Ergonômico do SHTM 2			
Informacionais e visuais	• Disposição do pendant; • Desorganização do local de trabalho – retalho sobre o sistema de comando do robô encobrendo parte dos botões; • Ausência de subsistemas do botão de parada de emergência.	• A presença de reflexo no display do pendant dificulta a discriminação e identificação das informações quando posicionado no suporte próprio exigindo mudança postural; • Perda de tempo na tomada de decisão. • A falta de subsistemas no botão de parada de emergência provoca o descrédito em relação ao funcionamento do sistema (confiabilidade).	• Alteração da disposição do pendant em relação a fonte luminosa; • Adotar procedimentos rigorosos quanto a organização e higiene do local de trabalho; • Corrigir a falta de subsistemas.
Acionais e Manuais	• Substituir a ferramenta de corte a plasma.	• Choques de partes do corpo e esmagamentos das mãos.	• Mudança da rotina do sistema de controle do robô.
Cognitivos	• Alçar vista a sinalização luminosa; • Acessar os procedimentos do robô - documentos; • Reconhecer e compreender a sinalização de segurança empregada.	• Dúvidas sobre a operação em andamento; • Latência entre o problema ocorrido e a tomada de decisão por ausência de local próprio para organização das instruções do robô; • Sinalização de origem internacional, diferente das normas propostas pela ABNT.	• Reavaliar a Posição do sistema de sinalização luminoso; • Definir local, visível e de fácil acesso, próprio para a documentação de apoio referente ao robô⁵³; • Padronização da sinalização conforme norma vigente e caso comprovada ineficiência da sinalização normatizada padronizar o pictograma adotado em todos os ambientes da empresa evitando confusões mentais a respeito das variações impostas.

⁵³ *Job aid*, Wogalter, DeJoy e Laughery (1999) – termo adotado para identificar as instruções sobre o uso de um determinado equipamento, normalmente posicionado junto ao mesmo.

Parecer Ergonômico do SHTM 2			
Deslocamentos	• Acompanhar e corrigir sistemas de alimentação; • Acionar o botão de parada de emergência.	• Desgaste prematuro dos operadores; • Deambulações desnecessárias.	• Providenciar sistema de apoio para redução dos impactos sobre os membros inferiores. • Instalar sistema de parada de emergência por cabos evitando deslocamentos e stress em caso situações críticas.
Acessibilidade	• Acessar o interior da célula; • Acessar a controladora do fluxo de plasma; • Acessar o botão de parada de emergência.	• Riscos de choques de partes do corpo, tropeções e quedas; • Risco de acidentes e perda de tempo em situação crítica; • Risco de choques e perda de tempo na localização do botão de emergência.	• Estabelecer sistema de segurança que impeça o acesso dos operadores; • Organizar as ferramentas em locais próprios; • Instalar sistema de parada de emergência por cabos evitando deslocamentos em situações críticas.
Espacial Arquitetural	• Deslocamento no entrono da célula; • Obstrução do painel elétrico de controle.	• Quedas e choques durante o deslocamento; • Latência entre o problema ocorrido e a tomada de decisão.	• Organização dos equipamentos em locais próprios. Reavaliação do sistema de saída dos componentes produzidos e o nivelamento do sistema de trilho com o piso. • Desobstrução do painel organizando os equipamentos no entorno da célula.
Químico-Ambiental	• Óleo, graxa e resíduos do corte a plasma.	• Contato da derme e das mucosas das vias respiratórias com resíduos provocados pelo corte a plasma.	• Usar EPI's como luvas, máscaras e óculos no interior da célula
Acidentários	• Vazamento no interior da célula • Botão de emergência com subsistema quebrado; • Sinalização de segurança insuficiente; • Ferramentas no interior da célula; • Substituir a ferramenta de corte	• Quedas e choques durante o deslocamento; • Choque elétrico proveniente da ausência do subsistema; • Acidentes de diversas ordens; • Riscos de acidentes e perda de produção.	• Aplicar a manutenção preventiva; • Substituir o botão danificado; • Replanejar a sinalização empregada segundo normas da ABNT; • Providenciar equipamento para a organização das ferramentas especialmente as empregadas no interior da célula.

Quadro 18. Parecer Ergonômico SHTM 2

8.5 DISFUNÇÕES DO SHTM 2

8.5.1 Análise Macroergonômica – Organização do Trabalho

Durante o período em que foi realizada a Intervenção Ergonomizadora, o setor em manutenção completava, aproximadamente, seis meses de existência. Vale comentar que até o momento da pesquisa, a célula robótica não havia sido validada pela empresa contratante. A tarefa presenciada foi a substituição da ferramenta de corte à plasma que durante o processo de aprendizagem chocou-se contra o componente a ser cortado, danificando-a.

A atividade de manutenção contou com a presença direta de dois especialistas em instalação e manutenção. Os profissionais qualificados pertencem à empresa fornecedora do robô que também presta serviços de assistência técnica e manutenção. O trabalho dos profissionais consiste em substituir a tocha de corte danificada. Compunham a equipe de manutenção externa empregados da fábrica usuária do robô, contudo, o número de participantes variava de acordo com as solicitações ou mesmo pelo interesse particular dos empregados da empresa contratante em acompanhar as ações da manutenção. Para efeito da Intervenção Ergonomizadora, os grupos envolvidos foram analisados conjuntamente. Llory (2002) destaca os riscos de se trabalhar com “coletivos multiprofissionais” em função dos desafios na organização do trabalho.

O regime de trabalho imposto aos membros da equipe de manutenção procura atender às chamadas das empresas - cliente, geralmente em caráter de emergência. Assim, a jornada de trabalho pode não seguir o regime convencional de prestação de serviço (Tabela 15):

- jornada de 2^a a 6^a feira e, excepcionalmente, incluindo feriados e fins de semana;
- a manutenção atua de forma a solucionar o problema do cliente no menor espaço de tempo possível, evitando, assim, perdas na produção.

Tabela 15. Análise Macroergonômica.

Equipe de manutenção	Turno	Trabalho desenvolvido	Número de movimentos executados	Total de movimentos e deslocamentos / 8h
2	1	1 substituição da ferramenta de corte a plasma.	Grande diversidade.	A quantidade de movimentos desenvolvidos durante a atividade varia de acordo com a posição em que o robô paralisou suas funções operativas.

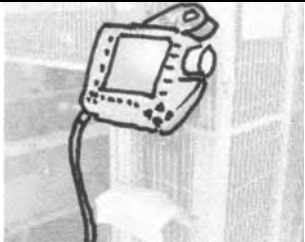
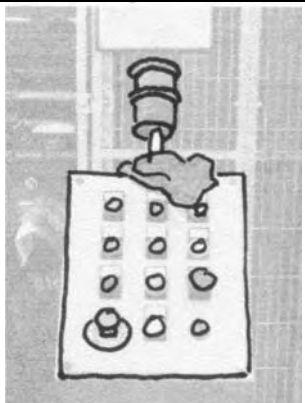
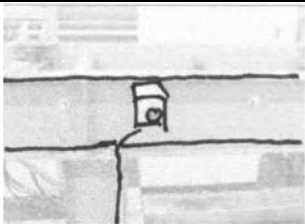
8.5.2 Análise da Ambiência da Tarefa

A ambiência apresenta:

- a temperatura ambiente é 24° C, aproximadamente. O ambiente não dispõe de sistema artificial de climatização;
- o ruído mais intenso é produzido pela organização dos componentes posicionados no entorno;
- o espaço físico é adequado, mas o arranjo físico apresenta problemas;
- ausência de local próprio para as paradas planejadas que permitam os operadores interromperem, por uns instantes, suas atividades e, assim, recuperarem parte dos desgastes físicos, ou mentais impostos pelas tarefas.

8.5.2.1 Posturas assumidas

Seleção dos registros fotográficos percebidos como os mais críticos durante a tarefa de manutenção.

Manutenção da Célula Robótica - Corte a Plasma		
a) Problemas Interfaciais A tarefa exige do especialista em manutenção posturas inadequadas como: elevação dos braços acima do nível dos ombros, torção do tronco, flexão e extensão cervical do pescoço.		
		
(a1) Elevação dos braços e torção do tronco	(a2) Flexão lateral do tronco e extensão do músculo esternocleidomastóideo (pescoço)	(a3) Flexão da coluna
b) Problemas Informacionais / Visuais Deficiência na detecção e discriminação das informações trocadas entre homem-máquina.		
		
(b1) Dificuldade para visualizar a comunicação eletrônica pela presença do reflexo no <i>display</i> do controle.	(b2) obstrução e latência no acionamento causado pela desorganização do ambiente.	(b3) Botão de parada de emergência sem um dos subsistemas que o compõe (botão acionador).

Manutenção da Célula Robótica - Corte a Plasma

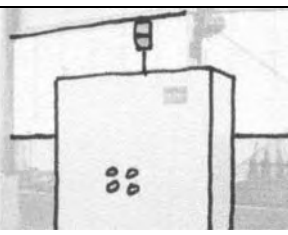
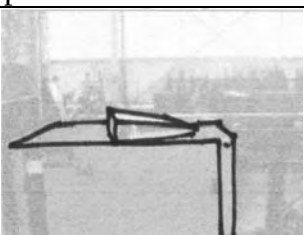
c) Acionais: Manuais

Deficiência na detecção e discriminação das informações.

	Sem foto	Sem foto
(c1) Constrangimento biomecânico		

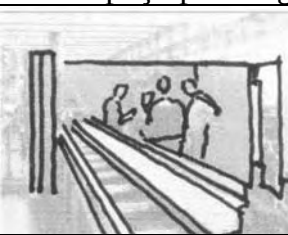
d) Cognitivos

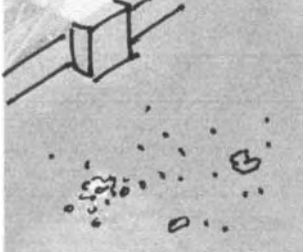
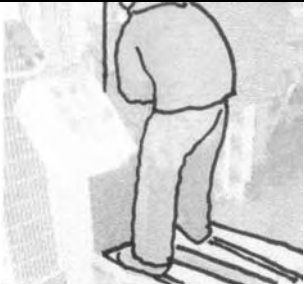
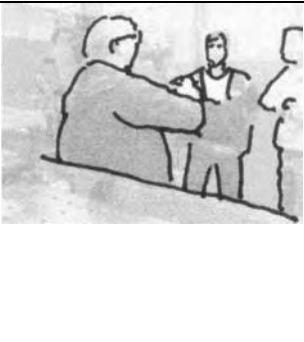
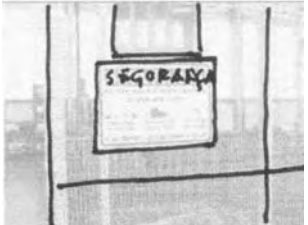
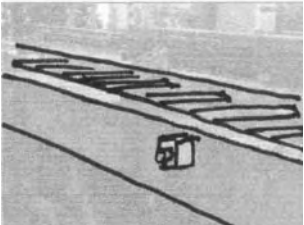
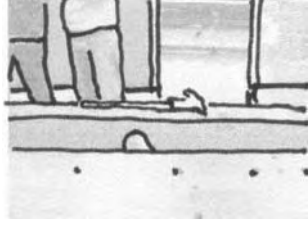
Prejuízos na tomada de decisão e estratégias para a solução dos problemas. A obstrução dos equipamentos pode determinar o sucesso de um acionamento ágil, emergencial. A importância de um determinado equipamento passa pelo seu reconhecimento como tal compreensão do sistema.

		
(d1) Dificuldade para alçar vistas ao sistema luminoso que define o status de funcionamento do robô.	(d2) Ausência de local próprio para a organização do manual do equipamento.	(d3) Sinalização não conforme com a norma da ABNT.

e) Acessibilidade

Espaços exíguos para movimentação dos operadores entre os equipamentos e falta de espaço para organização de ferramentas e equipamentos.

	Sem foto	Sem foto
(e1) Acidentes como choques e queimaduras provocadas pelo corte a plasma.		

Manutenção da Célula Robótica		
f) Químico-Ambientais		
Partículas, elementos tóxicos e aerodispersóides no ar.		
		Sem foto
(f1 e f2) Queimaduras, alergia e problemas respiratórios.		
g) Acidentários		
Falta ou inadequação dos sistemas de segurança nos equipamentos, manutenção insuficiente e inadequação das rotinas de trabalho.		
		
(g1 e g2) Choques elétricos, cortes, hematomas e contusões sérias.		(g3) Marcas das botas sinalizam a operação sobre piso escorregadio.
		
(g4, g5 e g6) Hematomas, descolamento da retina, perfurações dos olhos, perda da visão.		
		
(g7) A sinalização é ineficiente, pois apresenta insuficiência de informações.	(g8) Botão de parada de emergência em posição isolada exigindo, em caso de emergência grande deslocamento.	(g9) Ausência local adequado para organizar as ferramenta, em uso, durante a manutenção.

Quadro 19. Estudo das posturas assumidas durante a atividade de manutenção.

8.5.3 Diagnóstico Ergonômico do SHTM 2

Os operadores da equipe de manutenção pertencem a uma empresa terceirizada que comercializa o robô no Brasil e figura como uma das marcas mais encontradas no mercado nacional e internacional.

A manutenção atende de forma programada, ou emergencial, às solicitações e, neste caso, houve uma emergência, pois durante o ensinamento do robô, o operador que executava a tarefa equivocou-se por motivos desconhecidos quanto à distância a ser percorrida pela ferramenta e esta colidiu com a própria peça que seria cortada, paralisando o funcionamento na posição do impacto. Geralmente, os robôs dispõem de um comando programável que determina uma posição específica quando em manutenção, contudo, neste caso, não houve o atendimento ao comando, previamente definido, por se tratar de um incidente e não uma manutenção programada.

A posição em que se encontrava a ferramenta exigiu da equipe de manutenção posturas inadequadas (Quadro 19, Figuras a1, a2 e a3) à efetiva substituição do componente danificado. Todas as posturas registradas impõem alto grau de prejuízo biomecânico, especialmente as que exigem torção e flexão simultâneas do tronco. Além do esforço físico, a manutenção exige do operador alto grau de conhecimento de todos os sistemas que cercam o robô do controle eletro-mecânico aos sistemas de segurança, requerendo alto comprometimento dos envolvidos.

Segundo um dos operadores da manutenção, o mercado brasileiro apresenta insuficiência de pessoal qualificado e que ele próprio confiaria em apenas um número bastante reduzido para executar tarefas de manutenção em robôs. Relata ainda, que: “[...] já soube de vários incidentes envolvendo o robô e o pessoal de manutenção [...]”. Távora e Caulliraux (2002), conforme apresentado nesta tese, apontam que o investimento no aprimoramento dos técnicos de manutenção têm sido o menor entre todos os outros. Assim, a perda da confiança nos companheiros de profissão parece ser justificável. Para fortalecer a importância deste profissional nas operações técnicas de manutenção Daniellou (2002b) diz que “O profissionalismo dos operadores de manutenção será a melhor garantia da qualidade da intervenção”.

A desobediência aos procedimentos básicos da segurança pode criar uma relação de desconfiança entre as equipes participantes, por exemplo: os envolvidos da equipe

externa e interna deixaram de usar os óculos de segurança (Quadro 19, Figuras g1, g4, g5 e g6). A recomendação para se utilizar óculos de segurança aparece na sinalização de advertência posicionada (Quadro 19, Figura g7) na grade de proteção da célula. O desrespeito aos procedimentos de segurança mais elementares pode ampliar a perda da confiabilidade nos serviços prestados. Além disso, “Os acidentes geralmente resultam de interações inadequadas entre o homem, a tarefa e o seu ambiente [...]” e assim, “[...] o acúmulo de falhas podem levar ao acidente” (IIDA, 1990, p. 333).

O controle manual⁵⁴ foi posicionado de maneira que a iluminação, proveniente da área envidraçada, projeta-se sobre o equipamento provocando reflexo, tornando a tarefa corriqueira de acionamento do robô, em algo mais penoso e perigoso. O reflexo exige do operador o manuseio e o acionamento, simultaneamente, o que seria desnecessário se o controle manual estivesse em posição adequada. Com a existência do reflexo impõem-se mais uma ação ao operador, bem como pode gerar um acionamento falho ou, ainda a compreensão falha da informação fornecida pelo controle. O problema descrito é proveniente da ausência de estudos ambientais e arquiteturais que poderiam prever problemas comunicacionais entre o homem e a máquina. Outro aspecto importante que merece destaque no diagnóstico é a ausência da higiene NR 12 Máquinas e Equipamentos (2009) na célula e em seu entorno, podendo ser percebida, praticamente, em quase todos registrados fotográficos. Vários equipamentos desorganizados ao longo do piso, obstruindo importantes acessos conforme indicado na NR 10 Instalações e Serviços em Eletricidade (2005). Como exemplo, destacamos o: armário de controle de energia (Quadro 19, Figura g3) e a presença de resíduos provenientes do corte à plasma sobre os equipamentos no interior da célula e no entorno, (Quadro 19, Figura f1).

As sinalizações de segurança apresentam diferentes tipos de falhas quanto a: conteúdo, representação pictórica e hierárquica. A inexistência de norma sobre sinalização em células robóticas é significativa neste caso, pois deixa uma lacuna importante na segurança dos operadores. Uma das sinalizações utilizadas na célula, mais especificamente sobre a chave de intertravamento na porta de acesso ao interior da célula, utilizou um pictograma, de origem estrangeiro, para indicar a proibição da

⁵⁴ *Pendant.*

entrada. O problema, necessariamente, não é o fato da ausência da compreensão, que por si só já seria o suficiente para não utilizá-la, mas o fato desta sinalização existir somente junto a célula robótica. Ou seja, a falta de padrão nos diversos setores da empresa pode levar a incompreensão da comunicação. Quanto à hierarquia (Quadro 19, Figura g7) percebe-se, claramente, o desconhecimento no tratamento a ser dado a uma sinalização de segurança. O fato está no posicionamento, destacado da placa do fabricante, em detrimento à placa de segurança, em segundo plano. Quando se planeja o uso de uma sinalização de segurança, alguns princípios devem ser obedecidos como, por exemplo: não provocar desatenção com informações sem importância em relação ao que se deseja informar. Outra questão importante, relativa ao posicionamento de uma advertência, é que ela deve ser posicionada junto ao principal local passível de riscos, aumentando, significativamente, sua eficiência (MATIAS 2002, p. 96) O que não ocorre neste caso.

Os fatores mais críticos, percebidos durante a atividade de manutenção, foram aqueles que parecem conduzir a um acidente iminente como a ausência dos EPI's, no posicionamento inseguro sobre o equipamento (Quadro 19, Figuras f1, g1, g2 e g4) entre outras.

Para concluir, Carballada (2002) apresenta os resultados de uma pesquisa sobre as intervenções de manutenção são elas:

- distanciamento entre a estrutura organizacional e os operadores envolvidos diretamente na atividade;
- soluções imediatas sem avaliações prévias são requisitadas aos operadores para permitir a execução da atividade em função de determinadas disfunções não estarem previstas pela organização;
- o custo humano é sem dúvida prejudicado pela pressão do tempo, pelo desempenho, pelos esforços físicos e mentais a habilidade de se lidar com várias tarefas ao mesmo tempo;

- descompromisso da estrutura organizacional que se baseia em critérios de desempenho, ignorando os custos humanos necessários e fundamentais⁵⁵ para se atingir as metas.

8.5.4 Registro Comportamental da Tarefa

Durante a observação da tarefa de manutenção percebeu-se que as posturas não são cíclicas e que tomar tempo para dimensionar os desgastes físicos e relacioná-las as posturas poderiam não representar as questões mais críticas. A Análise Ergonômica não tem a intenção de gerar críticas e deméritos para a tarefa, ou como apresenta Ferreira (2002) em sua análise, sobre a frase encontrada em um ambiente industrial, que dizia: ‘é proibido vacilar’ que, em outras palavras, pode ser compreendida como: é proibido ter dúvida, dificuldade ou ainda, impossibilidade. Pode-se e deve-se, sim, criticar fortemente o comportamento dos operadores de manutenção em relação ao descumprimento dos fundamentos básicos da segurança praticado em qualquer espaço industrial. Mas, devemos ter a clareza de avaliar o desempenho dos operadores, mediante às solicitações impostas por uma tarefa mal planejada, desde a sua implantação. A ação dos operadores da manutenção tenta sobrepor-se às dificuldades e, assim, atingir as expectativas da estrutura organizacional, que se espera deste contingente. A estrutura organizacional, neste caso específico, pode ser vista como dupla uma vez que os operadores devem superar a expectativa direta e indireta, ou seja, da sua própria empresa e da empresa contratante. Desta forma, a pressão mental sobre o operador é muito mais intensa e complexa, uma vez que a sensação de responsabilidade passa a ser dele próprio.

O comportamento da tarefa faz parte de um imbricado sistema social que se constitui em cada ambiente industrial. Ferreira (2002) diz que: “o ergonomista não pode desprezar a dimensão estrutural que comporta regras e regulamentos prescritos [...]” e ainda “[...] não pode ignorar a dimensão social da organização do trabalho que se caracteriza pela elaboração coletiva e histórica [...]”.

⁵⁵ Fundamentais (nota do autor), a estrutura organizacional assume, por vezes, o papel descompromissado para com o outro em função dos “objetivos maiores” justificado pela obtenção do lucro apoiado pela justificativa de se manter os postos de trabalho a qualquer custo.

8.5.5 Recomendações Ergonômicas

Lista de recomendações propostas:

- treinar e desenvolver as equipes internas para manutenção das células robóticas tem papel importante no desempenho do coletivo multiprofissional sugerido por Daniellou (2002b). Por vezes, ou na maioria delas, as equipes são compostas por diferentes profissões e profissionais e assim correm mais riscos de acidentes em função da qualidade de interação, e também do conhecimento que se espera de cada um. Treinar as equipes de automação é fundamental, principalmente quando se busca o crescimento seguro. Sugimoto (2000) evidencia o treinamento distinto de acordo com o conhecimento técnico de cada um, assim, os responsáveis por atividades externas à célula robótica, operadores que operam o controle manual e por fim, os que atuam via intervenção nos registradores;
- repensar o arranjo físico e o entorno é importante para a correção das situações inadequadas nas diversas caracterizações apresentadas. Como destaque à ausência de grade em um dos lados da célula robótica, pois apresenta vulnerabilidade. Organizar os importantes periféricos que se apresentam alocados em meio a insumos, ferramentas, dispositivos de emergência, entre outros objetos;
- prever as atividades de manutenção é uma forma de reduzir as futuras dificuldades e, desta maneira, controlar a maior parte das causas que poderiam se transformar em acidentes. Aumentar a qualidade da manutenção é diminuir a perda de produção seja ela emergencial, ou planejada;
- apoiar as equipes de manutenção própria e a externa, organizando-as e definindo o papel de cada uma delas durante as ações conjuntas. Desta forma, gerencia-se conflitos sociais e reduz os riscos de atividades, principalmente, quando a empresa externa permanece por pequeno período de tempo (DANIELLOU, 2002b, p. 300);
- evitar a sobrecarga de trabalho é uma boa estratégia para os operadores de manutenção de células robóticas, primeiro pelo alto grau de

comprometimento mental necessário, segundo as pesquisas mostram que a fadiga é um dos principais fatores que concorrem para reduzir a produtividade e, terceiro, mitigar os erros ou acidentes (IIDA, 1990, p. 286 - 287);

- permanecer menos tempo possível no interior da célula robótica durante a manutenção. (HELANDER, 1990, p. 129)

8.6 AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DOS CUSTOS HUMANOS NA TAREFA

Para realizar a avaliação dos custos humanos na tarefa de manutenção é realizada a análise de postura geral através da planilha para: Determinação Rápida dos Membros Superiores – RULA⁵⁶. Segundo Freivald (2006) a planilha RULA foi desenvolvida em 1993, na Universidade de Nottingham pelos pesquisadores McActamney e Corlett. A escolha desta ferramenta em relação ao estudo anterior, SHTM 1, justifica-se pela característica da atividade. No primeiro estudo, SHTM 1, a produção contínua exigia estudo do ciclo da tarefa e registro dos tempos, e no estudo SHTM 2, de manutenção, o que mais se destaca são as posturas inadequadas e esforços estáticos assumidos, pelo operador, para cumprir as tarefas.

8.6.1 Explicitação dos Constrangimentos

A RULA está organizada em dois grupos. O primeiro deles, Grupo A, é composto pela relação dos membros superiores, posturas assumidas e pela Tabela de Contagem A (*score*⁵⁷). O Grupo B, é composto pela relação postural do tronco e pernas e pela Tabela de Contagem B (*score*) que compreende a análise do pescoço, tronco e pernas. Após a identificação de cada uma das relações pertencentes aos grupos ambos os resultados devem sofrer um ajuste de acordo com a Tabela de Ajuste Carga (Tabela 21). Só então, os valores serão integralizados em uma única Tabela de Contagem Geral.

Os valores combinados identificam o nível do risco ou das ações que se apresentam durante uma tarefa. Assim, após a análise e obtenção dos resultados a estrutura organizacional responsável pelo setor poderá rever os aspectos evidenciados

⁵⁶ *Rapid Upper Limb Assessment – RULA*

⁵⁷ *Score – pontuação, resultado obtido.*

e tentar alterar a atividade regulando-a em função da postura física mais apropriada ao operador.

8.6.1.1 Grupo A - Tabela de Contagem A – Fig. a1

A primeira análise será realizada a partir da postura registrada no Quadro 19, Figura a1, durante a tarefa de manutenção. Sombreamentos nas tabelas indicarão os resultados parciais e finais.

Tabela 16. Resultado parcial da postura para ambos os braços.

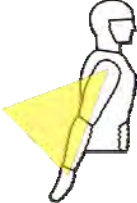
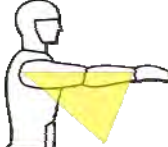
Grupo A Determinação rápida dos membros – BRAÇOS					
Pesos	1	2	2	3	4
Some 1 ombro elevado Some 1 abdução do braço					
Subtraia 1 Braço com apoio parcial / total					
Graus	20° 20°	20°	20° 45°	45°	90°
Resultados parciais Serão somados pontos dobrados pelo fato do uso de ambos os braços					3+3 +1+1=8

Tabela 17. Resultado parcial da postura dos antebraços.

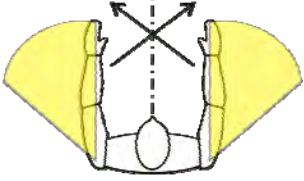
Análise de Postura Geral – RULA / Grupo A Determinação rápida dos membros - ANTEBRAÇOS			
Pesos	1	2	Cruzamento Sagital
Some 1 cruzamento sagital			
Graus	60° 100°	0°.. 100° + 60°	
Resultados parciais Serão somados pontos dobrados pelo fato do uso de ambos os braços			2+2+1=5

Tabela 21. Ajuste para Dinâmica e Carga – RULA.

Pesos		
+1	+2	+3
Postura principal / estática (>1/min) ou repetida (>4/min)	Carga estática ou cíclica de 2 a 10 Kg	Carga estática ou cíclica >10 Kg
Carga intermitente de 2 a 10 Kg		

Após a tabulação dos resultados através da Tabela 20 de Contagem A, obteve-se um resultado igual a 7 e a este peso deve-se somar o peso 1, proveniente do Ajuste para Dinâmica e Carga (Tabela 21), perfazendo um total de 8. O peso 8 será integralizado à Tabela 26 de Contagem Geral A+B, após a contabilização dos pesos obtidos no Grupo B.

8.6.1.2 Grupo B - Tabela de Contagem B – Fig. a1

As ferramentas previstas no Grupo B, pela ferramenta RULA, analisam as posturas assumidas pelo pescoço, tronco e pernas (Tabelas 22, 23 e 24). Os resultados parciais encontrados estão sombreados e depois serão transferidos para a Tabela 25 de Contagem B.

Tabela 22. Resultado da postura do pescoço

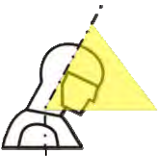
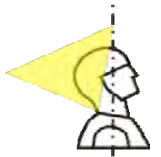
Análise de Postura Geral – RULA / Grupo B				
Determinação rápida dos membros - PESCOÇO				
Pesos	1	2	3	4
Some 1 Giro do pescoço				
Some 1 movimento lateral				
Graus	0° 20°	10° 20°	20° +	Extensão
Resultados parciais				1+1=2

Tabela 23. Resultado da postura do tronco.

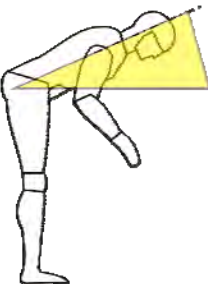
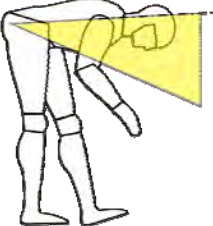
Pesos	1 Pessoa sentada com apoio	2	3	4
Some 1 Giro do tronco				
Some 1 movimento lateral				
Obs.: pessoa sentada corretamente (1).				
Graus	0°	0° 20°	20° 60°	60° +
Resultados parciais				1+1=2

Tabela 24. Resultado da postura das pernas.

Análise de Postura Geral – RULA / Grupo B Determinação rápida dos membros – PERNAS		
Pesos	1	2
	Pernas e pés bem apoiados em postura balanceada	Se NÃO
Resultados parciais		1

Tabela 25. Resultado Geral Grupo B.

Tabela de Contagem B												
Postura do Tronco (Pontuação)												
Postura do pescoço (Pontuação)	1		2		3		4		5		6	
	Pernas		Pernas		Pernas		Pernas		Pernas		Pernas	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

A Tabela 25 de Contagem B obteve um resultado 2 e a este peso deve-se somar ao resultado encontrado no Ajuste para Dinâmica e Carga (Tabela 21), a mesma

utilizada pelo Grupo A, perfazendo um total de 3, este peso, então, será integralizado à Tabela de Contagem Geral A+B (Tabela 26).

Tabela 26. Tabela de Contagem Geral A+B.

Membro Superior (A) (Pontuação)	Tabela de Contagem Geral						
	Tronco / Pescoço / Perna (B) (Pontuação)						
	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7

Tabela 27. Caracterização do resultado Fig. a1

Caracterização dos Resultados				
Pesos	1 ou 2	3 ou 4	5 ou 6	7 ou 8
Recomendações	Condições aceitáveis	Mudanças podem ser necessárias	Mudanças requeridas brevemente	Mudança requerida imediatamente
			6	

O resultado final da avaliação postural, segundo o critério da RULA, sugere a alteração em breve espaço de tempo (Tabela 27). Ou seja, existe a inadequação ergonômica.

8.6.1.3 Grupo A - Tabela de Contagem A – Fig. g4

Para fortalecer a hipótese dos aspectos críticos, durante a manutenção, será analisada, mais uma postura encontrada na célula robótica. A postura registrada no Quadro 19, Figura g4 mostra um empregado, da empresa contratante, atuando junto ao robô, momento em que assume uma postura inadequada para a condição biomecânica.

Tabela 28. Resultado parcial da postura dos braços.

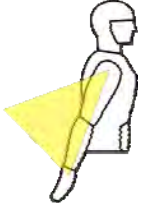
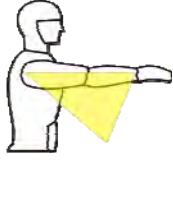
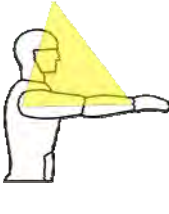
Grupo A Determinação rápida dos membros – BRAÇOS					
Pesos	1	2	2	3	4
Some 1 ombro elevado					
Some 1 abdução do braço					
Subtraia 1 Braço com apoio parcial / total					
Graus	20° 20°	20°	20° 45°	45°	90°
Resultados parciais					2 + 1 = 3

Tabela 29. Resultado parcial da postura dos antebraços.

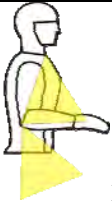
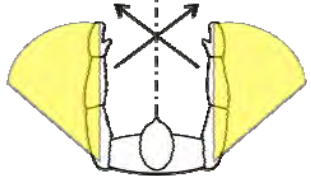
Análise de Postura Geral – RULA / Grupo A Determinação rápida dos membros – ANTEBRAÇOS			
Pesos	1	2	Cruzamento Sagital
Some 1 cruzamento sagital			
Graus	60° 100°	0°.. 100° + 60°	
Resultados parciais			1

Tabela 30. Resultado parcial da postura dos punhos.

Análise de Postura Geral – RULA / Grupo A Determinação rápida dos membros – PUNHOS						
Pesos	1		2		3	
Some 1 desvio radial ou ulnar		0°		15° 15°		15° 15°
Resultados parciais						1 + 1 = 2

Tabela 31. Resultado parcial quanto a torção dos punhos.

Análise de Postura Geral – RULA / Grupo A Determinação rápida dos membros – PUNHOS		
Pesos	1	2
Torção do Punho	Meio curso	Curso total ou próximo disso
Resultados parciais		1

Tabela 32. Resultado geral Grupo A.

Tabela de Contagem A Postura do Punho Pontuação									
Braço	Antebraço	1		2		3		4	
		Punho	Cotovelo	Punho	Cotovelo	Punho	Cotovelo	Punho	Cotovelo
1	1	1	2	1	2	1	3	1	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9
Tabela de Contagem A									7

Tabela 33. Tabela de Ajuste para Dinâmica e Carga – RULA.

Pesos		
+1	+2	+3
Postura principal / estática (>1/min) ou repetida (>4/min)	Carga estática ou cíclica de 2 a 10 Kg	Carga estática ou cíclica >10 Kg
Carga intermitente de 2 a 10 Kg		

A Tabela 32 de Contagem A obteve um resultado igual a 4, soma-se a este peso o resultado encontrado na Tabela 33 de Ajuste para Carga e Dinâmica, perfazendo um

total de 5. O resultado, então será transposto para a Tabela 38 de Contagem Geral A+B.

8.6.1.4 Grupo B - Tabela de Contagem B – Fig. g4

Resultados encontrados Grupo B – RULA.

Tabela 34. Resultado da postura do pescoço

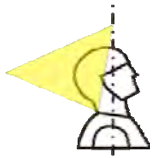
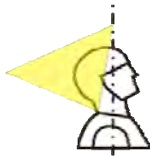
Análise de Postura Geral – RULA / Grupo B Determinação rápida dos membros - PESCOÇO				
Pesos	1	2	3	4
Some 1 Giro do pescoço				
Some 1 movimento lateral				
Graus	0° 20°	10° 20°	20° +	Extensão
Resultados parciais				3+1=4

Tabela 35. Resultado da postura do tronco.

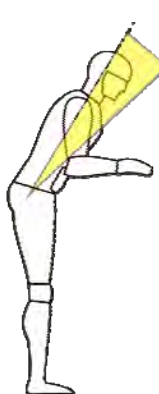
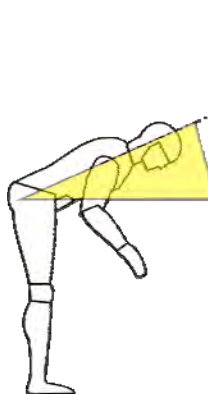
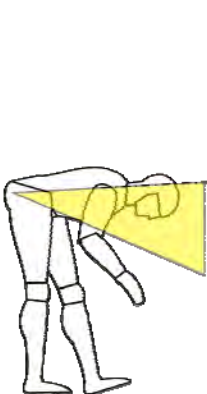
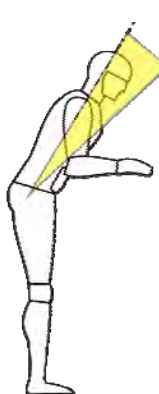
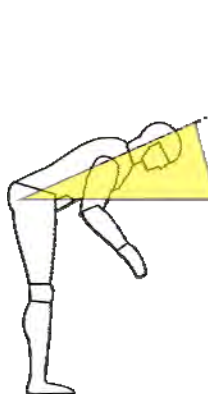
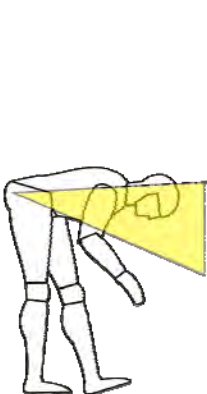
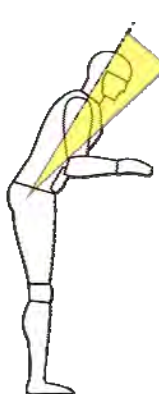
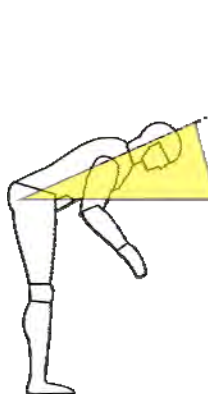
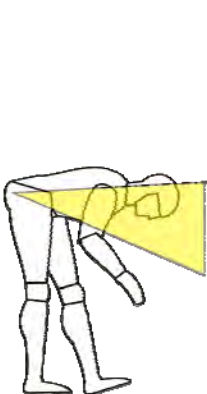
Análise de Postura Geral – RULA / Grupo B Determinação rápida dos membros - TRONCO				
Pesos	1 Pessoa sentada com apoio	2	3	4
Some 1 Giro do tronco				
Some 1 movimento lateral				
Obs.: pessoa sentada corretamente (1).				
Graus	0°	0° 20°	20° 60°	60° +
Resultados parciais				3+1=4

Tabela 36. Resultado da postura das pernas.

Análise de Postura Geral – RULA / Grupo B Determinação rápida dos membros - PERNAS		
Pesos	1	2
	Pernas e pés bem apoiados em postura balanceada	Se NÃO
Resultados parciais		2

Tabela 37. Resultado Geral Grupo B.

Tabela de Contagem B												
Postura do Tronco (Pontuação)												
Postura do pescoço (Pontuação)	1		2		3		4		5		6	
	Pernas		Pernas		Pernas		Pernas		Pernas		Pernas	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

A Tabela 37, Contagem B obteve um resultado 7 e a este valor deve-se somar o resultado encontrado no Ajuste para Dinâmica e Carga (Tabela 33), perfazendo um total de 8 este valor será transposto para a Tabela 38 de Contagem Geral A+B.

Tabela 38. Tabela de Contagem Geral A+B.

Membro Superior (A) (Pontuação)	Tabela de Contagem Geral						
	Tronco / Pescoço / Perna (B) (Pontuação)						
	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7

Tabela 39. Problemas na postura do operador.

Caracterização dos Resultados				
Pesos	1 ou 2	3 ou 4	5 ou 6	7 ou 8
Recomendações	Condições aceitáveis	Mudanças podem ser necessárias	Mudanças requeridas brevemente	Mudança requerida imediatamente
				7

O resultado final da avaliação postural, segundo o critério da RULA, foi a sugestão de se alterar, imediatamente, a condição do trabalho apresentada na Tabela 39.

Ambas as posturas estudadas, segundo os critérios propostos pela RULA, identificaram que existem prejuízos biomecânicos para os operadores. Desta forma, há confirmação das hipóteses levantadas sobre as condições inadequadas de trabalho durante a manutenção da célula robótica.

8.7 PROJETAÇÃO ERGONÔMICA DO SHTM 2

8.7.1 Proposta e Seleção de Configuração do SHTM 2 - Conceituação

- oferecer à equipe de manutenção condições apropriadas para desempenhar as tarefas de forma legal, conforme previstas no Decreto Legislativo Parte III artigos, 8, 9 e 10⁵⁸
- repensar o arranjo físico, prevendo situações críticas, especialmente aquelas que exigem maior liberdade à ação corporal humana no desempenho da tarefa;
- selecionar, adequadamente, os fornecedores considerando suas experiências e capacidades técnicas NR 11 Máquinas e Equipamentos (2008);
- prever as possíveis atividades de manutenção de maneira a estabelecerem-se no programa de controle robótico alternativas de posicionamento espacial, facilitando, assim, as tarefas de troca de subsistemas;

⁵⁸ MINISTÉRIO DO TRABALHO, **Norma Regulamentadora Nº 11**: regulamento técnico de procedimentos para movimentação, armazenagem e manuseio de chapas de mármore, granito e outras rochas. Brasília, 2008.

- definir padrões hierárquicos de relacionamento entre as equipes internas e as externas de maneira a se estabelecer uma relação produtora e sem ruídos nos objetivos comuns conforme previsto em Decreto Legislativo,
- evitar sobrecarga de trabalho, especialmente, a mental, tanto para equipe externa e interna, reduzindo os riscos de falhas humanas. A pressão psicológica pode conduzir a erros sucessivos e críticos;
- considerar todas as posturas inadequadas independente da equipe de trabalho que a exerça. Os mesmos cuidados e treinamentos devem ser oferecidos, especialmente aos operadores externos que, geralmente, vivenciam outras culturas preventivas e de segurança;
- prover o robô com sistema mecatrônico capaz de permitir o seu reposicionamento, manual ou com ajuda de outros equipamentos evitando desta forma, posturas dificultosas ou desgastantes, sob o ponto de vista biomecânico.
- “reduzir o tempo de manutenção é importante para: produtividade e a segurança, ou seja, inatividade reduzida aumenta a produtividade e reduz os riscos de acidentes” (HELANDER, 1990, p. 129).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se fala em estações robotizadas, geralmente imagina-se que a presença do ser humano foi suplantada desta relação, porém não é isto que acontece. Em ambientes automatizados, a relação homem x máquina está presente e a possibilidade de inadequações ergonômicas existe. A robotização dos postos de trabalho pode-se dizer, é o estado da arte dentre os diversos sistemas que compõem os meios produtivos industriais. Desta forma, é importante que a robotização receba atenção da Ergonomia para que o processo de inclusão destes equipamentos tenha, além das conhecidas preocupações da Engenharia, a preocupação com o ser humano, seja pelo aspecto do conforto, da saúde ou do desempenho produtivo.

As regiões do Sul Fluminense/RJ e Vale do Paraíba/SP refletem um perfil da automação, em que a presença humana é partícipe direta do processo, não sendo apenas um operário que controle os comandos do robô à distância. Desta forma, esta tese procurou conhecer a realidade das regiões estudadas, de forma ampla, começando pelas empresas que comercializam os robôs, passando pelas empresas usuárias, com seus operadores e finalizando com a Intervenção Ergonomizadora de duas células robóticas: uma ativa em produção e outra em manutenção, ambas, localizadas no Vale do Paraíba/SP.

A tese permitiu, ao longo de sua pesquisa, identificar algumas informações que podem, de alguma maneira, colaborar na formação da mão de obra que busca a qualificação para atuar nas indústrias locais. Percebeu-se que a automação aumenta sua participação, década após década, no cenário industrial brasileiro. Assim, existem grandes oportunidades, para aqueles que desejam aprender sobre sistemas eletrônicos, automação industrial, manutenção, segurança, Engenharia e a Ergonomia. Além das oportunidades técnicas, existem, também, as oportunidades comerciais para aqueles que desejam comercializar insumos e componentes para os serviços especializados como a automação e, em especial, os robôs.

9.1 VERBALIZAÇÕES

Todas as verbalizações obtidas foram realizadas por meio de depoimentos espontâneos, sem o emprego de qualquer instrumento de registro. Os depoimentos foram considerados significativos como tomada de conhecimento das situações reais encontradas nos cotidianos das indústrias e, parecem indicar, certo grau de despreparo dos envolvidos, principalmente nos aspectos que envolvem a segurança coletiva. Para analisar os relatos foi empregado o instrumento desenvolvido pela CCOHS apresentado por Almeida (2003), capaz de orientar na busca pelos fatos, após a ocorrência de algo que tenha causado problemas para a segurança de alguém.

A verbalização 1 apresentou o fato ocorrido com um encarregado da limpeza que adentrou à célula robótica, com o robô em atividade e sem autorização para limpar o interior da área restrita. A verbalização 2 foi presenciada durante a pesquisa de campo, momento em que o empregado da integradora cortou-se, manuseando um componente a ser processado pelo robô. O fato chamou a atenção, pois o acidente aconteceu diante do responsável da empresa usuária e aparentemente nenhuma ação foi realizada. Além disso, o próprio responsável também chocou sua própria cabeça contra um dos componentes que estava fixo à ferramenta do robô. A verbalização 2 é mais uma confirmação da fragilidade descrita, pelas pesquisas, sobre o momento da instalação de um robô.

9.2 AS EMPRESAS FABRICANTES DE ROBÔS

As empresas fabricantes de robôs não os produzem no país, apenas comercializam, desenvolvem os projetos e os instalam. Nos últimos cinco anos, houve um aumento nas vendas dos robôs no Brasil, aproximadamente 300 unidades / ano. Os principais setores que adquiriram os robôs foram as montadoras automotivas e de autopeças. Entretanto, independente do setor, existe no momento da compra muita dúvida a respeito da tecnologia robótica, por exemplo, como especificar o equipamento para uma determinada tarefa e suas características funcionais.

As pesquisas revelaram que o país não possui uma norma específica que trate das células robóticas e que, para executar as instalações, cada fabricante adota uma documentação normativa diferente. Somando-se à ausência de uma norma específica

que ajude as empresas a organizar as células robóticas, ao desconhecimento de uso do equipamento, aumentam as chances de inadequações ergonômicas, inclusive a ocorrência de acidentes. O Brasil é citado no relatório da IFR e UNECE (2004 p2) como um dos países em crescimento no que se refere ao robô e, para confirmar esta expectativa, a IFR (2006) apresenta uma lista dos 11 maiores fabricantes do equipamento no mundo e, deste total, seis já possuem sedes no país. O Brasil necessita, urgentemente, de uma padronização capaz de antever as situações de risco no uso do robô, principalmente em momento tão importante de crescimento da indústria nacional em que as novas instalações surgem em maior número.

9.3 AS EMPRESAS USUÁRIAS DE ROBÔS

Quanto às empresas usuárias de robôs no universo de estudo, identificou-se que a região do Sul Fluminense/RJ possui, até o momento, 4 indústrias usuárias, sendo que todas foram visitadas e responderam ao questionário. Já na região do Vale do Paraíba/SP, foram identificadas cinco empresas usuárias e dessas, duas permitiram visitas e três responderam o questionário enviado.

Através da análise do questionário aplicado nessas empresas usuárias de robôs, identificamos que a maioria dos entrevistados não é especialista em automação, desconhece a existência de normas próprias para robôs, desconhece a ocorrência de acidentes com autômatos e pouco mais da metade dos profissionais recebeu treinamento para atuar com os equipamentos. A partir destes dados, pode-se afirmar que a habilidade dos atores participantes em qualquer estação de trabalho é de fundamental importância para a segurança de todos os envolvidos, uma vez que pouca informação implica em riscos de maior, ou menor gravidade. A Ergonomia considera a competência como um dos aspectos essenciais à eficiência do funcionamento sistêmico, apesar da familiaridade também provocar riscos.

Ainda no universo de estudo, constatou-se que há 244 unidades robóticas distribuídas entre as sete fábricas visitadas, sendo que mais de 70% das unidades têm de quatro e oito anos de uso. Assim, nos próximos cinco anos, alguns dos equipamentos atualmente utilizados deverão receber atualizações, pois estarão no período de revisão obrigatória. Entretanto, muitos desses equipamentos já receberam

algum tipo de melhoria quanto à segurança, desde o momento da instalação, ou seja, percebeu-se que os equipamentos instalados para garantir a segurança eram inadequados ou insuficientes. Portanto, por um determinado período, as células robóticas não estiveram adequadas quanto à segurança oferecida aos operadores e ao entorno. Fato confirmado por uma das verbalizações colhidas em uma das empresas usuárias, relatando um incidente com o robô, causado pela ausência de telas de proteção. A ausência ou insuficiência de um sistema de segurança pode ser analisada sob o ponto de vista da inexistência de uma norma que orientasse as instalações, reforçando as suspeitas indicadas por esta tese.

Alguns dados, levantados durante a pesquisa, surpreendem como, por exemplo: o município de Porto Real/RJ, o menor dentre todos os pesquisados, por apresentar 152 habitantes, economicamente ativos, por unidade de robô. A média geral de robôs, encontrada nas duas regiões pesquisadas, representa um número significativo para a automação industrial Brasileira; em torno de 1389 habitantes economicamente ativos por robô. Estas informações são originais e uma contribuição original desta tese, pois, servem para quantificar a presença do estado da arte na região pesquisada, além de permitir uma análise, parcial, do perfil dos empregados que se inserem nas indústrias e a quantificação dos postos de trabalhos perdidos a partir da aquisição de cada robô.

9.4 INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA – SHTM 1

Para validar a Intervenção Ergonomizadora, como um método capaz de assegurar a relação homem-tarefa-máquina, o estudo deteve-se em aplicá-la em uma empresa usuária específica, do Vale do Paraíba/SP. As células ativas, em produção, possuem três unidades robóticas, separadas em duas células distintas, célula I e II, e conta com quatro operadores diretos, divididos em dois turnos de oito horas cada.

Durante a intervenção, alguns fatos importantes puderam ser percebidos como: a ausência do projeto ergonômico durante a instalação das células robóticas o que, sem dúvida, aumenta as chances de inadequações quanto à saúde e à segurança dos operadores. Outro problema encontrado é o manuseio dos componentes necessários à execução da tarefa, realizado pelo operador e processados pelo robô. A operação manual destes componentes acontece na alimentação das primeiras fases da tarefa,

obrigando os operadores a adotarem posturas inadequadas de diversas partes do corpo, dentre elas a rotação e flexão frontal do tronco e a flexão e extensão do conjunto muscular do ombro e pescoço. Percebe-se, que apesar da automação, a presença humana é requerida a participar das tarefas mais desgastantes e críticas.

Através da Intervenção Ergonomizadora constatou-se os aspectos mais críticos, em relação às condições de execução da tarefa, encontradas no Sistema Homem-Tarefa-Máquina 1. Os resultados apresentados pelo Registro Comportamental da Tarefa apontou que cada operador das células robóticas manipula e desloca mais de 3t /dia de componentes e executa 220 movimentos para atingir a meta de produção de 30 pares de longarina. O deslocamento do operador que marca a finalização da tarefa é realizado empregando-se uma talha, contudo este operador tem que posicionar o braço acima do nível dos ombros para controlar as oscilações da longarina durante o trajeto, evitando assim, choques do conjunto deslocado contra as estruturas da célula. A partir dos resultados, considera-se crítica a postura exigida, pois é possível o surgimento de diversos prejuízos físicos, como luxação, bursite e fadiga por contração estática.

Em relação ao espaço arquitetônico, o ambiente apresenta problemas que prejudicam as atividades do operador, seja no interior da célula, ou no entorno. Como exemplo, pode-se citar o corredor que dá acesso a porta da célula I, o qual possui alguns equipamentos dispostos de forma desalinhada, forçando um trajeto não linear para atravessá-lo. O planejamento espacial requer estudos de deslocamento e hierarquização das atividades de forma a atender o objetivo da tarefa com o menor custo humano. Outro exemplo a ser citado, é a falta de iluminação no interior das células, provocando esforço e consequente fadiga visual, dor de cabeça ou, inclusive, conduzir o operador a um acidente pela dificuldade na percepção dos equipamentos e na realização de ajustes necessários a tarefa.

A Intervenção Ergonomizadora também encontrou Problemas Acidentários no entorno da célula I uma vez que foi constatado um vazamento próximo a escada de interligação entre as células I e II. Além do vazamento, vale comentar que os degraus da escada apresentam alturas distintas e ergonomicamente inadequadas por provocar o sobrepasso e possíveis acidentes. Somado aos Problemas Acidentários existe, ainda, o Problema Arquitetônico quanto à existência da escada de interligação que exige do

operador um inconveniente sobe e desce durante toda a jornada de trabalho. Outro Problema Acidentário observado é a presença de óleo sobre o piso metálico, proveniente dos componentes armazenados nos suportes metálicos, tornando o piso escorregadio e perigoso.

Outra situação inadequada, percebida pela Intervenção Ergonomizadora, foi o Problema Interfacial, representado pela eventual perda de rotina do robô durante a realização de uma tarefa, impondo a entrada do operador na célula para resolução do movimento incorreto. Desta forma, o fato do operador necessitar entrar na célula com frequência, pode levá-lo a um relaxamento quanto à segurança, seja pela familiaridade com o sistema, seja por ignorar algum procedimento operacional, ou de segurança, ou até mesmo por alguma confusão mental a respeito da tarefa em andamento – Ergonomia Cognitiva.

A ausência de sinalização de segurança que oriente o acesso restrito às células foi observada e classificada como Problema Comunicacional. A única sinalização de segurança existente informa a obrigatoriedade do uso de luvas. Pesquisas comprovam que a presença de advertências estimula o ato seguro, desta forma o espaço analisado está predisposto a acidentes graves.

Quanto à Organização do Trabalho observou-se que os operários do 2º turno não realizam rodízio como os do 1º. Assim, a Ergonomia sugere que na impossibilidade do rodízio, sejam adotadas pausas rápidas, pois mudar o esforço de um grupo muscular pode reduzir os impactos sobre o organismo, fornecendo ao metabolismo tempo para recuperar-se dos movimentos repetitivos. O Critério Semi-Quantitativo, de Moore e Garg, indicou que é duvidosa e questionável a relação entre os operários e as células robóticas, assim recomenda-se que alterações sejam realizadas, especialmente aquelas que modifiquem as posturas e as cargas manipuladas, de maneira a reduzir o impacto músculo-esquelético sobre os operadores.

Problemas Químico-Ambientais, como fumos de solda, estão presentes no interior das células, bem como nas fases posteriores a ação robótica. A ausência de sistemas de exaustão pode provocar a saturação do ar, expondo os operadores a um ambiente impróprio. A pesquisa sugere que se realize uma análise da qualidade do ar no ambiente, para adequação dos sistemas de exaustão e/ou uso de máscaras.

A célula em reparos possui uma unidade robótica e conta com dois especialistas atuando na manutenção. Os profissionais responsáveis pela atividade são terceirizados, pela indústria fornecedora do robô, ou seja, são externos a empresa pesquisada, neste caso usuária do robô.

Pode-se perceber que os responsáveis pela manutenção assumiram diversas posturas consideradas inadequadas sob o risco de serem acometidos por acidentes músculos-esqueléticos. A causa da inadequação postural é, neste caso, a posição inalterável do robô após o choque, pois dificulta a atuação da equipe de manutenção. Estruturas sobre o piso, que compõe a célula robótica, oferecem riscos a equipe de manutenção, pois os empregados são obrigados a se deslocar e posicionar sobre o sistema para reparar o sistema. Assim há possibilidade iminente de quedas e conseqüentes fraturas, perfurações, luxações e outros prejuízos.

A aparente relação amistosa entre os empregados terceiros e os da empresa pesquisada é outra questão que merece atenção especial da gerência. Relações profissionais podem estar repletas de sentimentos incompatíveis com os denominados atos seguros. Desta forma, antes de iniciar a atividade conjunta, deve-se estabelecer uma hierarquia entre as equipes a fim de se reduzir constrangimentos sócio-profissionais. O desrespeito às normas de segurança foi percebido e pode levar a um conflito entre as diferentes equipes. O ato inseguro além de gerar prejuízos para o autor, também poderá refletir sobre terceiros, daí a importância de se planejar as atividades e as conseqüências de cada participante.

As equipes de manutenção deverão trabalhar com objetivos bem definidos, mas sem, contudo serem pressionadas quanto à perda de produção pelo tempo de inoperância do equipamento.

Além dos problemas acidentários e psicológicos, existem, também, aqueles provenientes das possíveis contaminações químicas provenientes do contato com os resíduos do fumo do corte a plasma seja através da pele, mucosas do sistema respiratório aéreo superior e olhos.

A programação computacional deverá ser modelada de tal forma a permitir alteração no posicionamento do robô mesmo quando este estiver envolvido em

acidentes, permitindo que os custos posturais dos empregados envolvidos sejam minimizados.

Pode-se perceber que em ambas as estações pesquisadas a ausência de um ergonomista, durante as fases de elaboração da estação robótica, pode refletir em problemas nos diferentes momentos de uso do equipamento especialmente aqueles reconhecidamente mais críticos como o período de instalação e de substituição de componentes.

Na primeira estação estudada, procurou-se abordar todas as categorias possíveis de riscos ergonômicos, pois o fato dela estar em funcionamento foi primordial para a constatação das relações danosas ao homem, especialmente aquelas que são cumulativas. O homem transforma o meio, transforma-se e sofre os custos impostos se a relação homem x máquina for desequilibrada, o que foi constatado.

No outro caso, a estação em manutenção, permitiu que se evidenciassem os riscos das atividades em que se relacionaram competências técnicas e profissionais de diferentes formações. Homens e máquinas interagindo para a recuperação do meio produtivo, contudo, as percepções gerenciais, geralmente, passam distante das decisões tomadas para a solução dos problemas. Aqui, o principal fator desencadeante pode ser o do acidente imediato, promovido por alguns fatores como: diferentes níveis de conhecimento; espaço físico comum e desrespeito aos procedimentos de segurança.

9.5 ÍNDICE DE INTENSIDADE DE MOORE E GARG (1995) – SHTM 1

Para facilitar a percepção dos possíveis riscos foi empregado o Índice de Intensidade de Esforço: método capaz de analisar os riscos e desordens dos trabalhos das extremidades superiores distantes, desenvolvido por Moore e Garg (1995) e modificado por (ERGO, 2001, p. AE-2,1). Desta forma, após a aplicação do índice pode-se perceber que realmente confirmou-se a existência de inadequações, de diversas ordens, na atividade humana como: esforço humano próximo ao máximo, posturas das mãos, punhos, ombros e colunas ruins, ritmo rápido, mas possível de acompanhar e duração do trabalho considerado para atividade como alto risco de lesão para os operadores.

9.6 INTERVENÇÃO ERGONOMIZADORA – SHTM.2

A Intervenção Ergonomizadora, também foi aplicada ao Sistema Homem-Máquina 2, que se encontrava em manutenção provocada por um incidente, situação considerada passível destes tipos de acontecimentos segundo Goossens (1991), sem feridos, apenas com danos para a ferramenta de corte à plasma e para a produção. O SHTM 2 exige dos operadores envolvidos requisitos posturais muito mais agressivos, contudo os ciclos da tarefa podem não acontecer, mas os ritmos destacam-se pela intensidade.

Dois profissionais, terceirizados, compunham a equipe responsável pela manutenção do robô, além destes outros empregados, da empresa usuária, colaboravam e discutiam os problemas e dificuldades encontradas nas tarefas de substituição da ferramenta de corte à plasma. O fato de duas equipes, diferentes, de profissionais atuarem na mesma atividade desperta a importância dos trabalhos coletivos e de suas responsabilidades umas com as outras. Fato, inclusive, previsto por Decreto Legislativo⁵⁹ em atendimento a Conferência Internacional do Trabalho de 1981, ocorrida em Genebra, Suíça.

Quanto ao regime de trabalho segue, a princípio, o mesmo regime encontrado no SHTM 1, ou seja de 2ª a 6ª feira e excepcionalmente feriados e fins de semana por questões de atendimento as necessidades das metas de produção. O ambiente possui temperatura próxima dos 24° C e não dispõe de climatização forçada apenas grande área aberta no teto do galpão e uma grande porta próxima da célula que ajuda na circulação de ar. Não há evidência de ruídos provenientes do processo da célula, o entorno gera algum ruído sem perturbar a atividade. O arranjo físico é comprometido por apresentar desorganização e sujeidade no exterior e interior da célula robótica ampliando a possibilidade de acidentes mais sérios como quedas e perfurações provenientes dos possíveis contatos com os equipamentos cortantes. Controles elétricos e do fluxo de plasma apresentam obstruções aos seus acessos podendo gerar riscos as atividades, inclusive as de manutenção por retardar ou mesmo impedir uma ação imediata. Há ausência de locais, adequados, à organização do manual do robô

⁵⁹ Decreto legislativo nº2, de 17 de março de 1992 – Manual de Legislação Atlas: Segurança e Medicina do Trabalho. São Paulo: Atlas, 40ª edição, 1998. p 453

impondo perda de tempo em caso de dúvidas sobre o funcionamento do equipamento. Dificuldades para os operadores se posicionarem durante a tarefa de manutenção, causadas pela parada do robô em uma determinada coordenada e também pelos sistemas que compõe a célula robótica dispostos ao longo do piso e no interior da célula. Em relação a segurança é importante destacar a descrença Wogalter, DeJoy e Laughery (1999) provocada pela ausência de parte do botão de emergência exatamente aquela que realiza a interface de contato com o operador. Existe insuficiência nas sinalizações de advertência expondo, inclusive, equívocos em sua hierarquia topográfica. Sinalização menos importante antecede à sinalização imprescindível, provocando a dispersão da atenção. Existe, também, o uso de pictogramas internacionais sem validação nacional, o que pode levar a não compreensão da sinalização.

9.7 AVALIAÇÃO RÁPIDA DOS MEMBROS SUPERIORES – RULA

A ferramenta RULA, desenvolvida em 1993 pelos pesquisadores McActamney e Corlett foi aplicada para avaliar a potencialidade dos problemas posturais que envolvem a atividade de manutenção no SHTM 2. O instrumento foi aplicado na análise das posturas assumidas por dois operadores em atividades distintas. Como resposta à análise postural (Quadro 19, Figura a1) é que a condição seja alterada com brevidade, indicando que os resultados são prejudiciais ao operador em um espaço curto de tempo. Contudo, em termos preventivos, a decisão deve ser encarada de forma direta e objetiva, ou seja, a postura é inaceitável para a prática profissional, devendo ser alterada o mais rápido possível. A postura assumida pelo operador (Quadro 19, Figura g4) indicou um aspecto mais crítico, ainda, que o primeiro caso (Quadro 19, Figura a1), desta maneira, ações corretivas devem ser aplicadas de imediato como: a restauração do controle do braço robótico de forma a permitir o reposicionamento do mesmo e então, facilitar a tarefa de substituição da ferramenta danificada. A tarefa requer em caráter de emergência, alteração no sistema de controle eletrônico do robô.

9.8 A GUIA DA CONCLUSÃO

Os resultados apresentados confirmam a hipótese proposta no início desta tese de que as estações robóticas no universo pesquisado podem oferecer riscos a saúde dos operadores. As estações robóticas apresentaram falhas ergonômicas críticas capazes de prejudicar, imediatamente e ao longo do tempo, seus usuários e, assim, deveriam ser imediatamente ajustadas para a eliminação ou mitigação dos riscos identificados e de outras questões não discutidas por esta tese.

O Método de Intervenção Ergonomizadora - SHTM apresentou-se capaz de organizar e orientar a análise das estações robóticas. É mister destacar que o método é aplicável a diferentes configurações, a saber: indústrias, hospitais, consultórios, escritórios, atividades autônomas entre outras. Destaca-se pela flexibilidade das suas etapas e, assim adequando aos diferentes ambientes e atividades. A aplicação da Intervenção Ergonomizadora - SHTM para análise ergonômica de uma atividade robótica é uma das contribuições apresentadas nesta tese.

As ferramentas *Strain Index* e *Rula*, adotadas por esta tese, demonstraram eficiência nos estudos posturais encontrados. A particularidade de cada uma delas permitiu a análise crítica de tal maneira que os principais problemas fossem confirmados e, assim receberem as recomendações ergonômicas necessárias à redução dos impactos sobre os atores envolvidos.

O Método de Intervenção Ergonomizadora – SHTM, bem como as ferramentas *Strain Index* e *Rula* estão disponíveis, são confiáveis e podem ser acessadas pelos gestores organizacionais para colaborar com a análise de células robóticas. A utilização do método e das ferramentas prevê, por parte dos pesquisadores envolvidos, noções de biomecânica, ergonomia, engenharia e segurança do trabalho. Além dos aspectos técnicos fundamentais, é muito significativo que o ser humano seja considerado o enfoque da pesquisa, pois, se não houver esta conscientização, as chances de sucesso serão sempre reduzidas.

Outra contribuição apresentada por esta tese é a constatação de que não existem normas específicas sobre a instalação, uso e regulação dos robôs comercializados e remanufaturados. A ausência de uma norma colabora para que as instalações de robôs

não possuam padrões quanto ao funcionamento e, especialmente, quanto à segurança necessária aos equipamentos autômatos.

Entre outros aspectos, esta tese, também contribui com informações quantitativas e qualitativas sobre os usuários de robôs quanto a: formação, *expertise* e deficiências. Estas informações são importantes quando se planeja instalar um robô, uma vez que os recursos humanos apresentam-se em desenvolvimento.

Por fim, fica a sugestão para que uma comissão industrial interna seja organizada nas indústrias que pretendem instalar um robô para: planejar ergonomicamente uma célula robótica, participar da compra dos equipamentos de segurança, instalar, adequar a célula e treinar os operadores. Considerar em todas as ações citadas a utilização de normas robóticas específicas empregadas por outros países, enquanto o Brasil não dispuser de um documento próprio.

Como proposta futura sugere-se um estudo sobre a viabilidade de implantação de uma associação de indústrias robóticas brasileiras. O que parece fazer sentido após a detecção de tantos fatos incongruentes em torno desta tão importante máquina para o setor industrial nacional. Certamente, a associação constituída seria capaz de colaborar para a organização de uma proposta normativa junto ao Ministério do Trabalho e Emprego – MET e ainda, estimular novas pesquisas e eventos de interesses comuns e assim fortalecer o conhecimento e o uso dos equipamentos robóticos no Brasil. Helander (1990) sugere que existem lacunas a serem preenchidas quanto às estatísticas acidentárias e estudos evoluídos a respeito do robô, temas, também importantes para os próximos trabalhos.

A Ergonomia tem estudado diversas atividades do cotidiano e por isso tem experiência na avaliação de outros ambientes de trabalho, contudo tratando-se de estações robotizadas ainda existem dúvidas a serem respondidas por esta ciência. Caple (2008) propõe que: “o futuro da Ergonomia dependerá de como seu conhecimento poderá abraçar os novos conhecimentos e transformar suas pesquisas em algo prático”. A robótica necessita, conforme percebido, de pesquisas na área da ergonomia, assim parece que o futuro da Ergonomia entrelaça-se com a robótica.

REFERÊNCIAS

ADAMS, J. A. **Critical Considerations for Human-Robot Interface Development**. AAAI Fall Symposium: human robot interaction technical report FS-02-03. November, Rochester, 2002. Disponível em: <<http://www.cs.uml.edu/~holly/91.550/papers/adams2002.pdf>>. Acesso em 10 de maio de 2007.

ALLWOOD, C. M. **Error Detection Process in Statistical Problem Solving**. Cognitive Science, n. 8, p. 413-437, 1984. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6W48-4DXC4CH-22&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=c34e3f201745e659f7a6c799779625d5> Acesso em: 30 de out. de 2008.

ALMEIDA, I. M. **Caminhos da Análise de Acidentes do Trabalho**. Brasília, MET, SIT, 2003. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 10 de maio de 2003.

AMALBERTI, R. Da gestão dos erros à gestão dos riscos. In FALZON, P. (org). **Ergonomia**. São Paulo, Edgard Blücher, 2007.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ANSI/RIA R15.06**: for industrial Robots and Robot Systems Safety Requirements. USA: Ann Arbor, 1999.

ASAMA, H.; FRAICHARD, T. **Inevitable Collision States**: a step towards safer robots? Intelligent Robots and Systems. Proceedings of the IEEE/RSJ. Nevada, 2003. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=1249176&isnumber=27960>. Acesso em: 10 de maio de 2007.

BRITISH AUTOMATION & ROBOTICS ASSOCIATION – BARA. Disponível em: <http://www.bara.org.uk/info_robots.htm>. Acesso em: 30 de out. de 2008.

BARREIROS, L. Nota introdutória à edição portuguesa. In CASTILLO, J. J.; VILLENA, J. (org). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa, Dinalivro, 2005.

BRAZIER, A. **Human Factors in Systems Engineering**. The Institution of Eletrical Engineers. Human Reliability Associates, Wigan, London, 1999. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/6250/16718/00771498.pdf?arnumber=771498>>. Acesso em: em 10 de maio de 2007.

BUNGE, M. **Epistemologia: curso de atualização**. São Paulo. T. A. Queiroz, EDUSP, 246p. 1980

CAPLE, D. **Emerging Challenges to the Ergonomics Domain**. Ergonomics, vol. 51, no. 1, Taylor & Francis, January, 2008, p.49–54. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00140130701800985>> Acesso em 22 de set. de 2008.

CARBALLEDA, G. Uma contribuição possível dos ergonomistas para a análise e a transformação da organização do trabalho. In DUARTE, F. (org). **Ergonomia e Projeto na Indústria de Processo Contínuo**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ, Lucerna, 2002a.

CASTILLO, J. J.; VILLENA, J. **Ergonomia: Conceitos e Métodos**. Lisboa, Dinalivro, 2005.

COMISSÃO DE ERGONOMIA. **Manual Técnico de Ergonomia**. GMB ERG 01. São José dos Campos, 1999.

COSTA, L. S.S.; CAULLIRAUX, H. M. **Manufatura Integrada por Computador: tecnologia e recursos humanos**. Rio de Janeiro, Campus, 1995.

CHRISTENSEN, H. I.; HÄGELE, M. **A white Paper on the Status and Opportunities of European Service Robotics**. European Robotics Research

Network; IFR Service Robotics Group, Stuttgart, 2004. Disponível em:<http://www.robosiri.it/pdf/vortrag_kaziklein.pdf>. Acesso em: 29 de out. de 2008.

DANIELLOU, A análise da atividade futura e a concepção de instalações externas. In DUARTE, F. (org). **Ergonomia e Projeto na Indústria de Processo Contínuo**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ, Lucerna, 2002a.

DANIELLOU, F. As paradas programadas de manutenção. In DUARTE, F. (org). **Ergonomia e Projeto na Indústria de Processo Contínuo**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ, Lucerna, 2002b.

DEJOY, D. M. Attitudes and Beliefs. In WOGALTER, M. S., DeJOY, D. M. LAUGHERY, K. R., (org). **Warnings and Risk Communication**. London, Taylor and Francis, 1999.

DHILLON, B. S. **Robot Reliability and Safety**. New York, Springer-Verlag, 1991.

DHILLON, B. S., FASHANDI, A. R. M. **Robotic Systems Probabilistic Analysis**, Microelectronics Reliability, Elsevier Volume 37, Number 2, pp. 211-224(14), February 1997. Disponível em: <www.ieeexplore.ieee.org/iel5/7677/21045/00976309.pdf?arnumber=976309> Acesso em: 20 de dez. de 2008.

DREYFUSS, H. **As Medidas do Homem e da Mulher**: Fatores humanos em Design. São Paulo, Bookman, 2005.

DUARTE, F. **Ergonomia e Projeto na Indústria de Processo Contínuo**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ, Lucerna, 2002.

DUIJNE, F. H. v.; AKEN, D. v.; SCHOUTEN, E. G. **Considerations in Developing Complete and Quantified Methods for Risk Assessment**. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 02 out. de 2008.

DULL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia Prática**. São Paulo, Edgard Blücher, 1995.

ERGO - **Assessoria e Consultoria em Saúde Ocupacional**. Belo Horizonte, ACSO, 2001.

ETHERTON, J. R. **Safe Maintenance Guidelines for Robotic Workstations**. NIOSH Technical Report. U.S. Department of Health and Human Services, West Virginia, 1988. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/NIOSH/pdfs/88-108.pdf>>. Acesso em: 17 de maio de 2004.

FALZON, P. **Ergonomia**. São Paulo, Edgard Blücher, 2007.

FERREIRA, E. P. **Robótica**. EBAL Escola Brasileiro-Argentina de Informática, Kapelusz. Argentina, Buenos Aires, Preliminar, 1988.

FERREIRA, L. L. Intensificação do trabalho ou “É proibido vacilar”. In DUARTE, F. (org). **Ergonomia e Projeto na Indústria de Processo Contínuo**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ, Lucerna, 2002.

FILHO, A M. **Teoria sobre o Método Científico**: em busca de um modelo unificante para as ciências e de um retorno à universidade criativa. Espaço Científico Cultural, 2006. Disponível em: <<http://www.ecientificocultural.com/ECC2/artigos/metcienc1.htm>> Acesso em: 10 de jan. de 2009.

FREIVALS, A. **Mechanics of Musculoskeletal System**. PennState, 2006. Disponível em: <<http://www.ieeexplore.ieee.org>>. Acesso em: 2 de out. de 2008.

GUIMARÃES, L. B. M.; VAN DER LINDEN, J. C.; PASTRE, T. M.; CALEGARI, A.; BIASOLI, P. K. **Avaliação de Posturas em uma Lavanderia Hospitalar**. VII Congresso Latino-Americano de Ergonomia. Recife, 2002.

GOLDENSTEIN, M. **Desvendar e Conceber a Organização do Trabalho: A Ergonomia em um Projeto de Modernização Tecnológica.** Rio de Janeiro, Gente/COPPE/UFRJ, 1997. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP1997_T2505.PDF>. Acesso em: 10 de maio de 2005.

GOOSEENS, L. H. J. **Risk Prevention and Policy in Automatic Systems.** Risk Analysis, vol. 11, nº 2, Society for Risk Analysis, The Netherlands, 1991. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/journal/119353493/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>>. Acesso em: 10 de maio de 2007.

GROOM, K. N., MACIEJEWSKI, A. A. E BALAKRISHNAN, R.; PROCTOR, R. W. **Real-time Failure-tolerant Control of Kinematically Redundant Manipulators.** IEEE Transactions on Robotics and Automation, 5(6), p. 1109-1115. 1999. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01255585> > Acesso em: Acesso em 19 de set. de 2008.

HALE, A. R.; GLENDON, A. I. **Individual Behavior in the Control of Danger.** Industrial Safety Series, Vol. 2, Elsevier, Amsterdam, 1987.

HELANDER. M. G. **Ergonomics and Safety Considerations in the Design of Robotics Workplaces:** a review and some priorities for research. Amherst, International Journal of Industrial Ergonomics. 6 p. 127-149. 1990. Disponível em: <www.ijie.com> Acesso em 19 de set. de 2008.

HOLLNAGEL, E. **Risk + Barriers = Safety?** Safety Science 46. Elsevier, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VF9-4PGXF88-1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=6aadc96b01edc773f67de3e5e99a3e1a> . Acesso em: 10 de nov. de 2007.

HORIKAWA, O.; MARUYAMA, N.; FILHO, D.J.S.; MIYAGI, P. E. Seleção de robôs industriais. In ROMANO, V. F. (org). **Robótica Industrial**: aplicação na indústria de manufatura e de processos. 1ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2002.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. São Paulo, Edgard Blücher, 1995.

IFR. **Industrial Robot and Related Equipment Suppliers**. Courbevoie, Secretariat c/o Symap, 2006. Disponível em: < www.ifr.org.> Acesso em 17 de jun. de 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Número de Habitantes Economicamente Ativos**. Disponível em: <www.scholar.google.com.br>. Acesso em: 17 de jun. de 2006.

INTRALOGÍSTICA, MOVIMENTAÇÃO E ARMAZENAGEM DE MATERIAIS – IMAN, 2003. Disponível em: <<http://resumosinmetro.wordpress.com/category/ergonomia/>> Acesso em: 17 de jun. de 2006.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61508**: functional safety - a basic guide. November. p. 1-11. 2002. Disponível em:< <http://www.iec.ch/functionalsafety>>. Acesso em: 05 dez. de 2005.

JOHNSON, J. **GUI Bloopers**: Don'ts and Do's for software developers and Web Designers. San Francisco: Morgan-Kaufmann Publishers. 2000.

KANIS, H. **Usage Centered Research for Everyday Product Design**. Elsevier, Applied Ergonomics, Volume 29, 75-82. February 1998. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez>>. Acesso em: 05 de dez. de 2005.

KAPLAN, S.; GARRICK, J. **On the Quantitative Definition of Risk**, Risk Analysis 1, 11-27, 1981. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/journal/119576327/abstract>> Acesso em: 05 de dez. de 2005.

KARWOWSKI, W. **Ergonomics / Human Factors**, Chapter 187. CRC Press, 2005.

KULIC, D; CROFT, E. **Strategies for Safety in Human Robot Interaction**. Int. Conf. On Field and Service Robotics, Canada, 1999. pp. 43-51. Disponível em: <<http://www.mech.ubc.ca/~dana/ThesisFiles/P068.pdf>>. Acesso em: 10 de nov. de 2007.

_____. **Estimating Intent for Human-Robot Interaction**. Department of Mechanical Engineering. Canada, University of British Columbia, 2005. Disponível em: <<http://www.mech.ubc.ca/~dana/ThesisFiles/P069.pdf>>. Acesso em 10 de nov. de 2007.

LLORY, M. **Acidentes Industriais: o custo do silêncio**. Rio de Janeiro, MultiMais Editorial 1999.

LLORY, M. O homem como agente de confiabilidade e segurança: a dimensão coletiva do trabalho. In DUARTE, F. (org). **Ergonomia e Projeto na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ, Lucerna, 2002.

MACHADO, C. Prefácio da edição traduzida. In CORIAT, B. **A Revolução dos Robôs: o impacto socioeconômico da automação**. São Paulo, Busca Vida, 1989.

MALINE, J. Simuler le travail: une aide à la conduite de projet, Éditions ANACT, Montrouge. In DUARTE, F. (org). **Ergonomia e Projeto na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ, Lucerna, 2002.

MANUAL DE LEGISLAÇÃO ATLAS: **Segurança e Medicina do Trabalho**. São Paulo, Atlas, 1998.

MARIO, G. L. **Histórias de Autômatos: da Grécia Clássica à Belle Époque**. São Paulo, Companhia das Letras, 1999.

MATIAS, N. T. Sinalização de Segurança: efetividade e credibilidade das fontes de informação. In MORAES, A. (org). **Avisos, Advertências e Projeto de Sinalização**. Rio de Janeiro, iUsEr, 2002.

MCATAMNEY, L.; CORLETT, E.N. **RULA**: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, volume 24 (2), 91–99, 1993. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science?_ob=PublicationURL&_toctkey=%23TOC%235685%231993%23999759997%23382604%23FLP%23&_cdi=5685&_pubType=J&_auth=y&_acct=C000049647&_version=1&_urlVersion=0&_userid=972052&md5=bb78d09e8f5ba81fabb39a67ad49a99e> Acesso em: 06 de fev. de 2009.

MEISTER, D. **Behavioral Analysis & Measurement Methods**. New York, John Wiley & Sons. 1985.

MEISTER, D. **The Practice of Ergonomics**: reflections on a profession. Board of Certification in Professional Ergonomics, Canadá, 193 p. 1997.

MINISTÉRIO DO TRABALHO, **Evolução de Indicadores 1999 e 2000**. Brasília, 2000. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 8 de dez. de 2004.

MINISTÉRIO DO TRABALHO, **Norma Regulamentadora Nº 10: segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentaDORAS/nr_10.pdf>. Acesso em: 21 de jan. de 2009.

MINISTÉRIO DO TRABALHO, **Norma Regulamentadora Nº 11: regulamento técnico de procedimentos para movimentação, armazenagem e manuseio de chapas de mármore, granito e outras rochas**. Brasília, 2008. Disponível em: < http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentaDORAS/nr_11anexo1.pdf>. Acesso em: 21 de jan. de 2009.

MINISTÉRIO DO TRABALHO, **Norma Regulamentadora Nº 12: Máquinas e Equipamentos**. Brasília, 2009. Disponível em: < http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_12.asp#>. Acesso em: 21 de jan. de 2009.

MONTMOULLIN⁶⁰, M. **L'ergonomie**. Paris. La Découverte, 1996.

MONTMOLLIN, M. Ergonomias. In CASTILLO, J. J.; VILLENA, J. (org). **Ergonomia: conceitos e métodos**. Lisboa, Dinalivro, 2005.

MOORE, J. S.; GARG A.; **A Proposed Method to Analyze Jobs for Risk of Distal Upper Extremity Disorders**. American Industrial Hygiene Association, vol. 56, AIHA Journal, USA, 1995. Disponível em: <<http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a727072016~db=all>>. Acesso em: 28 de out. de 2008.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. R. **Ergonomia: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2AB, 2000.

_____, A. Avisos, **Advertências e Projeto de Sinalização**. Rio de Janeiro, iUsEr, 2002.

MUNSON, G. E.; Industrial Robots: reliability, maintenance, and safety. In NOF, S. Y. (org). **Handbook of Industrial Robotics**. New York. John Wiley & Sons, 1985.

NEBOIT, M. Abordagem dos fatores humanos na prevenção de riscos do trabalho. In ALMEIDA, I. M. (org). **Caminhos da Análise de Acidentes do Trabalho**. Brasília, MET, SIT, 2003. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 10 de maio de 2003.

NOF, S. Y. **Handbook of Industrial Robotics**. New York. John Wiley & Sons, 1985.

⁶⁰ Montmollin e Montmoullin identificam o mesmo autor, contudo aparecem grafados de forma diferentes nas publicações.

OSHA TECHNICAL MANUAL. **Industrial Robots and Robot System Safety**. Section IV: Chapter 4. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration. Disponível em: <<http://www.osha.gov>>. Acesso em: 10 de dez.de 2004.

OWEN, R. Aos directores de fábrica. In CASTILLO, J. J.; VILLENA, J. (org). **Ergonomia**: conceitos e métodos. Lisboa, Dinalivro, 2005.

PREVIDÊNCIA SOCIAL. **Fator Acidentário de Prevenção**. Disponível em: <<http://www2.dataprev.gov.br/fap/fap.htm>>. Acesso em: 21de ago. de 2008.

PSA PEUGEOT CITROËN. **PSA.FER.103**. Ilots Robotises Avec Postes Operateurs. France, Fiche nº 20, 2004.

RANI P.; SARKAR, N. **Operator Engagement Detection and Robot Behavior**: adaptation in human-robot interaction. Department of Electrical Engineering Vanderbilt University, Nashville ICRA, 2005. p 1-8. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1570415>. Acesso em: 17 de maio de 2006.

REASON, J.T.; CARTHEY, J.; DE LEVAL, M. R. **Diagnosing “Vulnerable System Syndrome”**: an essential prerequisite to effective risk management. Quality in Health Care, 10 (suppl II) 2001: ii21-ii25.

ROMANO, V. F.; DUTRA, M. S. Introdução à Robótica Industrial. In ROMANO, V. F. **Robótica Industrial**: aplicação na indústria de manufatura e de processos. 1ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2002.

ROMANO, V. F. **Robótica Industrial**: aplicação na indústria de manufatura e de processos. 1ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2002.

RUDIO, F. V. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica**. 29ª ed. Petrópolis, Editora Vozes, 2001.

SALVENDY, G. Human factors in planning robotic systems. In NOF, S. Y. (org). **Handbook of Industrial Robotics**. New York. John Wiley & Sons, 1985.

SCOTT, P. A.; RENZ, M. C. **A Combined Field and Laboratory Investigation for Effective Application of Ergonomics in Situ**. Applied Ergonomics n. 37, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V1W-4J8CXC9-2&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=60e0ff0caf7bdb653895ffc4c7c46a3f>. Acesso 27 de out. 2008.

STEPHENS, J. P.; VOS, G.A., STEVENS, E. M.; MOORE J S. **Test-retest Repeatability of Strain Index**. Applied Ergonomics, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V1W-4H5DYHB-5&_user=972052&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=937494820&_rerunOrigin=scholar.google&_acct=C000049647&_version=1&_urlVersion=0&_userid=972052&md5=98c3207e8289ae5a7f39a6914c15feef>. Acesso em 2 de out. de 2008.

SUGIMOTO, N. **Como Usar Corretamente os Robôs Industriais**. São Caetano do Sul. Escola Senai, 2000.

TÁVORA, J. L. J.; CAULLIRAUX, H. M. Aspectos Econômicos e Sociais. In ROMANO, V. F. (org). **Robótica Industrial**: aplicação na indústria de manufatura e de processos. 1ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2002.

TINÓS, R. **Tolerância a Falhas em Robôs Manipuladores Cooperativos**. Tese de Doutorado. São Paulo, EESC-USP, 2003. Disponível em: <<http://www.universia.com.br/materia/materia.jsp?materia=4702>>. Acesso em: Acesso em 15 de junho 2006.

UAW. **Review of Robot Injuries:** one of the best kept secrets. Detroit, Michigan Health and Safety Department, Publication # 248, Disponível em: <http://legacy.roboticsonline.com/public/articles/UAW_robot_injury_review.pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2004.

UNECE; IFR, **Robotics 2004.** Geneva, 2004. p 1-15. Disponível em: <http://www.unece.org/press/pr2004/04stat_p01e.pdf>. Acesso em 06 de nov. de 2006.

UNECE. **International Robot Standards.** World Robotics 2003. Geneva, 2003. Disponível em: <http://www.unece.org/press/pr2003/03robots_index.htm>. Acesso em: 17 de maio de 2005.

WARWICK MANUFACTURING GROUP. **Introduction to Robots.** Warwick, 1993. Disponível em: <http://www.bara.org.uk/info_robots.htm> Acesso em: 30 de out. de 2008.

WISNER, A. O diagnóstico em ergonomia ou a escolha de modelos operativos em situação real de trabalho. In CASTILLO, J. J.; VILLENA, J. (org). **Ergonomia: conceitos e métodos.** Lisboa, Dinalivro, 2005.

WOGALTER, M. S., DeJOY, D. M. LAUGHERY, K. R., **Warnings and Risk Communication.** London, Taylor and Francis, 1999.

ZALK, D.M. **Grassroots Ergonomics:** initiating an ergonomics program utilizing participatory techniques. No. 4, Vol. 45, Elsevier Science, 2001. Disponível em: <<http://annhyg.oxfordjournals.org/cgi/reprint/45/4/283>>. Acesso em: 17 de maio de 2004.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AIHARA, C. K. **Uma Abordagem Interativa para o Problema de Capacitação e Pesquisa em Automação**. São Paulo, UNICAMP, 2005. Disponível em: <www.servicos.capes.gov.br/arquivos/avaliacao/estudos/dados12005/33003017/013/2005_013_33003017022P0_Teses.pdf>. Acesso em 29 de out. de 2008

ALMEIDA, I.M.; BAUMECKER, I.C. (2004) – **Guia de Campo para Análise de Erros Humanos**. Revista CIPA. Ano XXV, nº 294, 2005. Disponível em:<http://www.cipenet.com.br/rev_capa.asp?id=1&n=294>Acesso em: 30 abril

ALTAMURO, V. M. **Automatic Manufacturing**. Chapter 17. p. 41-44, The McGraw-Hill, 2004. Disponível em: <www.digitalengineeringlibrary.com>. Acesso em: 05 out. 2006. p. 1-16.

ANZAI, Y. Active Interfaces Using Mobile Robot: **A Future Technology for Interactive Ergonomics**. Tampere, 2 IEA, 1994. Disponível em: <www.ieeexplore.ieee.org/iel3/4199/12362/00573309.pdf?arnumber=573309>. Acesso em 29 de out. de 2008.

ASAMI, S. **Robots in Japan: present and future**. IEEE Robotics & Automation Magazine. June, 2004. Disponível em: <<http://www.ieee.com>>. Acesso em: 05 out. 2006. p 1-3.

ASIMOV, I. **O homem Bicentenário**. Hemus, 1996.

BARROS, I. F. R. **Fatores Antropométricos e Biomecânicos**. Local: I.416,5,32

BAUMECKER, I.; FARIA, M.; BARRETO, J. **Acidentes de Trabalho: a realidade dos números**. Revista CIPA, n. 281, abr. 2003.

BOYER, C. E. **Robotics, Machine Vision, and Surface Preparation**. Chapter 5, The McGraw-Hill, 2004. Disponível em: <www.digitalengineeringlibrary.com>. Acesso em: 05 out. 2006. p. 1-16.

BOLLMANN, A. **Fundamentos da Automação Industrial Pneutrônica**. São Paulo, ABHP, 1996. p.1.

BRAGA, I. C. **Gerenciamento da Aplicação do Trabalho Padronizado no Setor Automotivo**. São Paulo, ECASE ,Universidade de Taubaté, 2002. p. 57.

CABRAL, J. H. **Gerenciamento do Processo Produtivo para o Aperfeiçoamento Contínuo de uma Célula de Produção no Setor Automobilístico**. São Paulo, ECASE ,Universidade de Taubaté, 2002. p. 84.

CALOMINO, J. **Eight Steps to Safe Robots**. 1998. Disponível em:<http://findarticles.com/p/articles/mi_hb6458/is_199811?tag=content;col1>. Acesso em: 05 out.de 2006. p 1-2.

CARNAHAN, B. J.; REDFERN, M. S. **Case studies: Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Manufacturing and Service Environments**. Maynard's Industrial Engineering Handbook, Chapter 6.12, The McGraw-Hill Disponível em: <<http://www.digitalengineeringlibrary.com>>. Acesso em: 05 out. 2006.

CELSONO, J. **Gestão de Operações: a engenharia. de produção a serviço da modernização da empresa**. São Paulo, Fundação Vanzolini, Edgard Blücher, 2004. p. 165-176; 155-164; 147-154; 117-146.

CRAIG, J. J. **Introduction to Robotics: mechanics and control**. Reading. Addison-Wesley. Massachusetts, USA,1989,

CRITCHLOW, A.J. **Introduction to Robotics**. McMillan. KANE, T.R., LENINSON, D.A. Dynamics, theory and applications. McGraw Hill, 1985.

DEUTSCHE NORM. **DIN EN 6385**. grüundsätze der ergonomie für die gestaltung von arbeitssystemen. Berlin, 2004.

_____, **DIN EN 9946**. industrieroboter darstellung charakteristischer eigenschaften; Berlin, 1999.

DHILLON, B. S., FASHANDI, A. R. M. **Safety and Reliability Assessment Techniques in Robotics Source**. Robotica, Volume 15, Issue 6, New York, Cambridge University Press, 1997. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=982071>>. Acesso em: 09 de out. de. 2006.

DHILLON, B. S., FASHANDI, A. R. M.; LIU, K. L. **Robot Systems and Safety**: a review. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/insight/viewcontentItemdocontenttype=article&action=lnkpdf&conenid=843301>>. Acesso em: 09 de out. de. 2006.

DIXON, W.E.; WALKER, I. D.; DAWSON, D. M.; HARTRANFT, J. P. **Fault Detection for Robot Manipulators with Parametric Uncertainty**: a prediction-error based approach. IEEE Transactions on Robotics and Automation, v.16 nº6, 2000. p. 689-699. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/70/19436/00897780.pdf?arnumber=897780>>. Acesso em: 29 out. de 2008.

DUARTE, F.; FEITOSA, V. **Linguagem e Trabalho**. Rio de Janeiro, COPPE/RJ: Lucerna, 1998.

DUARTE, F. **O Dimensionamento da Mão de Obra de Operação e os Riscos para a Segurança**: ergonomia e modernização tecnológica na indústria de refino. 14º

ENESEP. Anais vol. 1 UFPB. Departamento de Engenharia de Produção. João Pessoa, PB, 1994. p. 181-186.

DORF, R. C. **International Encyclopedia of Robotics**: applications and automation. Edition-in-chief, Shimon Y. Nof. John Willey. 1984.

DREIFUSS, R. A. **A Época das Perplexidades**: Mundialização, Globalização e Planetarização: novos desafios. Petrópolis, Vozes, 1996.

ESTON, S. M.; LAPA, R. P. **Segurança e Saúde Ocupacional como parte Integrante da Gestão do Negócio**. Revista CIPA. São Francisco, v.25, n.291, p. 24-33, fev, 2004.

FRANÇA JR, N. R.; PILATTI, L. A. **Gestão de Qualidade de Vida no Trabalho (GQVT)**: modelos que os líderes e gestores podem utilizar para propiciar uma melhor qualidade de vida no trabalho. XI SIMPEP – São Paulo, Bauru, 2004. p. 1-11.

XIX ENEGEP. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Livro de Resumos. Engenharia de Produção – Rio de Janeiro, UERJ,1999. Disponível em: <http://www.sigma.ufrj.br/UFRJ/SIGMA/producoes/consulta/relatorio.stm?app=PRODUCOES&id_producao=25432&buscas_cruzadas=ON>. Acesso em 10 de maio de 2005.

FAYAN, B. L. **Estudos e Especificação de um Supervisor de Controle para um Robô Industrial**. São Paulo, UNICAMP, 1992.

FELDMAN, P. R. **Robô Ruim com Ele Pior sem Ele**. São Paulo, Trajetória Cultural, 1988.

FALCÃO, F. S. **Métodos de Avaliação Biomecânica Aplicados a Postos de Trabalho no Pólo Industrial de Manaus (Am):** uma contribuição para o design ergonômico. BAURU / SP. 2007

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações.** São Paulo, Pioneira, 2002.

GERRY, B. A. **Robot Design Handbook.** SRI International. New York. McGraw-Hill Book Company, 1988. p.1.1-1.6,2.18-2.34; 3.1-3.5.

GUINATO, P. **Robótica e Automação no Japão:** sustentando a competitividade industrial. Revista do Programa de Pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1997. p. 30-39.

GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia de Processo:** macroergonomia, organização do trabalho. Porto Alegre, 2004.

GRAHAN, J. **Approach to Safety and Human Factors:** issues in design for manufacturing. Tempere, 4º. IEA, 1994. Disponível em: <<http://www.cheshirehenbury.com/publications/aam/aamtoc.html>>. Acesso em: 29 de out. de 2008.

GRUNWALD, G.; SCHREIBER, G.; ALBU-SCHÄFFER, A.; HIRZINGER, G., **Programming by Touch:** The Different Way of Human–Robot Interaction. Inst.of Robotics & Mechatronics, German Aerosp. Res. Center. , vol. 50, no. 4, Wessling, Germany, 2003. p.659-666. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1215468>. Acesso em: 17 jun. de: 2005.

HÄGELE, M.; SCHRAFT, R. D. **Present State and Future Trends in Mechanical Systems Design for Robot Application.** Boca Raton, Florida, CRC Press, 2002. Disponível em: <<http://de.scientificcommons.org/20341782>>. Acesso em: 10 de junho de 2004

HEBERT, D. M.; HENRICH, D. D. **Safe Human Robot Cooperation: image based collision detection for industrial robots.** IEEE. Disponível em:<www.scholar.google.com.br>. Acesso em: 17 jun. de 2005.

HEINZMANN, J.; ZELINSKY, A. **Intelligent Robots and Systems.** Disponível em:<www.scholar.google.com.br>. Acesso em: 17 jun.de 2005.

IKUTA, K.; NOKATA, M. **Robotics and Automation.** IEEE, 1999. Disponível em:<www.scholar.google.com.br>. Acesso em: 13 jun.de 2007.

JOHNSTON, R.; CLARK, G. **Administração de Operações de Serviço.** São Paulo, Atlas, 2002. p. 263/ 269 e 315.

JOSEPH-JEAN, P., **Robotics and Safety:** Staying out of harm's way. Canada, OH & S, ABI/INFORM, Global,1993. p. 1-4.

JUHANI, V. **Work Environment Model Visualizes the Alternative Solutions for the Safety System.** Tempere, 2º, IEA, 1994.

KRENDEL, E. S. **Human Factors and Ergonomics.** Chapter 17, Maynard's Industrial Engineering Handbook. The McGraw-Hill Companies, 2004. p. 39-41, Disponível em:<<http://www.digitalengineeringlibrary.com>>. Acesso em: 05 out.de 2006.

KULIC, D; CROFT, E. **Anxiety Detection During Human-Robot Interaction.** Intelligent Robots and Systems, 2005. (IROS 2005). IEEE/RSJ, 2005. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1545012>. Acesso em: em 10 de nov. de 2007.

KURFESS, T. R.; NAGURKA, M. L. **Robots and Controls.** The Engineering Handbook, 2nd edition. CRC Press LLC, USA, 2005. p. 1-16.

LEWIS, F.L.; et. al. **Robotics: mechanical engineering handbook**, Chapter 14, Boca Raton, Frank Kreith, CRC Press LLC, 1999. Disponível em: <<http://notes.ump.edu.my/fkee/e-Books/Robotics/electronica%20-%20Robotics.pdf>>. Acesso em: 05 out. de 2006. p. 1-116.

LYONS, D.M.; HENDRIKS, A.J. **Planning as incremental adaptation of a reactive system**. Robotics and Autonomous Systems, chapter 14. 1995. Disponível em: <<http://www.elsevier.com>>. Acesso em: 05 de out. de 2006.

MARTINEZ-SALVADOR, B. Del POBIL, A.P. PEREZ-FRANCISCO, M. **A hierarchy of detail for fast collision detection**. International Conference on Intelligent robots and systems, 2000. (IROS 2000). Dept. of Comput. Sci., Jaume I Univ., Castellon; 2000 IEEE, 2000. Disponível em:<www.scholar.google.com.br>. Acesso em: 17 jun. de 2004.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. São Paulo, Saraiva 1988. p. 286; 348; 368.

NATALE, F. **Automação Industrial**, São Paulo/SP, Érica, 2000.

NWOKAH, O. D. I.; HURMUZLU, Y. **The Mechanical Systems Design Handbook: modeling, measurement and control**. CRC Press, 2001. Disponível em:<<http://www.crcpress.com>>. Acesso em: 05 out. de 2006.

PARASURAMAN, R.; SHERIDAN, T. B. A Model for Types and Levels of Human Interaction. IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics, Part A: Systems And Humans, Vol. 30, No. 3, May 2000. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=844354&isnumber=18307>>. Acesso em: 29 de jan. de 2009.

PAZOS. F. **Automação de Sistemas & Robótica**. Disponível em: www.axel.com.br. Acesso em: 05 de out. de 2006.

POLONSKI, M. M. **Introdução a Robótica e Mecatrônica**. Universidade Caxias do Sul, EDUCS, 1996.

V, E.P.; YUREVICH, E.I. **Robotics**. Moscow, Mir Publishers, 1984. p.12-30.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2004. p. 3

SALANT, M. **Introdução a Robótica**. São Paulo, McGrawHill, 1991.

SANDLER, B. Z. **Robotics: designing the mechanisms for automates machinery**. Ed. AP, 2nd Edition.

SANTOS, N.; FIALHO, F.A.P. **Manual de Análise Ergonômica no Trabalho**. Curitiba, Gênese Editora, 2a. Ed., 1997.

SANTOS, N.; DUTRA, A.R.A.; FIALHO, F.A.P.; PROENÇA, R.P.C.; RIGHI, C. R. **Antropotecnologia: a ergonomia dos sistemas de produção**. Curitiba: Genesis Editora, 1997.

SCHUH, J.F. **Principles of Automation: what a robot can and cannot do**. Princeton, New Jersey, Van Nostrand, 1965.

SHIBATA, T. **An Overview of Human Interactive Robots for Psychological Enrichment**. Proceedings of the IEEE, Vol. 92, No. 11, November, 2004. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/5/29676/01347456.pdf?temp=x>>. Acesso em: 29 de out. de 2008.

SILVA, C. R. C. **Constrangimentos Posturais em Ergonomia: uma análise da atividade do endontista a partir de dois métodos de avaliação**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JHONSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

STÄUBLI CORPORATION. **Custom Injection Molder Chooses Zero-Backlash Robots**. Disponível em: <<http://www.roboticsonline.com/public/articles/index.cfm?cat=263>>. Acesso em: 17 de out. de 2006.

SUZAKI, K. **Novos Desafios da Manufatura**: técnicas para melhoria contínua. São Paulo, IMAN, 1996.

TELLES, A. L. **A Ergonomia na Concepção de Sistemas de Controles Automatizados**. 14º ENEGEP. João Pessoa, PB, Anais vol. 1 UFPB, 1994. p. 251-255

TÓTH, A.; ZOLLER, Z.; ARZ, G. **List of Selection Criteria and Specification of the Selected Industrial Robot**. REHAROB, 2000. Disponível em: <http://reharob.manuf.bme.hu/publications/d3_1.4.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2005.

ULLRICH, R. A. **Robótica**: uma introdução: o porquê dos robôs e seu papel no trabalho. Rio de Janeiro, Campus. 1987.

USATEGUI, J. M. A.; LEON, J. N. S. **Manual Prático de Robótica**. São Paulo, Hemus, 1978.

WILLIAN, E.; RYAN, E.; NANCY, E. **QFD**: perspectivas gerenciais do desdobramento da função qualidade. São Paulo, Quality Mark. 2003.

ZINN, M.; KHATIB, O.; ROTH, B.; SALISBURY, J. K. **Playing It Safe**: a new actuation concept for human-friendly robot design. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2004. Disponível em: <<http://www.Ieee.com>>. Acesso em: 05 out. de 2006. p 12-21.

GLOSSÁRIO

Ambiente do Sistema. Tudo que envolve o Sistema Alvo, mas, que pode influenciar todo o conjunto sistêmico.

Automação. Operação de controle automático de um equipamento, processo ou de um sistema por meio mecânico e/ou eletrônico.

Barreiras de advertência. Correntes e fitas que indicam a restrição de passagem.

Benchmark. Realizar comparação análogas entre setores ou atividades empresariais.

Blanquet. Molde onde se encaixam os componentes metálicos para posterior montagem prensagem.

Botoeiras. Botões de características: eletrônica, formato e aspecto cromático próprio que serve para interromper uma ação de um equipamento em caso de emergência.

Célula Robótica. Local em que se encontra inserido um equipamento robótico considerando altura, largura e profundidade desse espaço delimitado.

Cercas. Grades ou painéis poliméricos transparentes ou translúcidos capazes de impedir a entrada de pessoas nas células robotizadas e impedir que as peças manipuladas pelo robô se lançadas, saiam da célula.

Componentes do Sistema. Responsável pelo desempenho das funções do sistema.

Cortina de Luz. Luz infravermelha em forma de raios paralelos similar a uma cortina que ultrapassada irá paralisar a ação do autômato envolvido na tarefa garantindo a segurança de quem ultrapassou a área restrita.

Direct Teach. Comando operativo do robô a partir de informações previamente registradas em mídias ou em disco de dados físico.

Efetuator. O mesmo que *end-effector*.

End-effector. Recurso ou ferramenta projetada especificamente para se anexar ao punho do robô para permitir a execução das tarefas programadas.

Entradas. Recursos, conjunto de objetos ou dados fornecidos ao sistema.

EPI. Equipamento de Proteção Individual, geralmente aplicado quando se exauriu as possibilidades de proteção coletiva.

Espaço Máximo. Toda área que envolve o robô ou Célula Robótica.

Espaço Operacional. Porção da área restrita em que o robô desempenha suas tarefas.

Espaço Restrito. Porção do Espaço Máximo o qual o robô é limitado estando com ou sem o *end-effector* com ou sem peça trabalhada.

Funções do Sistema. São os objetivos da ação do sistema.

Garra. Efetuador capaz de executar a apreensão de objetos envolvidos em uma tarefa.

Graus de liberdade. Número mínimo de variáveis independentes de posição que precisam ser especificadas para se definir precisamente a localização de todas as partes de um mecanismo. Quanto mais graus de liberdade o equipamento oferecer poderá desempenhar tarefas mais complexas em termos de alcances e manobras.

Karakuri. Bonecos mecânicos construídos no Japão nos séculos XVII a XIX.

Lockout. Travamento obrigatório de uma área.

Manipulador. Mecanismo que geralmente apresenta várias partes denominadas de elos e juntas, rotativas ou prismáticas.

Master Slave Teach. Operação remota com auxílio de uma máquina mestre, mais fácil de usar, que depois será seguida pelo robô. Oferece menos riscos do que a operação *Direct Teach*.

Medida de Rendimento. Saída ponderada menos o custo da entrada.

Meta do Sistema. Missão principal de um sistema.

Modelagem do Sistema. Caracterização de todas as fases necessárias ao funcionamento do sistema.

Padrão de Desempenho. Medida de efetividade, para cada componente precisa-se de uma medida de desempenho dos subsistemas que pode ser chamado de padrão.

Pendant. Equipamento portátil conectado ao equipamento de controle do robô. Permite que o operador trabalhe no interior da célula robótica ajustando o equipamento, ANSI/RIA R15. 06/1999. Também denominado de Controle de Ensino utilizado dentro da área de segurança do robô.

Remote Teach. Instrução de um robô, através de modelos, realizada a distância.

Requisitos do Sistema. Características que um sistema deve possuir para atingir as metas.

Restrições do Sistema. Influências do ambiente no sistema sobre os quais não se tem controle.

Resultados Indesejados. Tudo que sair do planejamento como: acidentes, incidentes, peças defeituosas entre outros.

Robô de serviço. Equipamento que opera semi ou completamente autônomo para desempenhar serviços úteis ao bem estar do ser humano, excluindo operações de manufatura.

Robô industrial. Definidos como máquinas capazes de realizar automaticamente uma série de movimentos complexos, tais como extensão e contração dos manipuladores, movimentos horizontal, vertical e de rotação, baseados em informações contidas nos dispositivo de registro (incluindo controladores seqüenciais variáveis e fixos).

Saídas. Resultados esperados quantificáveis de acordo com os parâmetros definidos previamente.

Scanners Segurança. Mapeia uma determinada área previamente definida e qualquer coisa que possua uma dimensão pré-estabelecida no sistema irá paralisar o sistema.

Sensores de Presença. Sensores posicionados no interior da célula que percebem a presença e acionam a paralisação do sistema. Muitas vezes, combinado com a sirene.

Sinais luminosos de emergência. Luzes organizadas em ordem de atenção que indicam o status de operação de uma célula robótica.

Sirene. Sinal sonoro, geralmente redundante, que alerta para uma paralisação do sistema.

Sistema Alimentado. Sistema imediatamente anterior ao Sistema Alvo.

Sistema Alvo. Parte do sistema considerado como foco de uma análise.

Sistema Flexível de Manufatura. Grupos de máquinas de produção organizados em seqüência, ligados por máquinas automatizadas de manuseio de materiais, montagem, soldagem, transferência entre outras tarefas industriais e integrados por um sistema computacional.

Sistema Ulterior. Sistema que encerra as tarefas executadas pelo Sistema Alvo.

Surveys. Levantamento de informações ou opiniões por meio de um questionário administrado a uma amostra – geralmente aleatória – da população estudada.

Tapetes de Segurança. Tapete sensível a compressão posicionado próximo as possíveis entradas de uma célula. Caso algo ou alguém comprima os sensores do tapete este emitirá um sinal de paralisação do sistema.

Teach pendant. O mesmo que pendant.

Teaching Arm. Braço simulador mais leve e mais seguro do que o braço robótico utilizado para se registrar os pontos que o braço robótico deverá repetir.

Trabalho Prescrito. Trabalho planejado entre máquinas e homens, procedimentos que, supostamente de maneira oficial definem e regulam o trabalho.

Trabalho Real. Realidade efetiva entre máquinas e homens oposto ao prescrito.

Try-out – Teste dos equipamentos a serem implementados em uma indústria.

Tool Center Point – TCP. Ponto definido para uma dada aplicação em relação as coordenadas da interface mecânica.

APÊNDICE A – Questionário – Usuários de Robôs



**Universidade Estadual Paulista
Campus de Guaratinguetá
Faculdade de Engenharia FEG - UNESP**

A automação tem sido responsável pelo estado da arte nos processos de produção. Consequentemente, uma quantidade de equipamentos de variados modelos e tipos de robôs, têm sido utilizados para atender as demandas e a internacionalização da produção. Para tanto, A FEG-UNESP, através do seu Programa de Pós-graduação, vem através do questionário em anexo, pesquisar as relações entre homem x robô.

Em especial, a FEG-UNESP, gostaria de contar com a colaboração dos profissionais que atuam junto aos sistemas robotizados para responder ao questionário. Bem como, informar como se dá a implantação dos sistemas autômatos em especial aos itens relacionados a segurança e sistemas que protejam seus usuários.

A pós-graduação da Unesp, especialmente o Departamento de Engenharia Mecânica, ficará imensamente agradecido com toda e qualquer contribuição fornecida. Todas as informações serão tratadas de forma sigilosa e particular.

Muito Obrigado,
Nelson Tavares Matias
Pós-graduação - FEG-UNESP.
(24) 3354 6627 / (24) 8116 2378

Contatos:

Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333
Cx. Postal 205 - CEP 12516-410
Guaratinguetá - SP – Brasil
Tel. 012 3123-2814 - Fax. 3123-2814

QUESTIONÁRIO

1. Qual a sua função junto aos robôs?
2. Qual a sua especialização?
3. A quanto tempo você trabalha com robôs?
 1 a 3 anos () 4 a 8 anos () mais de 10 anos ()
4. Quantos robôs existem no total, na sua fábrica? Quais os setores?
 () É o número de robôs em toda a fábrica

SETOR	QUANTIDADE
1	
2	
3	

ACRESCENTE LINHAS CASO SEJA NECESSÁRIO

5. Os procedimentos de segurança específicos para as células robotizadas, utilizados em sua empresa, sofrem influência de alguma norma? Caso sua resposta seja positiva, qual(is) norma(s)?
 Sim () Não ()

Explique:

6. Você recebeu algum treinamento específico? De quem? Pode informar?
 Sim () Não ()
 Da empresa que vendeu o robô ()
 Da minha própria empresa, através do setor de segurança ()

7. Você tem conhecimento de algum acidente ou incidente em célula robotizada na sua empresa ou em outro lugar?
 Sim () Não ()

Explique:

8. Caso tenha sido positiva sua resposta na pergunta número 7, indique a gravidade do acidente.
 Leve () Médio () Grave () Mortal ()
9. Existe algum projeto especial de segurança para as células robotizadas da empresa em que você trabalha? Qual? Explique.
 Sim () Não ()

Explique:

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO – Fornecedores de Robôs

Local e data

NOME DA EMPRESA

Nome do Respondente,
Telefone do Respondente

Sou Nelson T. Matias, aluno do programa de pós-graduação da Engenharia Mecânica da UNESP/Guaratinguetá / SP e estou pesquisando o uso dos robôs no Brasil em especial quanto aos aspectos ergonômicos e normas utilizadas na sua implantação. Solicito o preenchimento do questionário abaixo sobre o mercado nacional de robótica. Atenciosamente,

Nelson
(24) 3354 6627 / (24) 8116 2378

OS.: Caso você possa pedir para mais algum colega seu responder o questionário ficarei grato. Este questionário irá compor a redação de Tese de Doutorado da UNESP no Programa de Engenharia Mecânica, através de dados estatísticos. Não serão apresentados dados sobre pessoais dos respondentes ou da empresa em que representam.

Agradeço sua colaboração.
Nelson T. Matias

QUESTIONÁRIO

(1) Qual o número, estimado, de robôs no Brasil atualmente (todas as marcas)?
Número, estimado, de robôs no Brasil é de:

(2) Qual a principal área industrial que se utiliza de robôs no Brasil e no mundo?
A principal área no Brasil é:

No mundo é:

(3) Quais as normas utilizadas para a instalação de robôs no Brasil?

(4) Como se comporta o mercado nacional quanto a robotização de suas linhas?
() em franco desenvolvimento
() estável
() em retração

(5) Quais as principais dificuldades das empresas fornecedoras de robôs quanto aos clientes? (empresas fabricantes e/ou integradoras). Dê notas de 1 a 5 sendo a pontuação a máxima 5 a melhor avaliação.

() Falta de conhecimento específico sobre o comportamento e uso dos robôs;
() Falta de normas internas que orientem o uso do robô;
() Dificuldades em definir o modelo de robô mais adequado para o seu processo de produção.

(6) Quando se instalam os robôs você diria que os aspectos mais relevantes durante a instalação são: Dê notas de 1 a 5 sendo a pontuação a máxima 5 a melhor avaliação.

- () Segurança;
- () Produtividade;
- () Aspectos ergonômicos do sistema (qualidade das informações, cognição dos símbolos e informações empregadas nos painéis fixos e móveis (pendant);
- () Funcionalidade.

(7) Quais os principais objetivos de quem compra um robô? Dê notas de 1 a 5 sendo a pontuação a máxima 5 a melhor avaliação.

- () Reduzir custos com a mão de obra;
- () Aumentar a qualidade e a produtividade;
- () Reduzir os riscos, físicos, químicos entre outros, envolvidos na tarefa.

(8) Qual é o número, estimado, de robôs vendidos no Brasil no ano de 2005 (todas as marcas)?

Número, estimado, de robôs vendidos no Brasil é de:

(9) Você viu ou ouviu falar de algum tipo de acidente ou incidente com robôs? Quantos? Não é necessário citar nome de empresas ou de pessoas.

O número de incidentes é de:

O número de acidentes é de: